

**VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2018 - Thèse n°111

***CAPACITE D'INGESTION ET EFFICACITE ALIMENTAIRE
DES VACHES DE RACE TARINE DANS LA ZONE BEAUFORT***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 11 décembre 2018
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

COURTOIS Léontine



**VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2018 - Thèse n°111

***CAPACITE D'INGESTION ET EFFICACITE ALIMENTAIRE
DES VACHES DE RACE TARINE DANS LA ZONE BEAUFORT***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 11 décembre 2018
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

COURTOIS Léontine



Liste des Enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon (1er mars 2018)

Nom	Prénom	Département	Grade
ABITBOL	Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
ARCANGIOLI	Marie-Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
AYRAL	Florence	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BECKER	Claire	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BELLUCO	Sara	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENAMOU-SMITH	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENOIT	Etienne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BERNY	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BOULOCHER	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BOURDOISEAU	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
BOURGOIN	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BRUYERE	Pierre	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BUFF	Samuel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BURONFOSSE	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
CACHON	Thibaut	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CADORÉ	Jean-Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
CAROZZO	Claude	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CHABANNE	Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CHALVET-MONFRAY	Karine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DE BOYER DES ROCHES	Alice	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DEMONT	Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
DJELOUADJI	Zorée	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
ESCRIOU	Catherine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
FRIKHA	Mohamed-Ridha	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GALIA	Wessam	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Stagiaire
GILOT-FROMONT	Emmanuelle	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
GONTHIER	Alain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GRANCHER	Denis	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
GREZEL	Delphine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
HUGONNARD	Marine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
JANKOWIAK	Bernard	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Contractuel
JAUSSAUD	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
JEANNIN	Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Inspecteur en santé publique vétérinaire (ISPV)
JOSSON-SCHRAMME	Anne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Contractuel
JUNOT	Stéphane	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
KODJO	Angeli	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
KRAFFT	Emilie	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
LAABERKI	Maria-Halima	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LAMBERT	Véronique	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LE GRAND	Dominique	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
LEBLOND	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LEDoux	Dorothee	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Stagiaire
LEFEBVRE	Sébastien	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Stagiaire
LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LEPAGE	Olivier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LOUZIER	Vanessa	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
MARCHAL	Thierry	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MATEOS	Stevana	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
MOISSONNIER	Pierre	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MOUNIER	Luc	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
PEPIN	Michel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
PIN	Didier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PONCE	Frédérique	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PORTIER	Karine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
POUZOT-NEVORET	Céline	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
PROUILLAC	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
REMY	Denise	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
RENE MARTELLET	Magalie	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
RIVES	Germain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Contractuel
ROGER	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
SABATIER	Philippe	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
SAWAYA	Serge	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
SCHRAMME	Michael	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
SERGENTET	Delphine	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
THIEBAULT	Jean-Jacques	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
THOMAS-CANCIAN	Aurélié	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
TORTEREAU	Antonin	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
VIGUIER	Eric	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
ZENNER	Lionel	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur

Remerciements

A Monsieur le Professeur Philippe Vanhems,
De la faculté de médecine de Lyon
Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse
Pour sa disponibilité et pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail
Hommages respectueux

A Monsieur le Maître de Conférences Laurent Alvès de Oliveira
Du campus vétérinaire VetAgro Sup
Qui m'a fait l'honneur d'encadrer mon travail
Pour sa confiance et ses innombrables conseils
Avec tout mon respect et toute ma reconnaissance

A Madame la Professeure Dominique Le Grand,
Du campus vétérinaire VetAgro Sup
Qui m'a fait l'honneur de prendre part à ce jury
Pour le dynamisme dont elle a fait preuve tout au long de mes études,
En amphithéâtre comme aux hôpitaux bovins
Sincères remerciements

A Monsieur Eric Bertrand,
Responsable du Service R&D et animation technique
De la Coopérative Eleveurs des Savoie
Pour m'avoir proposé ce sujet d'étude,
Permis de travailler avec les techniciens des Eleveurs des Savoie
Pour son accueil toujours chaleureux en Savoie,
Sa relecture scientifique
Avec toute ma gratitude

Table des matières

Table des annexes	13
Table des figures.....	15
Table des tableaux.....	19
Liste des abréviations	23
Introduction	25
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	27
I. La capacité d'ingestion.....	27
A. Capacité d'ingestion et ingestion théorique	27
1. Définition	27
a) La capacité d'ingestion	27
b) La production de lait potentielle	28
c) L'ingestion théorique	30
2. Facteurs de variation	31
a) Le poids vif	32
b) La production laitière potentielle (PL _{Pot})	32
c) Les réserves corporelles	33
d) Les stades de lactation et de gestation	33
e) L'âge et le rang de lactation	35
f) La sélection génétique	36
g) La race	36
(i) Vache laitière vs vache allaitante	36
(ii) Au sein même des vaches allaitantes	36
(iii) Au sein même des vaches laitières.....	37
h) Temps de rumination	38
3. Les différents modèles de prédiction de l'ingestion théorique.....	38
a) Les équations de régression multiple.....	39
b) Le système de 2 prédictions.....	41
c) Le système basé sur les unités d'encombrement (UE) des fourrages et la substitution de l'aliment concentré.....	43
d) Comparaison des différents modèles.....	45
B. L'ingestion réelle.....	47
1. Définition	47
2. Facteurs de variation	47
a) Caractéristiques de la ration	48
(i) Valeur d'encombrement.....	48
(ii) Le taux de MS.....	48
(iii) Mycotoxines	49
(iv) Conservation des fourrages.....	50
(v) La finesse de hachage	50
(vi) Supplémentation en matière grasse	51
(vii) Proportion d'amidon	51
(viii) Teneur en azote dans la ration.....	52
(ix) Vitesse de transit	54
b) Conduite du rationnement.....	54
(i) Les stratégies de rationnement	54
(ii) Modalités de distribution	55
(ii.1) Places à l'auge et aire d'alimentation	56

(ii.2) Nombre de distributions	56
(ii.3) A quels moments distribuer ?	58
(ii.4) Nombre de repousses de la ration	59
c) Paramètres d’ambiance	60
(i) Température et humidité	60
(ii) Luminosité	61
(iii) Type de stabulation	61
(iv) La compétition entre vaches	62
d) Santé	62
II. L’efficacité alimentaire	63
A. Définitions	63
1. L’efficacité alimentaire	63
2. Le lait standardisé	64
B. Pourquoi cherchons-nous une bonne efficacité alimentaire ?	65
1. Répondre à la demande mondiale	65
2. Rentabilité économique	65
3. Durabilité environnementale	65
C. Facteurs influençant l’efficacité alimentaire	67
1. Caractéristiques de la vache	67
a) Les stades de lactation et de gestation	67
b) L’âge ou le numéro de lactation	67
c) La race	68
d) La note d’état corporel (NEC)	69
2. Alimentation	70
a) Méthode de rationnement	70
(i) Conservation du fourrage	70
(ii) Couverture des besoins par la ration	70
(iii) Contrôle de l’équilibre de la ration	72
(iii.1) Le rapport microbien et la microflore ruminale	72
(iii.2) Rapport PDI/UFL et nutrition de la vache laitière	73
(iv) Apport en graisses	74
(v) Gestion du tarissement et des transitions alimentaires	74
b) Les additifs alimentaires (tampons, ionophores, levures, auxiliaires de fermentation)	74
(i) Ionophore monensin	74
(ii) Somatotropine	75
(iii) Balance Anions-Cations Alimentaire de la ration (BACA)	75
(iv) Apport de levures à la ration totale mélangée (RTM)	76
3. Zootechnie	76
a) Luminosité	76
b) Température et hygrométrie	76
4. Génétique	78
a) La production laitière	78
b) Les limites de la sélection génétique sur l’efficacité alimentaire	78
(i) Effet sur la mobilisation des réserves corporelles	78
(ii) Effet sur l’apparition de maladies métaboliques	79
5. Santé : l’acidose ruminale subaiguë	79
D. Autres systèmes	80
1. Prise en compte des différents composants de la ration ou des caractéristiques de la vache (<i>De Ondarza et al, 2017</i>)	80
a) Efficacité de conversion de l’énergie (= energy conversion efficiency)	81
b) Energie résiduelle ingérée (= residual energy intake = REI)	81
2. Prise en compte de l’aspect économique (<i>De Ondarza et al, 2017</i>)	81

a)	Coût de la ration par kilogramme de matière sèche (= feed cost per pounds of dry matter, ou ration cost efficiency).....	81
b)	Coût de la ration par vache par jour (= feed cost per cow per day).....	81
c)	Coût de la ration pour 45,4 kg de lait (= feed cost per hundredweight (45.4 kg)).....	82
d)	Revenu du lait par rapport au coût alimentaire (= milk income over feed cost (IOFC)).....	82
e)	Revenu du lait corrigé (= money corrected milk).....	82
f)	Réponse marginale du lait (= marginal milk response).....	82
3.	Efficacité au cours de la vie (= lifetime efficiency).....	82
4.	Efficacité totale de l'entreprise laitière (= total dairy enterprise efficiency).....	83
5.	Avantages et inconvénients.....	83
6.	Facteurs de variation influençant les différents outils d'évaluation de l'efficacité alimentaire.....	84
E.	Marqueurs de mauvaise efficacité alimentaire en élevage.....	86
1.	Marqueurs laitiers.....	86
a)	Le taux butyreux (TB) et le taux protéique (TP).....	86
b)	Urée.....	88
2.	Marqueurs zootechniques.....	88
a)	Note d'état corporel.....	88
b)	Remplissage du rumen.....	89
c)	Consistance des bouses.....	90
d)	Fibrosité des bouses.....	91
e)	Fourbure.....	92
	PARTIE II : ETUDE DE CAS.....	93
I.	Contexte.....	93
A.	Demande de terrain.....	93
B.	Zone AOP Beaufort : respect d'un cahier des charges.....	94
1.	Une zone d'appellation en altitude.....	94
2.	Des races obligatoires.....	94
3.	Une production laitière limitée.....	95
4.	Une ration sèche obligatoire.....	95
5.	Une utilisation de concentrés limitée.....	96
II.	Matériel et méthode.....	97
A.	Sélection des élevages.....	97
1.	Elevages de vaches de race Montbéliarde.....	97
2.	Elevages de vaches de race Tarine.....	98
B.	Données enregistrées en élevage.....	99
1.	Nombre de vaches laitières rationnées.....	99
2.	Pesée de la ration.....	99
a)	Fourrages.....	99
b)	Concentrés.....	99
3.	Analyses de la valeur alimentaire de la ration.....	100
4.	Modalités de la distribution.....	100
a)	Nombre de repousses.....	100
b)	Film de distribution.....	100
5.	Mesures sur les vaches.....	101
a)	Note d'état corporel (NEC).....	101
b)	Poids vif.....	101
6.	Production laitière.....	101
C.	Rélevé des données hors élevage.....	102
1.	Pourcentage de vaches de race Tarine.....	102
2.	Taux butyreux (TB) et taux protéique (TP) du lait.....	102

3.	Urée	102
4.	Intervalle vêlage – insémination fécondante (= IVIAf)	102
5.	Production laitière potentielle et réalisable brut	102
6.	Mois moyen de lactation	103
7.	Age moyen du troupeau	103
8.	Pourcentage de primipares	103
D.	Exploitation statistique des résultats	103
III.	Résultats	105
A.	Description des élevages étudiés	105
1.	Elevages de vaches de race Tarine	105
2.	Elevages de vaches de race Montbéliarde	105
B.	Quantité de matière sèche ingérée	106
1.	Ingestions théorique et mesurée	106
a)	Elevages de vaches de race Tarine	106
b)	Elevages de vaches de race Montbéliarde	107
2.	Influence des caractéristiques de la vache laitière sur l'ingestion mesurée	108
a)	La note d'état corporel.....	108
b)	La production laitière	108
c)	Le poids vif	109
d)	Les stades de lactation	110
3.	Influence des paramètres zootechniques sur l'ingestion mesurée	110
a)	Le nombre de repousses de la ration	110
b)	Le type de stabulation.....	111
C.	Efficacité alimentaire.....	112
1.	Valeurs d'efficacité alimentaire dans les élevages	112
2.	Efficacité alimentaire selon la position géographique des élevages	113
3.	Efficacité alimentaire et caractéristiques de la vache laitière	115
a)	Santé : sub-acidose ruminale	115
b)	Le stade de lactation	117
c)	L'âge du troupeau et le rang de lactation	117
d)	La note d'état corporel.....	118
e)	La production laitière	119
4.	Efficacité alimentaire et caractéristiques de la ration	119
a)	Film de distribution	119
b)	Le rapport microbien.....	120
c)	Le rapport PDI/UFL.....	121
d)	Le taux d'urée.....	122
IV.	Discussion	125
A.	L'ingestion	125
B.	L'efficacité alimentaire	127
C.	Conclusion de la discussion.....	128
	Conclusion	129
	Bibliographie	131
	Annexes.....	145

Table des annexes

Annexe 1 : Astier M, 2015. Aux Mille vaches : « Ils m’ont traité comme un chien et ils maltraitent les vaches ». Reporterre, le quotidien de l’écologie.....	145
--	-----

Table des figures

Figure 1 : courbe de lactation potentielle théorique.....	29
Figure 2 : évolution de la production de lait maximale (PL_{MaxPot}) chez des vaches Prim'Holsteins en fonction de l'âge au premier vêlage et du rang de lactation (Leclerc et al, 1993)	29
Figure 3 : évolution du taux de substitution global de l'aliment concentré en fonction de la quantité d'aliment concentré ingéré et du niveau de production potentiel des vaches (20 à 45 kg) pour une ration avec un fourrage de 0,9 UFL et 1 UEL par kg de MS (Faverdin et al, 2006)	31
Figure 4 : influence de différents facteurs sur la capacité d'ingestion (Faverdin et al, 2006).....	32
Figure 5 : capacité d'ingestion des génisses selon le poids vif (D'Hour et al, 1991).....	32
Figure 6 : régulation de l'appétit par la leptine (Chilliard et al, 1999)	33
Figure 7 : évolution du déficit énergétique observé et simulé en début de lactation pour des vaches laitières multipares en fonction de leur production laitière au pic de production (Leclerc et al, 1993)	34
Figure 8 : IL en fonction de la semaine de lactation (INRA, 2010).....	34
Figure 9 : IG en fonction de la semaine de gestation (INRA, 2010).....	35
Figure 10 : IM en fonction de l'âge de la vache laitière (INRA, 2010).....	35
Figure 11 : évolution de la capacité d'ingestion d'une vache d'un potentiel adulte de 9000 kg de lait (en 305 jours) au cours des 3 premières lactations (L1, L2, L3) (Faverdin et al, 2006).....	35
Figure 12 : comparaison entre la quantité prédite de fourrage ingéré et la quantité réelle de fourrage ingéré, selon la race, l'âge, et le niveau de complémentation (Coulon et D'Hour, 1994, D'Hour et al, 1991).....	38
Figure 13 : principe des systèmes utilisant deux équations de prédiction (régulations physique et énergétique de l'ingestion) (Conrad et al, 1996)	41
Figure 14 : les leviers d'action pour agir sur l'ingestion réelle des vaches laitières (Institut de l'élevage, 2010)	48
Figure 15 : variation de l'ingestion en fonction des teneurs en protéines et en aliments concentrés de rations complètes à base d'ensilage de maïs (Faverdin et al, 1998).....	51
Figure 16 : réactions biochimiques de synthèse des acides aminés bactériens.....	52
Figure 17 : mécanisme d'action des protéines dans la régulation de l'ingestion (Faverdin et al, 2003b).....	52
Figure 18 : influence du niveau d'apport de protéines (PDIE) sur l'ingestion de MS totale des vaches laitières (Vérité et Delaby, 1998).....	54
Figure 19 : niveau d'ingestion de lots de vaches recevant la ration 1D (une distribution, et deux repousses manuelles), ou 3D (trois distributions, à 7h, 12h et 18h), ou 8D (huit distributions de 4h à 18h30) (Ménard et al, 2014).....	58

Figure 20 : budget-temps du troupeau selon les modalités de distribution 1D (une distribution, et deux repousses manuelles), ou 8D (huit distributions de 4h à 18h30) (Ménard et al, 2014).....	58
Figure 21 : influence de la température et de l'hygrométrie sur l'ingestion des vaches laitières (Hill et al, 2017)	60
Figure 22 : budget-temps d'une vache en stabulation libre nourrie avec une RTM. Réalisé à partir de Grant et al (2011)	61
Figure 23 : effet de dilution des besoins d'entretien : impact d'une plus grande productivité sur la proportion d'énergie utilisée pour les besoins d'entretien chez des vaches laitières (1944 versus 2007) (d'après Capper et al, 2009).....	66
Figure 24 : influence de la parité et des jours en lait sur l'efficacité alimentaire, sur des Jersiaises à 6774 kg de lait pour 305 jours de lactation (Erdman, 2011)	68
Figure 25 : évolution de l'efficacité alimentaire au cours de la lactation, chez des vaches produisant 7250 kg, 9980 kg, et 12700 kg de lait sur 330 jours de lactation (Hutjens, 2005).....	70
Figure 26 : méthode des 5R (Ponter, 2016)	71
Figure 27 : efficacité alimentaire selon le BACA (Iwaniuk et al, 2015)	76
Figure 28 : efficacité alimentaire selon les jours en lait et selon la production laitière (Erdman, 2011)	78
Figure 29 : composition du lait de vache (Wolter et al, 2012).....	86
Figure 30 : matières azotées totales contenues dans le lait (Wolter et al, 2012).....	86
Figure 31 : influence de l'alimentation sur le TP et TB (Wolter et al, 2012).....	87
Figure 32 : grille de détermination de la note d'état corporel (Gezondheidsdienst voor Dieren, 1999)	89
Figure 33 : grille de notation du remplissage du rumen (d'après Noorhuizen, 2007).....	90
Figure 34 : grille de notation de la consistance des bouses (d'après Noorhuizen, 2007).....	91
Figure 35 : grille de notation de la fibrosité des bouses (d'après Noorhuizen, 2007).....	92
Figure 36 : zone AOP Beaufort (site http://www.fromagesdesavoie.fr/).....	94
Figure 37 : grille de détermination de la note d'état corporel (Gezondheidsdienst voor Dieren, 1999)	101
Figure 38 : proportion de vaches de race Tarine dans les élevages sélectionnés pour l'étude 2015-2016.....	105
Figure 39 : pourcentage de tarentaises dans les différents élevages de l'étude 2017.....	105
Figure 40 : ingestions théorique et mesurée dans les élevages de vaches Tarines.....	106
Figure 41 : diagramme Q-Q Plot de la différence entre l'ingestion théorique et l'ingestion mesurée des élevages de vaches de race Tarine (R Core Team, 2017).....	107

Figure 42 : ingestion mesurée (= « réelle ») selon la NEC dans les élevages de vaches Tardines..	108
Figure 43 : ingestion mesurée (= « réelle ») selon la production laitière.....	109
Figure 44 : ingestion mesurée (= « réelle ») selon le poids vif.....	109
Figure 45 : ingestion mesurée (= « réelle ») selon le stade de lactation (en jours en lait)....	110
Figure 46 : influence du nombre de repousses de la ration sur l'ingestion mesurée (= « réelle ») des vaches laitières.....	111
Figure 47 : efficacité alimentaire (kg de lait standard par kg de MSI) des élevages de vaches de race Tarine et Montbéliarde	112
Figure 48 : efficacité alimentaire des élevages en 2015.....	113
Figure 49 : efficacité alimentaire des élevages en 2017.....	114
Figure 50 : efficacité alimentaire des élevages de vaches Montbéliardes en 2017.....	115
Figure 51 : efficacité alimentaire selon le rapport TB/TP.....	116
Figure 52 : influence du nombre de JEL sur l'efficacité alimentaire.....	117
Figure 53 : efficacité alimentaire selon l'âge moyen du troupeau.....	118
Figure 54 : efficacité alimentaire selon la NEC.....	118
Figure 55 : efficacité alimentaire selon la production laitière.....	119
Figure 56 : efficacité alimentaire selon le film de distribution.....	120
Figure 57 : efficacité alimentaire selon le Rmic.....	121
Figure 58 : efficacité alimentaire selon le rapport PDI/UFL.....	122
Figure 59 : efficacité alimentaire selon le taux d'urée dans le lait.....	123

Table des tableaux

Tableau I : réponse de l'ingestion à une variation d'apport d'aliment concentré autour de la quantité permettant de couvrir les besoins énergétiques (INRA, 2010)	28
Tableau II : taux de substitution moyen entre fourrages et concentrés (Sg) selon la qualité du fourrage, pour les vaches laitières multipares (INRA, 2010)	31
Tableau III : comparaison de l'ingestion de fourrages par des vaches allaitantes ou vaches laitières, (d'après Petit et al, 1994, Agabriel et al, 1987)	36
Tableau IV : comparaison de l'ingestion de fourrages par des différentes races de vaches allaitantes (Petit et al, 1994)	36
Tableau V : quantités de foins ingérées (MSI, matière sèche ingérée) par différents types de vaches allaitantes (Petit et al, 1994)	37
Tableau VI : influence de la race sur la matière sèche ingérée, d'après Gruber et al (1991), Kristensen et al (2015), Prendiville et al (2009), Friggens et al (2007), Li et al (2016) et Foldager et al (1994)	37
Tableau VII : exemple d'équations de prédiction des quantités ingérées obtenues par régressions multiples, d'après Neal et al (1984), Bines (1979), NRC (2001), Yungblut et al (1981), Vadiveloo et al (1979), Huhtanen et al (2008), Cornell et al (1990)	40
Tableau VIII : équations de prédiction de l'ingestion théorique se basant sur le système à deux prédictions, d'après Forbes (1977), Mertens (1987), NRC (1987) et Volden et al (2011).....	42
Tableau IX : unités d'encombrement de différents aliments (INRA, 2010).....	43
Tableau X : équations de prédiction de l'ingestion basées sur les unités d'encombrement, d'après Hyppölä et Hasunen (1970), Kristensen et Ingvarsten (1994), INRA (1987), INRA (2010) et Zom et al (2012)	44
Tableau XI : comparaison des modèles de prédiction des quantités ingérées (Faverdin, 1992).....	45
Tableau XII : différence entre 5 modèles de prédiction de la matière sèche ingérée de vaches laitières nourries avec une ration totale mélangée (Jensen et al, 2015)	46
Tableau XIII : influence du taux de MS d'un ensilage de maïs sur l'ingestion réelle des vaches laitières (Institut de l'élevage, 2010)	48
Tableau XIV : effets des mycotoxines sur l'ingestion des vaches laitières, d'après Winkler et al (2014), Ingalls (1996), Trenholm et al (1985), Charmley et al (1993), Diaz et al (2001) et Coppock et al (1990)	48
Tableau XV : principales toxines produites par <i>Aspergillus fumigatus</i> et <i>Stachybotrys chartarum</i> , et leurs effets (Bailly et al, 2013)	50
Tableau XVI : proportion d'amidon dans la ration au-delà de laquelle il y a un risque d'acidose ruminale (Institut de l'élevage, 2010)	51
Tableau XVII : effet de l'apport d'urée dans une ration d'ensilage de maïs offert à volonté sur l'ingestion et la production de vaches laitières en début de lactation (Journet et al, 1983).....	53

Tableau XVIII : critères techniques à respecter pour une distribution des fourrages à volonté (Institut de l'élevage, 2010)	56
Tableau XIX : influence de la fréquence de distribution de la ration sur la quantité de matière sèche ingérée, d'après Nocek et al (1985), Yang et Varga (1989), Klusmeyer et al (1990), Robinson et McNiven (1994), Shabi et al (1998), DeVries et al (2005), Mäntysaari et al (2006), Ménard et al (2014), Hart et al (2014), Phillips et al (2001) et Faucet et al (2013).....	57
Tableau XX : effet du moment de distribution de la ration par rapport aux heures de traite (King et al, 2016)	59
Tableau XXI : effet du nombre de repousses de la ration sur la matière sèche ingérée, d'après Miller-Cushon et al (2017) et Armstrong et al (2008)	59
Tableau XXII : influence de la température sur la production laitière et sur la quantité de matière sèche ingérée, d'après McDowell et al (1976), Bianca (1965), NRC (1989) et Berman (1968)	60
Tableau XXIII : effet des boiteries sur la MSI et sur la production laitière (Juarez et al, 2002).....	62
Tableau XXIV: objectifs d'efficacité alimentaire selon le stade et le rang de lactation (Hutjens, 2008b)	64
Tableau XXV : impact économique d'une augmentation de l'efficacité alimentaire (Hutjens, 2008a)	65
Tableau XXVI : conversion de l'EA (efficacité alimentaire) en EA _{150 JEL} (efficacité alimentaire à 150 jours en lait) (Erdman, 2011)	67
Tableau XXVII : efficacité alimentaire selon la race, d'après Kristensen et al (2015), Halachmi et al (2011) et Prendiville et al (2009)	69
Tableau XXVIII : signification des valeurs du Rmic (INRA, 2010)	73
Tableau XXIX : valeurs seuil du rapport Rmic chez les vaches laitières (INRA, 2010)	73
Tableau XXX : application des résultats du Rmic (INRA, 2010)	73
Tableau XXXI : variation de l'ingestion selon le rapport PDIE/UFL de la ration (INRA, 2010).....	74
Tableau XXXII : effet de l'augmentation du BACA sur la MSI, la production laitière et l'EA (Iwaniuk et al, 2015)	75
Tableau XXXIII : effet de l'ajout de levures dans la ration des vaches laitières, d'après Schingoethe et al (2004) et Moallem et al (2009)	76
Tableau XXXIV : Valeurs de THI et typologie du froid d'après l'indice de Thom, (Ben Boubaker, 2010)	77
Tableau XXXV : influence du THI sur l'efficacité alimentaire, d'après Britt et al (2003), Su et al (2013) et Bouraoui et al (2002)	77
Tableau XXXVI : marqueurs d'acidose en élevage, d'après (Volter et al, 2012)	80
Tableau XXXVII : avantages et inconvénients des différents systèmes évaluant la rentabilité (De Ondarza et al, 2017)	84

Tableau XXXVIII : aspects nutritionnels et de conduite d'élevage : leur impact sur l'efficacité alimentaire et les autres systèmes de calcul de rentabilité (De Ondarza et al, 2017).....	85
Tableau XXXIX : rapport TB/TP, marqueur de bonne/mauvaise EA, d'après (Wolter et al, 2012)	87
Tableau XL : TB et TP en 2015 et 2017 selon les races en France (Institut de l'élevage, 2015 ; Institut de l'élevage, 2017)	88
Tableau XLI : capacité d'ingestion, ingestion théorique et ingestion mesurée dans les élevages de vaches Tarines en 2015-2016 et 2017.....	106
Tableau XLII : capacité d'ingestion, ingestion théorique et ingestion mesurée dans les élevages de Montbéliardes en 2017.....	107
Tableau XLIII : efficacité alimentaire des élevages des différentes campagnes de mesures.	112
Tableau XLIV : TB et TP dans les élevages de vaches Tarines et Montbéliardes.....	115
Tableau XLV : efficacité alimentaire selon le rapport TB/TP.....	116
Tableau XLVI : modalités de distribution des concentrés dans les élevages étudiés.....	120
Tableau XLVII : moyenne des efficacités alimentaires selon le taux d'urée.....	122

Liste des abréviations

ADF : acid detergent fiber

AGNE : acide gras non-estérifié

AGV : acide gras volatil

AOP : appellation d'origine protégée

BACA : bilan alimentaire cations – anions (mEq / kg MS)

BTTL : bilan technique du troupeau laitier

Ca_{abs} : calcium absorbé

CB : cellulose brute

CI : capacité d'ingestion

DAC : distributeur automatique de concentrés

dMOF : digestibilité de la matière organique du fourrage

dMSf : digestibilité de la matière sèche du fourrage

EA : efficacité alimentaire

IVIAf : intervalle vêlage insémination fécondante

IVV : intervalle vêlage vêlage

MS : matière sèche

MSI : matière sèche ingérée

NDF : neutral detergent fiber

NEC : note d'état corporel

P_{abs} : phosphore absorbé

PL_{Pot} : production de lait potentielle

PDI : protéine digestible dans l'intestin

PDIE : protéine digestible dans l'intestin permise par l'énergie

PDIN : protéine digestible dans l'intestin permise par l'azote

PL_{MaxPot} : production laitière potentielle maximale

PV : poids vif

Rmic : rapport microbien = (PDIN-PDIE) / UFL

RTM : ration totale mélangée

SemIAfec = semaine d'insémination fécondante

TB : taux butyreux

TMOF : teneur en matière organique

TP : taux protéique

TV : taux de valorisation

UEL : unité d'encombrement lait

UFL : unité fourragère lait

VL : vache laitière

Introduction

Les vaches sont des animaux herbivores ruminants. Leur tube digestif est constitué de quatre compartiments ayant chacun un rôle précis dans la digestion. Le rumen, réel fermentateur, composé d'une grande diversité de bactéries, de protozoaires et de champignons, permet aux vaches une première digestion, de type microbienne, des aliments ingérés. Cette digestion est permise grâce au mécanisme de la rumination qui la précède. Les vaches sont capables grâce à la musculature de leurs estomacs et leur œsophage (muscles lisses) de faire remonter le bol alimentaire dans leur cavité buccale et de le mastiquer une nouvelle fois. Le bol alimentaire est fragmenté et les micro-organismes du rumen sont plus à même d'utiliser les nutriments. Plus un aliment est fibreux, plus le temps de rumination augmentera. Le deuxième compartiment, le réseau, permet la poursuite du bol alimentaire dans le troisième compartiment, le feuillet. Ce dernier permet une réabsorption de l'eau. La caillette est le dernier compartiment stomacal, où se déroule le début de la digestion enzymatique des protéines. L'alimentation des bovins est un processus complexe, puisqu'il s'agit d'alimenter la microflore ruminale et l'animal. Conserver un bon équilibre de cette microflore chez les vaches laitières est essentiel pour assurer une bonne production laitière.

La demande mondiale en produits laitiers est en constante augmentation. Les éleveurs tentent de répondre à cette demande tout en essayant de réduire les coûts dus à l'alimentation, qui représentent 60 % des frais de production. Autrement dit, ils cherchent à optimiser l'efficacité alimentaire, qui correspond à la quantité de lait produit par rapport à la quantité de ration ingérée. La quantité de ration ingérée est dépendante de la capacité d'ingestion des vaches. Il s'agit de la capacité qu'a la vache à ingérer un aliment. Cette quantité peut être prédite à l'aide de modèles mathématiques.

Dans la zone AOP Beaufort, située en Savoie, les techniciens du contrôle laitier « Eleveurs des Savoie » ont noté une mauvaise adaptation du modèle de prédiction des quantités ingérées « INRA (2010) » pour les élevages de ce secteur. Ils ont supposé que cette difficulté était due à la présence d'une race de vache laitière particulière utilisée pour la production de lait AOP Beaufort, les vaches Tarines (ou Tarentaises). Cette observation a motivé la réalisation de deux campagnes de mesures (en 2015-2016 et en 2017) visant à déterminer les quantités de matières sèches ingérées et l'efficacité alimentaire dans ces élevages.

Pour réaliser ce travail, nous avons d'abord défini précisément les termes de capacité d'ingestion et d'efficacité alimentaire, et nous avons présenté les différents outils et paramètres permettant de les calculer. Nous avons ensuite comparé les valeurs obtenues dans les élevages de l'étude avec les valeurs que l'on trouve dans la littérature scientifique.

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. La capacité d'ingestion

En hiver, quand les vaches ne sont plus au pâturage, l'éleveur leur distribue les fourrages qu'il a récoltés durant le printemps et l'été. Pour être sûr d'avoir prévu la bonne quantité de fourrages, les éleveurs estiment la quantité de ration dont ont besoin leurs vaches chaque jour. Cette quantité dépend de nombreux facteurs, comme des caractéristiques de la vache elle-même (par exemple la production laitière) ou des caractéristiques des fourrages récoltés (par exemple leur valeur nutritive). De nombreux modèles de prédiction des quantités ingérées ont été proposés, afin de prédire au mieux l'ingestion, incluant une plus ou moins grande quantité de facteurs pouvant la faire varier. Pour prédire l'ingestion réelle des vaches, on calcule la capacité d'ingestion des vaches, qui nous permet de calculer une quantité de matière sèche ingérée théorique. Ce sont ces trois paramètres qui sont détaillés dans cette première partie.

A. Capacité d'ingestion et ingestion théorique

1. Définition

Pour toutes les définitions, nous utilisons le modèle de prédiction des quantités ingérées de l'INRA (INRA, 2010), qui sera détaillé au fur et à mesure dans cette partie.

a) La capacité d'ingestion

La **capacité d'ingestion** correspond à l'aptitude et la motivation de la vache laitière à ingérer des aliments. Elle s'exprime en unité d'encombrement (UE) dans le système de rationnement français (INRA, 2010). Les UEL, unités d'encombrement laitier, caractérisent l'aptitude d'un aliment à être ingéré par une vache laitière, et dépend du volume que l'aliment occupe dans le rumen et de sa vitesse de transit (cf I.A.1.c).

La capacité d'ingestion dépend des caractéristiques de la vache (poids vif, production laitière, note d'état corporel, etc). La capacité d'ingestion (CI) peut se prédire à partir de l'équation suivante :

$$CI = [13,9 + (0,015 * (PV - 600)) + (0,15 * PL_{Pot}) + (1,5 * (3 - NEC))] * IL * IG * IM$$

(INRA, 2010)

Avec : PV : poids vif ; NEC : note d'état corporel ; PL_{Pot} : production laitière potentielle ;
Et :

IL indice de lactation	$IL = a + (1 - a) * (1 - e^{-0,16 * SemL})$ <p>primipares : a=0,6 multipares : a=0,7 taries : a=1 $SemL = 4,35 * mois\ moyen\ de\ lactation$</p>
IG indice de gestation	$IG = 0,8 + 0,2 * (1 - e^{-0,25 * (40 - SemG)})$ <p>$SemG = SemL - SemIAf$ SemIAfec = semaine de lactation au cours de laquelle a eu lieu l'insémination fécondante</p>
IM indice de maturité	$IM = -0,1 + 1,1 * (1 - e^{-0,08 * \hat{age}})$

La CI est le facteur qui influence le plus la production laitière de la vache (*Mertens, 1994, Huhtanen et al, 2011*). Les fourrages sont les composants de la ration qui occupent le plus de place dans le rumen. Les concentrés, quant à eux, occupent une place très réduite. Par leur coût et leur forte densité énergétique, la quantité de concentrés distribuée aux vaches laitières varie peu d'un élevage à l'autre, en termes de proportion dans la ration totale. La production laitière liée à l'ingestion de concentrés est connue et peu variable. C'est pourquoi c'est la capacité d'ingestion des fourrages qui génère la plus grande variation de productivité, selon la quantité distribuée et la qualité des fourrages, qui peut fortement varier d'une année à l'autre et d'une prairie à l'autre (*Mertens, 2007*). Le tableau I montre que la quantité de concentrés distribuée influe peu sur l'ingestion de fourrages.

Tableau I : réponse de l'ingestion à une variation d'apport d'aliment concentré autour de la quantité permettant de couvrir les besoins énergétiques (*INRA, 2010*).

Variation d'apport de concentrés (kg MB/j)	- 3	- 2	- 1	=	+ 1	+ 2	+ 3
Variation d'ingestion du fourrage (kg MS/j)	+ 1,2	+ 0,9	+ 0,5	0	- 0,5	- 1	- 1,6

b) La production de lait potentielle

Dans la formule de prédiction de la CI de l'INRA, on utilise la production laitière potentielle (PL_{Pot} , en kg). Elle peut se définir comme la capacité de synthèse de lait qu'aurait la mamelle à un moment donné si elle n'était pas limitée par la disponibilité en nutriments ou par un trouble sanitaire (*Faverdin et al, 2007*). Si on utilisait la production laitière réelle, on obtiendrait une valeur de CI pouvant être biaisée, puisque la production réelle peut être limitée par la quantité et la qualité de la ration distribuée.

Les principaux facteurs susceptibles de faire varier la production laitière potentielle (PL_{Pot}) sont le stade de lactation, le rang de lactation et l'âge de la vache. Le stade de lactation correspond au temps écoulé depuis le début de la lactation. En effet, la production laitière augmente petit à petit jusqu'à un pic (qu'on appelle le pic de lactation) où la production laitière est maximale, puis elle diminue au fur et à mesure jusqu'au moment du tarissement de la vache (moment où on arrête la production laitière, qui correspond à une période de deux mois précédant le futur vêlage). Le rang de lactation correspond au nombre de lactations qu'a déjà effectué la vache laitière.

Pour les primipares :

$$PL_{Pot} = PL_{MaxPot} * [1,084 - (0,7 * e^{-0,46 * SemL}) - (0,009 * SemL) - (0,69 * e^{-0,16 * (45 - SemG)})] \quad (INRA, 2010)$$

Pour les multipares :

$$PL_{Pot} = PL_{MaxPot} * [1,047 - (0,69 * e^{-0,90 * SemL}) - (0,0127 * SemL) - (0,50 * e^{-0,12 * (45 - SemG)})] \quad (INRA, 2010)$$

Avec $SemL$ et $SemG$ stade de lactation et de gestation exprimés en semaines, et PL_{MaxPot} correspondant à la production laitière potentielle au pic de lactation chez une vache bien alimentée.

La figure 1 montre l'évolution de la PL_{Pot} au cours de la lactation.
 La $PL_{Pot}(5)$ correspond à la production potentielle le 5^{ème} jour de lactation.

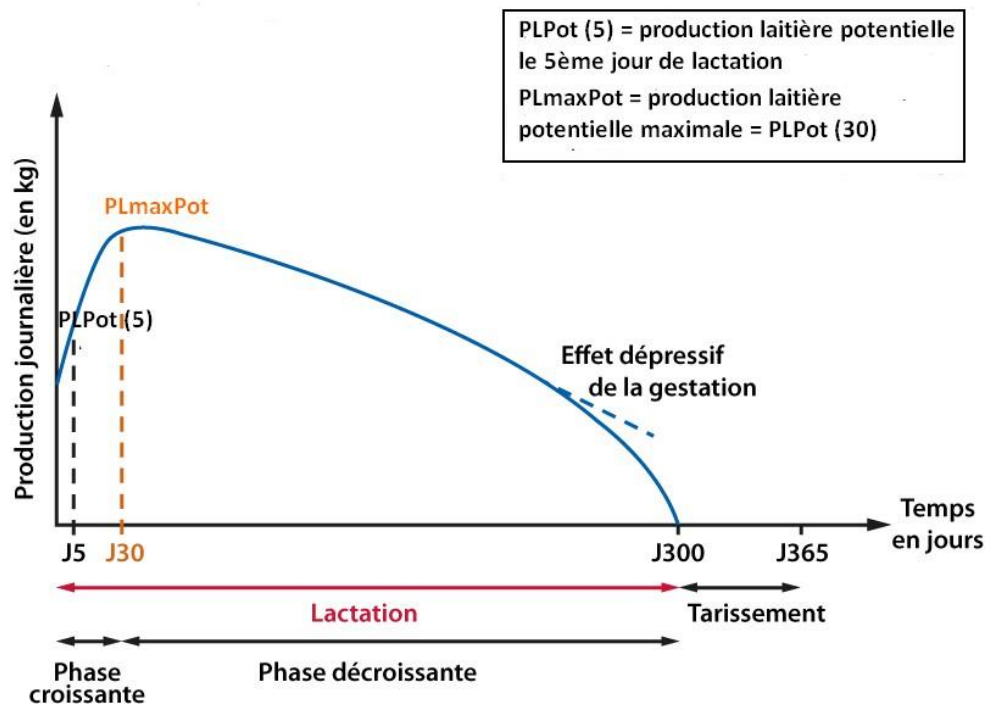


Figure 1 : courbe de lactation potentielle théorique.

La PL_{maxPot} augmente au cours des trois premiers rangs de lactation puis se stabilise avant de redescendre (figure 2).

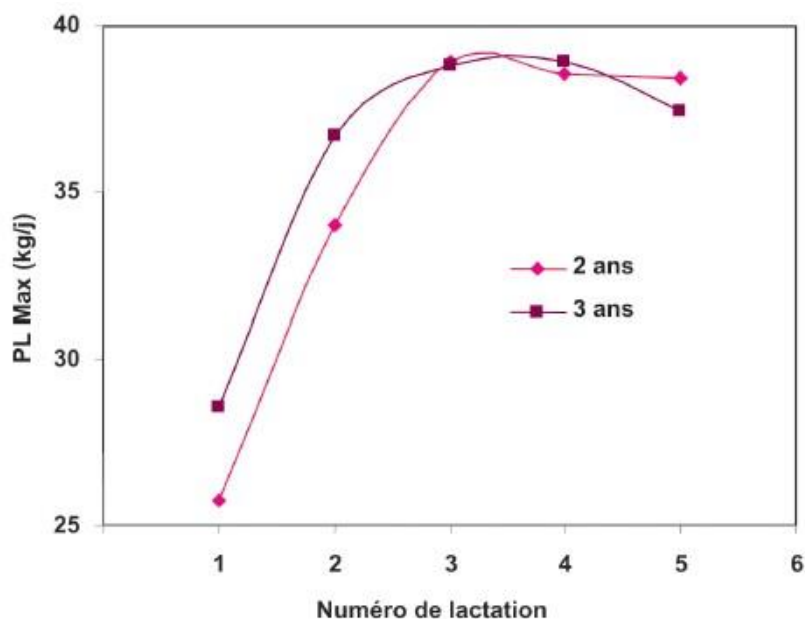


Figure 2 : évolution de la production de lait maximale (PL_{MaxPot}) chez des vaches Prim'Holsteins en fonction de l'âge au premier vêlage et du rang de lactation (*Leclerc et al, 1993*).

- ◆ 2 ans âge au premier vêlage : 2 ans
- 3 ans âge au premier vêlage : 3 ans

c) L'ingestion théorique

A partir de la CI, on peut calculer l'**ingestion théorique** des vaches laitières. Elle correspond à la quantité de matière sèche en kg par jour qu'une vache peut théoriquement ingurgiter. Elle prend en compte non seulement les caractéristiques de la vache (via la CI) mais aussi les caractéristiques de la ration (fibrosité, densité énergétique etc).

Les caractéristiques de la ration sont prises en compte grâce aux valeurs d'unités d'encombrement (UE) de chacun de ses composants. Les UEL, unités d'encombrement laitier, caractérisent l'aptitude d'un aliment à être ingéré par une vache laitière. Cela nous donne des indications sur la fibrosité de la ration, sur le volume qu'elle occupe dans le complexe réseau-rumen et sur sa vitesse de transit dans les pré-estomacs. C'est l'encombrement des réservoirs digestifs qui détermine la quantité d'aliment ingérée par la vache. Ainsi une autre formule de la capacité d'ingestion, équivalente à la première, est la suivante :
 $CI = \text{somme (MSI fourrages} \times \text{UEL fourrages} + \text{somme MSI concentrés} \times \text{UEL concentrés}),$
avec MSI la matière sèche ingérée en kg, UEL les unités d'encombrement laitier (INRA, 2010).

Chaque aliment possède une valeur d'encombrement qui lui est propre. Plus cette valeur est faible, plus la vache peut en ingérer une grande quantité. A l'inverse, une forte valeur d'encombrement va provoquer une saturation beaucoup plus rapide de la CI, et la vache ne pourra en ingérer qu'une faible quantité. Dans ce dernier cas, il se peut que la ration ne couvre pas les besoins de l'animal. Autrement dit, l'ingestion théorique d'une ration à fibres grossières chez une vache avec un rumen de taille réduite (fin de tarissement par exemple) sera beaucoup plus faible que celle d'une ration peu fibreuse chez une vache avec un développement ruminal important (3 mois de lactation par exemple).

L'ingestion théorique nous est donnée par la formule suivante :

$$\text{Ingestion théorique} = \frac{CI}{UEL \text{ ration}},$$

avec UEL ration correspondant à la somme des unités d'encombrement laitier de chacun des composants de la ration (INRA, 2010).

La valeur UEL des principaux fourrages a été mesurée expérimentalement et est répertoriée dans les tables de l'INRA 2007 mises à jour en 2010 (INRA, 2010).

Les tables de l'INRA ne prévoient pas de valeur d'encombrement pour les concentrés. Quand l'apport est faible par rapport à la ration totale, on considère souvent que leur valeur est égale à zéro. Quand l'apport est un peu plus important, ou pour être le plus précis possible, on calcule leur valeur à partir de la valeur d'encombrement des fourrages et du taux de substitution Sg. Le taux de substitution correspond donc au rapport entre la quantité totale de fourrage consommée en moins (en kg de matière sèche) et la quantité totale d'aliment concentré ingéré en plus (en kg de matière sèche). On le calcule selon la formule suivante :

$$UEL \text{ concentrés} = Sg * UEL \text{ fourrages} \quad (\text{INRA, 2010})$$

Le taux de substitution n'est pas constant. Il dépend de :

- la valeur d'encombrement du fourrage ;
- la quantité de concentrés distribuée et leur densité énergétique ;
- la densité énergétique des fourrages : si celle-ci augmente, la valeur d'encombrement du concentré augmente ;
- la situation énergétique de la vache ;
- le niveau de production de la vache : plus il est grand, moins la variation d'encombrement est importante. Autrement dit, la proportion de concentrés est plus faible et le taux de substitution est plus bas (figure 3).

Etant donné tous ces facteurs de variation, l'INRA (2010) propose une équation simplifiée permettant d'obtenir la valeur de Sg pour une production laitière souhaitée. On a ainsi Sg à l'équilibre, Sg_E, selon la formule suivante :

$$Sg_E = d * PL_{Pot}^{-0,62} * e^{1,32*DEF} \quad (INRA, 2010)$$

Avec d = 0,96 pour une vache primipare, d = 1,10 pour une vache multipare, DEF correspondant à la densité énergétique moyenne des fourrages de la ration.

Les concentrés se substituent aux fourrages, et c'est ainsi que leur encombrement est pris en compte.

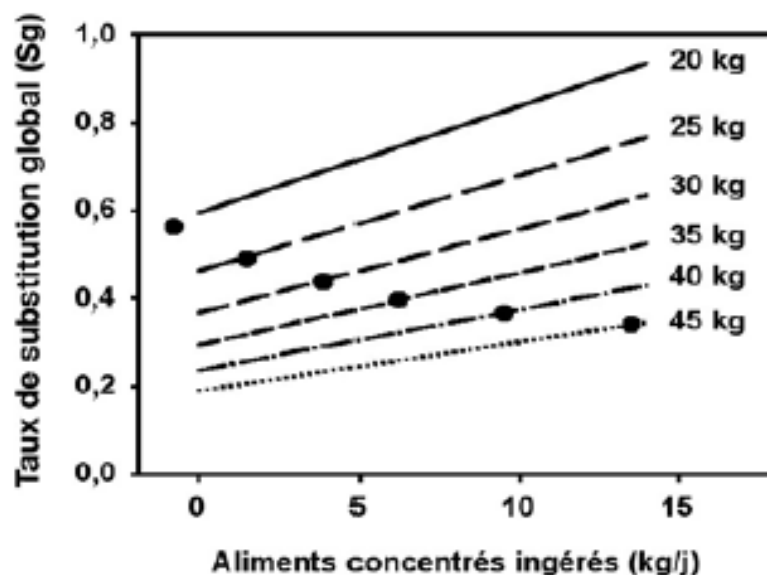


Figure 3 : évolution du taux de substitution global de l'aliment concentré en fonction de la quantité d'aliment concentré ingéré et du niveau de production potentiel des vaches (20 à 45 kg) pour une ration avec un fourrage de 0,9 UFL et 1 UEL par kg de MS. Dans ce cas, le Sg correspond à la valeur d'encombrement de l'aliment concentré. Les cercles pleins représentent la valeur du Sg lorsque la ration couvre les besoins. (Faverdin et al, 2006)

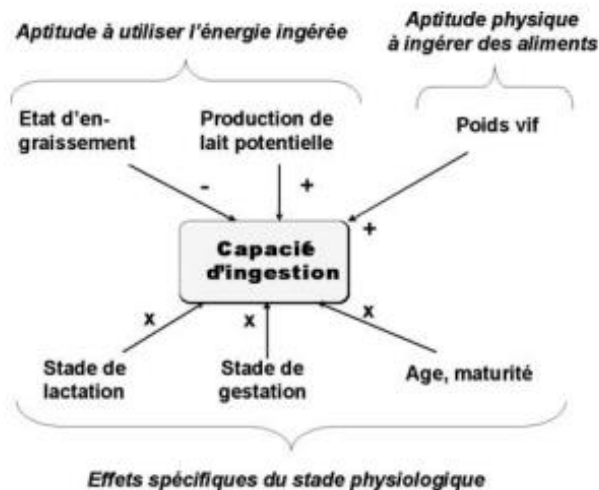
Le tableau II nous présente quelques valeurs du taux de substitution.

Tableau II : taux de substitution moyen entre fourrages et concentrés (Sg) selon la qualité du fourrage, pour les vaches laitières multipares (INRA, 2010).

Densité énergétique du fourrage UFL/UEL	Production laitière (kg/j)		
	20	30	40
0,60	0,36	0,31	0,29
0,70	0,44	0,37	0,33
0,80	0,50	0,39	0,34
0,90	0,60	0,43	0,35
0,95	0,66	0,46	0,36
1,00	0,66	0,50	0,39

2. Facteurs de variation

La CI varie selon différents facteurs qui sont présentés sur la figure 4.



Avec + = effet positif ; - = effet négatif ; x = effet proportionnel

Figure 4 : influence de différents facteurs sur la capacité d'ingestion (Faverdin et al, 2006).

a) Le poids vif

C'est le principal facteur de variation de la CI. Pour 100 kg de PV en plus, la CI est majorée de 1 kg de MS (ou 1,5 UEL) supplémentaire (figure 5, D'Hour et al, 1991).

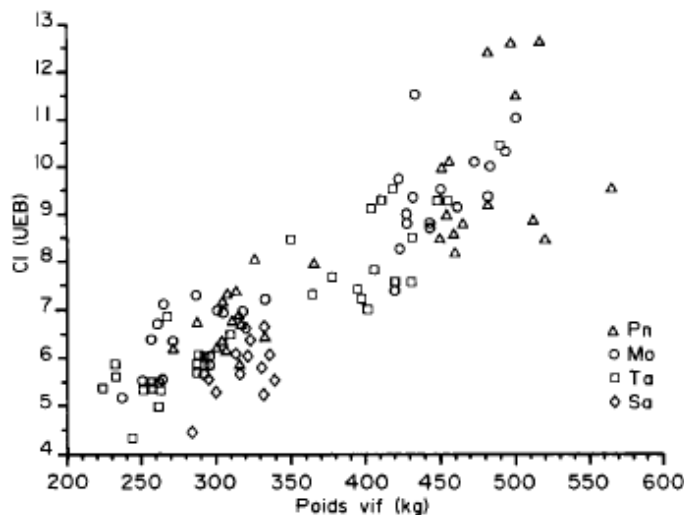


Figure 5 : capacité d'ingestion des génisses selon le poids vif (D'Hour et al, 1991).

Pn = Prim'Holstein ; Mo = Montbéliarde ; Ta = Tarentaise ; Sa = Salers

b) La production laitière potentielle (PL_{Pot})

Plus la capacité de la vache à produire du lait est importante, plus la CI est élevée. En effet, pour 1 kg de lait supplémentaire (en prenant la production laitière observée), la capacité d'ingestion est majorée de 350 à 400g de MS (ou 0,15 UEL), (Faverdin et al, 2007). En kg de lait potentiel, on obtient 150 à 250 g de matière sèche ingérée en plus par kg de lait potentiel de plus.

c) Les réserves corporelles

La note d'état corporel (NEC, notation sur une échelle de 1 à 5), permet une évaluation subjective de l'état d'engraissement sous-cutané des vaches.

Les vaches grasses (NEC = 4 ou 5) ingèrent moins que les vaches maigres (NEC = 1 ou 2). Cette plus faible consommation s'explique par un encombrement plus important des réserves adipeuses par rapport au complexe réticulo-rumen dans l'abdomen (« **théorie lipostatique** »), ainsi que par une régulation physiologique des centres de la prise alimentaire (*Faverdin et al, 2007*). En effet, le niveau d'engraissement semble servir de signal de régulation de l'ingestion, via la leptinémie. Les cellules du tissu adipeux produisent une hormone, la leptine, qui possède des récepteurs sur l'hypothalamus. Lorsque la leptine est détectée, un processus de rétroaction se met en place induisant une augmentation du métabolisme et la production de signaux de satiété, comme présenté sur la figure 6 (*Chilliard et al, 1999*). C'est par ce processus que l'on peut tenter d'expliquer la diminution de la capacité d'ingestion des vaches tarées trop grasses.

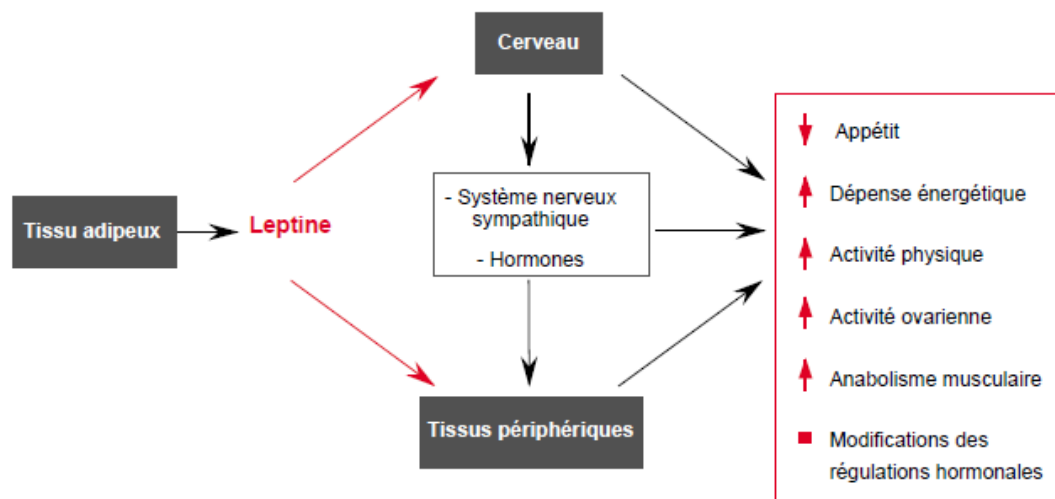


Figure 6 : régulation de l'appétit par la leptine (*Chilliard et al, 1999*).

Concrètement, une augmentation de 0,5 points (sur une échelle de 5) de NEC entraîne une diminution de la capacité d'ingestion de 0,75 UEL (*Faverdin et al, 2007*).

d) Les stades de lactation et de gestation

Les stades de lactation et de gestation ont un impact sur la capacité d'ingestion (CI). Ce paragraphe explique comment ces deux paramètres sont pris en compte dans la formule de prédiction de la CI de l'INRA (2010).

En fin de lactation et fin de gestation, la capacité d'ingestion diminue : le futur veau occupe la place dans l'abdomen au détriment du rumen, les besoins de production diminuent.

Au vêlage la capacité d'ingestion augmente progressivement avec l'involution utérine et l'augmentation de taille du rumen. De plus, les besoins de production étant plus importants, la capacité d'ingestion augmente. Cependant, la CI n'est souvent pas suffisante à ce moment-là pour couvrir l'intégralité des besoins et on a l'apparition d'un déficit énergétique. La vache laitière doit alors puiser dans ses réserves. Ce processus est d'autant plus accentué que la production laitière de la vache est importante (figure 7).

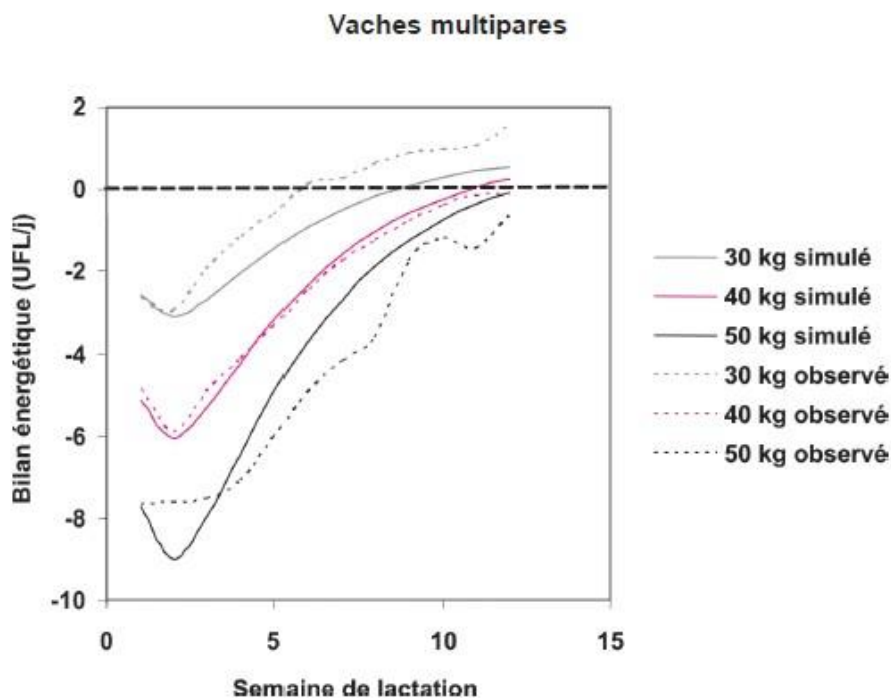


Figure 7 : évolution du déficit énergétique observé et simulé en début de lactation pour des vaches laitières multipares en fonction de leur production laitière au pic de production (*Leclerc et al, 1993*).

Inversement, il existe des périodes pendant lesquelles la vache peut reconstituer ses réserves, parfois jusqu'à un état d'engraissement excessif, par exemple avant le tarissement. Il existe donc un décalage permanent entre la capacité d'ingestion et les besoins de la vache laitière à un moment donné.

Le stade de lactation est pris en compte dans la formule de la capacité d'ingestion de l'INRA via l'indice de lactation IL. IL corrige la capacité d'ingestion des primipares et multipares au cours des premières semaines de lactation. La figure 8 présente son évolution suivant la semaine de lactation. La CI augmente progressivement pendant les 3 premiers mois de lactation jusqu'à un maximum.

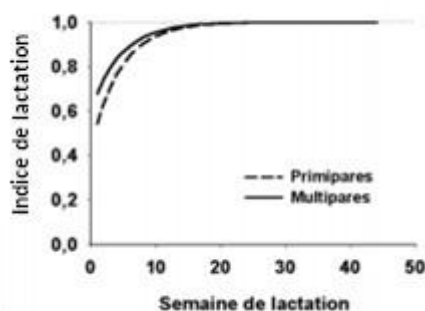


Figure 8 : IL en fonction de la semaine de lactation (*INRA, 2010*).

Le stade de gestation est pris en compte dans la formule de la capacité d'ingestion via l'indice de gestation IG. IG corrige la capacité d'ingestion les dernières semaines de gestation. En effet, la CI diminue en fin de gestation, comme la figure 9 le montre.

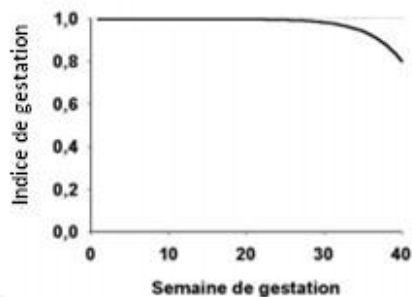


Figure 9 : IG en fonction de la semaine de gestation (*INRA, 2010*).

e) L'âge et le rang de lactation

Une primipare a une capacité d'ingestion moindre qu'une multipare, même si on la corrige selon le poids vif. De plus, plus l'âge au premier vêlage est précoce, plus la capacité d'ingestion sera faible. Ces deux paramètres sont pris en compte par l'indice de maturité IM (figures 10 et 11).

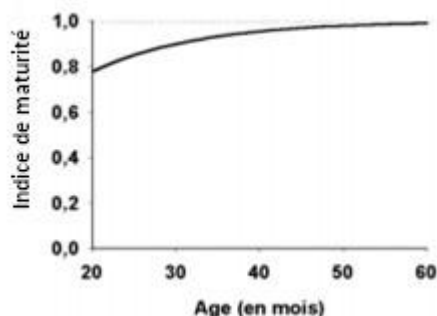


Figure 10 : IM en fonction de l'âge de la vache laitière (*INRA, 2010*).

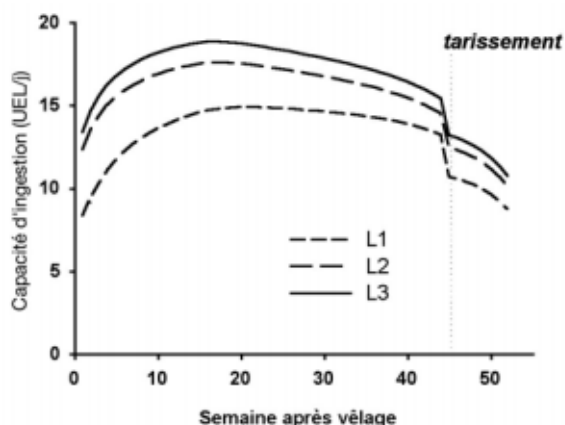


Figure 11 : évolution de la capacité d'ingestion d'une vache d'un potentiel adulte de 9000 kg de lait (en 305 jours) au cours des 3 premières lactations (L1, L2, L3) (*Faverdin et al, 2006*).

La baisse de CI au tarissement est due au fait qu'il n'y a plus de demande d'énergie par la mamelle ($PL_{Pot} = 0$). Cet effet n'est physiologiquement pas aussi rapide, mais permet de traduire la restriction alimentaire qui accompagne le tarissement.

f) La sélection génétique

Lorsqu'on sélectionne sur la production laitière afin de l'augmenter, la capacité d'ingestion augmente, et cela même au pâturage sans complémentation. Un écart de 5kg de lait au pic de lactation lié au potentiel génétique conduit à un écart de capacité d'ingestion d'environ 1 à 1,5 kg de MS (*Kennedy et al, 2003, Horan et al, 2006*). C'est pourquoi il faut calculer la CI en fonction de la PL_{Pot} et non pas la PL observée, celle-ci pouvant être biaisée par le rationnement en cours de distribution.

g) La race

Le type de production (vache allaitante / vache laitière), ainsi que la race semblent influencer sur la capacité d'ingestion.

(i) Vache laitière vs vache allaitante

Plusieurs auteurs démontrent qu'à un même poids vif, la capacité d'ingestion des vaches laitières est supérieure à celle des vaches allaitantes, de 10 à 15 %, comme le montre le tableau III (*Petit et al, 1994, Agabriel et al, 1987*).

Tableau III : comparaison de l'ingestion de fourrages par des vaches allaitantes ou vaches laitières.

Articles	Races	Ingestion de fourrages
Petit et al (1994)	Aubracs et Charolaises (allaitantes) par rapport aux Prim'Holstein (laitières)	- 10 %
	Salers (allaitantes) par rapport aux Prim'Holstein (laitières)	- 10 %
Agabriel et al (1987)	Salers et Limousines (allaitantes) par rapport aux Prim'Holstein (laitières)	Salers = 1,73 kg MSI / 100 kg PV Limousine = 1,44 kg MSI / 100 kg PV Prim'Holstein = 2,04 kg MSI / 100 kg PV

(ii) Au sein même des vaches allaitantes

La race semble être un facteur non négligeable de variation de CI. La capacité d'ingestion de vaches plus rustiques type Aubrac et Salers est au moins égale voire supérieure à celle de vaches du même âge et même poids mais de races à viande plus sélectionnées type Limousine, comme le montre le tableau IV (*Petit et al, 1994*).

Tableau IV : comparaison de l'ingestion de fourrages par des différentes races de vaches allaitantes (*Petit et al, 1994*).

Race	Ingestion de fourrages par rapport aux Limousines
Aubracs et Charolaises	+ 10 %
Salers	+ 13 %

Ces différences entre races pourraient être dues au format de la vache et à la production laitière (tableau V). La quantité de MSI serait ainsi plus faible chez les Aubrac (petit format), plus élevée chez les Charolaises (grand format), et encore plus élevée chez les Salers (les plus fortes laitières) (*Petit et al, 1994*).

Tableau V : quantités de foins ingérées (MSI, matière sèche ingérée) par différents types de vaches allaitantes (*Petit et al, 1994*).

	En gestation (8 ^{ème} mois)		En lactation (2 ^{ème} mois)		
	Poids (kg)	MSI (kg/j)	Poids (kg)	Lait (kg/j)	MSI (kg/j)
Charolaise ⁽¹⁾	670	11,0	647	6,9	12,3
Salers ⁽²⁾	612	10,4	595	9,7	12,3
Aubrac ⁽¹⁾	524	8,9	510	6,0	10,5
Salers ⁽²⁾	677	11,7	650	7,9	14,4
Limousine ⁽²⁾	617	8,9	599	6,2	11,9

Digestibilité de la matière organique des foins :

⁽¹⁾ 0,56 à 0,61

⁽²⁾ 0,59 à 0,64

(iii) *Au sein même des vaches laitières*

Le tableau VI répertorie les recherches effectuées sur l'influence de la race sur la MSI.

Tableau VI : influence de la race sur la matière sèche ingérée.

Articles	Ration	Races comparées	Différence de MSI	Différence de MSI rapportée au PV
Gruber et al (1991)	RTM	Holstein, Simmental, Brunes des Alpes	Non répertorié	Holstein : 20 % > Simmental Brunes des Alpes : 6 % > Simmental
Kristensen et al (2015)	RTM	Holstein, Jersey	Holstein : 20 % > Jersey	Jersey : 21 % > Holstein
Prendiville et al (2009)	Pâturage	Holstein, Jersey	Holstein : 15 % > Jersey	Jersey : 7 % > Holstein
Friggens et al (2007)	RTM	Holstein, Danish Red, Jersey	Non répertorié	Pas de différence au 14 ^{ème} jour post vêlage
Li et al (2016)	RTM	Holstein, Jersey, Danish Red	Holstein ≥ Danish Red >> Jersey	Non répertorié
Foldager et al (1994)	RTM	Red Danish, Holstein, Jersey	Holstein = Danish Red = 26 % > Jersey	Non répertorié

Une étude a été réalisée pour comparer les capacités d'ingestion prédites par le modèle de l'INRA à l'ingestion réelle, chez des vaches de race Prim'Holstein, Montbéliarde et Tarentaise nourries avec une ration composée de foin et concentrés. Les valeurs d'encombrement des fourrages ont été calculées à partir de l'ingestion des vaches Prim'Holstein.

Les génisses Montbéliardes et Tarentaises ont présenté une ingestion réelle égale à l'ingestion prédite par le modèle. Pendant la lactation, chez les vaches Montbéliardes (primipares et multipares), les quantités réellement ingérées ont été très proches des quantités prédites (-0,2 à +0,6 kg MS/j). Chez les vaches de race tarine, l'ingestion réelle des primipares été aussi très proche des quantités prédites (+0,1 kg MS/j). En revanche, chez les vaches tarines multipares,

l'ingestion observée semble bien plus faible (-1,8 kg MS/j) (Coulon et D'Hour, 1994, D'Hour et al, 1991). Ces résultats sont présentés sur la figure 12.

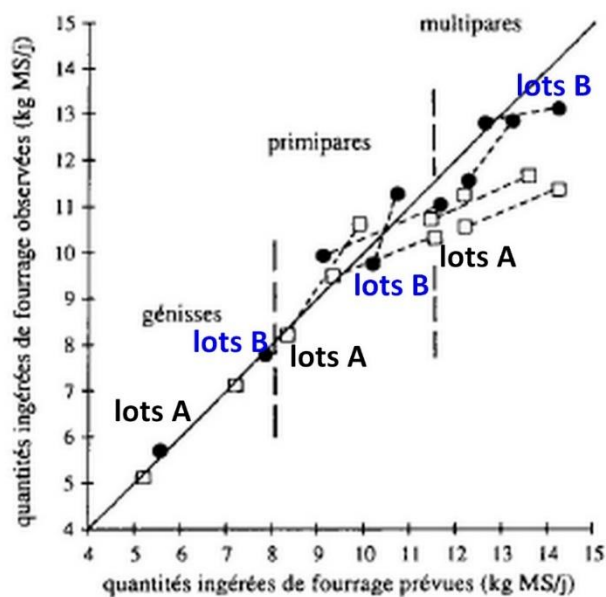


Figure 12 : comparaison entre la quantité prédite de fourrage ingéré et la quantité réelle de fourrage ingéré, selon la race, l'âge, et le niveau de complémentation.

- Vache montbéliarde
- Vache tarentaise

Lots A : haute complémentation, selon les recommandations INRA de 1988

Lots B : 3 kg de concentrés de production en moins par vache pour un même niveau de production attendue (1,07 UFL/kg MS, 126 g PDIN/kg MS, 115 g PDIE/kg MS)

Ainsi, il semble que les vaches multipares de race Tarine présentent une capacité d'ingestion inférieure de 1 UEL par rapport aux vaches de race Prim'Holstein et Montbéliarde.

L'auteur émet l'hypothèse que cette différence soit due à une NEC plus élevée chez les tarentaises. En effet, il semblerait que les Prim'Holsteins et Montbéliardes mobilisent davantage leurs réserves corporelles en début de lactation, ce qui accroîtrait leur capacité d'ingestion (Coulon et D'Hour, 1994). Cependant, au cours de la 4^{ème} lactation où les NEC étaient semblables (1,4 et 1,6 pour les Holsteins et Tarines respectivement), les vaches tarines ont ingéré 11,5 kg MS/j, soit 1 kg de MS/j de fourrage en moins que prévu.

h) Temps de rumination

Il semble qu'il ne permette aucun gain de précision dans la détermination de la MSI (Clément et al, 2014).

3. Les différents modèles de prédiction de l'ingestion théorique

De nombreux pays possèdent leur propre modèle de prédiction des quantités ingérées. Les différentes méthodes de prédiction des quantités ingérées peuvent être regroupées en 3 grands types : les équations de régression multiple, le système des deux prédictions et le système basé sur les unités d'encombrement (UE) des fourrages et la substitution de l'aliment concentré.

a) *Les équations de régression multiple*

Elles sont définies de manière empirique, grâce à des régressions multiples de résultats de données expérimentales (expériences dans lesquelles les vaches reçoivent tout ou une partie de la ration à volonté). Dans ce groupe, on relève trois sous-groupes : groupes prenant en compte uniquement les caractéristiques de l'animal, groupes prenant aussi en compte la ration, et enfin les groupes prenant en compte les caractéristiques de l'animal, la ration et l'environnement.

Les équations prenant en compte uniquement les caractéristiques de l'animal font intervenir le plus souvent le poids vif (PV ou VPV), la production de lait en kg (PL, ou PL4%), le stade de lactation (SL), le rang de lactation (primipares ou multipares via le FPM), et parfois le taux butyreux (TB).

Lorsque les équations prennent en compte la ration, c'est souvent la quantité de concentrés ou la proportion de concentrés qui intervient (C ou CR). Parfois les teneurs en fibres (ADF, CBF) ou tout autre composant, peuvent intervenir.

Enfin, lorsque l'équation prend en compte l'environnement, c'est souvent par le biais d'une constante corrigeant certaines conditions climatiques ayant une influence sur l'ingestion, comme par exemple la température (CT1).

Le tableau VII présente quelques exemples d'équations obtenues par régressions multiples.

Tableau VII : exemple d'équations de prédiction des quantités ingérées obtenues par régressions multiples.

Article de référence	Caractéristiques prises en compte	Equation utilisée Ingestion théorique Kg MS/j	Abréviations
Neal et al (1984)	Animal	$0,022*PV + 0,2*PL$	PL : production de lait kg/j PV : poids vif kg
Bines (1979)	Animal	$(1 + 0,2*FPM) * (4,25 + 0,0113*PV + 0,16*PL + 2,45*VPV)$	FPM : primipares=0, multipares=1 VPV : variation de poids vif kg/j
NRC (2001)	Animal	$[(0,372 * FCM + 0,0968 * BW^{0,75}) * \{1 - \exp[-0,192 * (WL + 3,37)]\}]$	WL: week of lactation FCM : fat-corrected milk BW ^{0,75} : poids métabolique
Yungblut et al (1981)	Animal et ration	$3,31 + 0,01*PV + 0,34*PL + 0,053*TB + 0,34*NL - 0,11*ADF$	TB : taux butyreux (g/kg) NL : numéro de lactation ADF : acid detergent fiber
Vadiveloo et al (1979)	Animal et ration	$0,076 + 0,404*C + 0,015*PV - 0,129*SL + 4,12*\log(SL) + 0,14*PL$	C : quantité d'aliment concentré kg MS/j SL : stade de lactation
Huhtanen et al (2008)	Animal et ration	<p>TDMI = $-2,9 + 0,258 \times sECM + 0,0148 \times BW - 0,0175 \times DIM - 5,85 \times \exp(-0,03 \times DIM) + 0,09 \times$ TDMI index;</p> <p>sECM = observed ECM + $0,131 \times (100 - TDMI \text{ index}) + 0,142 \times (90 - MP) - 0,0481 \times (150 - DIM) + 6,96 \times \exp(-0,07 \times DIM)$;</p> <p>TDMI index = SDMI index + CDMI index - 100;</p> <p>SDMI index = $100 + 10 \times [(D\text{-value} - 680) \times 0,0170 - (TA - 80) \times 0,0128 + [0,0198 \times (DM - 250) - 0,00002364 \times (DM^2 - 250^2)] - 0,44 \times a + 4,13 \times b - 2,58 \times b^2 + 5,90 \times c - 6,14 \times c^2 - 0,0023 \times (NDF - 550)]$;</p> <p>CDMI index = $100 + 10 \times [(CDMI - 0,1629 \times CDMI - 0,018823 \times CDMI^2 - 5,49) + [(0,9474 \times CCPI - 0,4965 \times CCPI^2) - 2,02 \times (CEPD - 0,74)] + 0,00225 \times (CNDF - 250) - 0,0103 \times (Cfat - 40) - 0,0058 \times (CDMI - 8,0) \times (SDMI \text{ index} - 100)]$</p>	<p>TDMI : matière sèche totale ingérée SDMI : index d'ensilage ingéré (en MS) CDMI : concentrés ingérés (en MS) sECM : energy corrected milk DIM : jours en lait MP : matière protéique TA : acides lactique +propionique+butyrique+acétique a : proportion de repousses dans l'ensilage « regrowth » b : proportion de légumes « legume » c : proportion de céréales« whole-crop cereal » CCPI : supplementary concentrate CP intake CNDF = concentration en NDF Cfat = concentration en matières grasses</p>
Cornell et al (1990)	Animal, ration et environnement	$(0,0185*PV + 0,305*PL4\%)* CT1 * BOUE$	PL4% : production de lait corrigée à 4% de matière grasse kg/j CT1 selon la température extérieure BOUE : coefficient correcteur en fonction de la portance du sol

b) Le système de 2 prédictions

Ces modèles utilisent deux équations. La première correspond à l'ingestion régulée de manière physique, c'est-à-dire jusqu'à ce que l'encombrement de la ration soit égale à la capacité d'encombrement du tractus digestif (cette équation fait l'hypothèse que le contenu digestif ne peut contenir une masse indigestible (ou lentement digestible) supérieure à une certaine fraction du poids vif de l'animal). La seconde correspond à la quantité ingérée permettant de couvrir les besoins énergétiques de l'animal (régulation de type énergétique). On conserve la valeur la plus faible des deux. Une seule équation est donc utilisée, bien que l'objectif de rationnement soit situé au point d'intersection entre les deux courbes. Ces modèles permettent de déterminer uniquement la capacité d'ingestion dans le cadre de rations complètes car ils ne prennent pas en compte les différents constituants de manière indépendante.

Tous ces modèles se basent sur le modèle de Conrad de 1996 qui est présenté sur la figure 13.

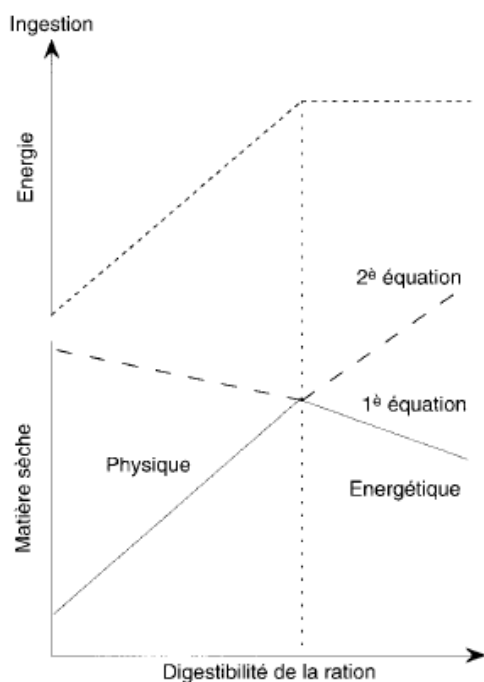


Figure 13 : principe des systèmes utilisant deux équations de prédiction (régulations physique et énergétique de l'ingestion) (*Conrad et al, 1996*).

Le tableau VIII présente des exemples de telles équations.

Tableau VIII : équations de prédiction de l'ingestion théorique se basant sur le système à deux prédictions.

Article de référence	Equation E quantité ingérée limitée par l'énergie	Equation P quantité ingérée limitée par l'encombrement physique du tractus digestif	Abréviations
Forbes (1977)	$0,45 \cdot 10^{(0,55 - 0,46 \cdot \log(\text{dMSR} \cdot 100) + 0,51 \cdot \log(2,2 \cdot \text{PV}) + 0,25 \cdot \log(0,73 \cdot \text{PL4\%} + 5 \cdot \text{VPV}))}$	$0,45 \cdot 10^{(1,53 \cdot \log(\text{dMSR} \cdot 100) + 1,01 \cdot \log(2,2 \cdot \text{R}) + 0,99 \cdot \log(2,2 \cdot \text{PV}) - 5,3)}$	PV : poids vif kg dMSR : digestibilité de la matière sèche de la ration PL4% : production de lait corrigée à 4% de matière grasse kg/j VPV : variation de poids vif kg/j $R = 4 \cdot (\text{PVVEL} / 5 - (\text{PV} - \text{PVVEL}) / 3) / (\text{PVVEL} / 5)$ PVVEL : poids vif après vêlage (kg)
Mertens (1987)	$(0,08 \cdot \text{PV}^{0,75} + 0,74 \cdot \text{PL4\%} - 4,92 \cdot \text{VPV} + 5,12 \cdot \text{VPV}) / (\text{C} \cdot \text{ENC} + (100 - \text{C}) \cdot \text{ENF} / 100)$	$1,2 \cdot \text{PV} / ((\text{CR} \cdot \text{NDF} / \text{C} + (100 - \text{CR}) \cdot \text{NDF}) / 100)$	ENC : énergie nette de l'aliment concentré (Mcal/kg MS) C : quantité d'aliment concentré kg MS/j ENF : énergie nette du fourrage (Mcal/kg MS) CR % de concentrés dans la ration NDFC : teneur en NDF du concentré NDF : teneur en NDF dans MS
NRC (1987)	$0,453 \cdot \text{PV}^{0,593} \cdot \text{PL4\%}^{0,33} \cdot \exp(0,16 \cdot \text{VPV}) / \text{DER}$	$1,1 \cdot \text{PV} / (100 - \text{dMSR} \cdot 100)$	dMSR : digestibilité de la MS de la ration DER : densité énergétique de la ration VPV : variation de poids vif (kg/j)
NorFor Volden et al (2011)	$a \cdot \text{DIM}^{0,134} \cdot \exp(-0,0006 \cdot \text{DIM}) - \text{DIM}^{0,55} + 0,091 \cdot \text{ECM} + (\text{BW} - f) \cdot 0,006$	$\sum \text{DMI}_i \cdot 0,22 + \sum \text{DMI}_j \cdot \text{FV}_j \cdot \text{FV_SubR} + \text{FV_MR}$	A et f : coefficient de régression primipare ou multipare DMI _i : concentrés ingérés (MS) DMI _j : fourrages ingérés (MS) FV _j : valeur alimentaire du fourrage j FV_SubR = taux de substitution (0 à 1) FV_MR = facteur de régulation métabolique

Dans ce type de système, une vache ne peut théoriquement pas consommer plus d'énergie que ses besoins. Cependant il est possible qu'elle s'engraisse, c'est-à-dire consomme plus que ses besoins, notamment lors du tarissement.

Ce système présente donc un biais pouvant fausser les prédictions.

c) **Le système basé sur les unités d'encombrement (UE) des fourrages et la substitution de l'aliment concentré**

Pour arriver à l'ingestion théorique, ces modèles font intervenir deux éléments :

- l'encombrement digestif des aliments via la valeur d'encombrement des fourrages (VEF), et des aliments concentrés (VEC) ;
- le volume du rumen, via la capacité d'ingestion (CI).

Ces modèles attribuent à chaque composant de la ration une valeur d'unités d'encombrement (UE). Cette valeur représente l'aptitude d'un aliment à être ingéré. Autrement dit, elle correspond à l'encombrement digestif de l'aliment, ou au rassasiement métabolique. Ainsi, plus un composant est grossier, comme la paille, plus il prend de la place dans le rumen et plus sa valeur en UE est grande. A l'inverse, moins un composant est fibreux, comme le regain, moins il occupe de place dans le rumen et plus sa valeur en unités d'encombrement est faible. Le tableau IX présente différentes valeurs d'unités d'encombrement.

La CI, la VEF et la VEC sont exprimées en UEL.

Tableau IX : unités d'encombrement de différents aliments (*INRA, 2010*).

Aliment	UEL (UE/kg)
Paille (blé, FP0020)	1,60
Foin (Ray Grass Anglais, début épiaison, FF1480)	1,06
Herbe (déprimage prairie permanente demi-montagne FV0150)	0,92

On considère que la **capacité d'ingestion** est égale à la somme pondérée de la valeur d'encombrement des différents fourrages et concentrés ingérés par la vache nourrie à volonté.

Le tableau X présente quelques exemples d'équations basées sur le système des unités d'encombrement.

Tableau X : équations de prédiction de l'ingestion basées sur les unités d'encombrement

Avec pour toutes les équations :

VEF : valeur d'encombrement du fourrage

VEC : valeur d'encombrement du concentré

F : quantité de fourrages ingérée (kg MS/j)

C : quantité d'aliment concentré ingérée (kg MS/j)

Modèle	Capacité d'ingestion et encombrement	Capacité d'ingestion et caractéristiques de l'animal	Abréviations
Hyppölä et Hasunen (1970)	$CI = F*VEF + C*VEC$	$0,109*PV^{0,75}$	PV : poids vif (kg)
Kristens en et Ingvarst en (1994)	$CI = F*VEF + C*VEC$	<p>Primipares=5,28+(PLTOT-6500)/1000*0,2+0,006*(PV-500)-2,22*exp(-0,28*SL)</p> <p>Multipares=6,48+(PLTOT-6500)/1000*0,2+0,006*(PV-500)-2,69*exp(-0,42*SL)</p>	<p>PLTOT: potentiel de production laitière par lactation (kg)</p> <p>SL : stade de lactation</p>
INRA (1987)	$CI = F*VEF + C*VEC$	$(1-0,1*(1-FMP))*(22-8,25*exp(-0,02*PL4%))+0,01*(PV-600)$	<p>FMP : multipare = 1 ; primipare = 0</p> <p>PL4% : production de lait corrigée à 4% de matière grasse kg/j</p>
INRA (2010)	<p>$CI = \sum MSI$</p> <p>Fourrages x UE</p> <p>Fourrages + MSI</p> <p>Concentrés x UE Concentrés</p>	$CI = [13,9 + (0,015 \times (PV-600)) + (0,15 \times PLPot) + (1,5 \times (3-NEC))] \times IL \times IG \times IM$	<p>PLPot : production laitière potentielle</p> <p>NEC : note d'état corporel</p> <p>IL-IG-IM : indice de lactation-gestation-maturité</p>
Zom et al (2012)	$CI = FIC = DMI * \sum_p (fp * SVp)$	$FIC(p, d, g) = \left[\alpha_0 + (\alpha_1 - \alpha_2 * d) * \left(1 - e^{-\rho\alpha * ((p-1) + \frac{d}{365})} \right) \right] * \frac{\beta * (t - e^{-\rho\beta * d})}{e^{1+e^{\rho\gamma * (\ln(d)-\gamma)}}} * (1 + \delta_g) * \left(\frac{g}{220} \right)$	<p>Fp : proportion du composant p dans la ration</p> <p>SVp : valeur de satiété du fourrages p</p> <p>p : parité</p> <p>g : jours de gestation</p> <p>d : jours en lactation</p> <p>δ_g : « rate parameter »</p>

Le modèle de l'INRA (1987) est très complet, puisqu'il prend en compte la production laitière, se base sur des valeurs plus précises d'encombrement des fourrages (nombre d'échantillons très élevés), utilise des valeurs d'encombrement des concentrés qui ne sont pas fixes mais qui sont proportionnelles au taux de substitution du fourrage en concentrés. Ainsi, les rations distribuées aujourd'hui, qui sont plus riches en concentrés du fait d'une plus grande production laitière, sont calculées de manière plus précise.

Le modèle de l'*INRA (2010)* est encore plus précis, car il prend en compte la mobilisation des réserves corporelles (surtout en début de lactation), et prend en compte la production de lait potentiel, et non pas la production réalisée qui pourrait justement être limitée par la ration actuelle.

Ces systèmes présentent toutefois quelques difficultés pratiques quant à la distinction fourrage-concentré. Par exemple, le maïs plante entière est considéré comme un fourrage lorsqu'il est sous forme d'ensilage alors qu'il contient une proportion importante de grains, mais lorsqu'il est déshydraté et présenté en gros bouchon il devient un concentré. Ceci pose un problème lorsque ces aliments de classe ambiguë sont présents en grande quantité dans la ration.

d) Comparaison des différents modèles

Il existe peu d'études sur ce sujet.

Il semble qu'il soit peu concluant d'utiliser un système de prédiction dans un pays différent de celui où il a été mis en place, les conditions de rationnement, les aliments utilisés et les races de vache étant différents (*Faverdin, 1992*). Chaque système permet donc de calculer une ration dans une situation type, mais ne s'adapte pas à toutes les situations possibles. Ce sont donc plus des outils de rationnement que des systèmes de prédiction des quantités ingérées. Le tableau XI présente les avantages et les inconvénients des trois types de systèmes.

Tableau XI : comparaison des modèles de prédiction des quantités ingérées (*Faverdin, 1992*).

Equations	Equations à régression multiple	Système des 2 prédictions	Système basé sur les UE
Avantages Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> . Equations simples . Uniquement pour les rations complètes . Valables si les conditions de rationnement sont les mêmes que celles sur lesquelles se base le modèle 	<ul style="list-style-type: none"> . Animal ne peut pas consommer plus d'énergie que ses besoins . Pas de prise en compte de la mobilisation des réserves corporelles . Uniquement pour les rations complètes 	<ul style="list-style-type: none"> . Diversité de rations prises en compte : ration complète ou concentrés à part . Calcul valable même si apports énergétiques différents des besoins . Prise en compte de la structure physique du fourrage, de la qualité de conservation des ensilages . Equations complexes → logiciel . Classification fourrage/concentrés ambiguë

Le système basé sur les UE semble être celui permettant de s'adapter au plus large panel de situations. Une grande diversité de ration peut être utilisée, même lorsque les apports sont différents des besoins (*Faverdin, 1992*).

Jensen et al, 2015 ont comparé 5 modèles de prédiction des quantités ingérées, les modèles du NRC (*NRC, 2001*), NorFor (*Volden et al, 2011*), TDMI (*Huhtanen et al, 2011*), Zom (*Zom et al, 2012*) et Gruber (*Gruber et al, 2004*). Les résultats sont présentés sur le tableau XII.

Tableau XII : différence entre 5 modèles de prédiction de la matière sèche ingérée de vaches laitières nourries avec une ration totale mélangée (*Jensen et al, 2015*).

Modèle de prédiction	Ingestion théorique (kg MS/VL/j)	Ingestion réelle (kg MS/VL/j)
NRC	21,7	20,3
NorFor	21,7	21,3
TDMI	20,2	20,3
Zom	21,9	20,3
Gruber	20,5	20,3

L'ensemble des modèles semble surévaluer l'ingestion théorique lors d'ingestion élevée et la sous-estimer lors d'ingestion faible.

Plus précisément, les modèles NRC et Zom semblent sur-évaluer la capacité d'ingestion de manière générale. Les modèles Gruber, NorFor et TDMI sur-évaluent l'ingestion quand la production de lait est importante. Le modèle Gruber semble permettre, parmi ces 5 modèles, la meilleure approximation de l'ingestion théorique (*Jensen et al, 2015*).

Krizsan et al (2014) ont comparé les modèles du NRC (*NRC, 2001*), du CNCPS (Cornell Net Carbohydrate and Protein System ; *Fox et al, 2004*), de **Vadiveloo et Holmes (1979)**, de NorFor (*Volden et al, 2011*), TDMI (*Huhtanen et al, 2011*). Les résultats montrent que les modèles NRC et NorFor surestiment un peu l'ingestion. Les autres modèles de cette étude semblent légèrement sous-évaluer l'ingestion de matière sèche.

Lorsque le modèle prend en compte la production laitière, il s'agit de la production permise par la ration actuellement distribuée. Cette valeur ne permet donc pas de prédire l'ingestion d'une ration différente. La production de lait n'est généralement pas connue au moment de la prédiction des quantités ingérées. **Keady et al (2004)**, montrent que si elle l'est, l'insérer dans l'équation de prédiction ne permet que de maintenir cette production. Certains modèles tentent de détourner ce phénomène. **Faverdin et al (2011)**, utilisent la production de lait potentielle, qu'ils obtiennent à partir d'une de lactation théorique. **Huhtanen et al (2011)**, utilisent la production laitière standardisée (qui correspond à la production de lait observée, corrigée selon une ration standard à 150 jours de lactation).

Tous ces modèles qui présentent des limites ont été corrigés au fur et à mesure. Le modèle actuel utilisé en France, celui de l'INRA, est en perpétuelle amélioration. Le modèle **INRA (2010)** permet une prise en compte du stade de lactation, et plus particulièrement du début de lactation, qui était difficile à modéliser. De plus, il prend en compte le phénomène de mobilisation des réserves corporelles à travers la note d'état corporelle et le poids vif.

Aujourd'hui, un nouveau modèle est en construction, le projet Systali (**INRA, 2018**). La CI dépendra des facteurs déjà pris en compte dans le modèle **INRA (2010)**, mais aussi l'effet positif de la concentration en protéines digestibles dans l'intestin (PDI) de la ration sur l'ingestion de matière sèche (*Sauvant et al, 2015*).

B. L'ingestion réelle

1. Définition

Elle correspond à la quantité de la ration réellement ingérée par les vaches de manière volontaire, soit la quantité distribuée en excès, en soustrayant le poids des refus. On l'exprime en **kg de matière sèche ingérée (MSI)**. Elle dépend des caractéristiques de la vache, autrement dit de sa capacité d'ingestion et des caractéristiques de la ration (valeur d'encombrement des différents composants).

Tout comme l'ingestion théorique, elle est régulée **de manière volumétrique** par le volume des pré-estomacs (mécano- et tenso-récepteurs de la paroi du rumen), le gabarit, l'encombrement fœtal, le stade de lactation (début ou fin de lactation), par la vitesse de transit, l'encombrement des aliments, la qualité de leur broyage physique, de leur dissolution chimique etc.

De plus, l'ingestion volontaire peut être altérée par toutes les maladies engendrant de la fièvre, ou par toute maladie métabolique type excès d'acide lactique (lors d'acidose). On parle de régulation **biochimique** (ou métabolique).

En effet, la prise énergétique est ajustée aux besoins de la vache, selon la quantité d'acides gras volatils absorbés. Des recherches menées sur des ovins ont montré que le duodénum possédait des récepteurs sensibles à l'acidité (aux acides gras volatils, et non pas au glucose), impliqués dans la régulation de l'ingestion. En outre, il a également été mis en évidence que l'injection de propionate dans le foie entraînait une diminution de la prise alimentaire. Cette conclusion a un intérêt particulier lorsque l'on sait que le propionate est le principal acide gras volatil (AGV) de la néoglucogénèse (**Wolter, 2012**).

Un excès de corps cétoniques circulants (comme le β -hydroxybutyrate) lors de cétose peut également réduire l'ingestion des ruminants. Ces corps sont produits lorsque le bilan énergétique est négatif, et qu'il existe une carence en glucose.

2. Facteurs de variation

Le stade physiologique, les aspects physiques et chimiques de la ration, et l'environnement influencent la taille et la fréquence des repas de la vache laitière, et donc la quantité ingérée (**Allen et al, 2009**). La figure 14 présente ces facteurs de variation.

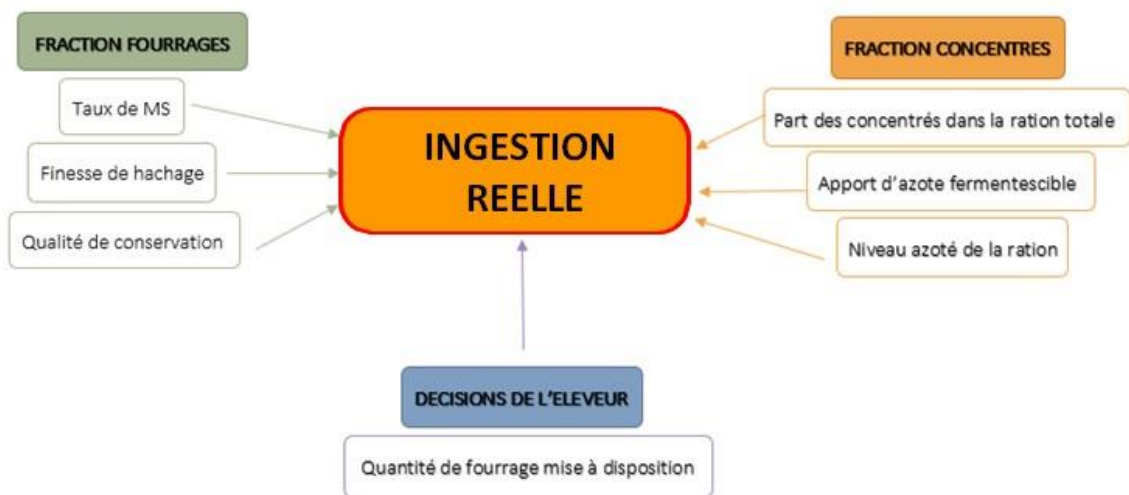


Figure 14 : les leviers d'action pour agir sur l'ingestion réelle des vaches laitières (*Institut de l'élevage, 2010*).

a) Caractéristiques de la ration

Les bovins, étant des animaux à préhension linguale, sont capables de trier les aliments, que ce soit au pâturage ou lorsqu'on leur présente une ration à l'auge. Il est courant de constater la présence de refus, constitués des fibres les plus grossières de la ration lorsque la distribution se fait à l'auge. Au pâturage, certaines parties des parcelles peuvent être délaissées par les vaches, comme par exemple les zones à myrtilles en montagne. L'ingestion réelle est donc parfois différente de l'ingestion théorique. Différentes astuces visant à augmenter l'ingestion des vaches existent, que ce soit en qualité ou en quantité.

(i) Valeur d'encombrement

Le raisonnement est le même que pour l'ingestion théorique. Si les composants de la ration ont des fortes valeurs d'encombrement (UEL), la vache ingérera une quantité de MS moindre par rapport à une ration dont la valeur d'encombrement serait plus faible.

La part de concentrés dans la ration va influencer la quantité de fourrage ingérée via le taux de substitution. Pour faire ingérer davantage de fourrage, il est nécessaire de les distribuer à volonté et de diminuer l'apport de concentrés (en surveillant que les besoins énergétiques soient tout de même couverts).

(ii) Le taux de MS

Le rôle de la quantité de MS des fourrages sur l'ingestion n'est pas encore bien déterminé.

L'ajout d'eau extérieurement au fourrage ne semble pas avoir d'influence sur l'ingestion, si la capacité d'ingestion des vaches est importante (*Cabrera Estrada et al, 2003*). En revanche, pour une capacité d'ingestion plus faible, et si l'ajout d'eau se fait directement dans l'herbe (par

drainage pendant 5 min où on laisse tremper l'herbe dans des tanks remplis d'eau), l'ingestion semble diminuer (de 5 % (*Vérité et al, 1970*) à 22 % (*Phillips et al, 1991*)). Le tableau XIII illustre ce phénomène sur l'ingestion d'ensilage de maïs à différents taux de MS.

Tableau XIII : influence du taux de MS d'un ensilage de maïs sur l'ingestion réelle des vaches laitières (*Institut de l'élevage, 2010*).

% MS	20	25	30	35
Ingestion réelle (kg MS/ VL/ j	13,9	14,9	15,6	16,7

Pour limiter la quantité de poussières dans les rations sèches (sans ensilage), il est souvent d'usage de mouiller la ration. Cette pratique permet aussi d'homogénéiser la ration et de limiter le tri effectué par les vaches. Une faible quantité d'eau ajoutée ne semble pas influencer l'ingestion réelle. Cette pratique est interdite dans certaines AOP (AOP Beaufort par exemple) car cela peut altérer la conservation des fourrages.

(iii) *Mycotoxines*

Le DON (déoxynivalénol), le DOM (dé-époxy-déoxynivalénol) et le ZON (zéaralénone) sont des mycotoxines produites essentiellement par *Fusarium* spp (DON et DOM) ou par *Fusarium graminearum* (ZON), directement sur les céréales (type maïs, orge, avoine...) dans les champs si les conditions sont humides et fraîches. La contamination peut se poursuivre au début du stockage si les conditions de conservation de l'ensilage ou enrubannage sont mises en place tardivement. Ainsi on peut retrouver ces mycotoxines dans l'aliment à l'ouverture du silo ou au niveau du front d'attaque.

La présence de mycotoxines dans les fourrages des vaches laitières n'a pas un effet strictement établi, comme le montre le tableau XIV, bien qu'il semble que la tendance corresponde à une diminution de l'ingestion de MS.

Tableau XIV : effets des mycotoxines sur l'ingestion des vaches laitières

Avec DON = déoxynivalénol, DOM = dé-époxy-déoxynivalénol, ZON = zéaralénone

∩ = chute

Article	Molécule et dose	Effet Ingestion matière sèche	Effet rendement laitier
Winkler et al, 2014	5 ppm de DON	Aucun	Aucun
Ingalls, 1996	8 ppm de DON	Aucun	Aucun
Trenholm et al, 1985	6,4 ppm de DOM	∩ - 1kg /100 kg de PV	∩
Charmley et al, 1993	2,6 à 6,5 ppm de DOM	Aucun	∩ - 13 %, soit 1,4 kg / jour
Diaz et al, 2001	2,5 ppm de DON	Aucun	∩ -1,5 kg / jour
Coppock et al, 1990	1,5 ppm de ZON et 1,5 ppm de DON	∩	∩

(iv) Conservation des fourrages

Une bonne conservation des fourrages permet un maintien de leurs valeurs nutritives et de leur appétence. Il est important de conserver une bonne appétence de la ration car une faible appétence est susceptible de provoquer une baisse de l'ingestion.

Une mauvaise technique de conservation des fourrages, en particulier des fourrages humides fermentés type ensilage et enrubannage, peut provoquer une diminution significative du taux de MS et des nutriments contenus dans le fourrage. Lorsqu'un silo n'est pas couvert, on perd plus de 30 % de MS. Plus l'ensilage est situé près des murs, plus la perte de MS sera importante, car l'étanchéité de l'emballage peut être diminuée et la quantité en O₂ peut alors être plus grande au démarrage, ce qui engendre des fermentations plus longues. Une mauvaise technique de conservation aboutit à des altérations de l'ensilage. Une ingestion de 16 % d'ensilage altéré provoque une chute significative de la MSI (*Bernard, 2008*).

De mauvaises conditions de récolte (sous la rosée), ou de mauvaises conditions de stockage (sur sol humide, condensation sous la bâche), peuvent être à l'origine du développement de moisissures dans le foin et la paille. La distribution aux vaches des zones moisies et noircies de ce fourrage est à l'origine de la contamination (*Bailly et al, 2013*). Le tableau XV présente les effets des moisissures sur la santé des vaches. Tous ces effets peuvent conduire à une diminution de l'ingestion.

Tableau XV : principales toxines produites par *Aspergillus fumigatus* et *Stachybotrys chartarum*, et leurs effets (*Bailly et al, 2013*).

Espèce fongique	Toxines produites	Substrats impliqués	Principaux effets
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Fumigaclavines	Foin, ensilage	Alcaloïdes : diarrhée, perte d'appétit, entérite
	. Fumigatine . Fumigatoxine . Fumitoxine	Foin, ensilage	Toxines trémorgènes
	. Fumitrémorgine . Festuclavine		
	Verruculogène		
	Gliotoxine	Foin, ensilage	Immunosuppression
<i>Stachybotrys chartarum</i>	. Satratoxines (F, G, H) isosatratoxines . Roridines (A, C, E) . Verrucarines (A, B, C) . Stachybiocines (A, B, C, D)	Paille, foin	Erosion muqueuses, hémorragies, diarrhée, hyperthermie, myosite, mort subite

(v) La finesse de hachage

Il semble que plus le hachage soit fin, meilleure soit l'ingestion, car le volume de la ration dans le rumen sera plus faible. Des particules courtes (5,5 mm) ou moyennes (8,1 mm) permettent une augmentation de 1,3 à 1,5 kg de MSI/j, par rapport à des particules longues (14 mm) (*Zebeli et al, 2009*).

Cependant, on recommande une longueur de fibres efficaces de 3 à 5 cm, pour une bonne stimulation du rumen par effet grattant. Ces fibres efficaces favorisent la mastication, qui stimule à son tour la salivation. La salivation permet une production de substances tampons permettant la régulation du pH dans le rumen. Par ce biais, les rations hautement énergétiques souvent acidogènes sont mieux valorisées. Ce mécanisme explique également qu'un défaut de mastication dû à un hachage trop fin, ou à des fibres efficaces de longueur trop courte ou trop longue puisse engendrer un phénomène d'acidose ruminale subaiguë.

(vi) Supplémentation en matière grasse

Une étude tend à montrer qu'une supplémentation en matière grasse de la ration n'a aucun effet sur la matière sèche ingérée (MSI) (*Alstrup et al, 2015*).

(vii) Proportion d'amidon

La proportion d'amidon est semblable à la proportion de concentrés dans la ration. Parmi les fourrages, c'est l'ensilage de maïs qui apporte la plus grande quantité d'amidon. En dépassant un certain seuil d'amidon dans la ration, une acidose ruminale peut se développer et l'ingestion réelle diminue. La proportion d'amidon susceptible de provoquer des acidoses ruminales dépend du type d'amidon, comme le montre le tableau XVI.

Tableau XVI : proportion d'amidon dans la ration au-delà de laquelle il y a un risque d'acidose ruminale (*Institut de l'élevage, 2010*).

Type d'amidon	Seuil risque acidose ruminale
Blé	28 % dans MS
Maïs grain	40 % dans MS
Ensilage de maïs	38 % dans MS

Il semblerait que plus la proportion en aliment concentré est importante, plus l'ingestion totale augmente. L'étude de *Faverdin et al (1998)* met en évidence ce phénomène sur une ration à base d'ensilage de maïs, sur la figure 15. Ce phénomène pourrait être dû au plus faible encombrement des concentrés par rapport aux fourrages.

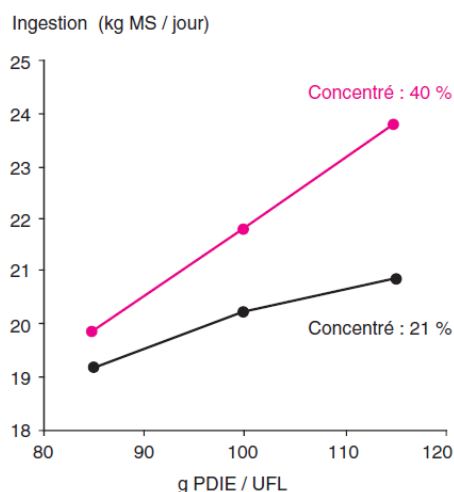


Figure 15 : variation de l'ingestion en fonction des teneurs en protéines et en aliments concentrés de rations complètes à base d'ensilage de maïs (*Faverdin et al, 1998*). Les PDIE correspondent aux protéines digestibles de l'intestin lorsque c'est l'énergie disponible qui limite la protéosynthèse, c'est-à-dire à la valeur azotée de l'aliment. Les UFL correspondent aux unités fourragères lait, c'est-à-dire à la valeur énergétique de l'aliment. Le rapport PDIE/UFL permet d'évaluer l'équilibre entre les acides aminés et l'énergie dont dispose la vache après digestion

(viii) Teneur en azote dans la ration

L'apport d'azote dans la ration intervient à deux niveaux :

- Il permet la nutrition protéique de la microflore ruminale. Les bactéries protéolytiques dégradent l'azote dégradable en ammoniac. L'ensemble des bactéries du rumen synthétisent à partir de celui-ci leurs propres acides aminés, qui seront associés ensemble afin d'obtenir des protéines. La figure 16 représente ces réactions.



Figure 16 : réactions biochimiques de synthèse des acides aminés bactériens

- Il permet la nutrition protéique des vaches laitières.

L'azote fermentescible (ou azote dégradable) correspond à toutes les formes d'azote pouvant être dégradées par les bactéries du rumen, via un processus de fermentation. Il peut être contenu dans des aliments riches en azote rapidement dégradables de type herbe jeune, graine de protéagineux sous forme d'azote protéique ; ou peut correspondre à de l'azote non protéique de type urée.

L'azote fermentescible impacte l'efficacité des dégradations microbiennes et ainsi la vitesse de vidange du rumen. Une quantité suffisante d'azote dégradable permet une bonne activité cellulolytique, une bonne dégradation des parois et ainsi une meilleure digestibilité de la ration (**Chenost et Dulphy, 1987**). De ce fait, la vache dont le rumen s'est vidangé rapidement, est à nouveau capable d'ingérer une nouvelle portion de la ration, car elle n'est plus limitée par l'encombrement volumétrique de la ration ingérée précédemment (figure 17).

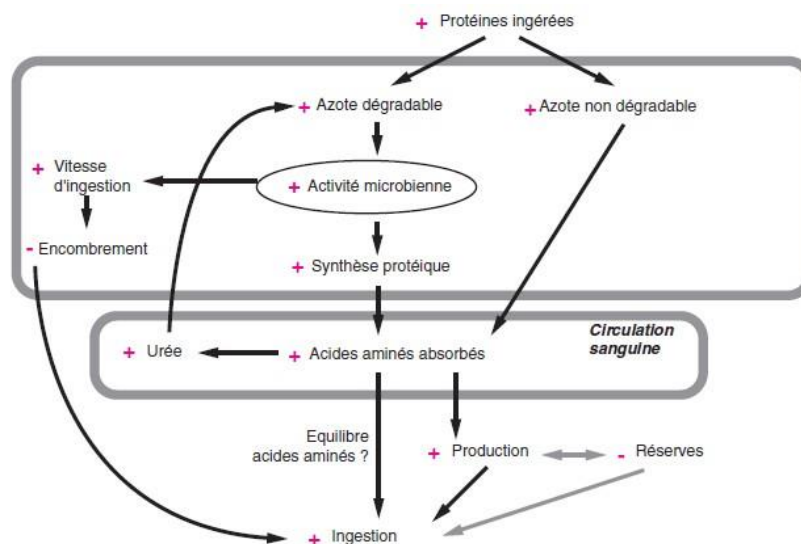


Figure 17 : mécanisme d'action des protéines dans la régulation de l'ingestion (**Faverdin et al, 2003b**).

Dans le système de rationnement INRA, on vérifie que l'apport en azote fermentescible est suffisant à l'aide du rapport microbien (Rmic) de la ration, c'est-à-dire le rapport $\frac{(PDIN-PDIE)}{UFL}$,

qui doit être inférieur à seuil (- 8, - 4 ou 0 g/UFL, en fonction du niveau de production de lait de la vache).

On observe des rations pauvres en azote fermentescible dans les cas suivants :

- La ration est à base d'ensilage de maïs. Dans ce cas, on obtient un Rmic compris entre - 25 et - 20 g/UFL, car l'ensilage de maïs contient peu d'azote fermentescible. Dans ce cas, pour combler cette carence, il est obligatoire d'apporter une source de protéines supplémentaire, avec un fort taux d'azote dégradable.
- La ration contient des fourrages très pailleux.
- La ration contient un excès d'aliments protéiques traités pour rendre l'azote peu dégradable, type tourteaux tannés.

En augmentant la teneur en azote dégradable dans une ration où la digestion microbienne est insuffisante (Rmic négatif), l'ingestion augmente (*Benhamed et Dulphy, 1986*). **Rico-Gomez et Faverdin (2001)** estiment cette augmentation à 1 kg de matière sèche ingérée en plus par jour, pour une augmentation de 14 g de PDIE/UFL.

Le tableau XVII illustre ce phénomène dans une ration à base d'ensilage de maïs, c'est-à-dire dans une ration ayant un Rmic négatif.

Tableau XVII : effet de l'apport d'urée dans une ration d'ensilage de maïs offert à volonté sur l'ingestion et la production de vaches laitières en début de lactation (*Journet et al, 1983*).

	Sans urée	Avec urée
Ingestion (kg MS/jour)		
- Urée	0,0	0,21
- Ensilage de maïs	11,7	13,8
- Ration totale	15,7	18,0
Production		
- Lait 4% (kg/jour)	26,1	30,8
- Taux butyreux (g/kg)	42,4	44,4
- Taux protéique (g/kg)	33,3	33,7
Perte de poids vif vide maximale (kg)	65,6	51,8

Lorsque le déficit est très léger (entre 0 à 8 g), l'apport d'azote dégradable n'améliore pas l'ingestion. Cela semble être dû au recyclage endogène d'urée (urée salivaire) (*Rico-Gomez et Faverdin, 2001*).

Si on ajoute de l'azote dégradable dans une ration où la nutrition azotée de la microflore ruminale est déjà assurée, l'excès n'est pas valorisé. De plus, cet excès n'aura aucun effet sur les quantités ingérées (*Kertz et al 1982, Rooke et al 1987, Choung et Chamberlain 1995*). Enfin, il pourrait engendrer une production trop importante d'ammoniac, impliquant une diminution de la motricité ruminale, une diminution de l'activité microbienne et une baisse significative de l'ingestion (*Kertz et al 1983, Choung et al 1990*).

Ainsi, pour obtenir une ingestion maximale, il est recommandé d'avoir un bon équilibre en azote dégradable (valeur de PDIE proche de PDIN), et de respecter une teneur légèrement plus élevée en protéines. Une augmentation de la concentration en matières azotées de 7-8 g provoque une augmentation de l'ingestion de 1 kg de MS/j/VL (*Institut de l'élevage, 2010*).

La figure 18 montre l'influence du rapport PDIE/UFL sur la quantité de MSI.

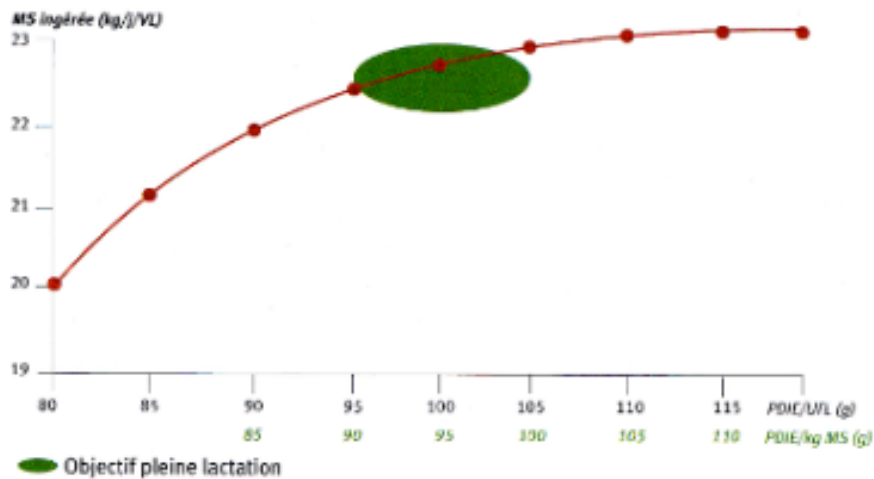


Figure 18 : influence du niveau d'apport de protéines (PDIE) sur l'ingestion de MS totale des vaches laitières (*Vérité et Delaby, 1998*).

(ix) Vitesse de transit

La vitesse de transit d'un aliment est déterminée principalement par le temps de vidange de celui-ci dans les pré-estomacs. Plus le temps de vidange est rapide, plus l'animal peut en ingérer une grande quantité. Cette vitesse dépend de l'encombrement initial de la ration mais aussi de la mastication et de la digestion chimique. Ces deux dernières permettent de réduire le contenu ruminal en fines particules. En effet, il faut une réduction des particules jusque 3 à 6 mm pour pouvoir quitter le rumen et passer dans la caillette.

b) Conduite du rationnement

(i) Les stratégies de rationnement

L'ordre de distribution des différents composants de la ration (les fourrages et les aliments concentrés) a un impact sur la quantité de matière sèche ingérée et sur la valorisation de la ration.

Par exemple, lorsque les fourrages sont distribués en grande proportion le matin, et faible proportion la nuit, les quantités de matière sèche ingérées diminuent (ainsi que le taux butyreux du lait) (*Rottman et al, 2015*). A l'inverse, lorsque la ration distribuée le matin contient peu de fourrage et que celle distribuée la nuit en contient une grande proportion, la quantité de matière sèche ingérée et le taux butyreux du lait augmente.

Il existe différentes techniques de distribution de la ration, notamment concernant l'ordre de distribution entre l'apport des fourrages et des aliments concentrés. On distingue les rations totales mélangées, les rations semi-complètes et les rations semi-individuelles. Elles présentent toutes des avantages et des inconvénients, pour l'éleveur et pour la microflore ruminale (qui reçoit ou non tous les nutriments dont elle a besoin au même moment), et sont présentées dans cette partie.

- Ration complète ou ration totale mélangée (RTM)

Dans ce type de ration, les minéraux, le fourrage, les concentrés et les vitamines sont mélangés avant d'être distribués aux vaches laitières. Quel que soit leur stade de lactation les vaches

reçoivent la même quantité. Il y a une certaine adaptation de la quantité ingérée en fonction de la production laitière de la vache. L'apport des fibres et des concentrés se faisant en même temps, ce type de ration permet un fonctionnement optimal du rumen et une limitation du risque de maladie métabolique. En effet, l'entrée de substrat rapidement fermentescible dans le rumen se fait de manière constante et en même temps que l'apport de fibres efficaces (*Coppock et al, 1981*). Cette ration permet donc d'éviter une baisse d'ingestion qui serait due à de l'acidose (**cf I.B.2.d**).

Dans la pratique, les vaches laitières fortes productrices ont tendance à être sous-alimentées alors que les plus faibles productrices sont suralimentées, si les vaches ne sont pas divisées en plusieurs lots.

- **Ration semi-complète**

Dans cette ration, l'éleveur distribue une ration de base constituée d'un mélange de concentrés, fourrages et minéraux, mais la quantité de concentrés est plus faible que dans la ration complète. L'éleveur distribue donc la quantité de concentrés manquante à certaines vaches de manière individuelle selon leur production (concentré de production). Cette distribution peut se faire via un DAC (distributeur automatique de concentrés), ou lors de la traite, ou directement à l'auge. Cette technique permet de couvrir les besoins de production de manière plus précise mais elle reste chronophage pour l'éleveur si celui-ci n'utilise pas de DAC. Ce type de ration se rapproche de la ration totale mélangée. En effet, l'apport des fibres et d'une partie des concentrés se fait donc au même moment, permettant un meilleur fonctionnement du rumen. L'apport de concentrés supplémentaires pour les plus hautes productrices au DAC se fait de manière fractionnée. Ainsi, l'effet acidogène (susceptible de réduire l'ingestion) d'une ration où concentrés et fourrages seraient distribués de manière séparée est réduit.

- **Ration semi-individuelle**

Dans ce cas, l'éleveur distribue les fourrages en quantité équivalente à tous les animaux, il s'agit de la ration de base. Les concentrés et les compléments en minéraux et vitamines sont distribués intégralement de manière individuelle. Cette gestion lui permet de moduler facilement les apports selon la production laitière mais aussi selon l'état corporel et le niveau de réserves adipeuses de ses animaux.

Les inconvénients sont le temps nécessaire, le décalage dans le temps entre l'apport de fibres et l'apport de concentrés, ceci pouvant favoriser les acidoses et donc une diminution de l'ingestion.

(ii) **Modalités de distribution**

Le comportement alimentaire (taille, durée et fréquence des repas) influe sur l'ingestion de matière sèche (*Nielsen, 1999*). **Johnston et al (2018)** montrent que la matière sèche ingérée est positivement corrélée à la durée du repas, à la durée de rumination et à la fréquence des repas. Si la durée du repas augmente d'une heure, les vaches ingèrent 0,96 kg de MS supplémentaire. Si on distribue un repas en plus par jour, on augmente la matière sèche ingérée de 0,19 kg par jour.

Tous ces paramètres permettent une distribution de la ration à volonté, et favorisent l'ingestion. Les vaches semblent ingérer une quantité plus importante de MS et semblent avoir une meilleure production laitière quand elles peuvent s'alimenter quand elles le souhaitent (*Grant et al, 2001*). Pour qu'une ration soit distribuée *ad libitum*, on surveille que certains paramètres zootechniques soient respectés (tableau XVIII).

Tableau XVIII : critères techniques à respecter pour une distribution des fourrages à volonté (*Institut de l'élevage, 2010*).

Largeur des places à l'auge	Barre : > 0,50 m/VL Cornadis : > 0,70 m/VL
Abreuvement non limitant	8 VL / abreuvoir individuel (débit 20 L/min) Ou 20 VL / abreuvoir collectif (débit > 25 L/min)
Disponibilité constante de la ration à l'auge	Repousses régulières si une seule distribution Plusieurs distributions par jour
Bonne conservation de la ration au cours de la journée	Protection contre les intempéries
Surveillance des refus (ration non consommée)	Doivent correspondre à 3-5% de la ration distribuée

(ii.1) Places à l'auge et aire d'alimentation

Des études récentes ont montré qu'une place suffisante (en nombre et en taille) à l'auge était essentielle pour permettre à toutes les vaches du troupeau (dominantes et dominées) de s'alimenter correctement. La place doit permettre à toutes les vaches de consommer la même ration au même moment. Si les vaches dominantes s'alimentent en premier, elles consomment les éléments les plus riches et laissent les composants les moins appétents aux vaches dominées. Ceci peut provoquer une sub-acidose dans le premier groupe et une non-couverture des besoins dans le deuxième.

Le temps passé debout et inactif dans le couloir d'alimentation est d'autant plus important au moment de la distribution des repas, et se réduit lorsqu'on augmente le nombre de places à l'auge (*De Vries et al, 2006, Huzzey et al, 2006*). Un nombre de places insuffisant à l'auge peut engendrer de la compétition pour les ressources et des interactions agressives. De plus, pendant le temps passé debout inactive, la vache n'ingère pas de ration, ne rumine pas, et ne se couche pas. Sa production sera moins importante et elle augmente le risque de développer des maladies podales (*Botheras, 2007*).

Botheras (2007) fait le bilan de plusieurs études et définit une largeur minimale, 61 cm, qui permettrait une durée d'ingestion considérablement plus longue.

Le système d'accès au couloir d'alimentation a un impact sur la durée d'ingestion des vaches. De manière générale, l'ingestion serait plus longue et plus importante lorsque le système est confortable (barre au garrot plus confortable qu'un cornadis en position bloquée). Cependant, pour les vaches dominées, la présence de cornadis en position bloquée permet une diminution des interactions agressives et un accès à la ration plus égal, surtout lorsque l'on observe un nombre insuffisant de places au cornadis, c'est-à-dire le plus souvent au moment de la distribution (*Endres et al, 2005, Huzzey et al, 2006*).

Les vaches passeraient plus de temps sur des sols souples, confortables et non abrasifs. Placer un tel type de sol au niveau de l'aire d'alimentation permettrait une augmentation du temps d'ingestion (*Botheras, 2007*).

(ii.2) Nombre de distributions

Distribuer la ration journalière en plusieurs fois plutôt qu'une (même en effectuant des repousses) permet à toutes les vaches d'accéder plus facilement à l'auge en réduisant le phénomène de compétition (*Crossley et al, 2018*). De plus, cela permettrait une meilleure stabilité ruminale, et ainsi une diminution du risque d'acidose ruminale (*French et al, 1990*).

Le tableau XIX montre à travers l'étude de plusieurs articles que l'effet de la fréquence de distribution de la ration n'a pas de corrélation strictement établie avec la MSI.

Tableau XIX : influence de la fréquence de distribution de la ration sur la quantité de matière sèche ingérée.

Article	Nombre de distributions par jour	Influence sur MSI	Durée de l'étude
<i>Nocek et al (1985)</i>	1 / 4	Aucune	16 semaines
<i>Yang et Varga (1989)</i>	1 / 2 / 3	Aucune	20 jours
<i>Klusmeyer et al (1990)</i>	2 / 4	Aucune	Non connue
<i>Robinson et McNiven (1994)</i>	2 / 7	Oui, non précisée	Non connue
<i>Shabi et al (1998)</i>	1 / 3	Aucune	3 mois
<i>DeVries et al (2005)</i>	1 / 2 / 4 (avec 3 / 2 / 0 repousses par jour)	Aucune	10 jours
<i>Mäntysaari et al (2006)</i>	1 / 5	Oui : forte fréquence => - 1 kg MS/j = - 4,8 % MS/j	Du vêlage à 28 semaines de lactation
<i>Ménard et al (2014)</i>	1 / 3 / 8	Aucune	6 semaines
<i>Hart et al (2014)</i>	1 / 2 / 3	Oui : 1 distribution : 27 ,4 kg MS /jour 2 : 27 kg MS /jour 3 : 27,8 kg MS /jour	21 jours
<i>Phillips et al (2001)</i>	1 / 4	Oui, forte fréquence => - 6,3 kg MS/j	9 semaines
<i>Faucet et al (2013)</i>	1 / 3 / 8	Oui, forte fréquence => + 0,6 kg MS/j	6 semaines

Pour donner un exemple, la figure 19 présente les résultats de l'étude de *Ménard et al (2014)* faite à partir d'une ration totale mélangée en distribution automatisée, où l'on ne note pas de différence significative quant à l'effet du nombre de distributions sur l'ingestion de matière sèche.

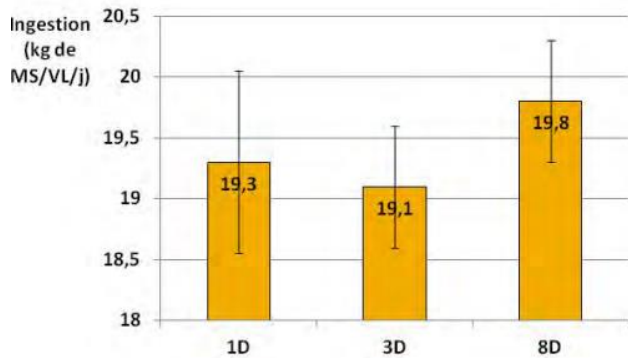


Figure 19 : niveau d'ingestion de lots de vaches recevant la ration 1D (une distribution, et deux repousses manuelles), ou 3D (trois distributions, à 7h, 12h et 18h), ou 8D (huit distributions de 4h à 18h30) (*Ménard et al, 2014*).

Ménard et al (2014) montrent aussi que le nombre de distributions ne semble pas avoir de conséquences sur le rythme des animaux (figure 20).

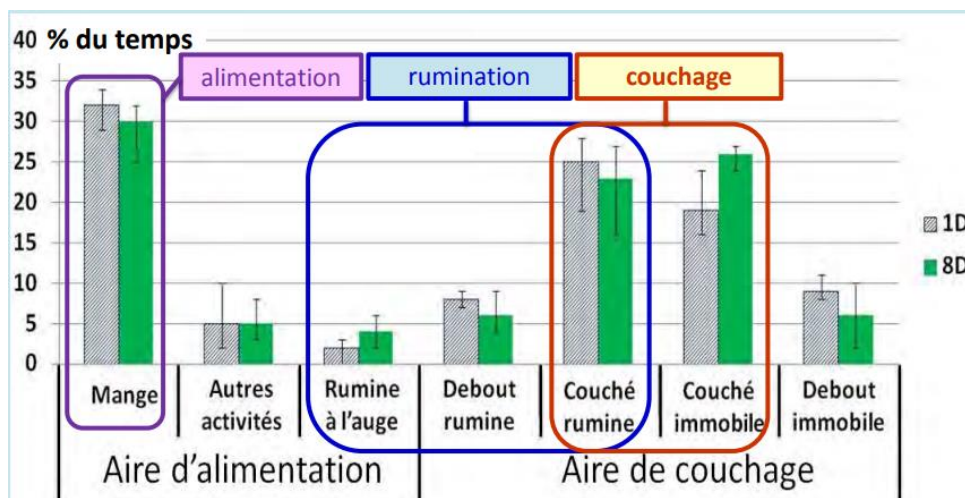


Figure 20 : budget-temps du troupeau selon les modalités de distribution 1D (une distribution, et deux repousses manuelles), ou 8D (huit distributions de 4h à 18h30) (*Ménard et al, 2014*).

(ii.3) A quels moments distribuer ?

Les heures de distribution de la ration jouent un rôle sur l'ingestion des vaches laitières. L'ingestion serait plus importante l'après-midi, et plus réduite à la tombée de la nuit (*DeVries et al, 2005*).

De même, une distribution à 20h30 à volonté engendre une perte de 1,7 kg de MSI par jour, par rapport à une distribution à 8h30, sans qu'il y ait de différence sur la production laitière (*Niu et al, 2018*, étude réalisée pendant 14 jours).

Pour d'autres auteurs l'ingestion de matière sèche ne semble pas dépendre de l'heure de la distribution (9h ou 21h). Cependant, il semblerait qu'elle soit plus importante (37 % de l'ingestion totale journalière au lieu de 27 %) pendant les 3 premières heures après la distribution, si celle-ci a eu lieu à 21h au lieu de 9h (*Nikkhah et al, 2008*).

Il semblerait que le moment de la distribution par rapport aux heures de traite influe sur la MSI, comme le montre le tableau XX.

Tableau XX : effet du moment de distribution de la ration par rapport aux heures de traite (King et al, 2016) (Durée de l'étude : 21 jours).

Paramètre étudié	Groupe 1	Groupe 2
Traites	7h - 14h - 21h	
Heures de distribution	7h - 14h	10h30 - 17h30
Ingestion (kg de MSI)	27,2	26,5
Production laitière (kg lait / jour)	48	48
Efficacité alimentaire (kg lait produit / kg de MSI)	1,80	1,93

Une distribution associée aux heures de traite semble engendrer une plus grande ingestion de matière sèche, sans que cela ait d'effet sur la production laitière (d'où une moins bonne efficacité alimentaire). Ceci serait dû à des repas plus rapides associés à une moindre rumination lorsque ceux-ci sont associés à la traite.

(ii.4) Nombre de repousses de la ration

Lorsqu'elles s'alimentent à l'auge, les vaches ont tendance à repousser la ration loin d'elles. La ration devient alors inaccessible. Pour pallier ce phénomène, l'éleveur passe régulièrement rapprocher la ration au plus près des vaches. Le tableau XXI présente quelques études réalisées pour déterminer l'effet du nombre de repousses de la ration sur la quantité de matière sèche ingérée. Il semble que ce paramètre n'influe pas directement sur la MSI, mais qu'il pourrait parfois engendrer une meilleure efficacité alimentaire.

Tableau XXI : effet du nombre de repousses de la ration sur la matière sèche ingérée Avec EA = efficacité alimentaire (kg lait produit / kg de MSI).

Articles	Modalités de l'étude	Nombre de repousses de la ration par jour	Influence sur la MSI (kg MS /j)	Autres effets
<i>Miller-Cushon et al (2017)</i>	Traite 2/jour, 2 distributions /jour, 21 jours d'étude	3 vs 5 repousses	27,5 → 27,7 pas de différence significative	Production lait : aucun Composition lait : aucun Tri de la ration : aucun Temps couché : aucun
<i>Armstrong et al (2008)</i>	3 distributions par jour	1 repousse / h Vs 2 repousses / h	18,6 → 18,1 pas de différence significative	Lait : 27,6 → 29,5 kg /j EA : 1,48 → 1,63 L lait / kg MSI Temps couché : pas d'impact

Attention, dans ces deux études, il y a deux et trois distributions par jour. Aucune étude n'étudie l'effet du nombre de repousses dans le cas d'une seule distribution par jour. On pourrait penser qu'avec une unique distribution dans la journée, on ait un effet positif du nombre de repousses de la ration sur la matière sèche ingérée.

c) Paramètres d'ambiance

(i) Température et humidité

La zone de thermoneutralité d'une vache correspond à l'intervalle de température dans lequel elle ne met pas en place de processus de thermorégulation.

Une température et une hygrométrie supérieure à la zone de neutralité entraîne une chute de la quantité de matière sèche ingérée (figure 21, (Hill et al, 2017)).

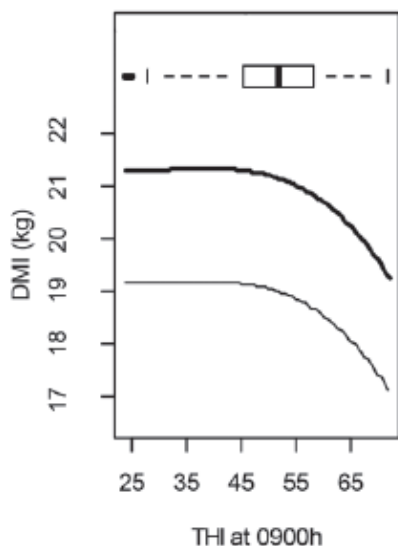


Figure 21 : influence de la température et de l'hygrométrie sur l'ingestion des vaches laitières (Hill et al, 2017).

La zone de thermoneutralité dépend du niveau de production de la vache. Une vache laitière haute productrice présente un métabolisme plus important et donc une production de chaleur supérieure. Ainsi, sa température de confort sera plus basse que celle d'une vache plus rustique, et subira des stress thermiques à des températures plus basses qu'une vache rustique (Berman, 2005).

Le NRC (1989) a démontré une chute modérée de la matière sèche ingérée à partir de 25-26°C et une chute plus importante à partir de 30°C. Le tableau XXII présente différentes valeurs de température au-dessus desquelles on observe une chute de production laitière ou de matière sèche ingérée.

Tableau XXII : influence de la température sur la production laitière et sur la quantité de matière sèche ingérée. √ = chute

Article	Hausse de température	Production laitière MG = matière grasse du lait MP = matière protéique du lait	Ingestion de matière sèche
McDowell et al (1976)	18 à 30 °C	√ 15 % MG : √ 39,7 % MP : √ 16,9 %	
Bianca (1965)	35 °C en continu	√ 33 %	
NRC (1989)	40 °C		√ 40 %
Berman (1968)	> 25 °C	√ non quantifiée	√ non quantifiée

Certains auteurs recommandent de distribuer 65 % de la ration pendant les heures les moins chaudes de la journée lorsque les vaches sont soumises à un stress thermique, pour favoriser le nombre de repas et ainsi l'ingestion (*Bernard, 2008*).

(ii) Luminosité

Deux éléments semblent avoir un impact : la photopériode et les rayonnements du soleil. En effet, *Petitclerc et al (1983)* et *Mossberg et al (1996)* ont montré une augmentation de l'ingestion de matière sèche chez des génisses de race Holstein (nourries ad libitum) lorsque les jours rallongeaient. *Hill et al (2017)* font le constat inverse, dans une étude où ce sont les rayonnements solaires qui sont étudiés. De plus ils remarquent que cette baisse de consommation est plus importante chez les vaches laitières hautes productrices que chez des vaches moins sélectionnées.

(iii) Type de stabulation

En stabulation libre, les génisses augmentent leur capacité d'ingestion de 10% en moyenne par rapport à la stabulation entravée (*D'Hour et al, 1991*).

Les temps que consacre une vache à chacune de ses activités au cours d'une journée sont comprises dans son budget-temps. Le respect de ce budget-temps est essentiel au bien-être, et est donc la clef d'une bonne production. Les études semblent définir un budget-temps moyen, pour une vache nourrie avec une RTM en stabulation libre, correspondant à la figure 22.

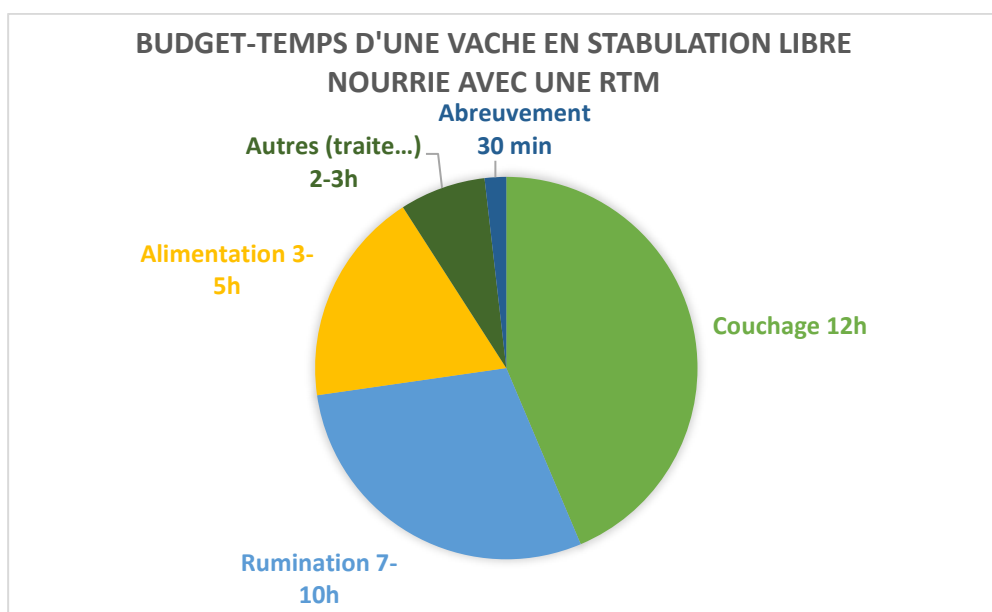


Figure 22 : budget-temps d'une vache en stabulation libre nourrie avec une RTM. Réalisé à partir de *Grant et al (2011)*.

Le lien entre le temps d'alimentation et le temps de couchage est très important. Les vaches privilégient le temps de couchage aux autres activités. Tout élément qui provoque une diminution du temps de couchage est susceptible de provoquer une diminution du temps consacré à l'alimentation. Ainsi, une vache perdant 3,5 minutes de temps de couchage va s'alimenter 1 minute de moins pour compenser, provoquant une plus faible quantité de MSI (*Grant et al, 2011*).

Certains auteurs démontrent qu'une trop haute fréquence de distribution de la ration altère le budget-temps de la vache, qui réduit son temps de couchage (*Mäntysaari et al, 2006*). Au contraire, certains auteurs semblent montrer que la fréquence de distribution n'a pas d'incidence sur le budget-temps, et notamment pas de conséquence sur la durée totale du repos (*DeVries et al, 2005, Faucet et al, 2013*).

(iv) La compétition entre vaches

Dans les premiers jours post-partum, une vache réinsérée dans un petit groupe (6 vaches dans l'étude) subira moins l'effet de compétition pour l'aube et pour le couchage que si on la réintroduit dans un plus grand groupe (>24 vaches dans l'étude). Quand l'effet de compétition est moindre, l'ingestion est meilleure pour tout le groupe de vaches (*Jensen et al, 2017*).

d) Santé

Les problèmes de parturition (parts difficiles, retentions placentaires, métrites), les maladies métaboliques (cétoses, fièvres vitulaires), et les pathologies de la mamelle (mammite, œdème) semblent être reliés à une chute de la MSI. *Bareille et al (2003)* estiment une perte de 1,94 kg de lait par kg de MS ingérée en moins quand les vaches sont malades. Les entérites, les diminutions de motilités ruminales, les déplacements de caillette et l'acidose provoquent aussi des chutes de MSI (*Ostergaard et al, 2000, Owens et al, 1998, Oetzel, 2004*).

Le tableau XXIII présente l'effet du grade des boiteries sur la quantité de MSI.

Tableau XXIII : effet des boiteries sur la MSI et sur la production laitière (*Juarez et al, 2002*).
Score 1 : faible boiterie, score 5 : très forte boiterie

Score de boiterie	Perte de MSI	Perte de production laitière
1	0	0
2	- 1 %	0
3	- 3 %	- 5 %
4	- 7 %	- 17 %
5	- 16 %	- 36 %

La chute de MSI semble parfois précéder certains signes cliniques. Une étude de 1979 a montré une chute significative de la MSI trois semaines avant la mise-bas, chez des vaches ayant développé par la suite des mammites, métrites, non délivrances, déplacements de caillette etc (*Zamet et al, 1979*).

II. L'efficacité alimentaire

Pour répondre à la demande d'une population mondiale en plein croissance, les éleveurs tentent d'augmenter leur production tout en minimisant les coûts engendrés par cette même production. Un des principaux leviers d'action est la réduction des dépenses faites pour l'alimentation des vaches, car elles représentent 60 % des dépenses annuelles de l'exploitation (*Bethard, 2013*). Un marqueur permettant d'évaluer la rentabilité de l'élevage est l'efficacité alimentaire. Elle correspond au rapport entre la production laitière obtenue et la quantité d'aliment consommé par les vaches. Elle permet aussi de réduire l'impact environnemental (*Reynolds et al, 2011*), car une part plus importante des nutriments sera utilisée pour la production de lait, et donc il y aura moins de déchets produits (sous forme de méthane, dioxyde de carbone ou fumier) (*Arndt et al, 2015*).

A. Définitions

1. L'efficacité alimentaire

L'efficacité alimentaire (EA) est la quantité de lait standard produit en kilogrammes par kilogramme de matière sèche ingérée :

$$EA = \frac{\text{lait standard produit (kg)}}{\text{MSI (kg)}}, \text{ avec MSI la quantité de matière sèche ingérée.}$$

C'est une mesure brute faisant le rapport des sorties totales sur le total des intrants. Elle évalue la capacité d'une vache laitière à valoriser sa ration selon des objectifs (*St-Pierre, 2008*). Elle donne une indication économique à l'éleveur qui va chercher à augmenter la valeur d'efficacité alimentaire pour avoir une meilleure rentabilité. Pour ce faire, deux méthodes sont envisageables selon les contraintes de l'exploitation :

- chercher à améliorer la production laitière avec une quantité donnée de ration distribuée ;
- maintenir la production laitière actuelle tout en diminuant la quantité de ration distribuée.

On vise dans les troupeaux de Prim'Holsteins américains une valeur de 1,5 kg de lait standard à 3,5% de matières grasses pour 1 kg de matière sèche ingérée, avec une ration totale mélangée à base d'ensilage de maïs. Cette valeur varie légèrement avec le stade de lactation (tableau XXIV, USA). Cependant en France, les races sont plus variées, la sélection génétique est moins utilisée, et les conduites d'élevage peuvent être différentes. Par exemple, le pâturage peut parfois représenter une part importante de la ration au cours de l'année. C'est pourquoi la valeur couramment utilisée en France en termes d'efficacité alimentaire est de 1,4 kg de lait standard à 4% de matières grasses pour 1 kg de matière sèche ingéré.

Tableau XXIV: objectifs d'efficacité alimentaire selon le stade et le rang de lactation (*Hutjens, 2008b*).

GROUPE	JOURS EN LACTATION	EFFICACITE ALIMENTAIRE
Toutes les vaches laitières	150 à 225	1,4 - 1,6
1 ^{ère} lactation	< 90	1,5 - 1,6
1 ^{ère} lactation	>200	1,2 - 1,4
< 2 ^{ème} lactation	< 90	1,6 - 1,8
< 2 ^{ème} lactation	>200	1,3 - 1,5
Début de lactation	< 21	1,2 - 1,4
Vaches laitières avec pathologie	150 à 200	< 1,3

Pour augmenter la production laitière, il faut prendre en compte l'efficacité alimentaire liée à l'ingestion des concentrés et celle liée à l'ingestion des fourrages (*Castellani, 2014*).

La production laitière liée à l'ingestion de concentrés est connue et invariable (cf taux de substitution). La quantité de concentrés distribuée aux vaches laitières est plutôt stable et peu variable, que ce soit à cause du coût qu'ils représentent, ou que ce soit pour assurer un bon fonctionnement ruminal. Un excès de concentrés est susceptible de déséquilibrer la microflore ruminale et de provoquer une mauvaise valorisation de la ration. Les fourrages sont indispensables pour favoriser les contractions ruminales et limiter l'acidose engendrée par l'apport de concentrés. La production laitière permise par les concentrés ne peut représenter qu'une faible part de la production totale. Il est essentiel d'utiliser au mieux les fourrages pour augmenter la production laitière.

2. Le lait standardisé

Les teneurs en matières grasses et matières protéiques contenues dans le lait sont très variables selon l'élevage considéré. Pour s'affranchir de la qualité du lait dans le calcul de l'efficacité alimentaire, on convertit la quantité de lait réellement produite en une quantité de lait standard. Le lait standard est normalisé en matière grasse à 38 ou 40 g/L (TB, taux butyreux), et en matière protéique à 32 g/L (TP, taux protéique).

La formule permettant d'obtenir le lait standard est :

$$\text{Lait standard} = \frac{(0,44 + (0,0055 * (TB - 40)) + 0,0033 * (TP - 32)) * \text{Quantité Lait}}{0,44}$$

Aux Etats-Unis, on utilise aussi bien le FCM 3,5% (fat-corrected milk +/- protein, en kg), que le FCM 4% ou ECM (energy-corrected milk) (*Hutjens, 2008a*). La formule du FM 3,5% est la suivante :

$$\begin{aligned} 3.5\% \text{ FCM (kg)} &= (0.4324 \times \text{production laitière (kg)}) \\ &+ (16.216 \times \text{production matière grasse du lait (kg)}) \end{aligned}$$

ou

$$3.5\% \text{ kg de lait corrigé en matières grasse et protéique} = (12.82 \times \text{kg de matière grasse du lait}) + (7.13 \times \text{kg de matière protéique du lait}) + (0.323 \times \text{kg de lait})$$

B. Pourquoi cherchons-nous une bonne efficacité alimentaire ?

1. Répondre à la demande mondiale

Une des raisons pour laquelle on recherche une bonne efficacité alimentaire est la volonté d’approvisionner en produits d’origine animale une population mondiale en perpétuelle croissance. L’organisation mondiale de la santé animale (OIE) estime à 70% l’augmentation de la demande en protéines d’origine animale d’ici 2050. Cette augmentation résulterait des nouveaux modes de consommation des classes moyennes qui émergent dans les pays en développement. Une production qui augmente a un impact environnemental plus important. Certains recherchent donc une meilleure efficacité alimentaire pour limiter cet effet.

2. Rentabilité économique

Une bonne efficacité alimentaire peut être recherchée pour maintenir une bonne rentabilité dans les exploitations. En effet, les dépenses pour l’alimentation représentent la majeure partie des dépenses annuelles d’une exploitation. Cela représente donc un levier d’action majeur pour améliorer la rentabilité en élevage.

Dans le tableau XXV, une efficacité alimentaire de 1,40 au lieu de 1,20 permet d’économiser le coût de 0,83 livres de matière sèche ingérée (MSI).

Tableau XXV : impact économique d’une augmentation de l’efficacité alimentaire (*Hutjens, 2008a*).

Efficacité alimentaire (livres lait / livres MSI)	MSI (en livres)	Economie réalisée, en livres de MSI
1,20	58,3	0,83
1,40	50	
1,60	43,8	0,48
1,80	38,9	

3. Durabilité environnementale

Il semble que la meilleure productivité en élevage (laitier ou allaitant) permette de réduire la consommation des ressources (eau) et l’émission de gaz à effet de serre par unité de nourriture. Ce phénomène s’expliquerait par la **dilution des besoins d’entretien** (figure 23). En effet, plus la vache produit, plus la proportion des nutriments utilisée pour ses besoins d’entretien diminue.

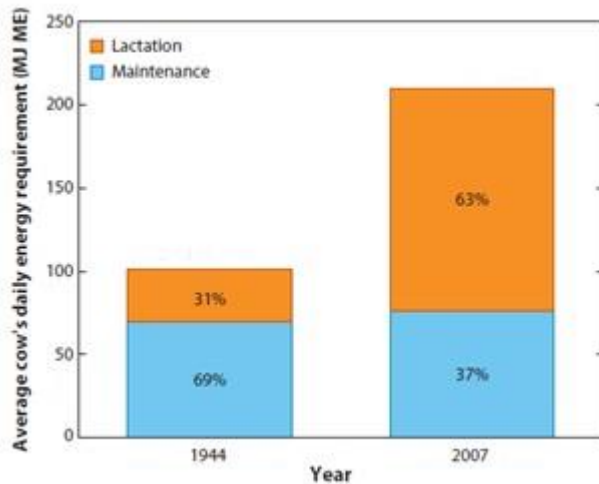


Figure 23 : effet de dilution des besoins d’entretien : impact d’une plus grande productivité sur la proportion d’énergie utilisée pour les besoins d’entretien chez des vaches laitières (1944 versus 2007) (*d’après Capper et al, 2009*)
 ME = énergie métabolisable ; MJ = méga-joules

De même, les meilleures pratiques d’élevage (nutrition, gestion, médecine préventive, bien-être animal) et le travail de la génétique, améliorent le rendement laitier et la croissance des bovins. Cependant, les élevages intensifs et les technologies visant à améliorer la productivité représentent un sujet de débat social en France. Certaines associations de protection animale et de protection de l’environnement affirment que des élevages intensifs ne peuvent pas garantir ni le respect du bien-être animal, ni respecter les normes en matière d’environnement. Un exemple est celui de la ferme des Mille Vaches (annexe 1). Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour s’assurer que les comparaisons des différents types d’aliments entre eux sont basées sur l’impact environnemental et la valeur nutritive des différents composants (*Capper et al, 2013*).

Jusqu’à présent, les recherches se sont concentrées sur des paramètres de productivité (PL, GMQ...). Les effets sur la santé des vaches, ou l’effet du PV sur l’environnement ne sont quant à eux pas pris en compte dans les études. Prendre en compte tous ces facteurs permettrait aux éleveurs de combiner les critères économiques, nutritionnels et environnementaux, pour tendre vers une production alimentaire durable.

C. Facteurs influençant l'efficacité alimentaire

1. Caractéristiques de la vache

a) Les stades de lactation et de gestation

Les raisons pour lesquelles le stade de lactation influe sur l'efficacité alimentaire sont les suivantes :

- **Fraîches vèlées (<21 j post-partum)** : l'efficacité alimentaire (EA) est souvent élevée en début de lactation car la vache laitière mobilise ses réserves corporelles pour compenser la carence énergétique du début de lactation. Après vêlage, la capacité d'ingestion plus faible ne permet pas de couvrir les besoins énergétiques. Une EA > 1,4 peut signifier que la vache mobilise ses réserves de manière excessive, par exemple lors d'un engraissement excessif au vêlage qui augmente alors le risque de cétose. Ainsi, certains auteurs ne recommandent pas l'analyse de l'efficacité alimentaire en début de lactation, mais plutôt à 150 jours en lait (JEL) par exemple. En effet, à partir de 100 JEL, et lorsque la production laitière est maximale, l'efficacité alimentaire diminue de manière linéaire, et sa détermination est plus facile. **Erdman (2011)** met en place des coefficients permettant de rapporter l'efficacité alimentaire (EA) en efficacité alimentaire à 150 jours en lait (EA_{150 JEL}) comme le présente le tableau XXVI.

On peut ainsi comparer l'efficacité alimentaire de plusieurs troupeaux bien que leur stade de lactation soit différent. Sans cette correction, on aurait pu conclure de manière biaisée que l'EA du troupeau 1 était supérieure à l'efficacité alimentaire du troupeau 4, alors qu'on trouve le résultat inverse une fois le nombre de jours en lait pris en compte.

Tableau XXVI : conversion de l'EA (efficacité alimentaire) en EA_{150 JEL} (efficacité alimentaire à 150 jours en lait) (**Erdman, 2011**).

Troupeau	Jours en lait (JEL)	Efficacité alimentaire (kg lait standard (corrigé à 3,5%)/MSI)	Facteur de correction	Efficacité alimentaire corrigée à 150 JEL
1	125	1,47	0,975	1,433
2	150	1,44	1,000	1,440
3	175	1,46	1,025	1,497
4	200	1,43	1,050	1,502

- **Lorsque les jours en lactation augmentent**, l'efficacité alimentaire diminue car il n'y a plus de mobilisation des réserves corporelles de la vache. Les nutriments sont mêmes utilisés pour reconstituer les réserves.
- **En fin de gestation**, l'efficacité alimentaire diminue, car la croissance du veau requiert des nutriments.

b) L'âge ou le numéro de lactation

L'efficacité alimentaire de la première lactation est plus faible que les suivantes car les nutriments sont utilisés pour la croissance de la primipare (figure 24).

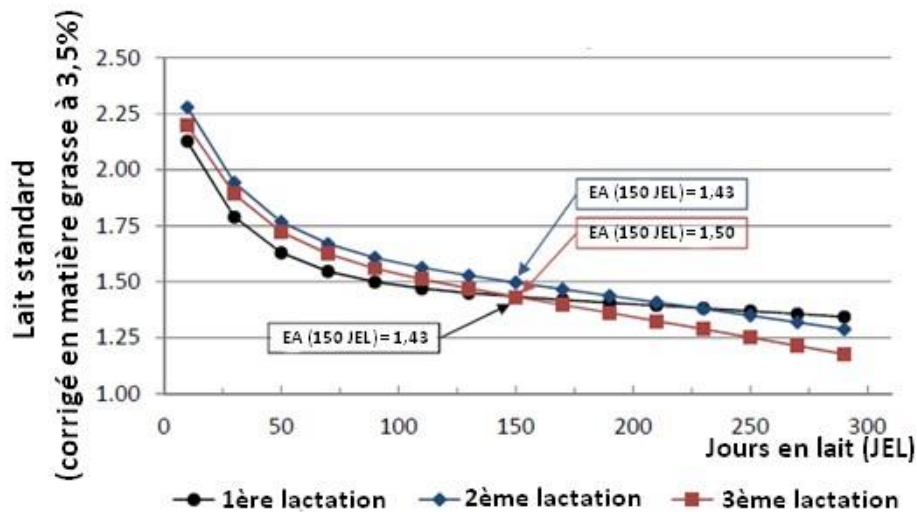


Figure 24 : influence de la parité et des jours en lait sur l'efficacité alimentaire, sur des Jersiaises à 6774 kg de lait pour 305 jours de lactation (*Erdman, 2011*).

c) La race

La race semble avoir une influence sur la quantité de matière sèche ingérée. On peut se demander si elle a de ce fait une influence sur l'efficacité alimentaire.

Certains auteurs montrent qu'il n'y a pas de différence significative d'efficacité alimentaire entre les vaches de race Jersiaise et Prim'Holstein (*Erdman, 2011*). D'autres semblent démontrer l'inverse, comme le montre le tableau XXVII. Les vaches de race Prim'Holstein présentent une meilleure efficacité alimentaire que les vaches Jersiaises, lorsqu'on ne prend pas en compte la composition du lait mais uniquement la quantité. L'efficacité alimentaire des vaches de race Jersiaise concernant la production de matière protéique ou matière grasse du lait est plus importante que celle des vaches Prim'Holsteins (*Halachmi et al (2011), Kristensen et al (2015), Prendiville et al (2009)*).

Tableau XVII : efficacité alimentaire selon la race.

* ECM = energy corrected milk : 3,5% en matière grasse, 3,2 % en matière protéique.

Article	Expression de l'efficacité alimentaire	Holstein	Jersiaise	Danish Red	Jersiaise x Holstein
<i>Kristensen et al (2015)</i>	Kg ECM* / kg MSI	1,35	1,46		
<i>Halachmi et al (2011)</i>	Kg MSI / kg lait	0,77	0,95	0,84	
	Kg MSI / kg matière grasse du lait	18,8	19,6	15,4	
<i>Prendiville et al (2009)</i>	Lait (kg/VL/j)	18,3	13,8		16,7
	MSI (kg MS/VL/j)	16,9	14,7		16,2
	Energie nette ingérée pour produire 1 kg de matière protéique et matière grasse du lait	X	X – 8%		X – 11%

d) La note d'état corporel (NEC)

La note d'état corporel (NEC) permet d'évaluer de façon subjective la quantité de gras sous-cutané. Une note proche de 5/5 correspond à une vache plutôt grasse. Une note de 1/5 correspond à une vache maigre ayant très peu de réserves de gras sous-cutané.

La formule de l'efficacité alimentaire ne prend pas en compte la perte ou la prise d'état corporel. C'est pourquoi la valeur d'efficacité alimentaire est maximale en début de lactation. En effet, en début de lactation, les vaches sont en déficit énergétique et mobilisent leurs réserves corporelles pour assurer la production laitière. À mesure que la lactation progresse, l'efficacité alimentaire diminue exponentiellement au cours des 3 premiers mois puis linéairement jusqu'à la fin de la lactation, comme le montre la figure 25. Les vaches en reprise d'état corporel présentent une efficacité alimentaire plus faible, car une partie de la matière ingérée est utilisée pour reconstituer les réserves corporelles. Des valeurs plus faibles en fin de lactation peuvent donc être désirables (*St-Pierre, 2008*).

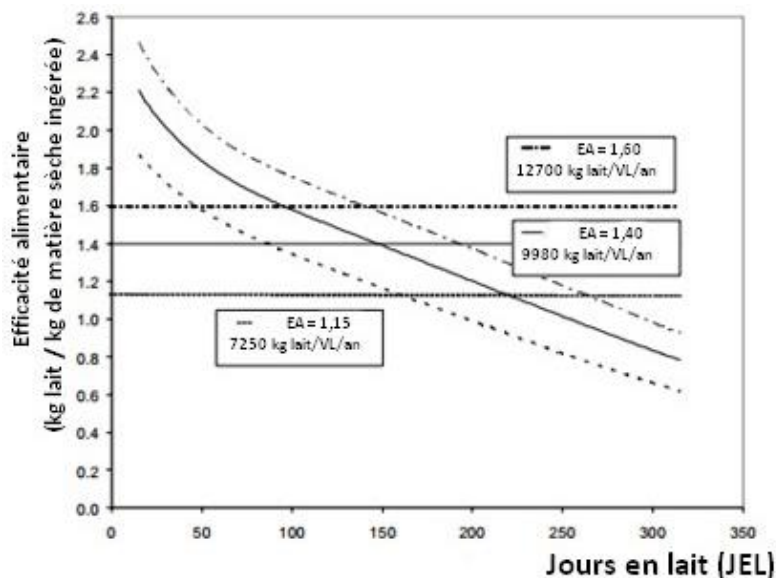


Figure 25 : évolution de l'efficacité alimentaire au cours de la lactation, chez des vaches produisant 7250 kg, 9980 kg, et 12700 kg de lait sur 330 jours de lactation (*Hutjens, 2005*).

2. Alimentation

a) Méthode de rationnement

(i) Conservation du fourrage

Il existe une perte de matière sèche entre la récolte et le moment de distribution de la ration (17 à 64% pour l'ensilage d'herbe et 12 à 23% pour l'ensilage de maïs (*Holmes, 2013*)).

Ce phénomène engendre une perte de valeur nutritive. Les stocks de fourrages ne sont pas toujours en quantité suffisante pour permettre de combler la perte de valeur nutritive par l'augmentation de la quantité de fourrage distribuée aux vaches. L'efficacité alimentaire peut donc chuter. Un respect des bonnes pratiques de réalisation d'un ensilage, et certaines techniques de conservation et de stockage de l'ensilage peuvent permettre de diminuer cette perte de matière sèche et de nutriments, (*Borreani et al, 2007*).

(ii) Couverture des besoins par la ration

La ration de base est composée d'un mélange de fourrages et de concentrés, et est distribuée à toutes les vaches laitières, quel que soit leur niveau de production. A cette ration, on ajoute le complément de production dont la quantité est adaptée à chaque vache laitière selon sa production laitière. Le contrôleur laitier est en mesure de déterminer la « ration calculée », c'est-à-dire la ration théorique (fourrages et concentrés) qui fournit l'énergie et les protéines nécessaires aux besoins d'entretien et de production du troupeau. Pour être sûr que les vaches reçoivent bien la ration correspondant à leurs besoins, il faut s'assurer que la « ration distribuée » par l'éleveur soit identique à la ration calculée, c'est-à-dire que la ration distribuée possède des valeurs nutritives équivalentes à celles de la ration calculée. Pour ce faire, on réalise une analyse chimique de la ration distribuée.

Enfin, pour s'assurer de la bonne couverture des besoins, il faut vérifier que la ration distribuée corresponde à la « ration consommée » par les vaches. Pour ce faire, il faut observer la qualité des « refus ». Les refus correspondent à la partie de la ration non consommée par les vaches laitières. Si les refus correspondent en composition à la ration de base, on peut conclure à une ingestion optimale et ad libitum de la ration distribuée, et l'EA obtenue peut être considérée

comme maximale. Si les refus sont composés d'éléments grossiers uniquement, on peut conclure que les vaches ont ingéré la partie la plus énergétique de la ration de base. Dans ce cas, la ration ingérée n'est pas équilibrée car les vaches ont trié la ration, c'est-à-dire qu'elles ont sélectionné les éléments les plus appétents, soit les éléments les plus énergétiques et les plus fins. L'EA qui en résulte ne peut pas être maximale.

La figure 26 illustre la méthode d'analyse de la ration des vaches laitières.

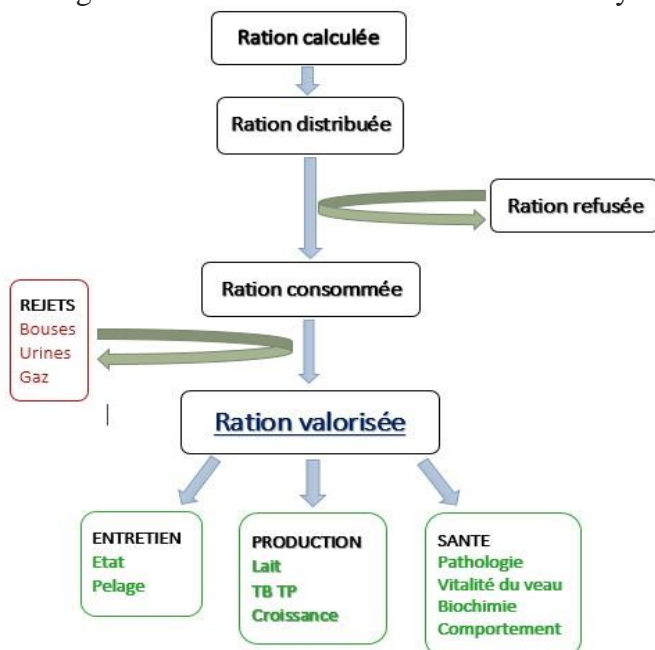


Figure 26 : méthode des 5R (Ponter, 2016).

On considère qu'une ration est distribuée à volonté et avec la même productivité lorsque les refus représentent 2 à 3% de la ration de base (Barmore, 2002). On recherche à obtenir cette quantité minimale de refus (2-3%) pour obtenir une meilleure rentabilité économique. Car si la productivité laitière est conservée, une faible quantité de refus suppose un moindre gaspillage. Même lorsque les refus sont distribués aux génisses et ne représentent ainsi pas une perte totale, le coût de la ration perdue reste élevé. Plusieurs méthodes existent pour limiter le phénomène de tri, comme par exemple le fait d'humidifier la ration distribuée et d'augmenter la fréquence de distribution de 1 à 2 fois par jour (DeVries et al, 2005, Shaver, 2002).

Dans les grands troupeaux, on peut séparer les vaches laitières en plusieurs lots selon leur stade physiologique. Ainsi, on peut adapter encore plus précisément la ration distribuée et mieux répondre aux besoins de la vache laitière à une stade de lactation précis. La production laitière et l'efficacité alimentaire sont optimisées (VandeHaar et al, 2012).

A court terme, pour contrôler que la ration consommée couvre bien les besoins d'entretien et de production du troupeau, on compare la production laitière du jour de la mesure avec la quantité de lait permise par l'apport énergétique de la ration (UFL) et par l'apport protéique (PDIN et PDIE). A long terme, on regarde la note d'état corporel selon le stade de lactation.

Une mauvaise couverture des besoins par la ration ne permet pas d'obtenir une production laitière maximale, et est donc un point essentiel de contrôle permettant d'optimiser l'efficacité alimentaire.

(iii) Contrôle de l'équilibre de la ration

L'équilibre de la ration permet un fonctionnement optimal du rumen. Cela engendre une meilleure digestibilité et assimilation des fibres et des nutriments, et un meilleur rendement en protéines microbiennes. Cela permet de diminuer les pertes fécales et d'améliorer l'EA (**Krause et al, 2005 ; Stone, 2004**). Pour avoir un fonctionnement optimal, il faut que les taux d'amidon et de fibres efficaces soient dans les bonnes proportions afin d'obtenir un pH qui stabilise l'environnement ruminal et limite l'acidose ruminale.

(iii.1) Le rapport microbien et la microflore ruminale

Pour bien fonctionner, la microflore ruminale a besoin d'un équilibre entre l'apport d'azote (nécessaire à la synthèse de protéines microbiennes et des protéines qu'utilisera la vache) et l'apport d'énergie (nécessaire aux réactions de protéosynthèse). Le Rmic, rapport microbien, permet d'évaluer l'équilibre nutritionnel pour la microflore ruminale, et notamment l'apport en azote dégradable de la ration. Il est donné par l'équation suivante :

$$Rmic = \frac{(PDIN - PDIE)}{UFL}, \text{ en g/UFL (INRA, 2010).}$$

Les UFL (unités fourragères lait) correspondent à l'unité de mesure des besoins en énergie de la vache laitière, mais aussi à l'unité de mesure de la valeur énergétique d'un aliment. Les PDI (protéines digestibles dans l'intestin, en grammes) correspondent à l'unité de mesure des besoins en protéines de la vache, mais aussi à celle de la valeur azotée d'un aliment. Une fois passées dans le rumen, on différencie les protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire (PDIA, c'est-à-dire non métabolisées par la microflore du rumen), des protéines digestibles dans l'intestin d'origine microbienne (PDIM, c'est-à-dire provenant de la digestion microbienne). On a $PDI = PDIM + PDIA$. La synthèse des protéines par les bactéries du rumen nécessite un apport en azote et en énergie suffisant. Quand on distribue un aliment, on ne sait pas si la synthèse microbienne sera bloquée par un défaut d'azote ou par un défaut d'énergie. On donne donc deux valeurs de PDIM à l'aliment :

- PDIN, lorsque c'est l'azote disponible qui limite la protéosynthèse,
- et PDIE lorsque c'est l'énergie disponible qui limite la protéosynthèse.

C'est la plus faible valeur des deux qui correspond à la quantité finale de protéines que l'animal absorbera.

L'objectif est d'avoir un apport le plus proche possible entre PDIN et PDIE. Une valeur de Rmic négative correspond à un défaut d'apport en azote dégradable dans la ration. Dans ce cas, la microflore ruminale ne reçoit pas les nutriments nécessaires à son bon fonctionnement. Il y a moins de protéines synthétisées pour la vache laitière, la production laitière et l'efficacité alimentaire baissent. Pour avoir la meilleure efficacité alimentaire possible, il faut que les micro-organismes du rumen valorisent au maximum la ration ingérée, et cela passe par un apport correct en azote dégradable.

Quand la valeur du Rmic est supérieure au seuil, il y a un excès d'azote dégradable dans le rumen. Les micro-organismes n'ont pas assez d'énergie pour métaboliser tout l'azote fourni. Une partie des apports azotés n'est pas utilisé, ce qui engendre des pertes économiques et une baisse de l'efficacité alimentaire (tableau XXVIII).

Tableau XXVIII : signification des valeurs du Rmic (INRA, 2010).

Rmic < seuil	Rmic > seuil
Défaut d'azote dégradable dans le rumen par rapport à l'énergie dégradable → Mauvaise digestion de la ration	Excès d'azote dégradable dans le rumen par rapport à l'énergie dégradable Fuite d'azote au niveau urinaire

Le déficit en azote acceptable est d'autant plus faible que le niveau de production est important, comme le présente le tableau XXIX.

Tableau XXIX : valeurs seuil du rapport Rmic chez les vaches laitières (INRA, 2010).

Production laitière kg lait/VL/j	<25	25 à 35	>35
Rmic (valeurs usuelles)	-8	-4	0

Un léger déficit en azote (PDIN) est acceptable dans la ration dans la mesure où il peut être compensé par un recyclage endogène d'azote. Ce recyclage est possible si la salivation est correcte et apporte de l'urée et si l'apport en énergie dégradable par les micro-organismes est suffisant (PDIE) (Wolter, 2012).

Le Rmic est un rapport permettant d'évaluer l'équilibre entre les apports en azote dégradable et en énergie dans la ration. Il peut donc parfois permettre d'expliquer la valeur de l'efficacité alimentaire dans un élevage. Le tableau XXX présente les modifications à apporter selon les résultats du rapport Rmic.

Tableau XXX : application des résultats du Rmic, (INRA, 2010).

Rmic < seuil	Rmic > seuil
Ration à reconsidérer : - ↗ l'apport en azote fermentescible pour ↗ PDIN (ex : urée) - Changer complètement de concentré selon son Rmic - Distribuer un fourrage plus riche en PDIN	Ration acceptable : Mais possibles dommages économiques et environnementaux

(iii.2) Rapport PDI/UFL et nutrition de la vache laitière

Le rapport PDI/UFL permet d'évaluer l'équilibre entre les acides aminés et l'énergie dont dispose la vache après digestion, lorsque l'équilibre nutritionnel des microbes est satisfaisant. On prend la valeur la plus basse, soit la valeur limitante, entre PDIE et PDIN.

L'estimation des besoins par le système INRA indique que ce rapport est voisin de 100g de PDI par UFL pour une vache en production, la valeur exacte dépendant du niveau de production (Faverdin et al, 2003b). En effet, les réserves protéiques sont moins importantes et moins facilement mobilisables que les réserves énergétiques (Ponter, 2016).

Un déficit en protéines (PDI, protéines digestibles dans l'intestin) entraîne une baisse de l'ingestion, comme le montre le tableau XXXI. Ainsi, plus le rapport PDI/UFL est grand, plus l'ingestion augmente, et ainsi meilleure est l'efficacité alimentaire.

Tableau XXXI : variation de l'ingestion selon le rapport PDIE/UFL de la ration (*INRA, 2010*).

PDIE/UFL	80	90	100	110	120
Variation de l'ingestion (kg MS/j)	- 2,2	- 0,7	0	+ 0,2	+ 0,3

Le rapport PDI/UFL permet ainsi de contrôler l'équilibre de la ration et est un point de contrôle de l'optimisation de l'efficacité alimentaire.

(iv) Apport en graisses

Il semble qu'un apport en graisses augmente non seulement la densité énergétique de la ration mais aussi l'EA. On a ainsi une augmentation de l'EA de 0,03 à 0,10 unité par pourcentage de MG ajoutée (*Erdman, 2011*).

(v) Gestion du tarissement et des transitions alimentaires

Le tarissement correspond à la période d'arrêt de la production laitière qui précède la nouvelle lactation. Il permet de mettre la mamelle au repos et de la préparer à la lactation suivante. Il dure souvent deux mois, et coïncide avec les deux mois qui précèdent la date présumée du vêlage. Pendant le tarissement, les besoins sont moins importants du fait de l'arrêt de la production laitière. C'est pourquoi la ration distribuée aux vaches est moins énergétique et plus grossière. Ceci engendre une diminution de la taille des papilles ruminales (papilles qui recouvrent la muqueuse ruminale et permettent l'absorption des acides gras volatils). Après le vêlage, lorsqu'on ajoute des composants plus énergétiques à la ration, il faut 5 à 6 semaines pour que ces papilles se redéveloppent. Ainsi, l'absorption des acides gras volatils dans le rumen n'est maximale qu'un mois après le vêlage (si une transition alimentaire de 2 semaines a été réalisée juste avant le vêlage). La préparation du rumen à la fin du tarissement, qui passe par une transition alimentaire, est un élément décisif et va déterminer la qualité de la valorisation de la ration. De plus, il faut trois semaines à la microflore ruminale pour s'adapter à un changement d'alimentation. C'est pourquoi les transitions alimentaires pendant le tarissement (et par extension au cours de la lactation) sont essentielles à une bonne valorisation de la ration distribuée, et ainsi à une bonne efficacité alimentaire. Une même ration distribuée à un lot de vaches dont la microflore ruminale et la muqueuse du rumen sont adaptées, et à un lot de vaches non préparées, ne sera pas valorisée de la même manière bien que sa composition chimique soit la même.

b) Les additifs alimentaires (tampons, ionophores, levures, auxiliaires de fermentation)

Ils peuvent améliorer le pH du rumen, la digestibilité, la production de lait, l'EA et réduire les pertes de méthane (*Poppy et al, 2012*).

(i) Ionophore monensin

C'est un antibiotique produit par la bactérie *Streptomyces cinnamomensis*. Il inhibe la croissance des bactéries à Gram positif. Ainsi, lorsqu'on l'ajoute dans la ration des vaches laitières, la proportion de propionate augmente et celle des butyrate et acétate diminue. Cela permet une augmentation de l'efficacité alimentaire quelque soit le type de ration distribué. L'augmentation est d'autant plus importante que la ration est riche en amidon (27% contre

20%) (*Akins et al, 2014*). Son utilisation en France n'est autorisée que s'il y a une prescription vétérinaire dans le cadre de la prévention de la cétose (dans les élevages où certains facteurs de risque ont été mis en évidence). Son utilisation pour améliorer l'efficacité alimentaire est interdite en France.

Le ionophore monensin permet en outre de diminuer la perte d'énergie sous forme de méthane (*Ipharraguerre et al, 2003*).

(ii) Somatotropine

La somatotropine est l'hormone de croissance. Des injections de cette hormone aux vaches laitières permettent de rediriger l'utilisation des nutriments dans la production laitière et ainsi d'augmenter l'EA.

(iii) Balance Anions-Cations Alimentaire de la ration (BACA)

La balance alimentaire cation/anion, exprimée en milliéquivalents, traduit un équilibre entre les principaux cations et anions de la ration. La BACA se calcule de la manière suivante :

$$\text{BACA} = ([\text{Na}] + [\text{K}]) - ([\text{Cl}] + [\text{S}]) \text{ en milliéquivalent}$$

Le BACA est une caractéristique de l'aliment et donc de la ration. Pour obtenir la valeur BACA d'une ration, on fait la somme des BACA des différents composants. Il s'agit d'un chiffre pouvant être positif ou négatif. Un BACA positif favorise une augmentation du pH sanguin. Un BACA négatif favorise une baisse du pH sanguin.

L'augmentation du BACA (de 0 à 500 mEq/kg) semble avoir un effet positif sur la capacité d'ingestion, sur la production laitière et sur l'efficacité alimentaire des vaches laitières (tableau XXXII et figure 27). Elle permet une meilleure digestibilité et une meilleure disponibilité en nutriments, notamment par le biais d'une meilleure fermentation ruminale et d'une meilleure homéostasie acido-basique (*Hu et al, 2007b ; Hu et al, 2004 ; ApperBossard et al, 2010*).

Tableau XXXII : effet de l'augmentation du BACA sur la MSI, la production laitière et l'EA (*Iwaniuk et al, 2015*).

Effet sur	Augmentation BACA : 0 à 500 mEq/kg
MSI (matière sèche ingérée)	+ 1,7 kg MS/VL/j
Production laitière	+ 1,2 kg/VL/j
Production lait standard	+ 4,8 kg/VL/j
Efficacité alimentaire	1,39 → 1,44

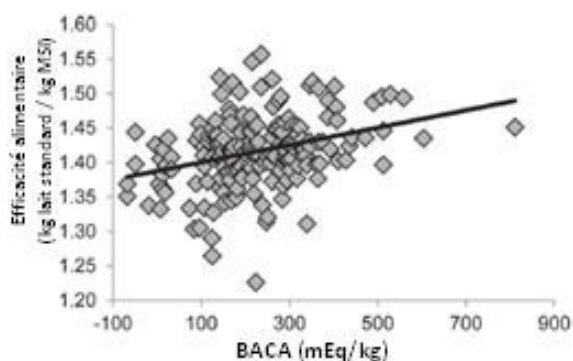


Figure 27 : efficacité alimentaire selon le BACA (*Iwaniuk et al, 2015*).

(iv) Apport de levures à la ration totale mélangée (RTM)

Pour rappel, dans la ration totale mélangée, les minéraux, le fourrage, les concentrés et les vitamines sont mélangés avant d’être distribués aux vaches laitières.

La distribution de levures aux vaches laitières est surtout utilisée dans le but de réduire le risque d’acidose. Cependant, l’ajout de levures à la ration semble aussi permettre d’augmenter l’efficacité alimentaire de 0,05 à 0,10, ce qui représente une augmentation d’au moins 6,1% (tableau XXXIII). Cet effet est peut-être permis par la diminution de l’acidose, qui est habituellement à l’origine d’une baisse de l’efficacité alimentaire.

Tableau XXXIII : effet de l’ajout de levures dans la ration des vaches laitières.

Article	Vaches et type de rationnement	Quantité de levures ajoutées	Effet sur l’EA
<i>Schingoethe et al (2004)</i>	Holsteins RTM	+ 60g/VL/j Saccharomyces cerevisiae	+ 0,10
<i>Moallem et al (2009)</i>	Holsteins RTM	+ 1g pour 4 kg de MSI Saccharomyces cerevisiae	+ 0,05 (soit 6,1%)

3. Zootecnie

a) Luminosité

La photopériode correspond au rapport entre la durée du jour et la durée de la nuit. Elle semble avoir un effet positif sur l’efficacité alimentaire, en termes de croissance (augmentation de la masse corporelle). *Petitclerc et al (1983)* ont montré un meilleur rendement de l’ingestion de matière sèche sur l’augmentation de masse corporelle, chez des génisses de race Prim’Holstein soumises à 16h de lumière et 8h d’obscurité que chez le groupe ayant subi 16h d’obscurité et 8h de lumière.

b) Température et hygrométrie

Dans la formule de l’efficacité alimentaire (EA), les facteurs de stress thermiques (chaleur, ou froid important) ne sont pas pris en compte alors qu’ils peuvent réduire l’EA (*Britt et al, 2003 ; Hutjens, 2005*).

Lorsqu'une vache subit un stress thermique, elle redirige son métabolisme dans des processus de thermorégulation (*Renaudeau et al, 2012*). De nombreuses études ont montré que cela induisait une chute de production et une diminution de qualité du lait, dans les régions tropicales, subtropicales et les zones tempérées (*Hill et al, 2015 ; Dikmen et al, 2009*).

Pour combiner les effets de la température et de l'humidité de l'air, il est courant d'utiliser l'indice de Thom (THI, temperature humidity index). Il se calcule selon la formule suivante :

$THI = T - [(0,55 - 0,0055 * HR) * (T - 14,5)]$, avec T la température de l'air en °C, HR l'humidité relative en % (*Ben Boubaker, 2010*).

Le tableau XXXIV présente les ambiances associées aux valeurs de THI obtenues.

Tableau XXXIV : Valeurs de THI et typologie du froid d'après l'indice de Thom, (*Ben Boubaker, 2010*).

Température \ Humidité	-5°C	-4°C	-3°C	-2°C	-1°C	0°C	11°C	12°C	13°C
0%	5,7	6,2	6,6	7,1	7,5	8,0	12,9	13,4	13,8
10%	4,7	5,2	5,7	6,2	6,7	7,2	12,7	13,2	13,7
20%	3,6	4,1	4,7	5,3	5,8	6,4	12,5	13,1	13,7
30%	2,5	3,1	3,7	4,4	5,0	5,6	12,3	13,0	13,6
40%	1,4	2,1	2,8	3,4	4,1	4,8	12,2	12,8	13,5
50%	0,4	1,1	1,8	2,5	3,3	4,0	12,0	12,7	13,4
60%	-0,7	0,1	0,9	1,3	2,4	3,2	11,8	12,6	13,3
70%	-1,8	-0,1	-0,1	0,7	1,6	2,4	11,6	12,4	13,2
80%	-2,9	-2,0	-1,1	-0,2	0,7	1,6	11,4	12,3	13,2
90%	-3,9	-3,0	-2,0	-1,1	-0,1	0,8	11,2	12,1	13,1
100%	-5,0	-4,0	-3,0	-2,0	-1,0	0,0	11,0	12,0	13,0

Très froid
 Froid
 Frais

Différents auteurs montrent qu'à partir d'une certaine température, ou d'une certaine THI, l'efficacité alimentaire diminue (tableau XXXV). Par exemple, **Britt et al (2003)** et **Su et al (2013)** montrent des efficacités alimentaires plus basses lorsque la température est supérieure à 21°C et le THI=76,5, et des meilleures EA lorsque le THI=53 et la température est inférieure à 21°C.

Tableau XXXV : influence du THI sur l'efficacité alimentaire.

Article	Race de vache	Température	THI	Effet sur l'efficacité alimentaire
Britt et al (2003) Su et al (2013)	Non renseignée	> 21 °C	76,5	↘ (non quantifiée)
Britt et al (2003) Su et al (2013)	Non renseignée	< 21 °C	53	↗ (non quantifiée)
Bouraoui et al (2002)	Prim'Holstein climat méditerranéen		68 à 78	↘, car chute de production laitière de 21 % et chute de matière sèche ingérée de 9,6 %

Lorsque l'augmentation de la température et de l'hygrométrie est modérée, on constate chez les vaches laitières hautes productrices une hausse de l'EA par diminution de l'ingestion de MS

sans perte de production laitière (*Hill et al, 2017*). Ce phénomène peut être expliqué par la sélection génétique des vaches laitières hautes productrices, qui se fait sur la production laitière, aux dépens parfois des réserves corporelles.

4. Génétique

Par le biais de la sélection génétique, il est possible d'augmenter la production laitière et l'efficacité alimentaire des vaches laitières. Cependant, la sélection visant à augmenter ces deux paramètres peut aussi induire la sélection d'autres caractères. Ces derniers peuvent être à l'origine de baisse de performances dans d'autres domaines, tel que celui de la reproduction par exemple.

a) La production laitière

Lorsqu'on sélectionne les vaches sur une plus grande production laitière, l'efficacité alimentaire augmente aussi. On remarque sur la figure 28 que quel que soit le stade de lactation, l'efficacité alimentaire est d'autant plus grande que la production laitière l'est aussi. Ce phénomène peut s'expliquer par la dilution des besoins d'entretien : plus la production laitière est importante, plus la proportion de nutriments de la ration utilisée pour les besoins d'entretien est faible, et plus l'efficacité alimentaire augmente.

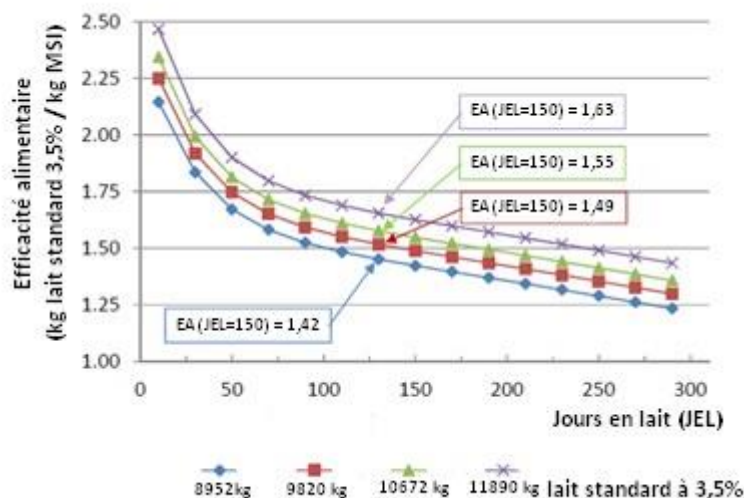


Figure 28 : efficacité alimentaire selon les jours en lait et selon la production laitière (*Erdman, 2011*).

b) Les limites de la sélection génétique sur l'efficacité alimentaire

(i) Effet sur la mobilisation des réserves corporelles

L'augmentation de l'efficacité alimentaire via la sélection génétique est corrélée à la sélection de caractères indésirables, comme une plus forte mobilisation des réserves corporelles en début de lactation, ceci engendrant une baisse de la fertilité, et une moins bonne santé (**Rauw et al,**

1998 ; Berry et al, 2013). De nombreuses causes expliquent la baisse de fertilité chez les vaches laitières hautes productrices. Un exemple de cause impliquant une baisse de la fertilité est l'augmentation des anomalies de cyclicité. En effet, les vaches laitières hautes productrices (production supérieure ou égale à 18 kg par traite pour les primipares et à 23kg par traite pour les multipares dans l'article référencé) mobilisent de manière importante leurs réserves corporelles en début de lactation et sont en déficit énergétique (*Dubois et al, 2006*). Ce déficit énergétique est à l'origine d'un moins bon fonctionnement du métabolisme impliqué dans la reproduction.

La haute production laitière peut aussi engendrer une moins bonne santé des vaches. Un exemple est l'augmentation de la fréquence d'apparition des mammites chez les vaches laitières hautes productrices, par une plus forte sollicitation des sphincters des trayons de la mamelle qui sont fragilisés.

Ainsi, en sélectionnant sur une meilleure efficacité alimentaire, on obtient des vaches plus productives, mais avec une espérance de vie plus limitée et de mauvais résultats de reproduction. Sur le long terme, on obtient donc des vaches moins efficaces (**Berry et al, 2013**).

(ii) Effet sur l'apparition de maladies métaboliques

La sélection génétique sur l'efficacité alimentaire permet de réduire les coûts et l'impact environnemental. Cependant l'effet de cette sélection sur les autres caractères phénotypiques reste peu connu, notamment quant à l'influence sur l'apparition de maladies métaboliques, comme l'acidose (détaillée ci-dessous) (*Hardie et al, 2015*). Concernant la cétose, il semble qu'elle n'ait pas d'influence sur sa fréquence d'apparition (*Rathbun et al, 2017*). La cétose fait partie des maladies métaboliques de la vache laitière, et correspond à un syndrome associé à une accumulation anormale de corps cétoniques dans le sang, due à un déficit énergétique. Elle peut survenir juste après le vêlage sur des vaches qui étaient grasses en fin de gestation, dont les réserves adipeuses sont facilement mobilisables, ou sur des vaches au pic de lactation. Un des principaux effets de cette maladie est la baisse de la production laitière.

5. Santé : l'acidose ruminale subaiguë

L'acidose ruminale subaiguë correspond à une baisse du pH dans le rumen par accumulation d'acides. C'est une pathologie chronique subclinique très fréquente en élevage, qui est la conséquence d'un déséquilibre de la microflore ruminale à la suite d'une ingestion d'aliments très énergétiques de type concentrés et d'un défaut d'apport de fibres. Après l'ingestion d'une telle ration, l'amidon est métabolisé rapidement en une grande quantité d'acides gras volatils (acétate, butyrate et propionate). La quantité produite est trop importante pour être intégralement absorbée par la muqueuse ruminale, et les systèmes tampons (salive) ne suffisent pas maintenir le pH ruminal à sa valeur normale.

L'acidose est responsable d'une diminution de l'efficacité alimentaire par une baisse d'appétit, une baisse de la digestibilité des fibres, une baisse de l'état général, une augmentation de la vitesse de transit (*Casper, 2008 ; Brouk et al, 2000*). Les marqueurs d'acidose en élevage sont présentés dans le tableau XXXVI.

Tableau XXXVI : marqueurs d'acidose en élevage, d'après (*Wolter et al, 2012*).

MARQUEURS ACIDOSE	
↘ appétit	
↗ transit	A pH bas, modification de la microflore ruminale : mauvaise digestion des nutriments
Bouses	→ consistance des bouses ↘ : < 3 (due aux AGV dans le rumen, appel d'eau)
↘ production laitière	
↘ TB (taux butyreux)	TB < 35 g/kg
↗ TP (taux protéique)	Fort apport énergétique de la ration
Inversion des taux	TB/TP < 1.1
↗ boiterie et fourbure	Chute de la synthèse de biotine, libération de LPS (lipopolysaccharide, composant de la membrane des bactéries Gram -) et d'histamine par le rumen
↗ météorisation ↗ déplacement caillette	Par diminution de motricité des pré-estomacs et de la caillette, arrêt éructation

Les facteurs favorisant l'acidose sont :

- Un changement brutal de ration sans transition alimentaire au moment du vêlage ;
- Un apport excessif de concentrés contenant des glucides fermentescibles (amidon et sucre > 25-30 % MS) ;
- Un défaut de fibres dans la ration (NDF < 30-35%, fourrage < 40% de la MSI), le NDF (neutral detergent fiber) correspondant à l'ensemble des parois des cellules végétales de l'aliment.
- Un apport séparé dans le temps des concentrés et des fibres.

D. Autres systèmes

D'autres systèmes permettent d'évaluer l'efficacité de la production de lait (*Hutjens, 2008a*). Il existe des systèmes évaluant la capacité de la vache à utiliser les nutriments ingérés pour la production de lait. C'est un des premiers moyens pour évaluer l'efficacité alimentaire d'un élevage, qui prend en compte la qualité de la ration par rapport aux besoins de la vache à un moment donné, et qui prend en compte l'aptitude de la vache à produire du lait avec une ration donnée. Une autre manière d'évaluer l'efficacité alimentaire de l'élevage est de calculer les dépenses réalisées pour la production d'une certaine quantité de lait. Ces deux types de système sont complémentaires et ils ne suffisent pas à évaluer la viabilité d'un élevage s'ils sont étudiés séparément.

1. Prise en compte des différents composants de la ration ou des caractéristiques de la vache (De Ondarza et al, 2017)

Il peut être intéressant de calculer séparément l'efficacité due à l'énergie et l'efficacité due à l'apport azoté. En effet, leur impact dans l'efficacité alimentaire n'est pas forcément réparti de manière équitable (*Armentano et al, 2013*). Par ailleurs, leur proportion dans les fèces n'étant pas la même, ce calcul séparé permet d'être plus précis d'un point de vue nutritionnel et environnemental (*Owens et al, 2016*).

Plusieurs outils permettent d'évaluer l'efficacité alimentaire en prenant en compte les caractéristiques de la vache et de la ration ingérée. Deux exemples sont présentés dans cette partie : « l'efficacité de conversion de l'énergie » et « l'énergie résiduelle ingérée ».

a) Efficacité de conversion de l'énergie (= energy conversion efficiency)

Elle correspond au rapport entre l'énergie contenue dans le lait produit sur l'énergie distribuée aux vaches pour produire le lait. Tout comme l'efficacité alimentaire, sa valeur sera augmentée lors de la mobilisation des réserves corporelles en début de lactation, et diminuée lors de la prise d'état corporel en fin de lactation.

b) Energie résiduelle ingérée (= residual energy intake = REI)

L'énergie résiduelle ingérée (REI) correspond aux entrées d'énergie auxquelles on soustrait l'énergie requise par la vache selon sa production de lait, son poids vif, sa note d'état corporel et ses besoins énergétiques pour la gestation (*Mantysaari et al, 2012*).

Ainsi le REI est moins influencé par les pertes et les gains d'état corporel. Un REI diminué indique qu'une moindre quantité d'énergie ingérée est gaspillée et que l'efficacité d'utilisation de l'énergie est améliorée.

Cependant, il semble que le stade de lactation affecte le REI (démonstré chez les vaches rouges nordiques) (*Mantysaari et al, 2012*). Ceci pourrait être dû à des efficacités énergétiques différentes selon le stade de lactation, ou à une prise en compte inadéquate de la mobilisation des réserves corporelles par l'éleveur dans le calcul de ration.

2. Prise en compte de l'aspect économique (De Ondarza et al, 2017)

Dans cette partie sont présentés six outils permettant d'évaluer l'efficacité alimentaire d'un point de vue économique : « le coût de la ration par kg de matière sèche », « le coût de la ration par vache par jour », « le coût de la ration pour 45,4 kg de lait », « le revenu du lait par rapport au coût alimentaire », « le revenu du lait corrigé » et la « réponse marginale du lait ».

Pour une même valeur d'efficacité alimentaire, il semblerait que la rentabilité soit d'autant plus importante que les valeurs de matière sèche ingérée et de lait standard produit soient plus élevées. En effet, pour un même ratio, des valeurs plus faibles de MSI et de lait produit semblent engendrer une moins bonne rentabilité (*Robinson et al, 2010*).

a) Coût de la ration par kilogramme de matière sèche (= feed cost per pounds of dry matter, ou ration cost efficiency)

Cette méthode est pratique pour comparer des races, régions, et niveaux de production similaires. Aux Etats-Unis, on vise un coût de 1,92 dollars par kg de matière sèche. Il ne prend pas en compte les changements d'état corporel, la croissance des primipares, la santé, les refus, les restrictions d'alimentation.

b) Coût de la ration par vache par jour (= feed cost per cow per day)

Cela représente le coût de l'alimentation pour chaque vache par jour. Il ne prend en compte ni la production laitière, ni le stade de lactation. Une valeur repère dans l'Illinois pour des Holsteins à 31 kg de lait par jour est d'avoir cette valeur inférieure à 5,50 dollars par jour par vache.

c) Coût de la ration pour 45,4 kg de lait (= feed cost per hundredweight (45.4 kg))

Il est calculé en faisant le rapport entre les coûts de l'alimentation pendant la lactation et le tarissement, de la reproduction, de la santé du troupeau, ramené à une quantité de lait produit (45,4 kg). Cette méthode permet de comparer différents élevages via un même niveau de production. Ce repère dépend de la production laitière mais aussi des dépenses alimentaires. On vise un coût inférieur à 7 dollars pour produire 45 kg de lait. L'élevage des génisses et la composition du lait (MG et MP) ne sont pas pris en compte (*Bethard, 2013*). Certains auteurs semblent privilégier un système prenant en compte la valeur nutritive et le prix du marché des différents composants de la ration, ainsi que l'optimisation des ressources fourragères, plutôt qu'un système visant à réduire au maximum le feed cost per hundredweight (*St-Pierre, 1998*).

d) Revenu du lait par rapport au coût alimentaire (= milk income over feed cost (IOFC))

Il correspond à la différence entre les revenus permis par le lait et les coûts du rationnement. L'utilisation de ce revenu pour évaluer l'efficacité est utile pour le rationnement à court-terme mais non recommandé à long terme. En effet, il dépend du prix du lait et du cours des matières premières de la ration (*Bethard, 2013*). Il permet de déterminer un prix d'équilibre. On vise alors un résultat supérieur à 11 dollars par vache par jour. Il peut inclure ou non les refus, la santé, le tarissement, l'élevage des génisses. Il semblerait qu'une ration de qualité et une production laitière plus importante aient plus d'impact sur le IOFC qu'une diminution du coût de la ration.

e) Revenu du lait corrigé (= money corrected milk)

Il calcule le prix du lait en fixant le coût des aliments et en fixant les composants du lait. Il reflète ainsi la performance du troupeau au fil du temps. C'est une version améliorée de l'IOFC mais qui n'inclut pas les coûts des refus, ni de la santé des vaches, ni de la gestion des tarries et des génisses (*Bethard, 2013*).

f) Réponse marginale du lait (= marginal milk response)

Elle reflète le bénéfice si l'on peut obtenir davantage de lait. Dans cette approche, on améliore la rentabilité si les nouvelles dépenses sont couvertes par la production laitière précédente. Par exemple, si on apporte 1 kg supplémentaire de matière sèche et que la production de lait augmente de 2 kg, on obtient un bénéfice marginal.

3. Efficacité au cours de la vie (= lifetime efficiency)

L'efficacité au cours de la vie (GE) est le pourcentage de l'ingestion d'énergie pendant toute la durée de vie convertie en lait, conceptus et tissus corporels. Ainsi, une croissance précoce et plus efficace des veaux et des génisses et une plus grande longévité correspondent généralement à une meilleure GE. Il semblerait qu'une vache produisant 9 000 kg de lait par an à maturité aurait un GE de 17% après la première lactation et de 20,5% après la troisième lactation, augmentant seulement à 21,4% après la cinquième lactation (*VandeHaar et al, 2006*). Cet outil permet donc de prendre en compte la production de la vache dans son intégralité, c'est-à-dire la production laitière, mais aussi la production de viande et de veaux. L'efficacité donnée par cet outil est donc plus globale.

4. Efficacité totale de l'entreprise laitière (= total dairy enterprise efficiency)

Afin de décrire correctement l'efficacité d'une entreprise laitière, il est nécessaire de prendre en compte tous les gains et toutes les pertes de nutriments.

Les pertes de nutriments correspondent aux pertes dans les cultures, dans le fumier, dues à la gestion de l'alimentation, à l'inefficacité de la reproduction, aux nutriments nécessaires aux génisses de remplacement et aux vaches tarées etc.

De manière pratique, pour calculer cette efficacité, il convient d'intégrer un ensemble de données précises sur l'exploitation. Pour cela il conviendrait d'utiliser un modèle nutritionnel avancé (par exemple celui du *National Research Council (2001)*), un modèle laitier de ferme comme DairyWise (*Schils et al, 2007*) ou un modèle des systèmes agricoles intégrés (*Rotz et al, 2012*). Ces modèles évaluent la santé de la ferme sous toutes ses formes, en prenant en compte des paramètres zootechniques (l'alimentation, la production laitière, les performances de reproduction), des paramètres agronomiques (la croissance de l'herbe, la gestion du pâturage), des paramètres environnementaux (le cycle de l'azote et du phosphore, les émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac, l'utilisation d'énergie (CO₂)), et des paramètres économiques (les dépenses etc). Ces modèles d'agriculture intégrée sont encore peu répandus en France.

5. Avantages et inconvénients

Le tableau XXXVII présente les avantages et inconvénients des différents outils permettant d'évaluer la rentabilité.

Les trois premiers outils présentés (FE, ECE et REI) ne prennent pas en compte l'efficacité d'un point de vue économique, mais uniquement l'efficacité du métabolisme de la vache, c'est-à-dire qu'ils reflètent la production de la vache selon les apports reçus. Les trois outils suivants (FEvc, Feed cpst/cwt et IOFC) nous donnent une valeur d'efficacité alimentaire en prenant en compte l'aspect économique. Ils ne prennent pas en compte les besoins nutritionnels de la vache. On ne peut pas avoir de valeurs seuils pour ces outils, étant donné que le prix du lait varie au cours du temps. Le dernier outil (GE) est le plus global car il prend en compte l'élevage dans son ensemble (de l'élevage des génisses à la production de lait).

Tableau XXXVII : avantages et inconvénients des différents systèmes évaluant la rentabilité (De Ondarza et al, 2017)

	Abréviation	Formule	Avantages	Inconvénients
Physical feed efficiency = efficacité alimentaire	FE	Quantité lait standardisé (en énergie ou MG) / MSI	Indique la digestibilité	Densité des différents nutriments, coût, réserves corporelles, non pris en compte
Energy conversion efficiency	ECE	Milk energy output / Milk energy intake	Prend en compte l'efficacité des différents constituants	Réserves corporelles non prises en compte
Residual energy intake	REI	Milk energy intake – energy requirement	Peu d'influence des réserves corporelles	Repose sur la prédiction des besoins en énergie
Ration cost efficiency	FEvc	Prix du lait / valeur fiscale de la MSI	Reflète les bénéfices	Réserves corporelles non prises en compte
Feed cost per hundredweight	Feed cost /cwt	Dépenses alimentaires / 45.4 kg de lait vendus	Inclut le coût du tarissement et les performances reproduction	Elevage des génisses et prix du lait non pris en compte
Milk income over feed cost	IOFC	Revenus du lait – dépenses alimentaires	Décisions d'alimentation à court terme	Dépend du prix du lait et du coût de l'aliment
Lifetime efficiency	GE	Energy in lifetime milk, conceptus and body / lifetime GE intake	Inclut l'élevage des génisses, les performances de reproduction	Calcul individuel pour chaque ferme difficile

6. Facteurs de variation influençant les différents outils d'évaluation de l'efficacité alimentaire

Le tableau XXXVIII résume les effets de certains facteurs cités précédemment sur les différents outils de mesure d'EA.

On voit une fois de plus que l'outil « Lifetime efficiency, GE » est celui qui prend en compte le plus de paramètres et qui reflète le mieux l'efficacité alimentaire d'un élevage. Les autres outils prennent en compte le même nombre de paramètres.

Tableau XXXVIII : aspects nutritionnels et de conduite d'élevage : leur impact sur l'efficacité alimentaire et les autres systèmes de calcul de rentabilité (*De Ondarza et al, 2017*).

+ : augmentation ; - : diminution ; = : pas de changement

Facteurs	EA	IOFC	FEvc	feed cost/cwt	Lifetime efficiency
↗ MSI et ↗ PL	+	+	+	+	+
↘ MSI et PL =	+	+	+	+	+
↗ MSI et coût MS ↘	-	+	+	+	
↗ Fibres digestibles	+ sauf si forte ↗MSI	+	+	+	+
↗ Digestibilité amidon	+	+ attention au coût du concentré	+	+	+
↗ Graisses supplémentaires	+	-	-	+	
↗ Additifs (ex : ionophore monensin)	+	+	+	+	+
↗ Fonction ruminale	+	+	+	+	+
↘ Pertes stockage et refus	=	+	=	-	=
↘ Rejets méthane	+	+	+	+	+
↗ Confort et bien-être animal	+	+	+	+	+
↗ Composition du lait	+	+	+	=	+
↗ Croissance des génisses	=	=	=	=	+
↘ Durée du tarissement	=	+	=	-	+

E. Marqueurs de mauvaise efficacité alimentaire en élevage

1. Marqueurs laitiers

a) Le taux butyreux (TB) et le taux protéique (TP)

Le lait de vache est composé d'eau et de matières sèche. La matière sèche comprend la matière grasse, la matière protéique, le lactose et des minéraux (figure 29).

Constituants	Quantité en g/kg de lait
Eau	870
Matières grasses = TB	34 à 40
Matières protéiques = TP	31 à 34
Lactose	49
Minéraux	8

Figure 29 : composition du lait de vache (*Wolter et al, 2012*).

Le TP correspond aux matières protéiques contenues dans le lait (figure 30). Le TB correspond aux matières grasses contenues dans le lait.

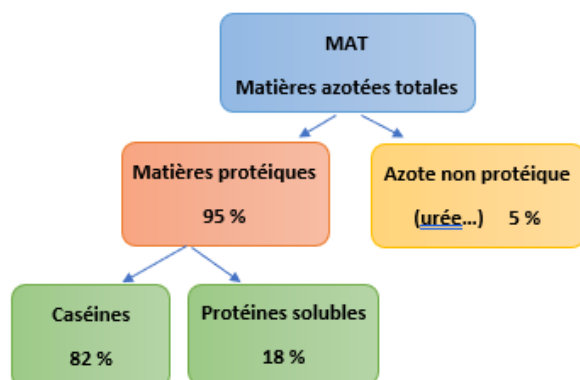


Figure 30 : matières azotées totales contenues dans le lait (*Wolter et al, 2012*).

Le taux butyreux TB et le taux protéique TP du lait varient tout au long de la lactation et l'alimentation a une forte influence dessus (figure 31).

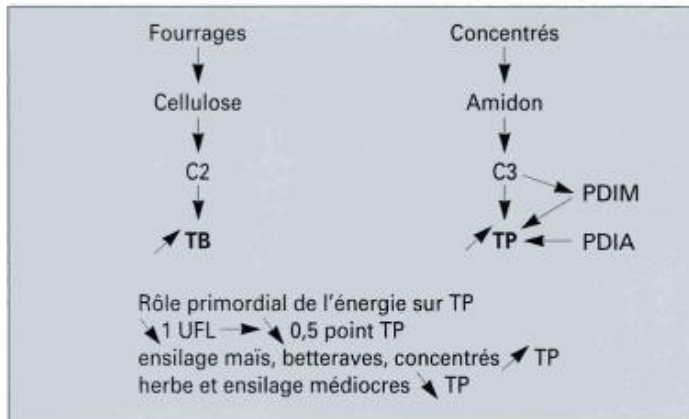


Figure 31 : influence de l'alimentation sur le TP et TB (Wolter et al, 2012).

L'alimentation influe sur la valeur du TP en favorisant la protéosynthèse mammaire par rapport à la lipogenèse. C'est l'apport d'acides aminés indispensables et d'acide propionique (C3) fournisseur d'énergie qui permet la protéosynthèse mammaire.

La valeur du TB dépend de la bonne cellulolyse des fourrages en acide acétique (C2). La mamelle synthétise à partir des acides acétique et butyrique prélevés dans le sang des acides gras à chaînes courtes et moyennes (<C16).

Les valeurs de TP et TB nous donnent des indications sur la valorisation de la ration par la vache laitière et ainsi sur l'efficacité alimentaire. Une baisse du TP en début de lactation est signe de déficit énergétique. Une chute du TB, ou plus précisément un rapport $TB/TP < 1$ est signe de sub-acidose. Un TB trop important ($TB > 45 \text{ g/L}$) reflète une mobilisation des réserves adipeuses due à un déficit énergétique. Ces trois exemples induisent une efficacité alimentaire qui n'est pas maximale.

Les valeurs des TP et TB peuvent donc être des marqueurs indirects d'une mauvaise efficacité alimentaire par une alimentation non adaptée au stade physiologique de la vache laitière (tableau XXXIX).

Tableau XXXIX : rapport TB/TP, marqueur de bonne/mauvaise EA, d'après (Wolter et al, 2012).

TB/TP > 1,5	TB/TP < 1
Signe de cétose, (0-42 JEL) => diminution de l'EA par diminution de l'ingestion	Signe d'acidose (surtout 40-90 JEL) => diminution de l'EA par non valorisation de la ration ingérée (transit trop rapide)

Ces rapports ont été établis sur des vaches de race Prim'Holstein, Montbéliardes et Normandes. Les taux peuvent fortement différer selon les races, comme le présentent le tableau XL. Les normes du rapport TB/TP utilisées dans le tableau ci-dessus ne sont alors pas forcément vérifiées.

Tableau XL : TB et TP en 2015 et 2017 selon les races en France (*Institut de l'élevage, 2015 ; Institut de l'élevage, 2017*).

Race	TB (2015)	TB (2017)	TP (2015)	TP (2017)
Prim'Holstein	39	39,1	31,8	31,4
Montbéliarde	38,7	38,6	32,9	32,8
Normande	42,1	41,9	34,6	34,2
Abondance	36,9	36,3	33,3	33
Brune	41,6	41,4	34,2	33,8
Simmental	39,9	39,8	33,7	33,6
Pie Rouge des plaines	42,5	42,2	33,2	32,7
Tarentaise	36,6	36,7	32,3	32,4
Jersiaise	55,4	55,2	38,4	38,1

b) Urée

Il s'agit du principal déchet du métabolisme azoté. On mesure sa concentration soit dans le sang soit dans le lait, l'équilibre entre les deux se faisant en moins d'une heure. Le taux d'urée dans le lait varie selon la ration distribuée. On constate une augmentation du taux d'urée à la mise à l'herbe, et, à l'inverse, une diminution du taux à la rentrée à l'étable où les vaches laitières reçoivent une ration plus équilibrée contenant plus de matière sèche. Un taux d'urée normal est compris entre 180 et 330 mg/L (*Wolter, 2012*).

Un taux élevé d'urée peut être dû à l'association d'un excès de matières azotées dégradables dans le rumen ou non dégradables dans l'intestin, avec un déficit d'énergie fermentescible. La ration ingérée n'est pas valorisée au maximum, et l'efficacité alimentaire n'est donc pas optimale.

Un faible taux d'urée indique un défaut d'azote dégradable dans la ration ainsi qu'une faible activité de la microflore ruminale. Il implique une mauvaise valorisation de la ration. L'efficacité alimentaire n'est alors pas optimale.

Il semblerait que la stabilité du taux d'urée au cours du temps dans l'intervalle cité précédemment (180 à 330 mg/L), permette aux vaches laitières d'être dans une zone de confort. Une variation de moins de 30 mg/L suffit à considérer le taux d'urée comme stable. En revanche une variation de plus de 50 mg/L est anormale. Des variations du taux d'urée peuvent engendrer des maladies nutritionnelles (mauvais remplissage du rumen, transit trop élevé), une chute de production et donc une mauvaise efficacité alimentaire (*Bertrand et al, 2011*).

2. Marqueurs zootechniques

a) Note d'état corporel

La note d'état corporel (NEC) permet d'évaluer de façon subjective la quantité de gras sous-cutané. Ainsi, la NEC diminue lorsque la vache n'ingère pas assez d'énergie et augmente lorsqu'elle en ingère trop. Elle reflète l'apport énergétique à moyen terme, et permet d'expliquer certaines valeurs d'EA. Elle a une influence sur l'ingestion réelle de matière sèche, et peut nous permettre ainsi d'interpréter l'efficacité alimentaire obtenue. Par exemple la diminution de l'EA après le 100^{ème} JEL est due à l'utilisation de la MSI pour reconstituer les réserves corporelles, perdues au moment du pic de lactation (où l'EA était la plus élevée).

La NEC est déterminée en faisant la moyenne de la note latérale (à droite) et de la note arrière, notes obtenues selon la grille ci-dessous par exemple (figure 32).

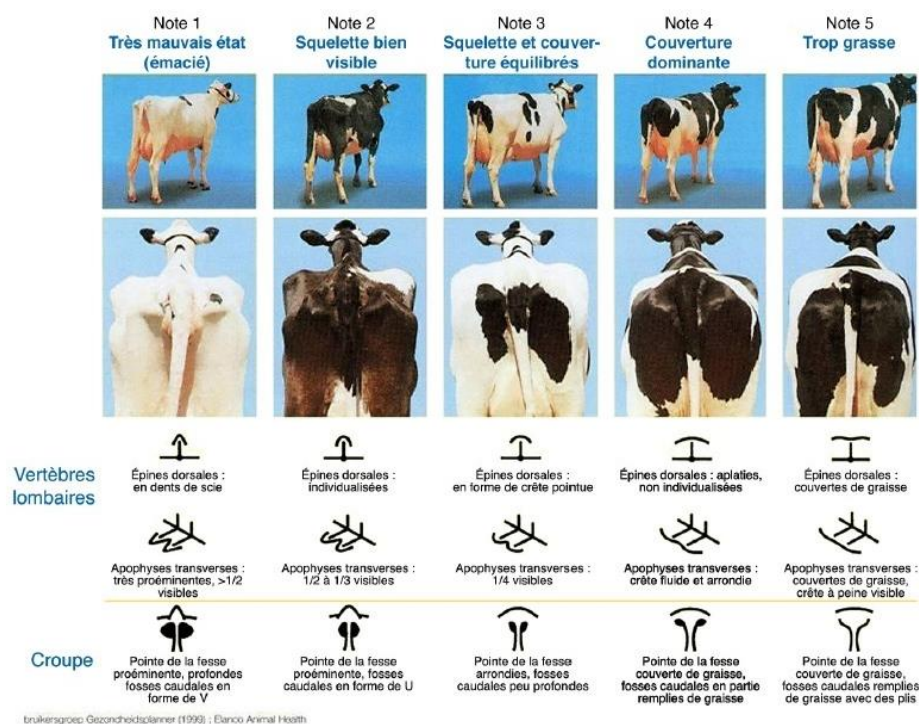


Figure 32 : grille de détermination de la note d'état corporel (Gezondheidsdienst voor Dieren, 1999).

b) Remplissage du rumen

L'évaluation du remplissage du rumen (RR) permet d'évaluer la quantité d'aliment ingéré par la vache pendant les dernières 24h, et ainsi de savoir si elle reçoit une quantité adaptée à son stade de production et à la taille de son rumen. C'est un marqueur à court terme qui peut expliquer une faible EA si l'ingestion n'a pas été suffisante (RR faible) (figure 33).



Figure 33 : grille de notation du remplissage du rumen (d'après *Noorhuizen, 2007*).

c) Consistance des bouses

La consistance des bouses donne une indication sur la vitesse de transit et sur l'assimilation de la ration (figure 34). Elle peut être témoin d'un processus d'acidose (consistance diminuée, note 2), de cétose (généralement par une augmentation de consistance, note 4), d'indigestion par une séparation entre la phase liquide et la phase solide. Elle reflète ainsi le statut métabolique et permet d'expliquer les variations d'EA.

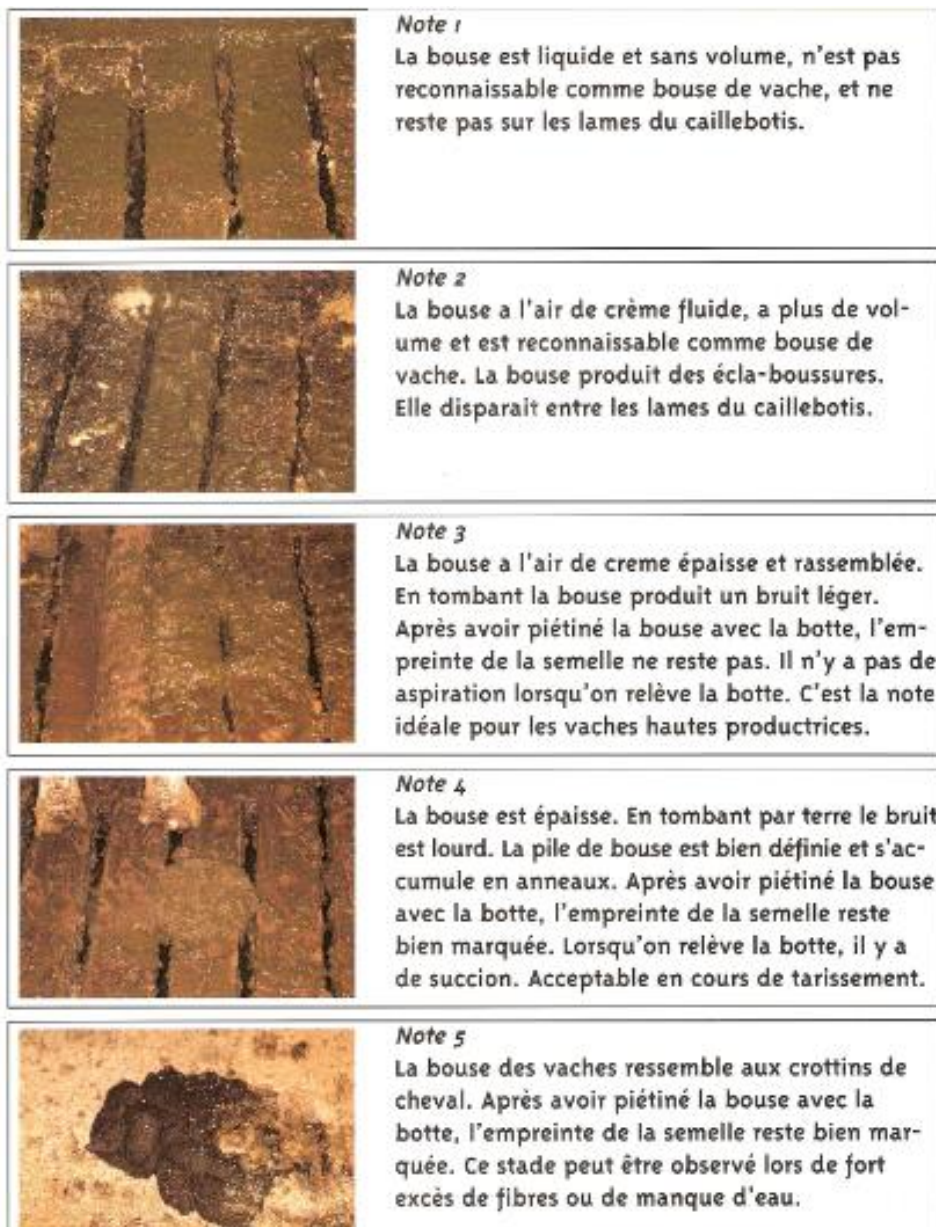


Figure 34 : grille de notation de la consistance des bouses (d'après *Noorhuizen, 2007*).

d) Fibrosité des bouses

Elle correspond à la quantité d'éléments non digérés présents dans les bouses. Elle est évaluée au gant ou avec un tamis (Nasco Analyser Digestion par exemple) et permet de connaître l'efficacité de la digestion par la microflore ruminale, et ainsi la valorisation de la ration. La présence de fibres longues (>1,2 mm) et de grains éclatés non digérés peut être signe de sub-acidose ou de déficit en azote soluble à l'origine d'une faible valorisation de la ration et d'une faible EA (figure 35).

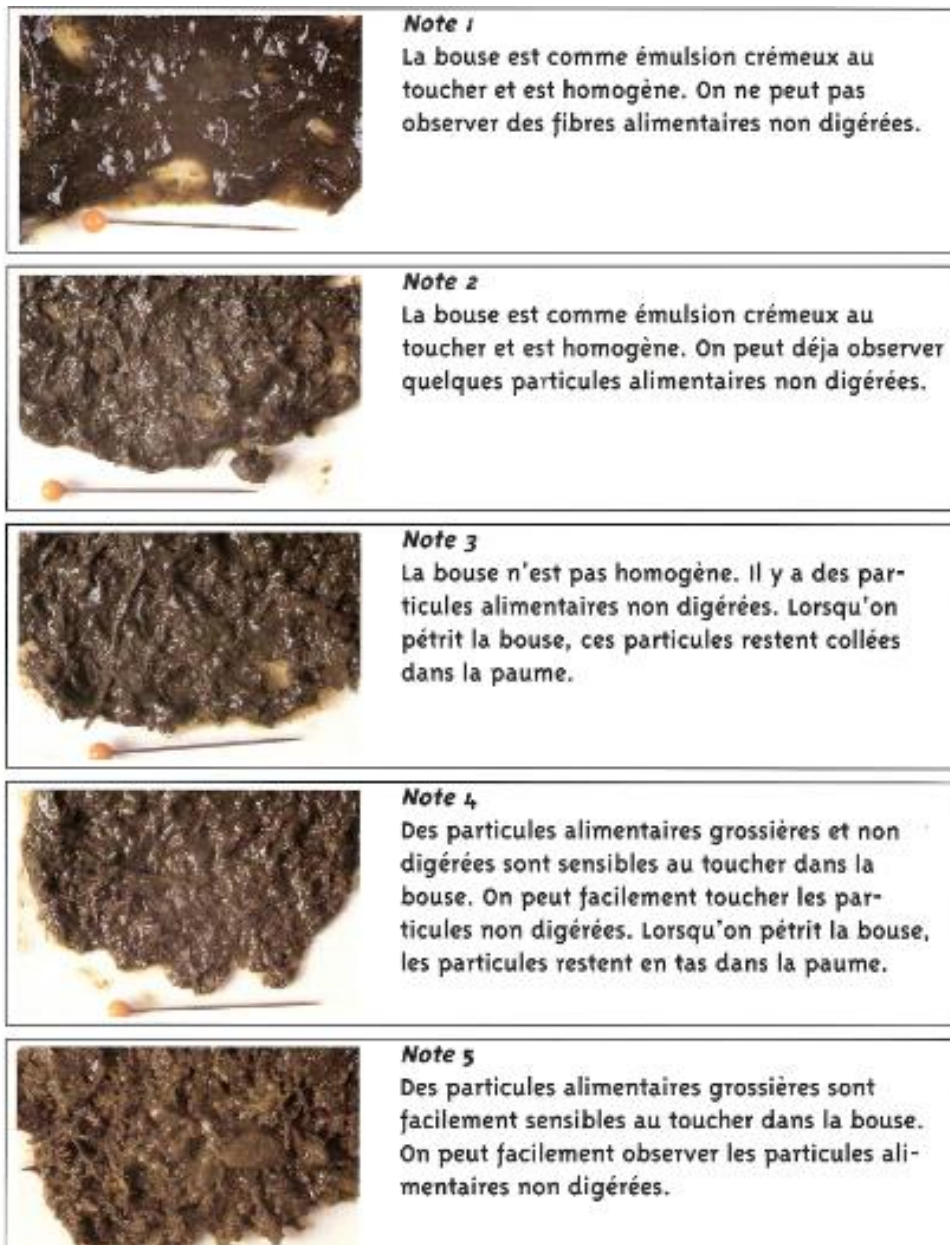


Figure 35 : grille de notation de la fibrosité des bouses (d'après *Noorhuizen, 2007*).

e) Fourbure

Pour la diagnostiquer, il est nécessaire de placer la vache dans une cage de parage et d'observer les lésions de fourbure (décollement de la ligne blanche, ulcères...). Sans cage de parage, on peut déterminer le pourcentage de vaches boiteuses selon le score de motricité. La fourbure est un révélateur de sub-acidose, de mauvaise valorisation alimentaire, et de faible EA (*Commun et al, 2016*).

PARTIE II : ETUDE DE CAS

I. Contexte

A. Demande de terrain

Dans cette étude, on s'intéresse à la capacité d'ingestion et à l'efficacité alimentaire des vaches de race Tarine dans la zone AOP Beaufort.

Le Beaufort est un fromage produit dans une zone bien délimitée des Alpes (cf **I.B.1.**). Pour avoir la dénomination « AOP » (appellation d'origine protégée), il doit répondre à un cahier des charges précis qui sera détaillé par la suite (cf **I.B.**). Il est fabriqué à partir de lait de vache de race Abondance et/ou Tarine. Pour obtenir la meilleure rentabilité économique et la meilleure qualité de fromage, des techniciens du contrôle laitier « Eleveurs des Savoie » sont chargés de conseiller les éleveurs au sujet de tous les aspects techniques de l'élevage (alimentation, reproduction, qualité du lait etc).

En été, les vaches sont au pâturage. En hiver, du fait de la neige, elles sont rentrées au bâtiment et nourries avec une ration sèche (à base de fourrages secs et concentrés, les fourrages fermentés étant interdits), comme imposé par le cahier des charges. Les techniciens du contrôle laitier sont sollicités dans le but de calculer la ration optimale des vaches laitières en hiver, selon la qualité et la quantité des fourrages récoltés par l'éleveur et selon les concentrés qu'il a achetés. Pour le calcul des rations, ils utilisent le système de rationnement de l'INRA (basé sur *INRAtion-Prévalim, 2007*). Le modèle de prédiction des quantités ingérées utilisé est celui de l'INRA, *2010*. Ils auraient remarqué des difficultés d'adaptation du modèle de l'INRA par rapport à la réalité du terrain : les vaches de race Tarine sembleraient avoir une capacité d'ingestion beaucoup plus importante que ce que prévoit le modèle de l'INRA. Une première étude a donc été faite en 2015-2016, afin de mesurer la quantité réelle de fourrages ingérée par les vaches de race Tarine.

Pour essayer de confirmer leur impression, nous avons tout d'abord analysé ces premières données récoltées en 2015-2016. Dans un deuxième temps, nous avons organisé une nouvelle campagne de mesures, en 2017. L'objectif de cette seconde série de mesures était d'augmenter le nombre de données et d'affiner et systématiser les méthodes de mesures afin de déterminer s'il y avait ou non une adéquation entre l'ingestion observée et le modèle de prédiction l'INRA. Nous souhaitons aussi évaluer l'efficacité alimentaire des vaches de race Tarine dont la production laitière est limitée par le cahier des charges (cf **I.B.3.**).

Pour conforter notre méthode, les mesures ont aussi été réalisées dans quelques élevages comprenant des vaches de race Montbéliarde, nourries avec une à base de fourrages secs et de concentrés, c'est-à-dire semblable à celle des vaches de race Tarine de la zone AOP Beaufort. C'est une race dont l'équation de prédiction de l'INRA semble correctement prédire la capacité d'ingestion.

Par le biais de l'analyse des données de la première campagne de mesures, et de la mise en place et de l'analyse de la deuxième campagne de mesures, nous avons souhaité répondre à la problématique suivante : **la capacité d'ingestion chez les vaches Tarines est-elle bien prédite par le modèle de l'INRA ? Que peut-on dire de l'efficacité alimentaire des vaches Tarines ?**

B. Zone AOP Beaufort : respect d'un cahier des charges

1. Une zone d'appellation en altitude

La zone AOP Beaufort se situe dans le département de la Savoie, et a une superficie de 400 000 hectares. Elle recouvre le Beaufortain, la Tarentaise, la Maurienne et le Val d'Arly (figure 36).

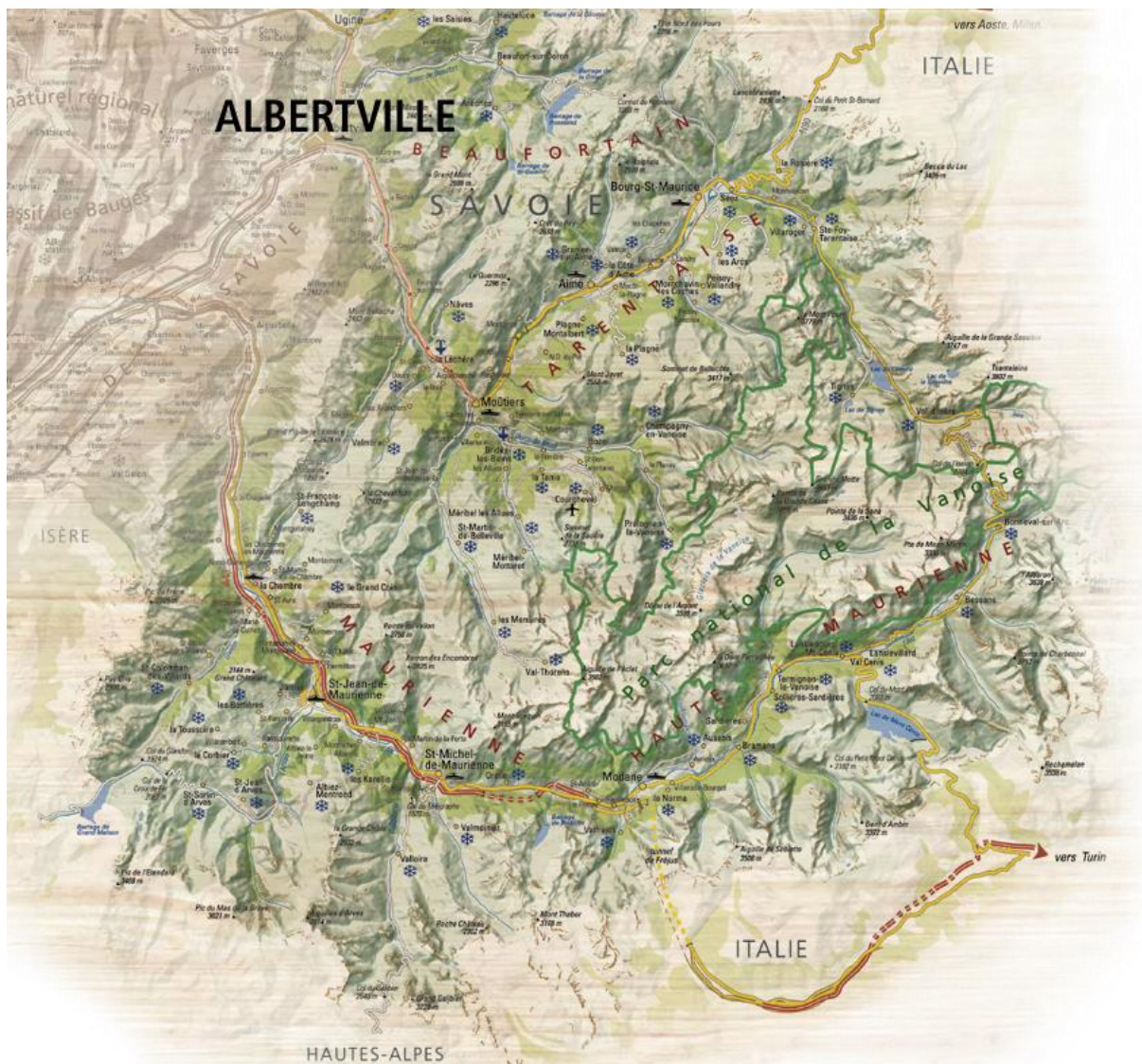


Figure 36 : zone AOP Beaufort (*site <http://www.fromagesdesavoie.fr/>*), (zone de la carte colorée).

2. Des races obligatoires

Le lait des vaches de races locales Tarine (ou Tarentaise) et Abondance est le seul à pouvoir être utilisé dans la fabrication du fromage Beaufort. Il n'est pas nécessaire que les vaches soient nées et élevées sur la zone de manière permanente. En effet, il est de tradition d'autoriser :

- Le déplacement de vaches laitières en plaine pendant l'hiver ;
- La mise en alpage dans la zone Beaufort de vaches laitières provenant d'élevages hors zone pendant la saison de pâturage ;

- Le déplacement des génisses dans le Var en hiver pour permettre l'entretien des pare-feux. En pâturant, elles permettent de limiter la quantité d'herbe qui serait le point de départ d'incendies pendant de périodes plus chaudes.

3. Une production laitière limitée

Le cahier des charges limite la production laitière à 5000 kg de lait par vache laitière par an.

D'après les résultats nationaux du contrôle laitier, les vaches de race Abondance et Tarine sont parfaitement adaptées à cette production, puisqu'en en 2017 on relève une production moyenne de 5346 kg de lait pour les vaches Abondances, et de 4181 kg pour les vaches Tarines (*Institut de l'élevage, 2017*).

4. Une ration sèche obligatoire

Concernant les fourrages, le cahier des charges impose les points suivants (*Cahier des charges de l'AOP Beaufort*) :

- L'utilisation de fourrages secs (foin, paille, luzerne). Il est interdit d'utiliser des fourrages fermentés de type ensilage, enrubannage, produits fermentés et pulpes de betteraves.

- La teneur en matière sèche des fourrages secs doit être d'au moins 85%.

- Il est interdit de mouiller les rations (pratique réalisée dans le but d'homogénéiser la ration et de diminuer le phénomène de tri).

- Au minimum 20% des besoins annuels en foin pour l'alimentation des vaches laitières doit provenir de l'aire géographique de l'appellation Beaufort.

- Un apport de 3 kilogrammes de luzerne déshydratée broyée issue de variétés non transgéniques par vache en lactation et par jour en moyenne sur le troupeau est autorisé.

La qualité des foins récoltés dans la zone AOP Beaufort dépend de :

- la qualité intrinsèque des prairies fauchées. Dans la zone AOP Beaufort, les prairies sont généralement des prairies naturelles, qui sont des prairies n'ayant jamais été retournées ni ressemées. Ces prairies naturelles sont souvent « multi-espèces » c'est-à-dire qu'elles sont composées d'au moins 10 espèces fourragères différentes.

En Maurienne et Haute Maurienne, on retrouve aussi des prairies temporaires irriguées, c'est-à-dire des prairies ayant été semées il y a moins de 5 ans, avec un mélange de graminées et de légumineuses. La diversité de la flore est moins importante que dans une prairie permanente (naturelle ou semée il y a plus de 5 ans). En Tarentaise, l'irrigation n'est pas possible et les fourrages sont de moins bonne qualité qu'en Maurienne et Haute-Maurienne.

- des techniques et des conditions de récolte. Etant donné les contraintes climatiques (pluviométrie > 1000 mm/an), et les contraintes du cahier des charges qui impose des rations sèches, les éleveurs de la zone AOP Beaufort ont souvent recours à un processus de séchage en grange des fourrages. On récolte un fourrage préfané dont le séchage se poursuit en grange par ventilation d'air chaud. Ainsi, la fauche peut être réalisée à un stade précis et souvent plus précoce, permettant une meilleure qualité nutritionnelle, et de manière plus indépendante de la météo. L'herbe est moins abîmée par les engins de fanage, la perte des feuilles est moindre, et ainsi le foin obtenu est plus riche en protéines.

5. Une utilisation de concentrés limitée

Le cahier des charges impose en période hivernale une quantité maximale d'aliments concentrés distribués inférieure ou égale à 1/3 du poids de la ration de base, en moyenne sur les vaches en lactation.

Le type de concentrés autorisés par le cahier des charges doit répondre aux caractéristiques suivantes :

- avoir un pourcentage de matière azotée totale de 16 %,
- avoir une valeur énergétique minimale de 0,89 UFL (Unités Fourragères Lait) par kilogramme,
- avoir des valeurs azotées comprises entre 95 g PDIN/UFL (protéines digestibles intestinales d'origine alimentaire et d'origine microbienne, limitées par l'azote disponible pour les bactéries par Unité Fourragère Lait) et 125 g PDIE/UFL (protéines digestibles intestinales d'origine alimentaire (et d'origine microbienne, limitées par l'énergie disponible pour les bactéries par UFL),
- avoir une teneur en matières grasses inférieure à 6%,
- avoir une teneur en amidon supérieure à 32%.

Ils sont donc riches en énergie et riches en protéines (16% de matière azotée totale).

II. Matériel et méthode

Pour calculer et mesurer les quantités ingérées par les vaches laitières dans les élevages étudiés, de nombreuses données ont dû être répertoriées. Certaines étaient récoltées directement en élevage (comme la production de lait de la journée), et d'autres hors-élevage via le logiciel Mil'Klic (comme le taux protéique, TP). Avec ces données, il nous était alors possible de calculer de manière précise la capacité d'ingestion et l'efficacité alimentaire de chaque troupeau.

Pour évaluer la ration, nous avons utilisé le modèle basé sur les formules de rationnement établies par *l'INRA (2010)*.

On rappelle la formule de prédiction de la capacité d'ingestion (CI) du modèle de *l'INRA (2010)* qui a été utilisée :

$$CI = [13,9 + (0,015 * (PV - 600)) + 0,15 * PL_{pot}) + (1,5 * (3 - NEC))] * IL * IG * IM,$$

en UEL (unité d'encombrement laitier),

Avec PV le poids vif, PL_{Pot} la production laitière potentielle, NEC la note d'état corporel, IL l'indice de lactation, IG l'indice de gestation, IM l'indice de maturité.

L'efficacité alimentaire, quant à elle, a été calculée en convertissant le lait en lait standardisé (= lait corrigé à 4% de matière grasse) en kg/VL :

$$EA = \frac{\text{Lait Standard}}{MSI},$$

avec MSI = matière sèche ingérée en kg MS/VL/j,

et avec Lait standard =
$$\frac{(0,44 + (0,0055 * (TB - 40)) + 0,0033 * (TP - 31)) * \text{Quantité Lait}}{0,44}$$

avec TB le taux butyreux du lait et TP le taux protéique du lait.

A. Sélection des élevages

La sélection des élevages a représenté la première étape de cette étude. Nous cherchions des élevages avec une grande proportion de vaches de race Tarine (au moins 70 %). Lors de la campagne de mesures de 2017, nous avons aussi sélectionné des élevages de vaches de race Montbéliarde, hors de la zone AOP Beaufort, car c'est une race qui semble bien répondre au modèle de prédiction des quantités ingérées de *l'INRA (2010)*.

1. Elevages de vaches de race Montbéliarde

La détermination de la capacité d'ingestion dans des élevages de vaches de race **Montbéliarde**, qui est une race qui semble bien répondre au modèle de l'INRA, va nous permettre d'évaluer la fiabilité de nos méthodes de mesure (pesée des foins, concentrés), et la détermination de la capacité d'ingestion. En effet les méthodes de mesure utilisées par l'INRA sont différentes des nôtres (mesures individuelles dans les élevages expérimentaux de l'INRA, mesures de groupe sur les troupeaux étudiés dans notre étude). L'étude de ces élevages va aussi nous permettre d'obtenir une valeur de référence d'efficacité alimentaire de vaches nourries avec des rations à base de foin.

Les critères de choix des élevages de vaches Montbéliardes étaient les suivants :

- ❖ Sélectionner 6 élevages comprenant au moins 80% de vaches laitières Montbéliardes, nourries exclusivement avec une ration composée de fourrages secs et de concentrés.
- ❖ Sélectionner les élevages où les vaches sont nourries à volonté (présence de refus).
- ❖ Ces élevages peuvent être hors de la zone AOP Beaufort (hors cahier des charges). En effet, étant donné la valorisation du prix du lait destiné à la fabrication de fromage AOP Beaufort, les élevages étant composés en majorité de vaches Montbéliardes, c'est-à-dire ne répondant pas au cahier des charges, sont plutôt rares.

2. Elevages de vaches de race Tarine

En 2015, seuls les élevages composés de plus de 70% de vaches de race Tarines ont été sélectionnés.

Les critères de choix des élevages à étudier en 2017 étaient les suivants :

- ❖ Parmi la campagne de mesures 2015-2016, sélectionner 10 élevages ayant effectué une seule fois les mesures ; le troupeau doit être constitué d'au moins 70% de vaches laitières de race Tarine et être dans la zone AOP Beaufort.
- ❖ Trouver 10 à 15 **nouveaux** élevages répondant à ces mêmes critères.

B. Données enregistrées en élevage

Toutes ces données ont été répertoriées lors de la visite en élevage réalisée par les techniciens du contrôle laitier « Eleveurs des Savoie » participant à l'étude (au nombre de 7 en 2015-2016, de 4 en 2017).

1. Nombre de vaches laitières rationnées

On relève le nombre de **vaches laitières nourries** le jour de la mesure, mais aussi le nombre de **vaches taries** mélangées au troupeau de vaches laitières, c'est-à-dire le nombre de vaches consommant la ration distribuée, pesée par les techniciens le jour de la visite en élevage.

2. Pesée de la ration

a) Fourrages

Dans notre étude, nous pesons la ration distribuée par l'éleveur le jour de la mesure, ainsi que la ration non consommée par les vaches, à l'aide d'un peson dynamométrique (filet, ou botte, ou griffe). On distingue :

- La ration distribuée réellement aux vaches, qui peut être différente de la ration calculée (ration calculée par le contrôle laitier dans le plan de rationnement) du fait de contraintes extérieures (manque de foin de qualité semblable à celle utilisée dans le calcul de ration, coût trop élevé si achat etc). La quantité de matière sèche ingérée par les vaches taries a été définie pour tous les élevages à 12 kg par vache tarie par jour.

- La ration non consommée, encore appelée refus, qui correspond à la partie de la ration non ingérée par les vaches laitières. Elle doit normalement avoir la même constitution que la ration distribuée si celle-ci est de bonne qualité. Il est donc important de qualifier la qualité des refus pour déceler toute anomalie, comme par exemple un phénomène de tri. Le tri correspond au comportement qu'ont les vaches lorsqu'elles consomment en priorité les composants les plus appétents (soit les composants les plus énergétiques) de la ration. Cela se produit lorsque le fourrage n'est pas homogène ou est inappétent (présence de fibres très grossières ou mauvaise conservation).

En 2015-2016, la quantité de refus est estimée le jour de la pesée. En 2017, les refus de la ration de la veille sont pesés dans chaque élevage le jour de la pesée de la ration distribuée. La composition qualitative des refus est évaluée à chaque fois et le devenir des refus est enregistré (jeté, distribués aux taries, etc). Classiquement, on considère que les vaches reçoivent du fourrage à volonté lorsque les refus représentent au moins 3% de la matière sèche initialement distribuée (*Ponter, 2016*).

b) Concentrés

On pèse la quantité de concentrés distribués au cours d'une journée par l'éleveur, ou on relève cette information sur le distributeur automatique de concentrés (DAC).

3. Analyses de la valeur alimentaire de la ration

En 2015-2016, nous utilisons des valeurs alimentaires moyennes (récoltées sur 10 ans par les Eleveurs des Savoie, la Chambre d'Agriculture Savoie Mont Blanc et l'AFTALP (Association des Fromages Traditionnels des Alpes Savoyardes)) correspondant aux terrains de la zone AOP Beaufort. En 2017, nous récoltons des échantillons de chaque fourrage distribué le jour de la mesure, en vue de connaître sa composition en matière sèche, énergie, protéines, encombrement, par une analyse AgriNIR qui sera réalisée ultérieurement. L'AgriNIR est un appareil portatif permettant de réaliser l'analyse infrarouge des aliments à partir de la matière brute, afin de mesurer leur valeur alimentaire. On obtient ainsi les valeurs chimiques (matière sèche, amidon, matière azotée, NDF, cendres, matières grasses, etc), et les valeurs alimentaires (UEL, UFL, PDIN, PDIE, etc).

Pour les concentrés, on relève le nom du concentré et du fabricant, ou on photographie l'étiquette donnant la composition chimique et la valeur alimentaire du concentré.

4. Modalités de la distribution

a) Nombre de repousses

La repousse de la ration correspond au moment où l'éleveur va rapprocher la ration de l'auge. Il est fréquent que les vaches repoussent la ration loin de l'auge en même temps qu'elles s'alimentent. Surveiller qu'elle est au plus proche des vaches permet qu'elles aient accès de manière optimale à la ration.

Cette donnée n'a pas été répertoriée lors de campagne de mesures 2015-2016.

En 2017, on questionne l'éleveur pour obtenir le nombre de repousses réalisé dans la journée.

b) Film de distribution

Le film de distribution correspond à l'ordre dans lequel sont distribués les différents éléments de la ration. Dans le cas des rations semi-individuelles, qui représentent la plupart des rations distribuées dans la zone Beaufort, les fourrages ne sont pas distribués en même temps que les concentrés. Ces derniers sont distribués à chaque vache de manière individuelle et selon ses besoins d'entretien et de production (à la main, ou grâce à un distributeur automatique d'aliment (DAC)).

L'ordre de distribution peut influencer la qualité de la digestion et de la valorisation de la ration. En effet il est préconisé que les apports en énergie, protéines et fibres soient concomitants pour permettre un fonctionnement optimal du rumen et de la microflore ruminale.

Lors des deux campagnes de mesures, on demande l'ordre de distribution à l'éleveur le jour de la pesée.

5. Mesures sur les vaches

a) Note d'état corporel (NEC)

Pour une plus grande facilité de lecture, nous rappelons la définition de la note d'état corporel (note d'évaluation subjective de la quantité de gras sous-cutané, sur une échelle de 5) et la grille utilisée permettant de la quantifier (figure 37).

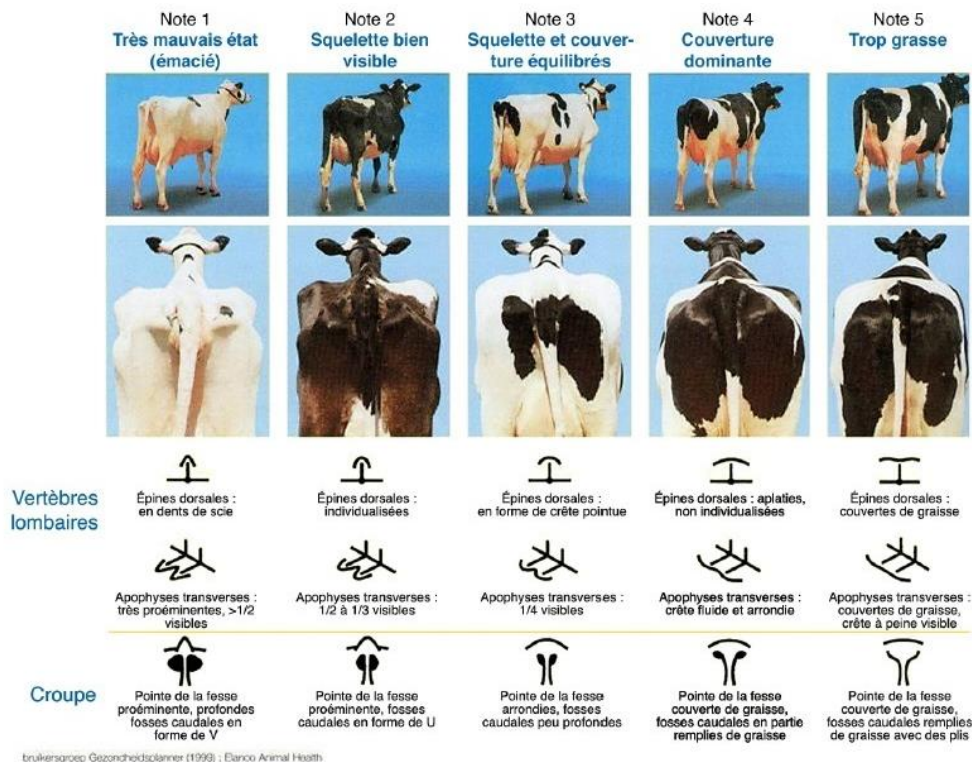


Figure 37 : grille de détermination de la note d'état corporel (**Gezondheidsdienst voor Dieren, 1999**).

Dans notre étude, on réalise la notation de 5 vaches prises au hasard (parité et stade de lactation variés).

b) Poids vif

En 2015-2016, on avait estimé le poids vif de 5 vaches prises au hasard. En 2017, on a mesuré le poids vif de 5 vaches prises au hasard à l'aide d'un ruban barymétrique.

6. Production laitière

On relève la production laitière le jour de la mesure (lait de tank et lait écarté). Le lait de tank correspond à la totalité du lait qui a été versé dans le tank le jour de la visite en élevage. Le lait écarté correspond au lait produit le jour de la visite qui n'a pas été versé dans le tank (le lait non consommable, comme le colostrum, le lait de vaches à mammites, etc).

C. Rélevé des données hors élevage

Toutes ces données ont été relevées à l'aide de l'outil internet de valorisation des données du contrôle laitier : Mil'klic. On prend les documents « valorisé individuel » et « valorisé troupeau » les plus proches de la date de mesure. Dans les élevages de la campagne 2015, on prend le valorisé individuel le plus ancien possible sur le Mil'klic (souvent 07/2016, voire 08/2016).

1. Pourcentage de vaches de race Tarine

En 2015-2016, on utilise le document « valorisé individuel » le plus proche de la date de pesée et on dénombre le nombre de vaches Tarines par rapport au nombre total de vaches présentes dans le troupeau.

En 2017, on compte le nombre de vaches Tarines dans le troupeau par rapport au nombre total de vaches présentes, le jour de la pesée.

2. Taux butyreux (TB) et taux protéique (TP) du lait

Pour 2015, on utilise le document « historique sur 13 mois » de l'année 2015. On lit sur le graphique les valeurs de TB et TP de la date correspondante à la date de la visite en élevage.

Pour 2016 et 2017, on les relève dans le document « valorisé troupeau », où la valeur est en g/kg. On le convertit en g/L. On prend une seule valeur si le « valorisé troupeau » date d'une semaine avant ou après la date de la pesée. Si les valeurs sont écartées de plus d'une semaine, on utilise les valeurs de deux dates qui encadrent la visite.

3. Urée

On relève « l'urée interprofessionnelle », c'est-à-dire l'urée mesurée sur le lait de mélange livré à la laiterie. On réalise la moyenne des valeurs d'urée de la semaine de mesure, ou la moyenne des valeurs des deux dates les plus proches.

4. Intervalle vêlage – insémination fécondante (= IVIAf)

On prend l'intervalle vêlage-vêlage (IVV) du document « bilan technique du troupeau laitier » (BTTL, du 01/10/2016 au 30/09/2017 pour les mesures faites en 2017, 01/10/2014 au 30/09/2015 pour les mesures faites en 2015, et 01/10/2015 au 30/09/2016 pour les mesures faites en 2016), auquel on retire la durée de gestation moyenne des Tarines : 287,7 jours (ou des Montbéliardes : 287,8 jours) (*Ledos et al, 2013*).

5. Production laitière potentielle et réalisable brut

Pour rappel, la production laitière potentielle PL_{Pot} peut se définir comme la production laitière qu'aurait la vache si elle n'était pas limitée par la disponibilité en nutriments ou par un trouble sanitaire. La PL_{MaxPot} correspond à la production laitière potentielle au pic de lactation chez une vache bien alimentée. Pour déterminer PL_{MaxPot} , 3 méthodes sont possibles :

- soit on estime qu'elle équivaut à la production au pic de lactation, si la vache n'a pas connu de problème sanitaire au vêlage et si elle a été rationnée correctement en début de lactation ;

- soit, si cela est possible, on mesure la quantité de lait produite les 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} jour post-vêlage, on corrige la valeur moyenne en la multipliant par 1,15 pour une vache primipare et par 1,33 pour une vache multipare ;
- soit on divise la production potentielle (PL_{Pot}) cumulée sur 305 jours (correspondant au réalisable brut, ou meilleur niveau d'étable) par un facteur correctif qui dépend du rang de lactation (259 pour les primipares et 224 pour les multipares).

Ainsi : pour une primipare :

$$PL_{MaxPot} = \frac{\text{niveau d'étable}}{259} ;$$

pour une multipare :

$$PL_{MaxPot} = \frac{\text{niveau d'étable}}{224} \text{ (Faverdin et al, 2006, Faverdin et al, 2007).}$$

Une erreur de 5kg de PL_{MaxPot} conduit à une erreur de 0.4 à 0.7 kg MSI (Faverdin et al, 2007).

Dans notre étude, on utilise la production ramenée au niveau adulte sur 305 jours, que l'on trouve dans les bilans techniques du contrôle laitier (BTTL). Elle correspond à la production mesurée (dans les conditions d'élevage et d'alimentation actuelles) corrigée par un coefficient multiplicateur (L1=1,32 ; L2=1,17 ; L3=1,05) ; on obtient ainsi la production laitière hypothétique de la vache si elle était adulte (>L3). Elle correspond à l'objectif de l'élevage (Commun et al, 2016).

Ainsi, on prend le nombre de litres de lait produit le plus élevé entre avril, mai et juin dans le BTTL cité précédemment. Pour les Montbéliardes, on prend le réalisable brut le plus élevé de 2017. On obtient ainsi la PL_{MaxPot}.

6. Mois moyen de lactation

Le mois moyen de lactation correspond au stade de lactation moyen du troupeau, exprimé en mois depuis le vêlage. On relève la valeur sur le document « valorisé troupeau » le plus proche de la date de mesure. S'il y a plus d'une semaine d'écart, on utilise les valeurs de deux dates qui encadrent la visite.

7. Age moyen du troupeau

En 2015-2016, on ne dispose pas des documents « valorisés troupeau », donc on prend une valeur de 60 mois pour tous les élevages.

Pour 2017, on prend le document « valorisé troupeau » le plus proche de la date de mesure, et on multiplie l'IVV par le rang de lactation, auquel on ajoute l'âge au premier vêlage pour obtenir l'âge moyen du troupeau (en mois).

8. Pourcentage de primipares

On le relève sur le document « valorisé troupeau » le plus proche de la date de mesure. S'il y a plus d'une semaine d'écart, on utilise les valeurs de deux dates qui encadrent la visite.

D. Exploitation statistique des résultats

On utilise le logiciel R (R Core Team, 2017) pour réaliser les analyses statistiques.

III. Résultats

A. Description des élevages étudiés

1. Elevages de vaches de race Tarine

Les élevages exploitables sont au nombre de 22 en 2015 et 4 en 2016. Le cheptel moyen est de 43 vaches laitières, avec un minimum de 16 vaches et un maximum de 116 vaches. La figure 38 présente la proportion de vaches tarentaises dans les élevages sélectionnés pour l'étude.

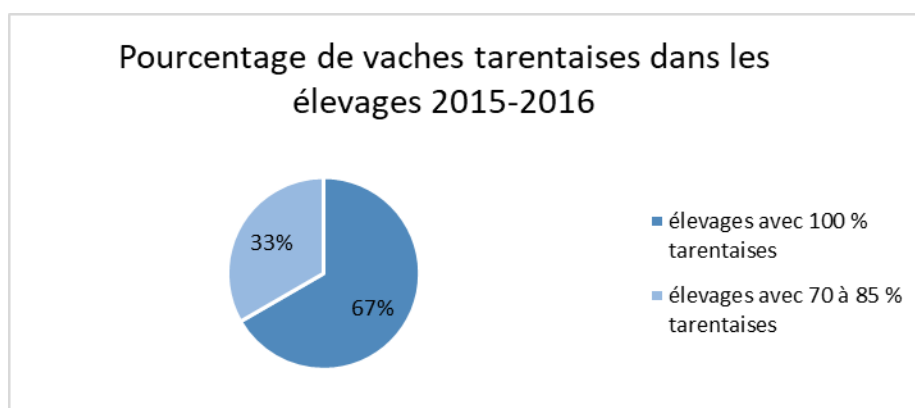


Figure 38 : proportion de vaches de race Tarine dans les élevages sélectionnés pour l'étude 2015-2016.

En 2017, nous avons obtenu 14 élevages de Tarines contenant au moins 70% de tarentaises (dont 9 nouveaux élevages, et 5 élevages déjà étudiés en 2015). Le cheptel moyen est de 51 vaches laitières, avec un minimum de 10 et un maximum de 90 vaches. La figure 39 présente le pourcentage de vaches de race Tarine dans les élevages de 2017.

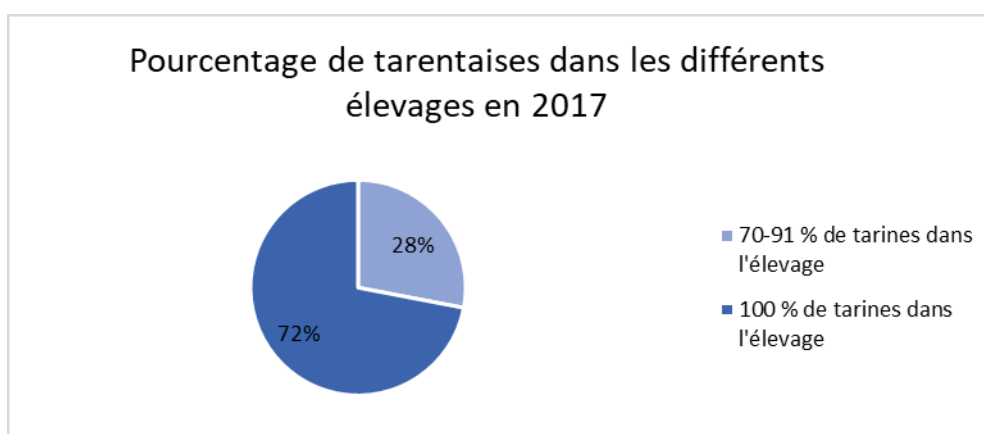


Figure 39 : pourcentage de tarentaises dans les différents élevages de l'étude 2017.

2. Elevages de vaches de race Montbéliarde

Nous avons aussi obtenu en 2017 quatre élevages de vaches Montbéliardes répondant aux critères. Le cheptel moyen est de 25 vaches laitières Montbéliardes, avec un minimum de 16 et un maximum de 32 vaches.

B. Quantité de matière sèche ingérée

1. Ingestions théorique et mesurée

a) Elevages de vaches de race Tarine

Le tableau XLI nous présente les valeurs moyennes de la capacité d'ingestion et les ingestions théorique et mesurée des élevages obtenues grâce aux différentes données récoltées en 2015-2016 et 2017. On remarque que l'ingestion mesurée est supérieure de 800 g à l'ingestion théorique.

Tableau XLI : capacité d'ingestion, ingestion théorique et ingestion mesurée dans les élevages de vaches Tarines en 2015-2016 et 2017.

	Capacité d'ingestion (UEL/VL/j)	Ingestion théorique (kg MS/ VL/ j)	Ingestion mesurée (kg MS/ VL/ j)
Elevages de vaches Tarines 2015-2016			
Moyenne	16	17,7	18,6
Ecart-type	0,9	1,3	2,7
Elevages de vaches Tarines 2017			
Moyenne	16,4	18,1	18,7
Ecart-type	1,2	1,9	4,9
Moyenne des deux campagnes			
Moyenne	16,2	17,8	18,6
Ecart-type	0,9	1,5	3,6

La figure 40 rassemble toutes les valeurs d'ingestions théorique et mesurée des élevages de vaches de race Tarine. Dans ce graphique, l'axe des abscisses représente les différents élevages. A chaque abscisse correspond un point bleu foncé (respectivement bleu clair) et un point rouge (respectivement rose). Ces deux points correspondent aux ingestions théorique et mesurée pour un même élevage.

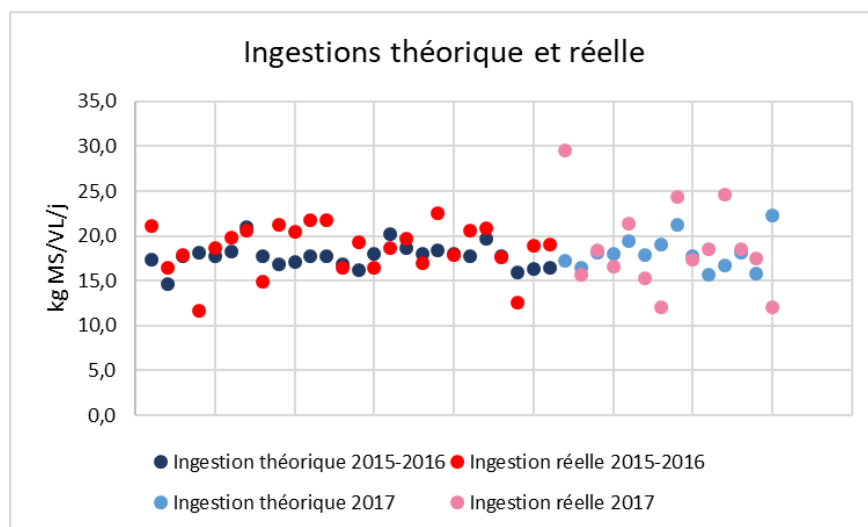


Figure 40 : ingestions théorique et mesurée dans les élevages de vaches Tarines.

On souhaite comparer les valeurs d'ingestions théorique et mesurée dans chaque élevage, c'est-à-dire comparer des paires d'observations. Pour ce faire, nous devons réaliser un test de conformité de la différence moyenne à 0. Un diagramme Quantile-Quantile (Q-Q Plot, figure 41) nous permet de représenter graphiquement la distribution des différences entre les ingestions théorique et mesurée.

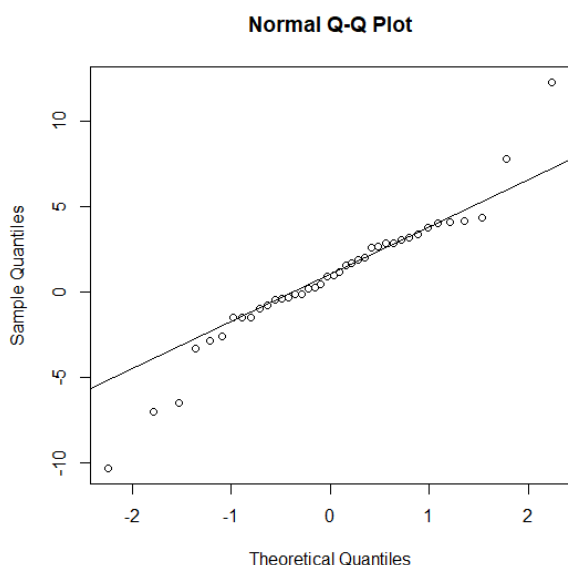


Figure 41 : diagramme Q-Q Plot de la différence entre l'ingestion théorique et l'ingestion mesurée des élevages de vaches de race Tarine (*R Core Team, 2017*).

Les points étant pour la grande majorité alignés sur une droite, on suppose que la distribution suit une loi normale. Le test statistique le plus approprié afin de déterminer s'il existe une différence significative entre l'ingestion théorique et l'ingestion mesurée est donc le test bilatéral de Student des séries appariées. On obtient une p-value = 0,19. Nous ne pouvons donc pas conclure à une différence significative entre l'ingestion mesurée et l'ingestion théorique, mais seulement supposer une tendance. L'ingestion mesurée est supérieure de $18,6 - 17,8 = 0,8$ kg MS/VL/j à l'ingestion théorique.

Avec le nombre d'élevages étudiés (40), pour avoir 90 % de chance de détecter une différence significative, il aurait fallu que celle-ci soit égale à minimum 2,9 kg. Nous n'avons que 15 % de chance de détecter une différence significative de 0,8 kg avec 40 élevages. Pour prouver l'existence d'une différence significative de 800 g, il faudrait avoir un échantillon de 500 élevages. Ces valeurs ont été obtenues à l'aide du logiciel R (*R Core Team, 2017*).

b) Elevages de vaches de race Montbéliarde

Le tableau XLII nous présente les valeurs de la capacité d'ingestion et des ingestions théorique et mesurée des élevages de vaches Montbéliardes obtenues grâce aux différentes données récoltées.

Tableau XLII : capacité d'ingestion, ingestion théorique et ingestion mesurée dans les élevages de Montbéliardes en 2017.

	CI UEL/VL/j	Ingestion théorique Kg MS/VL/j	Ingestion mesurée Kg MS/VL/j
Elevages Montbéliardes	19,2	21,7	23,2

Le faible nombre d'élevages de vaches Montbéliardes ne nous permet pas de faire de tests statistiques. On observe une certaine tendance : **l'ingestion mesurée est supérieure de 1,5 kg de MS/VL/j à l'ingestion théorique.**

2. Influence des caractéristiques de la vache laitière sur l'ingestion mesurée

a) La note d'état corporel

La figure 42 présente la variation des quantités ingérées selon la note d'état corporel (NEC). Chaque point bleu foncé (respectivement bleu clair) représente la moyenne des NEC de 5 vaches laitières prises au hasard dans un élevage donné de 2015-2016 (respectivement 2017).

La dispersion de ces points sur le graphique n'est pas linéaire, et on ne remarque pas de relation monotone entre l'ingestion mesurée et la variation de NEC. Le faible effectif d'élevages dans l'étude pourrait être à l'origine de l'absence de corrélation entre ces deux paramètres.

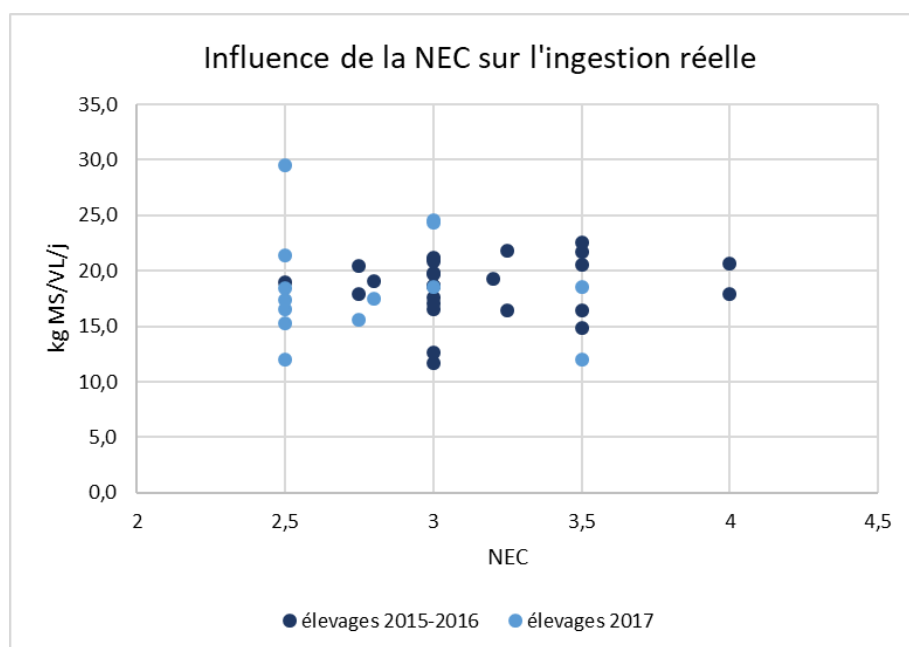


Figure 42 : ingestion mesurée (= « réelle ») selon la NEC dans les élevages de vaches Tarines.

b) La production laitière

La figure 43 présente l'influence de la production laitière sur l'ingestion mesurée des vaches laitières.

La répartition des différentes valeurs sur le graphique n'est pas linéaire, et ne permet donc pas d'utiliser le coefficient linéaire de Pearson. Cependant, il semblerait que plus la production laitière est importante, plus l'ingestion mesurée augmente. On peut donc réaliser un test de corrélation des rangs de Spearman. On obtient un coefficient de corrélation de rangs de Spearman de 0,25 associé à une p-value de 0,1105, c'est-à-dire qu'on ne peut pas conclure une corrélation significative entre la production laitière et l'ingestion mesurée, malgré la tendance observée. Ceci pourrait être dû au faible effectif d'élevages dans l'étude.

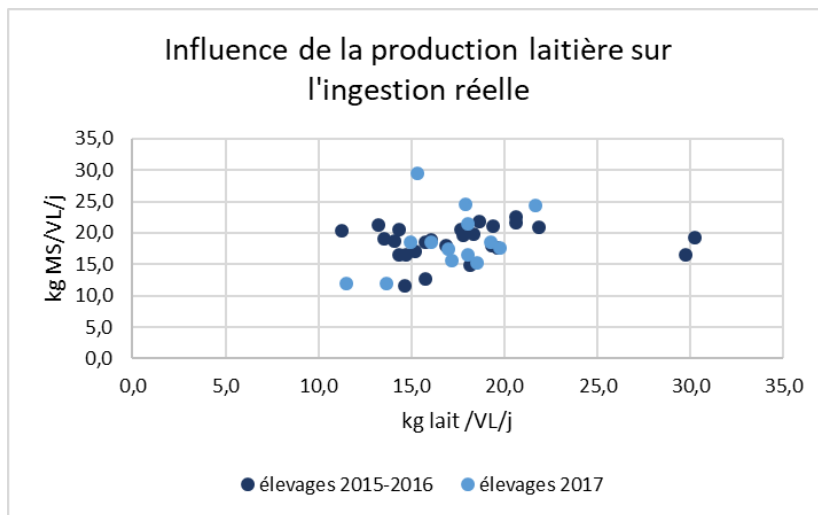


Figure 43 : ingestion mesurée (= « réelle ») selon la production laitière.

La tendance notée dans cette étude (hausse de l’ingestion mesurée avec l’augmentation de la production laitière) concorde avec les observations faites dans la littérature (cf **Partie 1, I.A.2.b**).

c) **Le poids vif**

La figure 44 présente la variation de l’ingestion mesurée avec le poids vif des vaches laitières.

On remarque que plus le poids vif est important, plus l’ingestion mesurée est grande. De même que précédemment, la dispersion des valeurs sur le graphique n’est pas linéaire, donc on réalise un test de corrélation des rangs de Spearman. On obtient un coefficient de corrélation de rangs de Spearman de 0,32 associé à une p-value de 0,0462, c’est-à-dire qu’on peut conclure une corrélation significative entre le poids vif et l’ingestion mesurée. Plus le poids vif est important, plus l’ingestion mesurée semble l’être aussi.

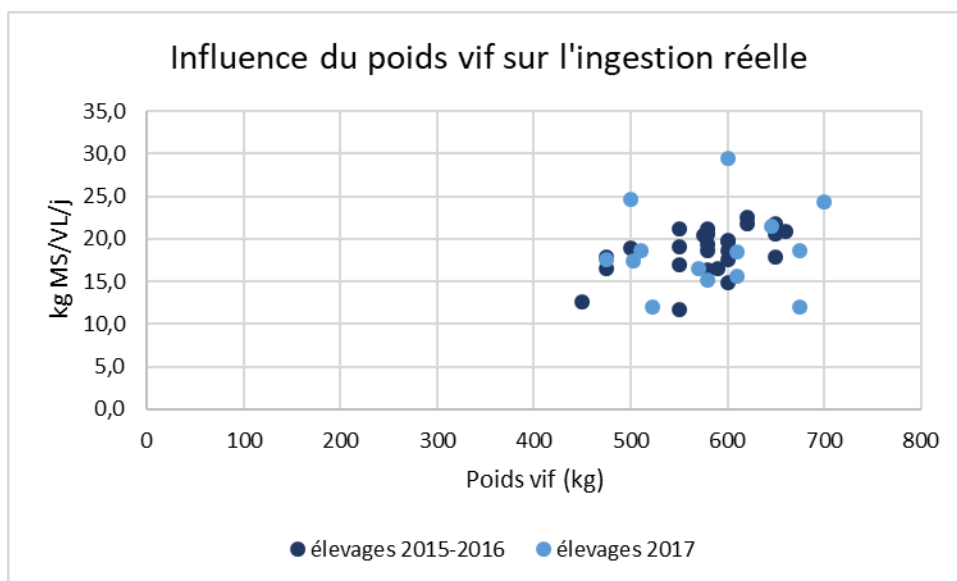


Figure 44 : ingestion mesurée (= « réelle ») selon le poids vif.

La corrélation obtenue est significative, et concorde avec les résultats obtenus dans la littérature (cf **Partie 1, I.A.2.c**).

d) Les stades de lactation

La figure 45 présente la variation de l'ingestion mesurée avec le stade de lactation.

On remarque qu'entre 100 et 150 jours en lait, l'ingestion mesurée augmente légèrement. Le test de corrélation des rangs de Spearman nous donne un coefficient de corrélation de rangs de 0,14 associé à une p-value de 0,36, c'est-à-dire qu'on ne peut pas conclure une corrélation significative entre le stade de lactation et l'ingestion mesurée.

La tendance observée concorde avec l'augmentation de la taille du rumen après le vêlage. Nous ne possédons pas de valeurs d'ingestion mesurée à moins de 75 jours en lait, ni supérieures à 150 jours en lait. On ne peut donc pas objectiver la plus faible ingestion après le vêlage et jusqu'au pic de lactation, ni juste avant le vêlage quand le veau en développement commence à occuper beaucoup de place dans l'abdomen (**cf Partie 1, I.A.2.d**).

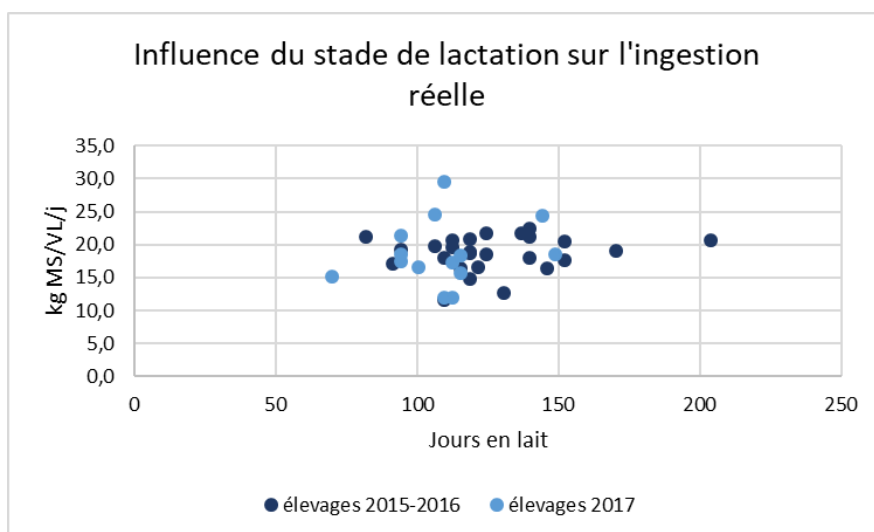


Figure 45 : ingestion mesurée (= « réelle ») selon le stade de lactation (en jours en lait).

3. Influence des paramètres zootechniques sur l'ingestion mesurée

a) Le nombre de repousses de la ration

La repousse de la ration correspond au moment où l'éleveur va rapprocher la ration de l'auge. Il est fréquent que les vaches repoussent la ration loin de l'auge en même temps qu'elles s'alimentent. Surveiller qu'elle est au plus proche des vaches permet qu'elles aient accès de manière optimale à la ration.

Cette donnée n'a pas été répertoriée lors de campagne de mesures 2015-2016.

La figure 46 montre l'influence du nombre de repousses de la ration sur l'ingestion mesurée pour la campagne de mesures 2017. Malgré le faible effectif d'élevages, il semblerait que plus le nombre de repousses est important, plus l'ingestion mesurée augmente. Nous ne pouvons pas conclure à une différence statistiquement significative (test de corrélation des rangs de Spearman avec un coefficient de corrélation de 0,08 et une p-value de 0,81). Cependant, la tendance observée concorde avec les observations faites dans la littérature, quant à la stimulation de l'ingestion par une augmentation du nombre de repousses (**cf Partie 1, I.B.2.b**).

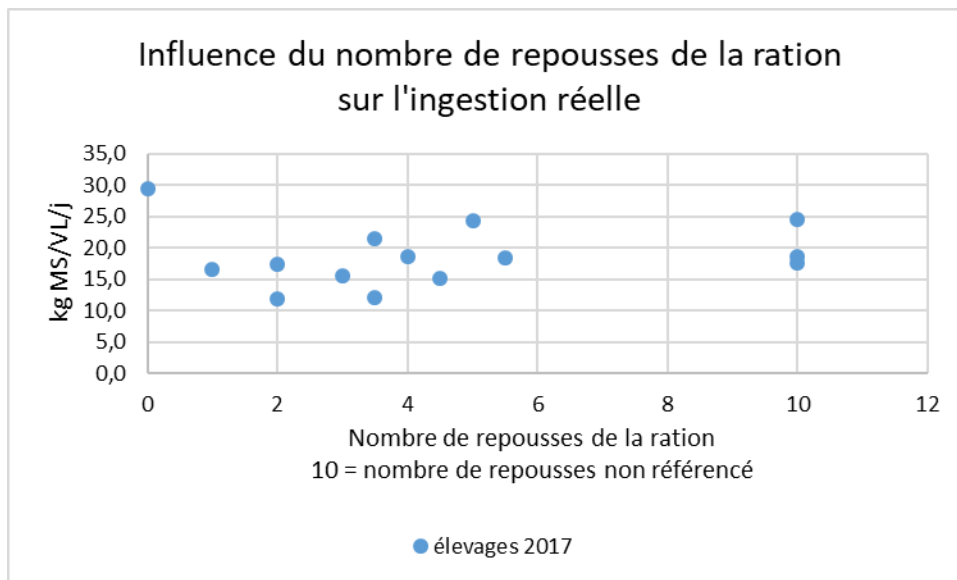


Figure 46 : influence du nombre de repousses de la ration sur l'ingestion mesurée (= « réelle ») des vaches laitières.

b) Le type de stabulation

Ce paramètre ne peut pas être étudié, car la très grande majorité des élevages étudiés présentaient une stabulation entravée, avec des vaches à l'attache.

C. Efficacité alimentaire

1. Valeurs d'efficacité alimentaire dans les élevages

La figure 47 présente les valeurs d'efficacité alimentaire (kg de lait standard par kg de MSI) des élevages de vaches de race Tarine (en bleu pour les mesures de 2015-2016, orange pour 2017) et Montbéliarde (en gris). Chaque abscisse correspond à un élevage différent de l'étude.

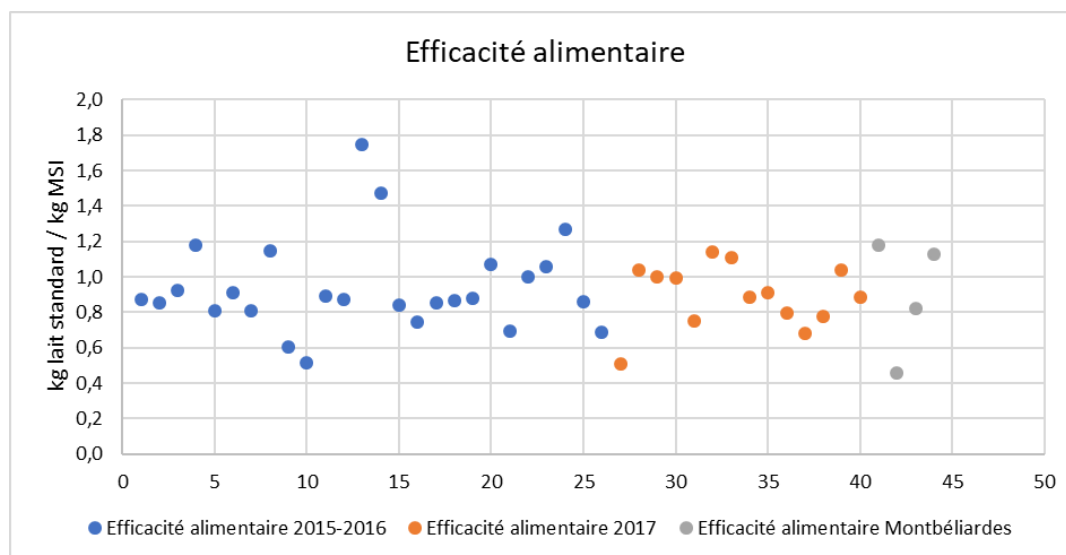


Figure 47 : efficacité alimentaire (kg de lait standard par kg de MSI) des élevages de vaches de race Tarine et Montbéliarde.

La répartition graphique des valeurs est assez homogène, avec la majorité des élevages ayant une efficacité alimentaire comprise entre 0,6 et 1,2. Lorsqu'on compare les moyennes, l'efficacité alimentaire semble être plus importante (+0,11) chez les vaches de race Montbéliarde que chez les vaches de race Tarine (tableau XLIII). Le faible effectif d'élevages de vaches Montbéliardes ne nous permet pas de réaliser de test statistique fiable. Cependant, la tendance observée, c'est-à-dire la plus grande efficacité alimentaire des vaches Montbéliardes par rapport aux vaches Tarines, concorde avec la pratique plus ancienne et plus poussée de la sélection génétique des vaches Montbéliardes sur la production laitière. La race Montbéliarde est plus répandue sur le territoire français, et a été plus sujette à la sélection génétique visant à améliorer la production laitière, en termes de quantité. Les vaches de race Tarine, à l'image des vaches Jersiaises (**cf Partie 1, II.C.1.c**), ont été moins sujettes à la sélection génétique, et produisent du lait en quantité moins importante. Leur efficacité est donc moins grande que celle des vaches Montbéliardes.

Tableau XLIII : efficacité alimentaire des élevages des différentes campagnes de mesures.

Efficacité alimentaire	Elevages de vaches Tarines (2015-2016)	Elevages de vaches Tarines (2017)	Elevages de vaches Tarines (total)	Elevages de vaches Montbéliardes
Moyenne	0,96	0,89	0,92	1,03
Ecart type	0,26	0,18	0,23	0,33

2. Efficacité alimentaire selon la position géographique des élevages

On cherche à savoir s'il existe des qualités de pâtures différentes selon la position géographique au sein même de la zone AOP. Cependant, chaque élevage utilise des fourrages récoltés dans la zone AOP, et des fourrages ne provenant pas de la zone d'appellation (dans une proportion maximale déterminée par le cahier des charges) achetés à d'autres éleveurs. La proportion de fourrages récoltée dans la zone AOP Beaufort est propre à chaque élevage, car elle dépend de la surface de fauchage dont dispose chaque exploitation. Pour conclure de manière précise, il faudrait analyser l'efficacité alimentaire selon la proportion et la qualité des fourrages achetés hors de la zone AOP Beaufort.

Cet élément avait commencé à être répertorié dans la première campagne de mesures, en 2015-2016, mais les analyses de la valeur alimentaire des fourrages n'ayant pas été faites de manière individuelle, les résultats auraient pu être biaisés. En 2017, nous n'avons pas récolté de manière précise cette information, et il serait judicieux de l'intégrer dans une future campagne de mesures.

Les figures 48 et 49 représentent la répartition géographique des élevages selon leur efficacité alimentaire en 2015-2016 et en 2017. Sur ces cartes, on ne met pas en évidence de zone sur laquelle l'efficacité alimentaire est plus élevée.

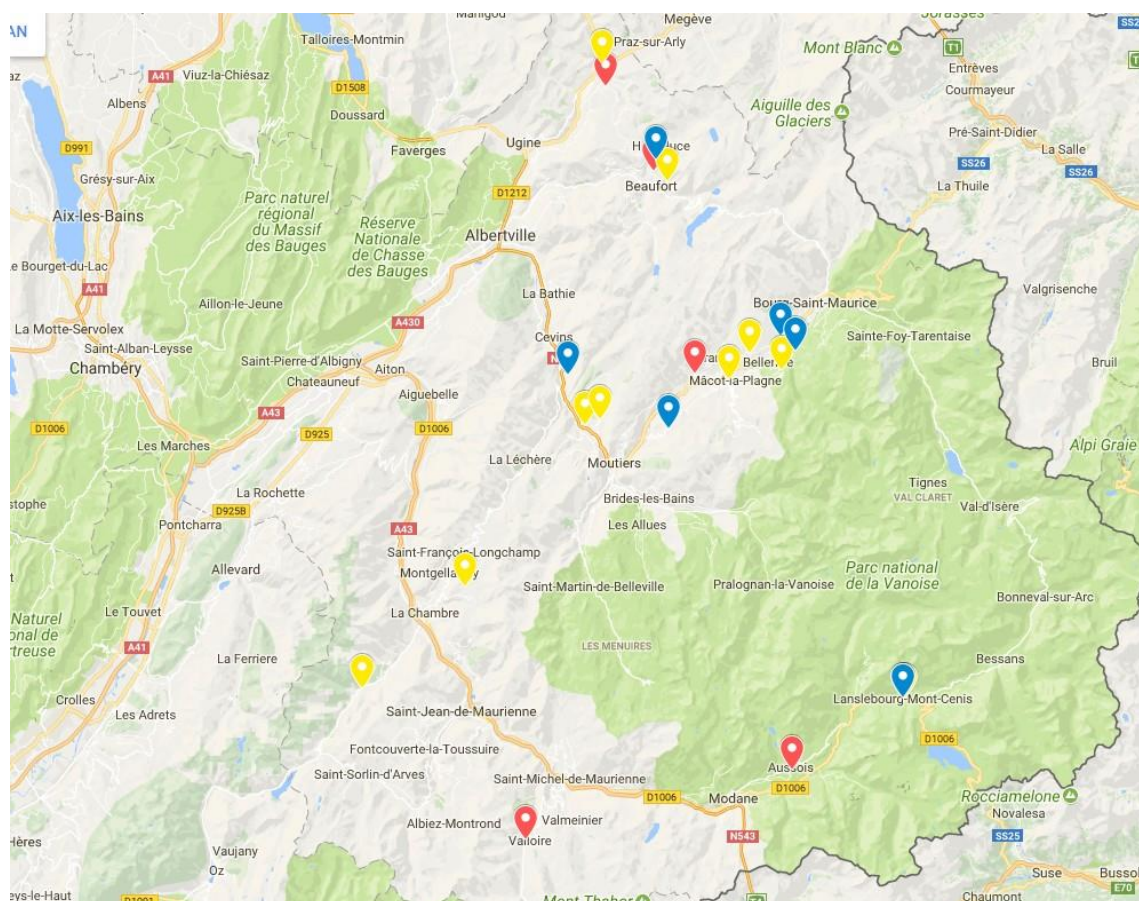


Figure 48 : efficacité alimentaire des élevages en 2015. (En rouge : efficacité alimentaire supérieure à 1 ; en bleu : efficacité alimentaire comprise entre la médiane (0.87) et 1 ; en jaune : efficacité alimentaire inférieure à 0.87).

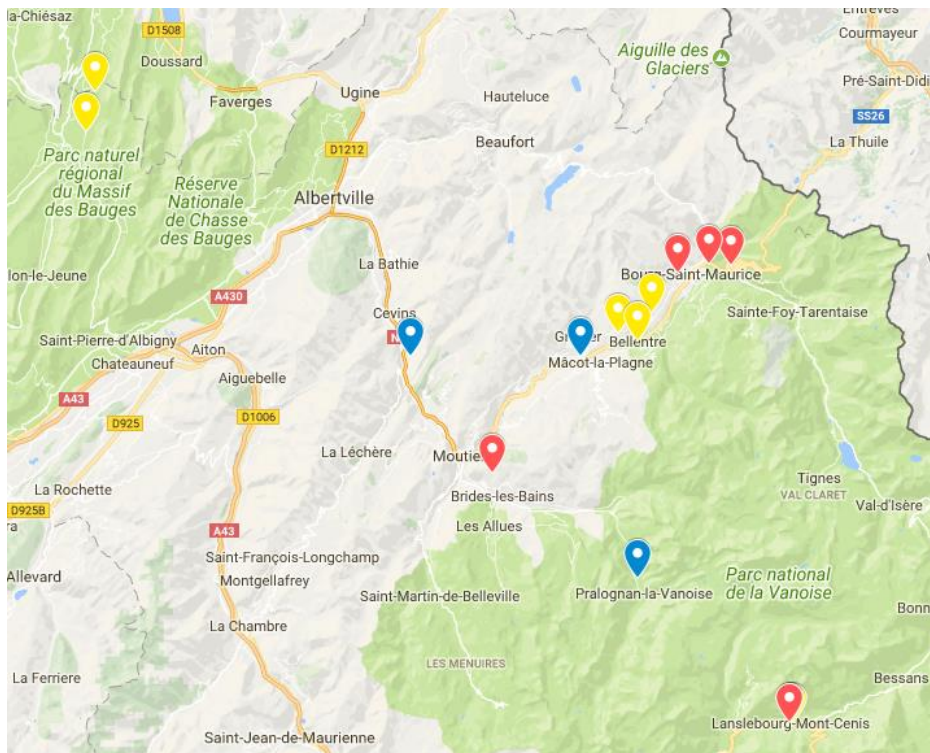


Figure 49 : efficacité alimentaire des élevages en 2017. (En rouge : efficacité alimentaire supérieure à 1 ; en bleu : efficacité alimentaire comprise entre la médiane (0.89) et 1 ; en jaune : efficacité alimentaire inférieure à 0.89).

La figure 50 présente l'efficacité alimentaire dans les élevages de vaches Montbéliardes en 2017. On ne constate pas de relation entre l'efficacité alimentaire et la zone géographique. De même que pour les élevages de vaches Tarines, il se peut que les fourrages distribués aux vaches Montbéliardes soient issus des zones de fauche présentes aux alentours des élevages mais aussi d'autres zones plus éloignées via des achats à d'autres éleveurs.

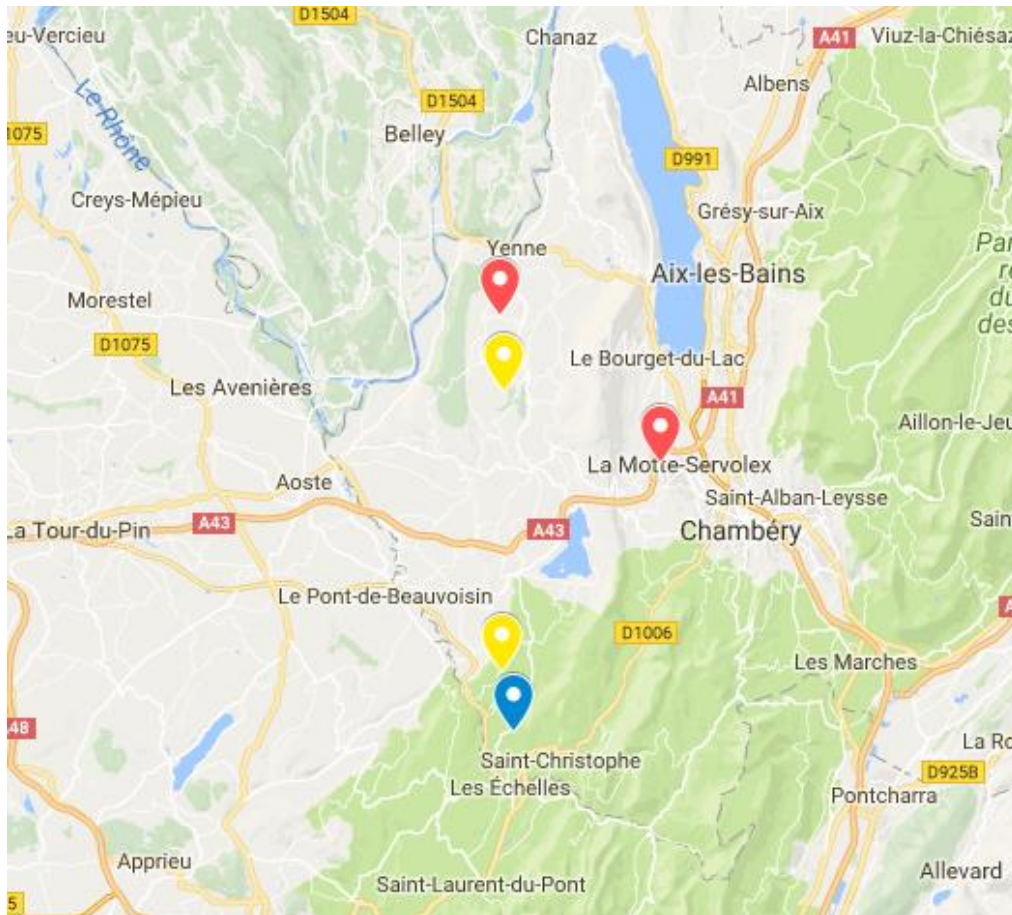


Figure 50 : efficacité alimentaire des élevages de vaches Montbéliardes en 2017. (En rouge : efficacité alimentaire supérieure à 1 ; en bleu : efficacité alimentaire comprise entre la médiane (0.89) et 1 ; en jaune : efficacité alimentaire inférieure à 0.89).

3. Efficacité alimentaire et caractéristiques de la vache laitière

a) Santé : sub-acidose ruminale

La présence de sub-acidose ruminale peut être détectée par l'analyse du rapport TB/TP (taux butyreux sur taux protéique du lait). Cependant, les taux nationaux des Tarines, notamment le TB, sont plus faibles que ceux des autres races (*Institut de l'élevage, 2017*). Ceci rend l'interprétation du rapport TB/TP délicate voire impossible. Pour avoir un rapport TB/TP seuil spécifique aux vaches Tarines, il faudrait faire une étude approfondie sur des échantillons significatifs, réalisant un lien entre le rapport TB/TP et un état clinique de sub-acidose ruminale. Cette observation se vérifie dans les élevages de vaches Tarines lors des deux campagnes de mesures, comme le présente le tableau XLIV, où le TB et le TP sont plus bas que les taux respectifs des vaches Montbéliardes.

Tableau XLIV: TB et TP dans les élevages de vaches Tarines et Montbéliardes.

	TP (g/L)	TB (g/L)	TB/TP
Tarines (2015-2016)	33,3	36,5	1,09
Tarines (2017)	32,3	35,2	1,08
Tarines (total)	32,9	36,1	1,09
Montbéliardes	33,8	40,5	1,18

La figure 51 présente l'influence du rapport TB/TP sur l'efficacité alimentaire. L'augmentation du rapport TB/TP semble aller de pair avec une augmentation de l'efficacité alimentaire. La dispersion des points n'étant pas linéaire, on réalise un test de corrélation des rangs de Spearman. On obtient un coefficient de corrélation de rangs de Spearman de -0,13 associé à une p-value de 0,41, c'est-à-dire qu'on ne peut pas mettre en évidence de corrélation significative entre l'efficacité alimentaire et le rapport TB/TP.

La tendance observée est une baisse de l'efficacité alimentaire quand le rapport TB/TP diminue, ce qui est cohérent avec la baisse de l'efficacité alimentaire et l'état de sub-acidose dans les autres races (cf Partie 1, II.C.5).

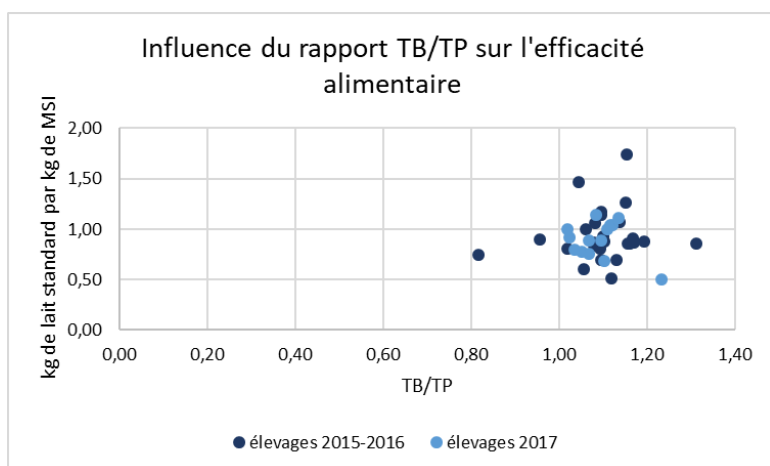


Figure 51 : efficacité alimentaire selon le rapport TB/TP.

Le tableau XLV montre qu'à une grande proportion d'élevages en 2015-2016 et en 2017 correspond un rapport TB/TP < 1,1, usuellement révélateur d'un risque acidose. Le TB plus faible chez les vaches Tarines pourrait expliquer cette forte proportion, alors qu'il ne semble pas y avoir de problèmes liés à l'acidose dans les élevages. Cependant, on remarque que la moyenne d'efficacité alimentaire dans les élevages où le rapport TB/TP est inférieur à 1,1 est plus faible que celle des élevages où le rapport est supérieur à 1,1. Bien qu'on ne puisse pas affirmer que le seuil en dessous duquel on peut suspecter une sub-acidose soit égale à 1,1, on peut estimer qu'il en est proche, voire sûrement inférieur à 1,1.

Tableau XLV : efficacité alimentaire selon le rapport TB/TP.

TB/TP	Proportion d'élevages	Moyenne de l'EA
étude 2015-2016		
> 1,1	46 %	0,95
< 1,1 (risque acidose)	54 %	0,93
étude 2017		
> 1,1	36 %	0,94
< 1,1 (risque acidose)	64 %	0,89

b) Le stade de lactation

La figure 52 présente l'influence du stade de lactation sur l'efficacité alimentaire. Il semble que l'efficacité alimentaire diminue quand les jours en lait augmentent.

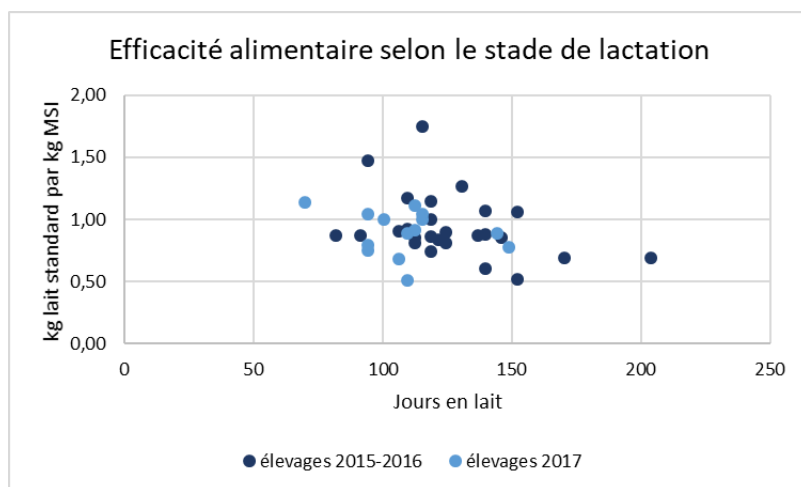


Figure 52 : influence du nombre de JEL sur l'efficacité alimentaire.

On réalise un test de corrélation des rangs de Spearman. On obtient un coefficient de corrélation des rangs de Spearman de $-0,23$ associé à une p-value de $0,14$, c'est-à-dire qu'on ne peut pas mettre en évidence de corrélation significative entre l'efficacité alimentaire et le nombre de JEL. Cependant, la tendance observée, c'est-à-dire que l'efficacité alimentaire semble diminuer au fur et à mesure que les jours en lait augmentent, concorde avec le fait que la vache mobilise ses réserves corporelles en début de lactation, et les reconstitue au fur et à mesure une fois que le pic de lactation est passé (**cf Partie 1, II.C.1.a**).

c) L'âge du troupeau et le rang de lactation

L'influence de l'âge du troupeau sur l'efficacité alimentaire ne peut pas être évaluée en 2015-2016, car l'âge moyen avait été fixé à 90 mois (la donnée n'étant plus disponible sur le Mil'Klic).

La figure 53 présente les résultats obtenus en 2017. On remarque une augmentation de l'efficacité alimentaire entre 60 et 70 mois d'âge (soit entre 5 et 6 ans) et une diminution entre 70 et 85 mois (soit entre 6 et 7 ans).

L'effet du rang de lactation est surtout établi entre la première lactation et les suivantes. Pendant la première lactation, l'efficacité alimentaire est souvent moins importante, car la vache utilise les nutriments pour terminer sa croissance, en plus de les utiliser pour la production de lait (**cf Partie 1, II.C.1.b**). Dans notre cas, il n'y a pas d'explication évidente de la meilleure efficacité alimentaire à 6 ans d'âge. Il se peut qu'après ce seuil, la proportion de vaches présentant des maladies augmentent (boiterie, mammite, etc) et que l'efficacité alimentaire baisse. Le nombre d'élevages de l'échantillon est assez faible et ne permet pas de démontrer de manière significative la tendance observée (coefficient de corrélation des rangs de Spearman de $0,15$ et p-value de $0,59$).

e) La production laitière

La figure 55 présente l'influence du niveau de production laitière sur l'efficacité alimentaire. On observe que plus la production laitière est importante, plus l'efficacité alimentaire augmente. Cette corrélation est statistiquement significative (test de corrélation des rangs de Spearman, avec un coefficient de corrélation de 0,51 et une p-value de 0,0006). Cette corrélation confirme l'observation faite dans la littérature (**cf Partie 1, II.C.4.a**).

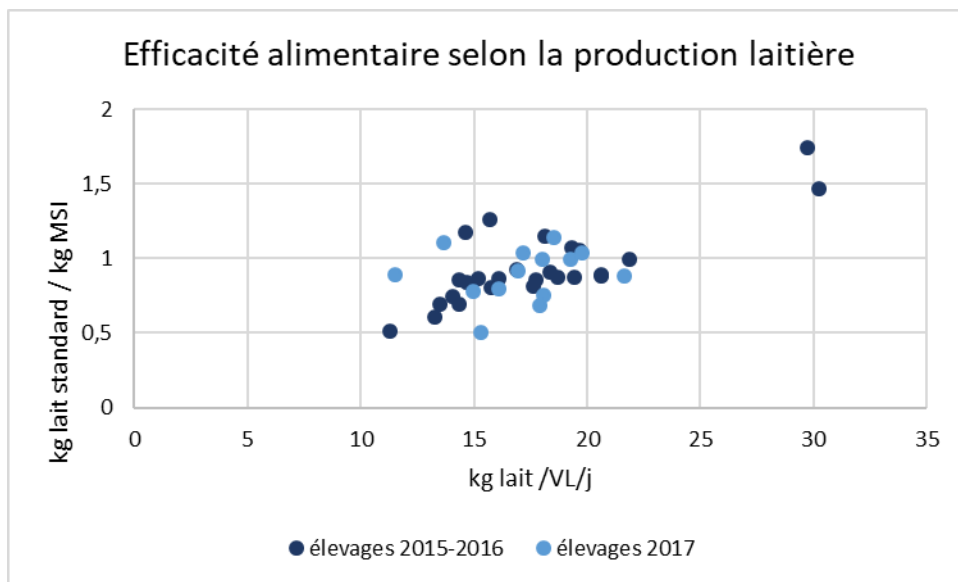


Figure 55 : efficacité alimentaire selon la production laitière.

4. Efficacité alimentaire et caractéristiques de la ration

a) Film de distribution

Le film de distribution correspond à la méthode de distribution de la ration (**cf Partie 1, I.B.2.b**). Le moment de distribution des concentrés par rapport à la distribution des fourrages a un impact sur le fonctionnement de la microflore ruminale. En effet, l'ordre de distribution conditionne l'ordre de disponibilité des nutriments pour les bactéries du rumen. Il a donc un effet sur la valorisation de la ration (**cf Partie 1, II.C.2.a**).

Que ce soit en 2015-2016 ou en 2017, on remarque une plus grande efficacité alimentaire dans les élevages où les concentrés sont distribués après les fourrages ou lorsqu'un distributeur automatique d'aliment (DAC) est présent (tableau XLVI). Sur la figure 56, on remarque que le nombre de valeurs dans chaque catégorie est assez hétérogène et ne permet pas de conclure de manière statistique quant à une différence significative. Cependant, la tendance observée confirme l'importance de la conduite de rationnement et de l'importance de l'ordre de distribution pour le bon fonctionnement de la microflore ruminale.

Tableau XLVI : modalités de distribution des concentrés dans les élevages étudiés.

Campagne de mesure	Distribution des concentrés	Proportion élevages (%)	Efficacité alimentaire
2015-2016	Avant les fourrages	8	0,88
	Après les fourrages	77	0,96
	DAC	15	0,86
2017	Avant les fourrages	16	0,94
	Après les fourrages	68	0,85
	DAC	16	1,29
Total	Avant les fourrages	7,5	0,88
	Après les fourrages	80	0,93
	DAC	12,5	0,91

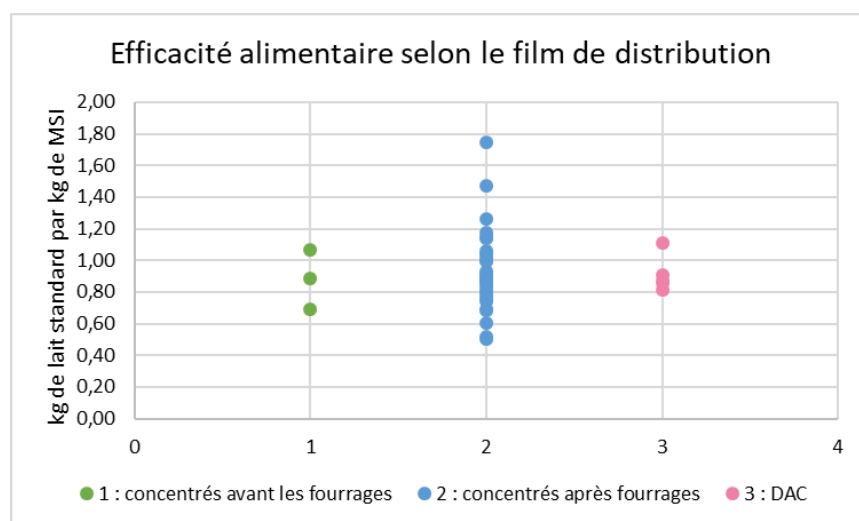


Figure 56 : efficacité alimentaire selon le film de distribution.

b) Le rapport microbien

Pour rappel, le Rmic (rapport microbien) permet d'évaluer l'équilibre nutritionnel de la microflore ruminale, et notamment l'équilibre en azote dégradable de la ration.

On a $Rmic = \frac{(PDIN-PDIE)}{UFL}$, en g/UFL (INRA, 2010),

avec PDIN les protéines digestibles dans l'intestin limitées par l'apport en azote, PDIE les protéines digestibles dans l'intestin limitées par l'apport en énergie, et UFL les unités fourragères lait qui correspondent à l'apport énergétique de la ration.

La figure 57 présente l'influence du Rmic sur l'efficacité alimentaire. Les points bleus foncés (respectivement bleu clairs) représentent les valeurs du Rmic en fonction de l'efficacité alimentaire des élevages de 2015-2016 (respectivement 2017). On remarque une disparité entre les rapports microbiens de 2015-2016 et de 2017. Le rapport est en moyenne plus grand dans les élevages en 2017. Ce phénomène peut être dû à la méthode différente d'analyse des fourrages en 2017, où chaque fourrage a été analysé directement, de manière indépendante avec l'AgriNIR. En 2015-2016, les valeurs alimentaires des fourrages utilisées étaient des valeurs moyennes récoltées sur 10 ans par les « Eleveurs des Savoie », la Chambre d'Agriculture Savoie Mont Blanc et l'AFTALP (Association des Fromages Traditionnels des Alpes

Savoyardes)) correspondant aux terrains de la zone AOP Beaufort, mais ne correspondant pas forcément parfaitement aux fourrages utilisés dans les élevages.

La moyenne d'efficacité alimentaire des élevages dont le Rmic est supérieur à 0 est de **0,97**. Celle des élevages dont le Rmic est inférieur à 0 est de **0,89**. Un test de corrélation des rangs de Spearman ne nous permet pas de mettre en évidence de corrélation significative entre l'efficacité alimentaire et le Rmic (coefficient de corrélation de rangs de Spearman de 0,12, et p-value de 0,43). Cependant, en comparant les moyennes, on observe une tendance : les élevages dont le Rmic est supérieur à 0, c'est-à-dire les élevages dans lesquels il n'y a pas de défaut en azote dégradable présentent une meilleure efficacité alimentaire. Cette observation est cohérente, car lorsque le Rmic est supérieur à 0, la microflore ruminale dispose d'une quantité d'azote suffisante pour synthétiser des protéines.

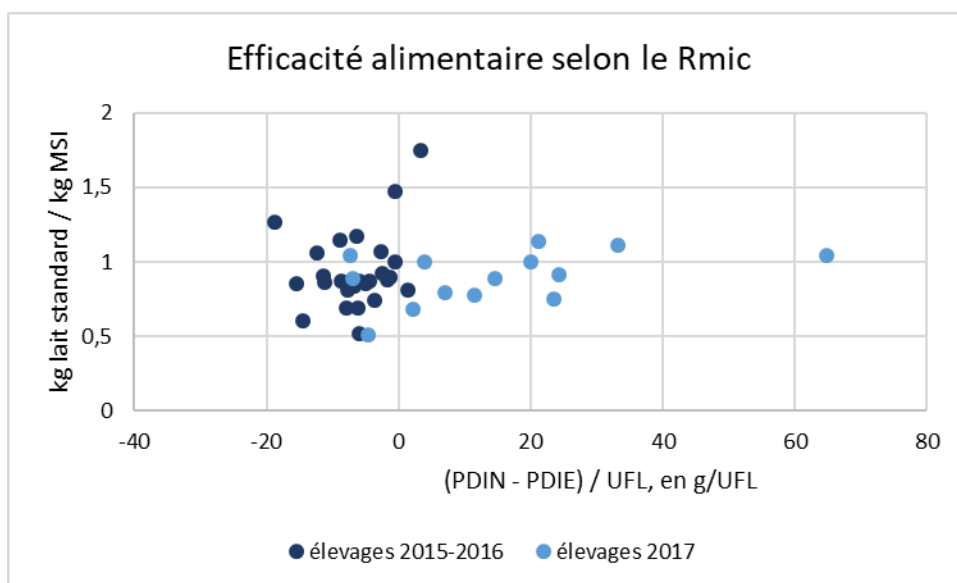


Figure 57 : efficacité alimentaire selon le Rmic.

c) Le rapport PDI/UFL

Le rapport PDI/UFL permet d'évaluer l'équilibre acides aminés et énergie dont dispose la vache après digestion, lorsque l'équilibre nutritionnel des microbes est satisfaisant. Il doit être voisin de 100g de PDI par UFL pour une vache en production.

La figure 58 présente l'influence du rapport PDI/UFL sur l'efficacité alimentaire. De même que précédemment, on remarque les rapports PDI/UFL des élevages de 2015-2016 sont plus faibles que ceux calculés en 2017. L'explication peut être la même que celle vue précédemment.

Lorsque le rapport dépasse 100 g/UFL, la moyenne de l'efficacité alimentaire des élevages est de **0,91**. Lorsque le rapport est inférieur à 100 g/UFL, la moyenne de l'efficacité alimentaire des élevages est de **0,96**. Sur le graphique, on ne constate pas de réelle variation de l'efficacité alimentaire. Ces résultats, ainsi que la dispersion des points sur le graphique, suggèrent que l'efficacité alimentaire est meilleure lorsque le rapport PDI/UFL est compris entre 80 et 100 g/UFL. Dans les études faites par l'INRA, il a été montré qu'un rapport PDI/UFL compris entre 100 et 120 g/UFL engendrait une plus grande ingestion de matière sèche, mais il n'existe pas de données quant à son influence sur la production laitière. Si cette dernière reste inchangée, il se peut alors que l'efficacité alimentaire augmente lorsque le rapport PDI/UFL diminue.

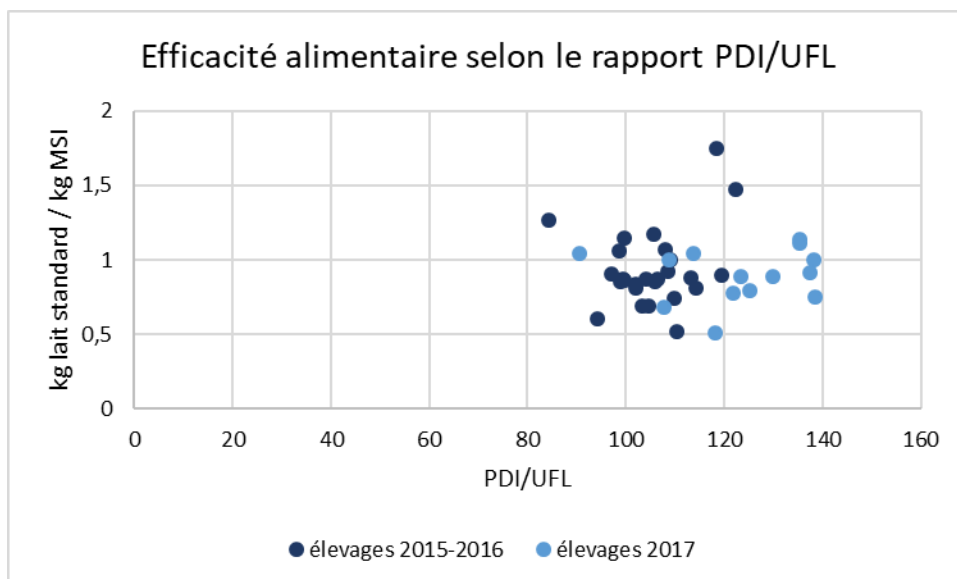


Figure 58 : efficacité alimentaire selon le rapport PDI/UFL.

d) Le taux d'urée

L'urée correspond au principal déchet du métabolisme azoté. On la retrouve dans la circulation sanguine avant d'être excrétée dans le lait. Le taux d'urée dans le lait varie selon la ration distribuée. Un taux d'urée normal est compris entre 180 et 330 mg/L. Un taux trop élevé, ou trop faible d'urée démontre souvent une efficacité alimentaire qui n'est pas maximale. Un excès correspond à un excès de matières azotées dégradables dans le rumen ou non dégradables dans l'intestin, avec un déficit d'énergie fermentescible. Un faible taux d'urée indique un défaut d'azote dégradable dans la ration ainsi qu'une faible activité de la microflore ruminale.

La figure 59 présente l'influence du taux d'urée sur l'efficacité alimentaire. On remarque que les taux d'urée dans le lait sont plus élevés dans les élevages de 2017 que dans ceux de 2015-2016. Ceci pourrait être dû à des fourrages plus riches en matières azotées, et pourrait être à l'origine de la hausse du rapport PDI/UFL et du rapport microbien, constatée entre les élevages de 2015-2016 et 2017.

Un test de corrélation des rangs de Spearman (coefficient de corrélation de 0,15 et p-value de 0,32) ne nous permet pas de mettre en évidence de corrélation significative entre l'efficacité alimentaire et le taux d'urée. Cependant, la moyenne d'efficacité alimentaire des élevages dont le taux d'urée est inférieur à 180 mg/L est de **0,78**, celle des élevages dont le taux d'urée est compris entre 180 et 330 mg/L est de **0,95**, et celle des élevages dont le taux d'urée est supérieur à 330 mg/L est de **0,89** (tableau XLVII). On a donc une plus grande efficacité alimentaire quand le taux d'urée est compris entre 180 et 330 mg/L, c'est-à-dire lorsque les apports en azote et en énergie sont équilibrés et que la microflore fonctionne de manière optimale.

Tableau XLVII : moyenne des efficacités alimentaires selon le taux d'urée.

Taux d'urée	< 180 mg/L	180 à 330 mg/L	> 330 mg/L
Efficacité alimentaire	0,78	0,95	0,89

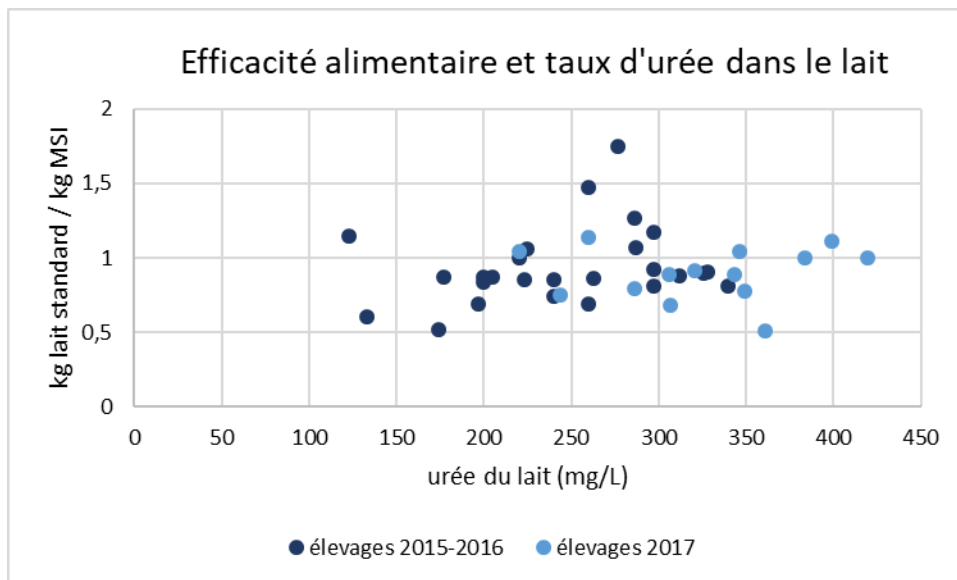


Figure 59 : efficacité alimentaire selon le taux d'urée dans le lait.

IV. Discussion

A. L'ingestion

Bien que ne pouvant pas aboutir à une différence statistiquement significative (faible nombre d'élevages enquêtés), nous observons que l'ingestion mesurée est plus importante que l'ingestion théorique obtenue à partir du modèle de l'INRA, chez les vaches de race Tarine (de + 800 g/VL/j) et Montbéliarde (+ 1,5 kg/VL/j), nourries avec une ration sèche, ce qui confirme l'observation empirique faite par les techniciens du contrôle laitier « Eleveur des Savoie ». Cette observation contraste avec les résultats obtenus par *Coulon et al (1994) et D'Hour et al (1991)* qui ont aussi comparé l'ingestion mesurée et l'ingestion prédite par le modèle de l'INRA, sur des rations composées de fourrages secs et de concentrés. Ils obtenaient des quantités ingérées mesurées très proches des quantités prédites pour les vaches de race Montbéliarde (-0,2 à +0,6 kg MS/j). Chez les vaches de race Tarine multipares, l'ingestion mesurée était bien plus faible (-1,8 kg MS/j) que la théorique. Dans cette étude, le modèle de l'INRA utilisé était celui de *l'INRA (1988)*, non remis à jour, et ne prenait pas en compte la note d'état corporel. Les différences de résultats entre notre étude et celle de *Coulon et al (1994)* peuvent être liés d'une part à l'utilisation de deux modèles différents de prédiction des quantités ingérées et à deux méthodes de mesures différentes en élevage. D'autre part, la génétique des vaches a probablement évolué entre 1988 et 2017, engendrant une augmentation de la production laitière, et par ce biais de l'ingestion.

Nous avons obtenu une mesure probablement aberrante, avec une ingestion mesurée à 30 kg de matière sèche ingérée par jour. L'erreur de mesure n'est pas détectable facilement, mais il est peu probable que l'ingestion réelle soit égale à l'ingestion mesurée dans ce cas.

Plusieurs points peuvent expliquer la tendance observée.

Les méthodes de mesure utilisées par l'INRA sont différentes des nôtres. L'INRA réalise des mesures individuelles, sur chaque vache de manière indépendante. Dans notre étude, nous avons utilisé les valeurs moyennes du troupeau, comme par exemple la production laitière totale des vaches, la quantité de matière sèche ingérée par tout le troupeau. Certaines approximations ont été faites, comme par exemple l'ingestion de matière sèche par les vaches tariées qui étaient mélangées au troupeau de vaches laitières. Certains paramètres n'ont pas été pris en compte, comme la présence de vaches de race Abondance dans certains élevages, dont la capacité d'ingestion peut être différente de celles des vaches Tarines. D'autres paramètres, nécessaires au calcul des quantités ingérées, ont été mesurés seulement sur une faible proportion du troupeau. Nous avons estimé la note d'état corporel et le poids vif du troupeau entier en réalisant la notation et les mesures sur cinq vaches du troupeau prises au hasard, et non pas en analysant chaque vache du troupeau. Enfin, la note d'état corporel est une notation de la quantité de gras sous-cutané réalisée de manière visuelle, à l'aide de tables de références, mais elle reste donc subjective, car dépendante du regard de l'opérateur. Ces différences de méthodes de mesures par rapport aux méthodes de mesures qui ont été appliquées pour développer le modèle de l'INRA pourraient être à l'origine de l'écart de matière sèche ingérée que l'on trouve entre la quantité théorique et la quantité mesurée.

La méthode de rationnement est particulière dans la zone AOP Beaufort, où les fourrages fermentés ne sont pas autorisés et où la quantité de concentrés est limitée. De plus, les analyses de fourrages ont été réalisées sur des échantillons prélevés à un instant t, qui ne reflète pas la saison hivernale dans son intégralité.

Un nouveau modèle de prédiction des quantités ingérées a été mis au point par l'INRA (le modèle *INRA (2018) Systali*), et il permettra peut-être de se rapprocher des valeurs trouvées sur le terrain, pour les vaches de race Tarine et pour des rations à base de foin.

La tendance observée quant à l'influence positive de certaines caractéristiques de la vache (production laitière, poids vif) et de la conduite de rationnement (nombre de repousses de la ration) sur l'ingestion mesurée nous confirme les conclusions présentées dans la littérature, et conforte notre protocole de mesure.

B. L'efficacité alimentaire

L'efficacité alimentaire des vaches de race Tarine que nous avons mesurée à **0,92**, est inférieure à la valeur de 1,4, valeur le plus souvent retenue pour des vaches Prim'Holsteins. L'efficacité alimentaire des vaches Montbéliardes, égale à **1,03**, se rapproche davantage de cette valeur. Plusieurs raisons peuvent être avancées.

Le cahier des charges de l'AOP Beaufort impose que la ration distribuée aux vaches soit constituée de fourrages secs, de type foin. Un apport en concentrés est autorisé mais limité. La ration obtenue est donc de faible densité énergétique et présente une plus grande valeur d'encombrement, par rapport à des rations constituées de fourrages fermentés. En effet, d'après les tables de l'INRA, la valeur alimentaire des foins en UFL est en moyenne de 0,70 UFL/kg de MS, avec un encombrement de 1,10 à 1,30 UEL/kg MS. La valeur énergétique des fourrages fermentés type ensilage de maïs est souvent supérieur à 0,85 UFL/kg MS, et l'encombrement est de 0,95 UEL/kg MS (*INRA, 2010*). Ainsi, l'apport nutritionnel et la quantité de matière sèche ingérée sont plus importants pour les vaches recevant une ration composée d'ensilage de maïs. Ceci est une première explication de la différence entre l'efficacité alimentaire des vaches Tarines (0,92) et Montbéliardes (1,03) par rapport à la valeur de 1,4 des vaches Prim'Holsteins que l'on retrouve dans la littérature.

La production laitière des vaches utilisées pour la production de Beaufort est limitée à 5000 kg de lait par an et par vache laitière par le cahier des charges. Or la production laitière est un des principaux facteurs de bonne efficacité alimentaire. Plus elle est élevée, plus l'efficacité alimentaire augmente, par dilution des besoins d'entretien (*Erdman, 2011*). La production moyenne des vaches Tarines est de 4181 kg de lait par lactation (*Institut de l'élevage, 2017*), ce qui est nettement inférieur à la production laitière des vaches Prim'Holsteins, qui produisent 8950 kg de lait, et dont l'efficacité alimentaire est de 1,4 (*Erdman, 2011*). Cet élément est une deuxième piste d'explication de la plus faible valeur d'efficacité alimentaire (0,92) des vaches de race Tarine. Chez les vaches Tarines, l'augmentation de l'efficacité alimentaire via l'augmentation de la production laitière ne laisse qu'une faible marge possible, car on ne pourrait l'augmenter que de 800 kg de lait par lactation pour ne pas dépasser les 5000 kg demandés par le cahier des charges.

Les modalités de reconstitution des réserves adipeuses peuvent aussi expliquer une partie de cette faible efficacité. Les vaches Tarines sont des vaches plus « rustiques », c'est-à-dire moins sélectionnées génétiquement que les vaches Prim'Holsteins pour la production de lait. Elles ont une plus faible production laitière s'accompagnant d'une mobilisation des réserves corporelles en début de lactation moins importante (*Coulon et D'Hour, 1994*). Leur efficacité alimentaire en début de lactation est donc moins importante que celle de vaches de race Prim'Holstein.

La tendance observée concernant l'influence du rapport TB/TP nous confirme les conclusions faites dans la littérature. Un faible rapport TB/TP, signe de sub-acidose ruminale, engendre de ce fait une diminution de l'ingestion et de la production laitière, d'où une chute de l'efficacité alimentaire. Il n'existe pas de valeurs chiffrées de référence indiquant de combien est la perte d'efficacité alimentaire lors d'une diminution du rapport TB/TP. Cette observation encourage de futures études visant à déterminer la valeur seuil de ce rapport en dessous duquel on peut dire que la vache Tarine est en sub-acidose.

L'effet de la note d'état corporel sur l'efficacité alimentaire n'a pas été vérifié dans l'étude. Il s'agit d'une notation subjective, réalisée par des personnes différentes. L'échantillon étudié n'était peut-être pas de taille suffisante et ne présentait pas une assez grande variabilité pour mettre en évidence l'influence de ce facteur qui est décrite dans la littérature. Pour une

prochaine campagne de mesures, il faudrait trouver un système permettant que ce soit le même individu qui réalise les notations d'état corporel, ou que tous les opérateurs se réétalonent entre eux, ou qu'ils aient recours à un appareil de mesure comme la caméra Ingeneraen en cours de développement. Le principe de cette caméra est le photopointage, c'est-à-dire que la note est calculée par un ordinateur qui utilise des algorithmes. Les valeurs sont mesurées sur des points précis de la vache avec un rayon laser, et la note devient une mesure objective.

L'effet de certaines caractéristiques de la vache (production laitière, stade de lactation, taux d'urée), de certaines caractéristiques de la ration (rapport microbien), de certains paramètres zootechniques (film de distribution) sur l'efficacité alimentaire concorde avec les observations rapportées dans la littérature, bien que n'ayant pas toujours de références chiffrées témoignant de ces influences.

C. Conclusion de la discussion

L'observation empirique des techniciens du contrôle laitier « Eleveurs des Savoie », sur la grande ingestion de matière sèche des vaches de race Tarine semble être confirmée dans cette étude. Le faible nombre d'élevages étudié est le principal biais, et ne nous permet pas de conclure de manière statistique. Par cette étude, nous avons constaté les difficultés de réalisation d'une analyse de l'alimentation dans les élevages non expérimentaux, de la comparaison de différents troupeaux entre eux.

Cependant, les tendances observées sont encourageantes, et l'étude pourrait être une base pour des campagnes de mesures impliquant un nombre plus élevé d'élevages, voire des études sur d'autres races de vaches laitières, comme les vaches Abondances, autre race dont le lait permet de produire du fromage AOP Beaufort.

Un deuxième élément qui apparaît dans cette étude et la plus faible efficacité alimentaire observée dans les troupeaux dont le rapport TB/TP (taux butyreux sur taux protéique du lait) est plus petit. Etant donné les taux protéiques et butyreux moyens des vaches de race Tarine, qui sont différents des autres races de vaches laitières, le seuil en dessous duquel on peut considérer qu'une vache est en acidose subclinique n'est pas valable. Il semblerait donc intéressant de poursuivre les recherches dans le but de déterminer ce rapport seuil.

CONCLUSION

L'alimentation des troupeaux de vaches laitières est l'élément le plus déterminant de la rentabilité de l'élevage. Elle engendre un coût direct, dû aux processus de récolte et à l'achat des matières premières. Elle est aussi à l'origine, par l'hétérogénéité de la qualité des rations, des variations de production laitière (et donc de rendement) qui peuvent exister d'un élevage à l'autre.

Une bonne production laitière requiert en premier lieu une importante quantité de matière sèche ingérée. Différents modèles de prédiction des quantités ingérées existent et permettent de prévoir au mieux la quantité de ration nécessaire à une production de lait donnée. Ces modèles utilisent le plus souvent la capacité d'ingestion des vaches, qui correspond à l'aptitude et à la motivation qu'a une vache pour s'alimenter. Cependant, la quantité de matière sèche ingérée n'est pas le seul paramètre et la qualité de la ration joue aussi un rôle très important. L'efficacité alimentaire est un outil qui nous permet d'évaluer la valorisation de la ration par les vaches. Elle correspond au rapport entre la quantité de lait produit en kilogrammes et la quantité de matière sèche ingérée en kilogrammes.

Les techniciens du groupement « Eleveurs des Savoie », en charge d'établir la ration hivernale des vaches laitières des élevages de la zone AOP Beaufort, avaient remarqué un écart entre les valeurs d'ingestion prédites par le modèle de l'INRA (2010) et les quantités que semblaient ingérer les vaches dans leurs élevages. Il semblait que les vaches laitières de race Tarine, ingéraient une plus grande quantité de matière sèche que celle prévue par le modèle, et que la production laitière engendrée est plus faible que celle attendue. Nous avons montré dans cette étude, où 40 élevages ont été enquêtés, que les valeurs de l'ingestion mesurée dans les élevages étaient un peu plus élevées que celles prédites par le modèle, mais sans différence significative. L'ingestion mesurée a été supérieure à l'ingestion théorique de 800 g de matière sèche par vache laitière par jour, ce qui est du même ordre de grandeur que la différence observée dans les élevages de vaches Montbéliardes. Cette différence est probablement due à notre méthode de mesure.

L'efficacité alimentaire a été calculée à 0,92, ce qui est inférieur à la valeur mesurée sur des vaches Montbéliardes pour des rations comparables. Il n'existait pas d'étude donnant une référence pour les élevages dont les vaches sont nourries avec une ration constituée de fourrages secs et de concentrés. La valeur que nous avons obtenue constitue une première référence d'efficacité alimentaire pour de telles rations.

Nous avons trouvé une corrélation positive entre la production laitière et l'ingestion mesurée, ainsi que pour le poids vif et pour le nombre de repousses de la ration. Les différentes corrélations testées confirment la plupart des facteurs de variation décrits dans la littérature. Cela conforte notre protocole de mesures.

La production laitière est corrélée de manière positive à l'efficacité alimentaire. De même que le stade de lactation, le taux d'urée, le rapport microbien et le film de distribution.

Le rapport taux butyreux sur taux protéique du lait est également corrélé de manière positive à l'efficacité alimentaire. Cette observation encourage de futures études visant à déterminer la valeur seuil de ce rapport en dessous duquel on peut dire que la vache Tarine est en sub-acidose.

Bibliographie

Agabriel J, D'Hour P, Petit P, 1987. Influence de l'âge et de la race sur la capacité d'ingestion des femelles bovines. *Reproduction Nutrition Développement*, 27(1 B), 211-2122.

Akins MS, Perfield KL, Green HB, Bertics SJ, Shaver RD, 2014. Effect of monensin in lactating dairy cow diets at 2 starch concentrations. *Journal of Dairy Science*, 97, 917–929.

Allen MS, Bradford BJ, Oba M, 2009. The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *Journal of Animal Science*, 87, 3317–3334.

Alstrup L, Nielsen MO, Lund P, Sehested J, Larsen MK, Weisbjerg MR, 2015. Milk yield, feed efficiency and metabolic profiles in Jersey and Holstein cows assigned to different fat supplementation strategies. *Livestock Science*, 178, 165–176.

Alves de Oliveira L, Noordhuizen J, 2013. Mycotoxicozes chez les vaches laitières : mesures pratiques de maîtrise et prévention. *Le Point Vétérinaire, Expert Rural*, n° spécial 44, Prévention nutritionnelle en élevage bovin, 170, 108-115.

Apper-Bossard E, Faverdin P, Meschy F, Peyraud JL, 2010. Effects of dietary cation-anion difference on ruminal metabolism and blood acid-base regulation in dairy cows receiving 2 contrasting levels of concentrate in diets. *Journal of Dairy Science*, 93, 4196–4210.

Armentano L, Weigel K, 2013. Considerations for improving feed efficiency in dairy cattle. *Proceedings Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*, p 37–48, East Syracuse, NY. Cornell University, Ithaca, NY.

Arndt C, Powell JM, Aguerre MJ, Crump PM, Wattiaux MA, 2015. Feed conversion efficiency in dairy cows : repeatability, variation in digestion and metabolism of energy and nitrogen, and ruminal methanogens. *Journal of Dairy Science*, 98, 3938–3950.

Bailly S, Bailly Jean-Denis, 2013. Moisissures des fourrages secs : *Aspergillus fumigatus* et *Stachybotrys chartarum*, deux espèces toxigènes majeures. *Le Point Vétérinaire - Expert rural*, numéro spécial, volume 44, p116-119.

Bareille N, Beaudeau F, Billon S, Robert A, Faverdin P, 2003. Effects of health disorders on feed intake and milk production in dairy cows. *Livestock Production Science*, 83:53–62.

Barmore JA, 2002. Fine-tuning the ration mixing and feeding of high producing herds. *Proceedings Tri-State Dairy Nutrition Conference*, p 103–126, Fort Wayne, IN. Ohio State University, Columbus.

Beauchemin KA, Yang WZ, 2005. Effects of Physically Effective Fiber on Intake, Chewing Activity, and Ruminal Acidosis for Dairy Cows Fed Diets Based on Corn Silage. *Journal of Dairy Science* 88, 2117–2129.

Ben Boubaker H, 2010. Les paroxysmes climato-thermiques en Tunisie : approche méthodologique et étude de cas. *Climatologie*, 57-84.

Benhamed H, Dulphy JP, 1986. Influence du traitement des foin à l'ammoniac sur leur valeur azotée appréciée par la méthode des bilans azotés. *Annales de Zootechnie*, 35, 387-400.

- Berman A, 2005.** Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *Journal of Animal Science*, 83, 1377–1384.
- Berman A, 1968.** Nychthermeral and seasonal patterns of thermoregulation in cattle. *Australian Journal Agricole Research*, 19, 181–188.
- Bernard JK, 2008.** Feeding Management: Do's and Don'ts. *Proceedings 2008 Florida & Georgia Dairy Road Show*, p 18 to 24.
- Berry DP, Crowley JJ, 2013.** Cell biology symposium. Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. *Journal of Animal Science*, 91, 1594–1613.
- Bertrand E, Dubois P, 2011.** L'urée du lait, un indicateur de l'alimentation énergétique et protéique de la vache laitière, facteurs de variations et incidences physiologiques. *PEP Bovins lait*.
- Bethard G, 2013.** Controlling feed costs : focusing on margins instead of ratios. *Proceedings Western Dairy Management Conference*, p 202–206, Reno, NV. Kansas State University, Manhattan.
- Bianca W, 1965.** Reviews of the progress in dairy science. Cattle in hot environment. *Journal of Dairy Research*, 32, 291–345.
- Borreani G, Tabacco E, Cavallarini L, 2007.** A new oxygen barrier film reduces aerobic deterioration in farm-scale corn silage. *Journal of Dairy Science*, 90, 4701–4706.
- Botheras NA, 2007.** The Feeding Behavior of Dairy Cows : Considerations to Improve Cow Welfare and Productivity. *Tri-State Dairy Nutrition Conference*, April 2007, p 29 to 42.
- Bouraoui R, Lahmar M, Majdoub A, Djemali M, Belyea R, 2002.** The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research*, 51, 479–491.
- Britt JS, Thomas RC, Speer NC, Hall MB, 2003.** Efficiency of converting nutrient dry matter to milk in Holstein herds. *Journal of Dairy Science*, 86, 3796–3801.
- Brouk MJ, Smith JF, 2000.** Factors affecting dry matter intake by lactating dairy cows. *Dairy Day*. 54-58.
- Cabrera Estrada JI, Delagarde R, Faverdin P, Peyraud JL, 2003.** The addition of external water to fresh grass does not affect dry matter intake, feeding behaviour and rumen characteristics in dairy cows. *Animal Research*, 52 (1), 3-16.
- Cahier des charges de l'AOP Beaufort :** Cahier des charges de l'appellation d'origine « Beaufort » associé à l'avis n°AGRT1 431306 V, *Bulletin officiel du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt n° 2 -2015*.
- Capper JL, Bauman DE, 2013.** The role of productivity in improving the environmental sustainability of ruminant production systems. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1, 469–489.
- Capper JL, Cady RA, Bauman DE, 2009.** The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *Journal of Animal Science*, 87, 2160–2167.

- Casper DP, 2008.** Factors affecting feed efficiency of dairy cows. TriState. Dairy Nutrition Conference. 133-144.
- Castellani D, 2014.** L'efficacité alimentaire : une donnée essentielle dans la gestion de l'alimentation des troupeaux laitiers. Le Point Vétérinaire, Expert Rural, septembre 2014, n°348, 56-62.
- Charmley E, Trenholm H, Thompson B, Vudathala D, Nicholson J, Prelusky D, Charmley L, 1993.** Influence of level of deoxynivalenol in the diet of dairy cows on feed intake, milk production, and its composition. Journal of Dairy Science, 76(11), 3580-3587.
- Chenost M, Dulphy JP, 1987.** Amélioration de la valeur alimentaire (composition, digestibilité, ingestibilité) des mauvais foin et des pailles par les différents types de traitement. In: Demarquilly C. (ed), Les fourrages secs : récolte traitement, utilisation, 199-230. Editions INRA, Paris.
- Chilliard Y, Bocquier Y, Delavaud C, Faulconnier Y, Bonnet M, Guerre-Millo M, Martin P, Ferlay A, 1999.** La leptine chez le ruminant. Facteurs de variation physiologiques et nutritionnels. INRA Productions Animales, 12 (3), 225-237.
- Choung JJ, Chamberlain DG, 1995.** Effects of intraruminal infusion of propionate on the concentrations of ammonia and insulin in peripheral blood of cows receiving an intraruminal infusion of urea. Journal of Dairy Research. 62, 549-557.
- Choung JJ, Chamberlain DG, Thomas PC, Bradbury I, 1990.** The effects of intraruminal infusions of urea on the voluntary intake and milk production of cows receiving grass silage diets. Journal of Dairy Research. 57, 455-464.
- Claassen RM, Christensen DA, Mutsvangwa T, 2016.** Effects of extruding wheat dried distillers grains with solubles with peas or canola meal on ruminal fermentation, microbial protein synthesis, nutrient digestion, and milk production in dairy cows. Journal of Dairy Science, 99, 7143–7158.
- Clément P, Guatteo R, Delaby L, Rouillé B, Chanvallon A, Philipot JM, Bareille N, 2014.** Short communication : added value of rumination time for the prediction of dry matter intake in lactating dairy cows, Journal of Dairy Science, 97, 6531– 6535
- Commun L et al, 2016.** Carnet clinique. Médecine de troupeau en élevage laitier. Les Editions du Point Vétérinaire. 201 p.
- Coppock CE, Bath DL, Harris BJ, 1981.** From feeding to feeding systems. Journal of Dairy Science, 64, 1230–1249.
- Coppock R, Mostrom M, Sparling C, Jacobsen B, Ross S, 1990.** Apparent zearalenone intoxication in a dairy herd from feeding spoiled acid-treated corn. Veterinary and Human Toxicology, 32(3), 246-248.
- Coulon JB, D'Hour P, 1994.** Capacité d'ingestion comparée de génisses et de vaches de race Holstein, Montbéliarde et Tarentaise. Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences, 43 (4), pp.389-392.

- Crossley RE, Harlander-Matauschek A, DeVries TJ, 2018.** Mitigation of variability between competitively fed dairy cows through increased feed delivery frequency. *Journal of Dairy Science*. 101, 518–529.
- DeVries TJ, von Keyserlingk MAG, 2005.** Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88, 625–631.
- DeVries TJ, von Keyserlingk MAG, 2006.** Feed stalls affect the social and feeding behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 89: 3522-3531.
- De Ondarza MB, Tricarico JM, 2017.** Review: Advantages and limitations of dairy efficiency measures and the effects of nutrition and feeding management interventions. *The Professional Animal Scientist*, 33, 393–400.
- DeVries TJ, Von Keyserlingk MAG, Beauchemin KA, 2005.** Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88, 3553–3562.
- D’Hour P, Coulon J.B, Garel J.P, Mante A, Maronne P, 1991.** Capacité d’ingestion des génisses : influence de la race, de l’âge et de la qualité du foin. *Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences*, 40 (3), 171-179.
- Diaz D, Hagler Jr W, Hopkins B, Patton R, Brownie C, Whitlow L, 2001.** The effect of inclusion of a clay type sequestering agent on milk production of dairy cattle consuming mycotoxins contaminated feeds. *Journal of Dairy Science*, 84, 1554.
- Dikmen S, Hansen P, 2009.** Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*, 92, 109–116.
- Dubois P, Fréret S, Charbonnier G, Humblot P, Ponsart C, 2006.** Influence des paramètres laitiers sur la régularité de cyclicité post-partum et les performances de reproduction en race Prim’Holstein. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 13, 295.
- Dusart C, 2014.** Digestion ruminale : mise en place d’un modèle d’étude in vitro à long terme en culture Batch. Thèse de doctorat vétérinaire. Université Paul Sabatier, Toulouse, 123p.
- Endres MI, DeVries TJ, von Keyserlingk, MAG, Weary DM, 2005.** Short Communication: Effect of feed barrier design on the behavior of loose-housed lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88, 2377-2380.
- Erdman R, 2011.** Monitoring feed efficiency in dairy cows using fat-corrected milk per unit of dry matter intake. *Proceedings 9th Annual Mid-Atlantic Nutrition Conference*, p 69–79, Timonium, MD. University Maryland, College Park.
- Faucet S, Mounaix B, Ferard A, Cabon G, Protin PV, Ménard JL, 2013.** Effets de la fréquence de distribution d'une ration complète, gérée par un système automatisé, sur le comportement des vaches laitières. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 20, p210.
- Faverdin P, 1992.** Alimentation des vaches laitières : comparaison des différentes méthodes de prédiction des quantités ingérées. *INRA Productions Animales*, 5 (4), 271-282.
- Faverdin P, Delaby L, Delagarde R, 2007.** L’ingestion d’aliments par les vaches laitières et sa prévision au cours de la lactation.

Faverdin P, Delaby L, Vérité R, Marquis B, 1998. Effet de la teneur en protéines et en aliments concentrés d'une ration complète à base d'ensilage de maïs sur l'ingestion et la production laitière de vaches laitières en début de lactation. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 5, 263.

Faverdin P, Delagarde R, Delaby L, 2006. Prédiction de l'ingestion des vaches laitières au cours de la lactation. *Rencontres et recherche ruminants n°13*, p85 à 88.

Faverdin P, M'Hamed D, Rico-Gomez M, Vérité R, 2003b. La nutrition azotée influence l'ingestion chez la vache laitière. *INRA Productions Animales*, 16, 27-37.

Faverdin P, Vérité R, UMR INRA ENSAR Production du Lait, 2003a. Modèle dynamique de simulation des flux d'azote et de l'urémie chez la vache laitière. *INRA Domaine de la Prise*, 35590 St-Gilles.

Firkins JL, Eastridge ML, St-Pierre NR, Nofstger SM, 2001. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 79, E218–E238.

Foldager J, Haarbo K, 1994. Effect of breed and feeding intensity during rearing on the feed intake capacity of first lactation dairy cows. *Livestock Production Science*, 39, 39-42.

Fox DG, Sniffen CJ, O'Connor JD, Russel JB, Van Soest PJ, 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. *Journal of Animal Science*, 70, 3758-3596.

Fox DG, Tedeschi LO, Tylutki TP, Russell JB, Van Amburgh ME, Chase LE, Pell AN, Overton TR, 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, 112, 29–78.

French N, Kennelly JJ, 1990. Effects of feeding frequency on ruminal parameters, plasma insulin, milk yield, and milk composition in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 73, 1857-1863.

Friggens NC, Berg P, Theilgaard P, Korsgaard IR, Ingvarsten KL, Lovendahl P, Jensen J, 2007. Breed and parity effects on energy balance profiles through lactation : evidence of genetically driven body energy change. *Journal of Dairy Science*, 90, 5291–5305.

Friggens NC, Emmans GC, Kyriazakis I, Oldham J.D, 1998. Feed intake relative to stage of lactation for dairy cows consuming total mixed diets with a high or low ratio of concentrate to forage. *Journal of Dairy Science*, 81, 2228-2239.

Gezondheidsdienst voor Dieren, 1999. Welzijnswijzer melkvee. Beoordelen en verbeteren in de praktijk. [En ligne]. <http://www.wageningenur.nl/nl/show/Welzijnswijzer-Melkvee.htm>. Consulté le 11/10/2017.

Grant RJ, Tylutki TP, 2011. Influence of social environment on feed intake of dairy cattle. William H. Miner Agricultural Research Institute, Chazy, NY, AMTS LLC, Cortland, NY.

Grant RJ, Albright JL, 2001. Effect of animal grouping on feeding behavior and intake of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 84(E. Suppl.): E156-E163.

Gruber L, Steinwender R, Krimberger K, Sölkner J, 1991. Roughage intake of Simmental, Brown Swiss and Holstein Friesian Cows fed rations with 0,25 and 50% concentrates. *Livestock Production Science*, 27, 123-136.

Gruber L, Schwarz FJ, Erdin D, Fischer B, Spiekers H, Steingass H, Meyer U, Chassot A, Jilg T, Omermaier A, Gruggenberz T, 2004. Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. 116. VDLUFA-Kongress, Rostock 2004. VDLUFASchriftenr 60, 484-504.

Halachmi I, Børsting CF, Maltz E, Edan Y, Weisbjerg MR, 2011. Feed intake of Holstein, Danish Red, and Jersey cows in automatic milking systems. *Livestock Science*, 138, 56–61.

Hardie LC, Armentano LE, Shaver RD, VandeHaar MJ, Spurlock DM, Yao C, Bertics SJ, Contreras-Govea RC, Weigel KA, 2015. Considerations when combining data from multiple nutrition experiments to estimate genetic parameters for feed efficiency. *Journal of Dairy Science*, 98, 2727–2737.

Hart KD, McBride BW, Duffield TF, DeVries TJ, 2014. Effect of frequency of feed delivery on the behavior and productivity of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97, 1713–1724.

Hill DL, Wall E, 2017. Weather influences feed intake and feed efficiency in a temperate climate. *Journal of Dairy Science* Vol. 100, 2240-2257.

Hill D, Wall E, 2015. Dairy cattle in a temperate climate : the effects of weather on milk yield and composition depend on management. *Animal*, 9, 138–149.

Holmes BJ, 2013. Getting the most from your bunker/pile silo. Proceedings Western Dairy Management Conference, p 208–223, Reno, NV. Kansas State University, Manhattan.

Horan B, Faverdin P, Delaby L, Rath M, Dillon P, 2006. The effect of strain of HolsteinFriesian dairy cow and pasture-based system on grass intake and milk production. *Journal of Animal Science*, 82, 435-444.

Hu W, Murphy MR, 2004. Dietary cation-anion difference effects on performance and acid-base status of lactating dairy cows: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 87, 2222–2229.

Hu W, Murphy MR, Constable PD, Block E, 2007. Dietary cation-anion difference effects on performance and acid-base status of dairy cows postpartum. *Journal of Dairy Science*, 90, 3367–3375.

Huhtanen P, Rinne M, Mantysaari P, Nousiainen J, 2011. Integration of the effects of animal and dietary factors on total dry matter intake of dairy cows fed silage-based diets. *Animal* 5:691–702.

Huhtanen P, Rinne M, Nousiainen J, 2007. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows : a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal* 1, 758-770.

Huhtanen P, Rinne M, Nousiainen J, 2007. Evaluation of concentrate factors affecting silage intake of dairy cows : a revision of the relative total diet intake index. *Animal* 2, 942-953.

Huhtanen P, Rinne M, Mantysaari P, Nousiainen J, 2011. Integration of the effects of animal and dietary factors on total dry matter intake of dairy cows fed silage-based diets. *Animal* 5, 691–702.

Hutjens MF, 2008a. Feed Efficiency Opportunities with 2008 Feed Cost. Proceedings of the 45th annual Florida dairy production conference. 104 p, 6-13.

Hutjens MF, 2008b. Revisiting feed efficiency and its economic impact.

Hutjens MF, 2005. Dairy efficiency and dry matter intake. Proceedings Western Dairy Management Conference, p 71–76, Reno, NV. Kansas State University, Manhattan.

Huzzey JM, DeVries TJ, Valois P, von Keyserlingk MAG, 2006. Stocking density and feed barrier design affect the feeding and social behavior of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89, 126-133.

Ingalls J, 1996. Influence of deoxynivalenol on feed consumption by dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 60(3), 297-300.

INRA, 2010. Alimentation Des Bovins, Ovins et Caprins. Besoins Des Animaux - Valeurs Des Aliments. Editions Quae, Versailles. Vol. Tables INRA 2007 mise à jour 2010, 312p.

INRA, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Jarrige R. (Ed). INRA, Paris, France, 476p.

Institut de l'élevage, 2017. Résultats de contrôle laitier de l'espèce bovine. Collection résultats. Compte rendu n° 0018201004 GT/JMA/XB, 25-28.

Institut de l'élevage, 2015. Résultats de contrôle laitier des espèces bovine, caprine et ovine - espèce bovine. Collection résultats, 24-27.

Institut de l'élevage, 2010. Guide pratique de l'alimentation du troupeau bovin laitier. Editions Quae, Paris, 262p.

Ingvarstsen KL, 1994. Models of voluntary food intake in cattle. *Livestock Production Science*, 39, 19–38.

Ipharraguerre IR, Clark JH, 2003. Usefulness of ionophores for lactating dairy cows : a review. *Animal Feed Science and Technology*, 106, 39–57.

Iwaniuk ME, Erdman RA, 2015. Intake, milk production, ruminal, and feed efficiency responses to dietary cation-anion difference by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98, 8973–8985.

Jensen MB, Proudfoot LK, 2017. Effect of group size and health status on behavior and feed intake of multiparous dairy cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 100, 1–10.

Jensen LM, Nielsen NI, Nadeau E, Markussen B, Nørgaard P, 2015. Evaluation of five models predicting feed intake by dairy cows fed total mixed rations. *Livestock Science*, 176, 9-103.

Johnston C, DeVries TJ, 2018. Short communication : associations of feeding behavior and milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101, 3367–3373.

Journet M, Faverdin P, Rémond B, Vérité R, 1983. Niveau et qualité des apports azotés en début de lactation. *Bulletins Techniques. CRZV Theix, INRA*, 51, 7-17.

Juarez ST, Robinson PH, 2002. Impact of lameness on behavior and milk production of high producing multiparous Holstein cows. *Hoof Trimmers Association, Inc. Newsletter* 34, 10-11.

- Keady TWJ, Mayne CS, Kilpatrick DJ, 2004.** An evaluation of five models commonly used to predict food intake of lactating dairy cattle. *Livestock Production Science*, 89, 129–138.
- Kennedy J, Dillon P, Delaby L, Faverdin P, Stakelum G, Rath M, 2003.** Effect of genetic merit and concentrate supplementation on grass intake and milk production with Holstein Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86, 610-621.
- Kertz AF, Davidson LE, Cords BR, Puch HC, 1983.** Ruminal infusion of ammonium chloride in lactating cows to determine effect of pH on ammonia trapping. *Journal of Dairy Science*, 66, 2597-2601.
- Kertz AF, Koepke MK, Davidson LE, Betz NL, Norris JR, Skoch LV, Cords BR, Hopkins DT, 1982.** Factors influencing intake of high urea-containing rations by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 65, 587-604.
- King MTM, Crossley RE, DeVries TJ, 2016.** Impact of timing of feed delivery on the behavior and productivity of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99, 1471–1482.
- Klusmeyer TH, Cameron MR, McCoy GC, Clark JH, 1990.** Effects of feed processing and frequency of feeding on ruminal fermentation, milk production, and milk composition. *Journal of Dairy Science*, 73, 3538-3543.
- Korver S, 1982.** Feed intake and production in dairy breeds dependent on the ration, Ph D Thesis, Agriculture University Wageningen.
- Krause KM, Oetzel GR, 2005.** Inducing subacute ruminal acidosis in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88, 3633–3639.
- Kristensen T, Jensen C, Østergaard S, Weisbjerg MR, Aaes O, Nielsen NI, 2015.** Feeding, production, and efficiency of Holstein-Friesian, Jersey, and mixed-breed lactating dairy cows in commercial Danish herds. *Journal of Dairy Science*, 98, 263–274.
- Krizsan SJ, Sairanen A, Höjer A, Huhtanen P, 2014.** Evaluation of different feed intake models for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97, 2387–2397.
- Leclerc E, Rousselot MC, Faverdin P, 1993.** Capacité d'ingestion des vaches laitières en début de lactation : évolution en relation avec la production, la gestion des réserves corporelles et la génétique des animaux. Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers, 138p.
- Ledos H, Moureaux S, 2013.** Durée de gestation des principales races de l'espèce bovine – Moyenne et variabilité. Compte-rendu n°001378001. Département génétique et phénotypes. Service phénotypage. Service programmes de sélection et gestion des populations. Institut de l'élevage. 44p. P41.
- Li B, Fikse WF, Lassen J, Lidauer MH, Løvendahl P, Mäntysaari P, Berglund B, 2016.** Genetic parameters for dry matter intake in primiparous Holstein, Nordic Red, and Jersey cows in the first half of lactation. *Journal of Dairy Science*, 99, 7232–7239.
- Lukas JM, Reneau JK, Linn JG, 2008.** Water Intake and Dry Matter Intake Changes as a Feeding Management Tool and Indicator of Health and Estrus Status in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 91, 3385–3394.

- Mäntysaari P, Khalili H, Sariola J, 2006.** Effect of Feeding Frequency of a Total Mixed Ration on the Performance of High-Yielding Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 89, 4312–4320.
- Mantysaari P, Liinamo AE, Mantysaari EA, 2012.** Energy efficiency and its relationship with milk, body, and intake traits and energy status among primiparous Nordic Red dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95, 3200–3211.
- McDowell RE, Hooven NW, Camoens JK, 1976.** Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. *Journal of Dairy Science*, 59, 965–973.
- Ménard JL, Protin PV, Brunshwig P, Mounaix B, Ferard A, Cabon G, Faucet, S, 2014.** Automatisation de l'alimentation des vaches laitières : étude de la fréquence de distribution d'une ration complète réalisée à La Jaillière. 1ères biennales des stations expérimentales laitières. Rennes.
- Mertens DR. 1994.** Regulation of forage intake. Pages 450–493 in *Forage Quality, Evaluation and Utilization*. G. C. Fahey Jr., ed. American Society of Agronomy Inc., Crop Science Society of America Inc., Soil Science Society of America Inc., Madison, WI.
- Miller-Cushon EK, DeVries TJ, 2017.** Short communication: Associations between feed push-up frequency, feeding and lying behavior, and milk yield and composition of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100, 2213–2218.
- Moallem U, Lehrer H, Livshitz L, Zachut M, Yakoby S, 2009.** The effects of live yeast supplementation to dairy cows during the hot season on production, feed efficiency, and digestibility. *Journal of Dairy Science*, 92, 343–351.
- Mossberg I, Jönsson H, 1996.** The influence of day length and temperature on food intake and growth rate of bulls given concentrate or grass silage ad libitum in two housing systems. *Animal Science*, 62, 233–240.
- Mulligan FJ, Quirke J, Rath M, Caffrey PJ, O'Mara FP, 2002.** Intake, digestibility, milk production and kinetics of digestion and passage for diets based on maize or grass silage fed to late lactation dairy cows. *Livestock Production Science* 74, 113–124
- National Research Council, 2001.** Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh Revised Edition. Washington, DC. The national academies press. <https://doi.org/10.17226/9825>
- National Research Council, 1989.** In: 6th Revised Edition Update. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy Press, Washington, DC.
- Nielsen BL, 1999.** On the interpretation of feeding behaviour measures and the use of feeding rate as an indicator of social constraint. *Applied Animal Behaviour Science* 63, 79–91.
- Nikkhah A, Furedi CJ, Kennedy AD, Crow GH, Plaizier JC, 2008.** Effects of Feed Delivery Time on Feed Intake, Milk Production, and Blood Metabolites of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 91, 4249–4260.
- Niu M, Harvatine KJ, 2018.** Short communication : the effects of morning compared with evening feed delivery in lactating dairy cows during the summer. *Journal of Dairy Science*, 101, 396–400.

- Nocek JE, Braund DG, 1985.** Effect of feeding frequency on diurnal dry matter and water consumption, liquid dilution rate, and milk yield in first lactation. *Journal of Dairy Science*, 68, 2238-2247.
- Noorhuizen J, 2007.** Le Diagnostic De L'acidose Ruminale Subaiguë Dans Un Troupeau Laitier. *Bulletin Des GTV*, 41, 31–34.
- Oba M, Allen MS, 1999.** Evaluation of the importance of the digestibility of neutral Detergent fiber from forage : effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 82, 589–596.
- Oetzel GR, 2004.** Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease. *Veterinary Clinics of North America : Food Animal Practice*, 20, 651–674.
- Ostergaard S, Grohn YT, 2000.** Concentrate feeding, dry matter intake, and metabolic disorders in Danish dairy cows. *Livestock Production Science*, 65, 107–118.
- Owens FN, Secrist DS, Hill WJ, Gill DR, 1998.** Acidosis in cattle : a review. *Journal of Animal Science*, 76, 275–286.
- Owens CE, Zinn RA, Hassen A, Owens FN, 2016.** Mathematical linkage of total-tract digestion of starch and neutral detergent fiber to their fecal concentrations and the effect of site of starch digestion on extent of digestion and energetic efficiency of cattle. *The Professional Animal Scientist*, 32, 531–549.
- Petit M, Agabriel J, D'Hour P, Garel JP, 1994.** Quelques caractéristiques des races bovines allaitantes de type rustique. *INRA Productions Animales*, 7 (4), 235-243.
- Petit M, Garel JP, Grenet N, 1987.** Utilisation des foins et pailles par le troupeau de vaches allaitantes. In : *Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation* (C Demarquilly, ed), INRA, Paris 361-389.
- Petitclerc D, Chapin LT, Emery RS, Tucker HA, 1983.** Body growth, growth-hormone, prolactin and puberty response to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *Journal of Animal Science*, 57, 892–898.
- Phillips CJC, Margerison JK, Azazi S, Chamberlain AG, Omed H, 1991.** The effect of adding surface water to herbage on its digestion by ruminants. *Grass Forage Science*, 46, 333–338.
- Phillips CJC, Rind MI, 2001.** The Effects of Frequency of Feeding a Total Mixed Ration on the Production and Behavior of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 84, 1979–1987.
- Piantoni P, Ylloja CM, Allen MS, 2015.** Feed intake is related to changes in plasma nonesterified fatty acid concentration and hepatic acetyl CoA content following feeding in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* Vol. 98, 10, 6837-6847.
- Ponter A, 2016.** Guide pratique d'alimentation de la vache laitière. Editions France Agricole, 168p.
- Poppy GD, Rabiee AR, Lean IJ, Sanchez WJ, Dorton KL, Morley PS, 2012.** A meta-analysis of the effects of feeding yeast culture produced by anaerobic fermentation on *Saccharomyces cerevisiae* on milk production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95, 6027–6041.

Prendiville RK, Pierce M, Buckley F, 2009. An evaluation of production efficiencies among lactating Holstein-Friesian, Jersey, and Jersey × Holstein-Friesian cows at pasture. *Journal of Dairy Science*, 92, 6176–6185.

Puillet L, Réale D, Friggens NC, 2016. Disentangling the relative roles of resource acquisition and allocation on animal feed efficiency: insights from a dairy cow model. *Genetics Selection Evolution*, 48-72.

R Core Team, 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rathbun F, Pralle R, Bertics S, Armentano L, Cho K, Do C, Weigel K, White H, 2017. Relationships between body condition score change, prior mid-lactation phenotypic residual feed intake, and hyperketonemia onset in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100, 3685–3696.

Rauw WM, Kanis E, Noordhuizen-Stassen EN, Grommers FJ, 1998. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livestock Production Science*. 1998;56:15–33.

Renaudeau D, Collin A, Yahav S, de Basilio V, Gourdine J, Collier R, 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6, 707–728.

Reynolds CK, Crompton LA, Mills JAN, 2011. Improving the efficiency of energy utilisation in cattle. *Animal Production Science*, 51, 6–12.

Rico-Gomez M, Faverdin P, 2001. La nutrition protéique modifie l'ingestion des vaches laitières : analyse bibliographique. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 8, 285-288.

Robinson PH, Erasmus LJ, 2010. Feed efficiency and lactating cows : expressing and interpreting it. *Proceedings 31st Western Nutrition Conference*, p 289–295, Saskatoon, SK. Animal Nutrition Association Canada, Ottawa, ON, Canada.

Robinson PH, McNiven MA, 1994. Influence of flame roasting and feeding frequency of barley on performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 77, 3631-3643.

Rooke JA, Lee NH, Armstrong DG, 1987. The effects of intraruminal infusions of urea, casein, glucose syrup and a mixture of casein and glucose syrup on nitrogen digestion in the rumen of cattle receiving grass-silage diets. *British Journal of Nutrition*, 57, 89-98.

Rottman LW, Ying Y, Zhou K, Bartell PA, Harvatine KJ, 2015. The effects of feeding rations that differ in neutral detergent fiber and starch concentration within a day on production, feeding behavior, total-tract digestibility, and plasma metabolites and hormones in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98, 4673–4684.

Rotz CA, Corson MS, Chianese DS, Montes F, Hafner SD, Coiner CU, 2012. The Integrated Farm System Model. USDAARS, Washington, DC, Reference Manual Version 3.6, 191 p.

Sauvant D, Cantalapiedra-Hijar G, Delaby L, Daniel JB, Faverdin P, Nozière P, 2015. Actualisation des besoins protéiques des ruminants et détermination des réponses des femelles laitières aux apports de protéines digestibles dans l'intestin. *INRA Productions Animales*, 28, 347-368.

Schils RL, De Haan MH, Hemmer JG, Van den Pol A, Van Dasselaar A, De Boer J, Evers A, Holshof G, Van Middelkoop JC, Zom RLG, 2007. DairyWise, a whole-farm dairy model. *Journal of Dairy Science*, 90, 5334–5346.

Schingoethe DJ, Linke KN, Kalscheur KF, Hippen AR, Rennich DR, Yoon I, 2004. Feed efficiency of mid-Lactation dairy cows fed yeast culture during summer. *Journal of Dairy Science*, 87, 4178–4181.

Shabi Z, Bruckental I, Tagari H, Zamwel S, Adin G, Arieli A, 1998. The effect of number of daily meals for dairy cows on milk yield and composition. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 7, 1998, 249 – 259.

Shaver RD, 2002. Rumen acidosis in dairy cattle : bunk management considerations. *Proceedings of the 12th International Symposium on Lameness in Ruminants*, p 75–81, J. K. Shearer, ed. Orlando, FL. University Florida, Gainesville.

Stone WC, 2004. Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 87, E13–E26.

St-Pierre N. 2008. Managing measures of feed costs : benchmarking physical and economic feed efficiency. *Proceedings Tri-State Dairy Nutrition Conference*, p 99–112, Fort Wayne, IN. Ohio State University, Columbus.

St-Pierre N, 1998. Formulating rations based on changes in markets. *Proceedings Tri-State Dairy Nutrition Conference*, p 181–203, Fort Wayne, IN. Ohio State University, Columbus.

Su H, Wang Y, Zhang Q, Wang F, Cao Z, Rahman MAU, Cao B, Li S, 2013. Responses of energy balance, physiology, and production for transition dairy cows fed with a low-energy prepartum diet during hot season. *Tropical Animal Health and Production*, 45, 1495–1503.

Trenholm H, Thompson B, Martin K, Greenhalgh R, McAllister A, 1985. Ingestion of vomitoxin (deoxynivalenol)-contaminated wheat by nonlactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 68(4), 1000-1005.

Vadiveloo J, Holmes W, 1979. The prediction of the voluntary feed intake of dairy cows. *The Journal of Agriculture Science – Cambridge*, 93, 553–562.

VandeHaar MJ, Armentano LE, Moody Spurlock D, 2012. Searching for a more efficient cow : feeding and breeding to enhance efficiency. *Proceedings of the 27th Annual Southwest Nutrition and Management Conference*, p 20–31, Tempe, AZ. University Arizona, Tempe.

VandeHaar MJ, St-Pierre N, 2006. Major advances in nutrition : relevance to the sustainability of the dairy industry. *Journal of Dairy Science*, 89, 1280–1291.

Vérité R, Delaby L, 1998. Conduite alimentaire et rejets azotés chez la vache laitière. Interrelation avec les performances. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 5, 185-192.

Vérité R, Journet M, 1970. Influence de la teneur en eau et de la déshydratation de l’herbe sur sa valeur alimentaire pour les vaches laitières, *Annales de Zootechnie*, 19, 255–268.

- Volden H, Nielsen NI, Åkerlind M, Larsen M, Havrevoll Ø, Rygh AJ, 2011.** Prediction of voluntary feed intake. In: Volden H.(Ed.), *The Nordic Feed Evaluation System*, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, pp.113–126.
- Winkler J, Kersten S, Meyer U, Engelhardt U, Dänicke S, 2014.** Residues of zearalenone (ZEN), deoxynivalenol (DON) and their metabolites in plasma of dairy cows fed *Fusarium* contaminated maize and their relationships to performance parameters. *Food and Chemical Toxicology*, 65, 196-204.
- Wolter R, Ponter A, 2012.** *Alimentation de la vache laitière*. Editions France agricole, Paris, 273p.
- Yan T, Agnew RE, Gordon FG, Porter MG, 2000.** The prediction of methane energy output in dairy and beef cattle offered grass silage-based diets. *Livestock Production Science*, 64, 253–263.
- Yan T, Mayne CS, Gordon FG, Porter MG, Agnew RE, Patterson DC, Ferris CP, Kilpatrick DJ, 2010.** Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93, 2630–2638.
- Yang CM, Varga GA, 1989.** Effect of three concentrate feeding frequencies on rumen protozoa, rumen digesta kinetics, and milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 72, 950-957.
- Zamet CN, Colenbrander VF, Callahan CJ, Chew BP, Erb RE, Moeller NJ, 1979.** Variables associated with peripartum traits in dairy cows. I. Effect of dietary forages and disorders on voluntary intake of feed, body weight and milk yield. *Theriogenology*, 11, 229–244.
- Zebeli Q, Ametaj BN, Junck B, Drochner W, 2009.** Maize silage particle length modulates feeding patterns and milk composition in loose-housed lactating Holstein cows. *Livestock Science* 124, 33–40.
- Zom RLG, André G, van Vuuren AM, 2012.** Development of a model for the prediction of feed intake by dairy cows : 1. Prediction of feed intake. *Livestock Science* 143, 43–57.

Annexes

Annexe 1 : Astier M, 2015. Aux Mille vaches : « Ils m'ont traité comme un chien et ils maltraitent les vaches ». Reporterre, le quotidien de l'écologie. Emplacement : Accueil > Editorial > Info >. Adresse de cet article : <https://reporterre.net/Aux-Mille-vaches-Ils-m-ont-traite-comme-un-chien-et-ils-maltraitent-les-vaches>



Aux Mille vaches : « Ils m'ont traité comme un chien et ils maltraitent les vaches »

8 juin 2015 / Marie Astier (Reporterre)



Les conditions de vie à la ferme-usine des Mille vaches ne sont pas idéales : animaux maltraités, salariés harassés. Reporterre publie un témoignage accablant. Et la réponse de Michel Ramery, qui relativise les faits rapportés.

« Il m'a demandé : il te plaît ton boulot ? J'ai répondu que je devais réfléchir. Il m'a dit, 'T'inquiète, j'ai déjà réfléchi pour toi, tu pars'. » Voici comment notre témoin a été licencié de la ferme-usine des Mille vaches, à Drucat, dans la Somme.

« Ils m'ont traité comme un chien et ils maltraitent les vaches. C'est pour cela qu'aujourd'hui je parle. »

Sous couvert d'anonymat, cet ex-salarié de la ferme-usine a accepté de se confier à Reporterre. Il a été renvoyé il y a peu de temps. S'il souhaite qu'on ne dévoile pas son nom, c'est qu'il est actuellement à la recherche d'un nouvel emploi... Pour prouver son identité, il nous envoie une fiche de paie ; il était rémunéré au Smic.

Première surprise, il y aurait plus de 485 vaches dans la ferme-usine. « Cela fait longtemps qu'il y en a plus, on en est à 723 maintenant. Je le sais parce que c'est écrit sur le roto [l'appareil de traite - NDLR] en fin de traite. Des camions amenant de nouvelles vaches arrivent souvent. Le temps où j'étais là, au moins quatre-vingt sont arrivées. On m'a dit qu'elles venaient d'un grand élevage du centre de la France, qui a fermé. » En avril, pourtant, le ministre de l'Agriculture avait promis qu'il faudrait une enquête publique pour aller au-delà de cinq cents bovins.

« Elles sont traitées trois fois par jour, sauf les malades qui sont traitées deux fois par jour. » Pourquoi traire les vaches trois fois par jour ? « Ils disent que c'est pour éviter la saturation du pis. Parce que quand les pis sont pleins, la vache ne produit plus de lait. » En clair, traire les vaches trois fois par jour permet de leur faire produire plus de lait.

Selon lui, les animaux sont en très mauvaise santé : « Dans le troupeau, il y a au moins 300 vaches qui boitent. Elles sont fatiguées, maigres. Elles ont des ongles trop longs ou des sabots qui pourrissent. Elles marchent à longueur de journée dans leurs excréments. D'habitude, on nettoie tous les deux jours dans ce type d'élevage, là c'est tous les quinze jours. Les vaches sont sales. »

« Dans un élevage normal, quand une vache boite, on regarde ce qu'elle a. Mais là, on ne regarde pas quel est le problème. Les responsables ne veulent pas mettre de produit pour soigner les bêtes, parce que ça coûte cher et que c'est du boulot. »

D'après notre témoin, le responsable qui gère l'élevage au quotidien, Stéphane, « vient du milieu du cochon, du coup il s'occupe n'importe comment des vaches. Il les tue accidentellement. Par exemple, il ne sait pas les faire vêler [accoucher-NDLR], alors une vache a fait une hémorragie interne. »

Résultat : « Il y a au moins deux ou trois vaches qui meurent chaque semaine, c'est beaucoup quand même. Les responsables disent que c'est normal que les vaches soient malades parce qu'il y en a beaucoup. »

Selon le témoignage, ce « patron », Stéphane, « se promène avec une bouteille en verre. Il dit que dedans, il y a du produit pour euthanasier les vaches quand elles sont trop malades. On lui dit que c'est interdit, que c'est au véto de le faire. Il nous répond de nous taire... »

Combien de personnes travaillent-elles dans la ferme-usine ? « Quand je suis arrivé, il y avait une comptable, une secrétaire, deux responsables et trente-trois employés. Quand je suis parti, on n'était plus que quinze. » Il nous décrit des rotations d'équipes minutées, organisées comme à l'usine : « Il y a deux équipes, celle qui travaille de 5 h à 14 h 30 et celle qui travaille de 14 h 30 à minuit. »

Selon lui, « ici on n'est pas respecté ». Stéphane, qui gère aussi le personnel au quotidien, « nous prend pour ses chiens. Quand on laisse traîner nos affaires, par exemple, il les jette. »

« Les salariés sont usés, comme les vaches », résume-t-il.

Pourtant, redisons-nous, on nous rapporte qu'il en meurt deux ou trois par semaine ? « Ce n'est pas trois par semaine ! Les vaches mortes, c'est un problème qu'on a eu au début parce qu'on a dû les ramener en cachette. (...) Au début, on avait un peu plus de mortalité que la normale. On a acheté des vaches un peu partout et elles n'ont pas apprécié le changement de bâtiment. Mais maintenant, on est dans des critères normaux de pertes de vaches. »

Du côté des salariés, leur nombre a-t-il diminué ces derniers temps ? Il conteste vigoureusement. « C'est du non sens, on a plus de vaches, donc on a davantage de salariés pour les traire ! » Il reconnaît que « cinq ou six » employés sont partis. Mais pas parce qu'ils ont été renvoyés : « Il y a un gars qui n'était pas mal, je lui ai demandé pourquoi il ne restait pas, il m'a répondu qu'il gagnait 150 euros de plus au chômage ! »

- **Actualisation** - A la suite de cet article, une enquête de la Préfecture a été diligentée sur place, afin de vérifier le nombre de vaches sur la ferme-usine.

Lire aussi : [Décès inattendus à la ferme-usine des 998 vaches](#)

Source : Marie Astier pour *Reporterre*

Photos : Prises par le témoin dans la ferme-usine. La photo du chapô représente un vêlage qui s'est mal passé (©*Reporterre*).

- Emplacement : Accueil > Editorial > Info >
- Adresse de cet article : <https://reporterre.net/Aux-Mille-vaches-Ils-m-ont-traite-comme-un-chien-et-ils-maltraitent-les-vaches>

COURTOIS Léontine

CAPACITE D'INGESTION ET EFFICACITE ALIMENTAIRE DES VACHES DE RACE TARINE DANS LA ZONE BEAUFORT

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, 11 décembre 2018

RESUME :

L'alimentation des troupeaux de vaches laitières est l'élément le plus déterminant sur la rentabilité de l'élevage, par son coût et par la production laitière qu'elle engendre. Pour répondre au mieux aux besoins des troupeaux, on utilise des modèles de prédiction des quantités ingérées. Ils utilisent le plus souvent la capacité d'ingestion des vaches, qui correspond à l'aptitude et à la motivation qu'a une vache pour s'alimenter, et qui permet d'estimer la quantité de ration à distribuer. Pour prendre aussi en compte la valorisation de la ration, on utilise l'efficacité alimentaire, qui correspond au rapport entre la quantité de lait produit en kilogrammes et la quantité de matière sèche ingérée en kilogrammes.

Dans ce travail, nous avons étudié l'ingestion et l'efficacité alimentaire des vaches laitières de race Tarine, vaches permettant la production de lait AOP Beaufort. Cette étude a été motivée par une demande des techniciens du contrôle laitier « Eleveurs des Savoie ».

L'ingestion mesurée lors de notre étude a été supérieure à l'ingestion théorique prédite par le modèle « INRA 2010 », de 800 g de matière sèche par vache laitière par jour. Cette différence n'est pas significative malgré des mesures réalisées dans 40 élevages. Nous ne pouvons donc pas conclure que le modèle de prédiction des quantités ingérées de l'INRA 2010 n'est pas adapté aux vaches de race Tarine. L'efficacité alimentaire calculée est de 0,92, ce qui semble inférieur à la valeur calculée chez des vaches Montbéliardes nourries avec une ration constituée de fourrages secs. Cette valeur est aussi bien inférieure à celles obtenues dans des élevages où les vaches sont nourries avec des fourrages fermentés très riches en énergie tel que l'ensilage de maïs.

MOTS CLES :

- vaches laitières
- bétail – alimentation
- tarentaise (race bovine)
- production laitière

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Philippe Vanhems

1er Assesseur : Monsieur le Maître de Conférence Laurent Alvès de Oliveira

2ème Assesseur : Madame la Professeure Dominique Le Grand

Membre invité : Monsieur Eric Bertrand

DATE DE SOUTENANCE : 11 décembre 2018