

Lauriane Tremblay

536 766 037

Séminaire en sciences animales

SAN-3100

**L'impact du maïs ensilage BMR sur les performances des  
vaches laitières**

Travail remis à :

Rachel Gervais

Département des sciences animales

Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation

Université Laval

28 avril 2023

## Résumé

Les fourrages sont les principaux composants des rations des vaches laitières, dont l'ensilage de maïs, qui au fil des années, a été amélioré par le développement de certains hybrides. L'ensilage de maïs à nervure brune (BMR) est un hybride développé dans le but d'optimiser la digestibilité de la fibre par son contenu faible en lignine. Toutefois, il est à se demander si cela va de paire avec le maintien des performances et la productivité des ruminants. Grâce aux recherches scientifiques, les avantages de l'ensilage de maïs BMR ont été démontrés chez les vaches laitières par une augmentation de la prise alimentaire quotidienne, une meilleure fermentation ruminale et une production laitière plus élevée, si on le compare au maïs ensilage conventionnel. La digestibilité de la fibre est, évidemment, améliorée par cet hybride, mais on ne peut en dire autant de la digestibilité de l'amidon. Ainsi, il ne reste plus qu'à savoir si l'ensilage de maïs BMR s'avère une option économique pour les producteurs laitiers, étant donné un rendement moindre au champ.

## Table des matières

Résumé.....	II
Liste des tableaux.....	IV
Liste des figures.....	V
1. Introduction.....	1
2. Les caractéristiques de l'ensilage de maïs BMR.....	2
2.1. La productivité au champ.....	2
2.2. La composition chimique.....	3
3. La répercussion du maïs ensilage BMR sur la valeur nutritive et les performances des animaux.....	5
3.1. La prise alimentaire.....	5
3.2. La fermentation ruminale.....	6
3.2.1. Le pH ruminal et la production d'acides gras volatils.....	6
3.2.2. La synthèse de protéine microbienne et la production d'ammoniac.....	10
3.2.3. La production de méthane.....	11
3.3. La digestibilité.....	12
3.3.1. La digestibilité de la fibre.....	12
3.3.2. La digestibilité de l'amidon.....	17
4. La répercussion de l'ensilage de maïs BMR sur les performances de productivité.....	19
4.1. La production et les composantes du lait.....	19
4.2. Le poids.....	23
Conclusion.....	25
Liste des ouvrages cités.....	27

## Liste des tableaux

Tableau 1.	Rendement au champ d'un maïs ensilage BMR et d'un maïs ensilage conventionnel .....	2
Tableau 2.	Composition chimique du maïs ensilage conventionnel et BMR .....	3
Tableau 3.	Composition de la matière sèche (MS) de la fibre du maïs ensilage conventionnel et BMR .....	4
Tableau 4.	Prise alimentaire de matière sèche (kg/j) de vaches consommant de l'ensilage de maïs conventionnel et BMR dans le cadre de diverses expériences .....	5
Tableau 5.	Caractéristiques du rumen de vaches nourries avec de l'ensilage de maïs conventionnel et BMR.....	7
Tableau 6.	NH <sub>3</sub> du rumen et protéine microbienne de vaches nourries avec de l'ensilage de maïs conventionnel et BMR selon la teneur en NDF .....	10
Tableau 7.	Apport et digestibilité de la NDF de l'ensilage de maïs conventionnel et BMR chez la vache laitière .....	13
Tableau 8.	Taux de passage et temps de rétention dans le rumen des particules chez des vaches laitières nourries avec de l'ensilage de maïs conventionnel et BMR .....	17
Tableau 9.	Taux de passage et digestion de l'amidon chez des vaches laitières nourries à l'ensilage de maïs conventionnel et BMR.....	18
Tableau 10.	Performances laitières et efficacité alimentaire de vaches laitières nourries à l'ensilage de maïs conventionnel et BMR.....	22

## Liste des figures

Figure 1.	Prise alimentaire de matière sèche par semaine expérimentale (semaine 2 à 8 post-partum).....	6
Figure 2.	pH ruminal suite à l'alimentation du matin des vaches laitières d'une ration contenant de l'ensilage de maïs conventionnel et d'une autre contenant de l'ensilage de maïs BMR.....	8
Figure 3.	L'absorption des acides gras volatils en fonction du pH ruminal chez la vache laitière .....	9
Figure 4.	Digestibilité in vitro des constituants de la paroi cellulaire de l'ensilage de maïs BMR et conventionnel.....	14
Figure 5.	Relation entre la digestibilité de la NDF de l'ensilage de maïs BMR et la prise alimentaire de matière sèche des vaches laitières ( $R^2 : 0,41; P < 0,01$ ) .....	15
Figure 6.	Production de lait des vaches laitières nourries avec une ration d'ensilage de maïs conventionnel et BMR sur une période de 180 jours en lactation .....	20
Figure 7.	Changement du poids des vaches laitières nourries avec une ration d'ensilage de maïs conventionnel et BMR sur une période de 180 jours en lactation .....	24

## 1. Introduction

Les fourrages sont la base de l'alimentation des vaches laitières. Le maïs ensilage est devenu la première source de fourrage pour nourrir les vaches en lactation en Amérique du Nord, passant de 18 à 31 % des terres cultivées entre 1982 et 2012 (Martin et al., 2017). Cette hausse des superficies cultivées en ensilage de maïs est due aux nombreux avantages qu'apporte ce fourrage principalement par ses rendements élevés au champ, son grand apport d'énergie aux ruminants et la stimulation de la rumination par son apport en fibre physiquement efficace (Ferraretto et al., 2018). De plus, la principale raison derrière l'utilisation de l'ensilage de maïs est sa bonne teneur en amidon qui apporte une partie de l'énergie nécessaire pour soutenir les performances de la vache haute productrice. Bien que l'amidon soit un des éléments d'intérêt dans ce fourrage, la fibre doit être digestible pour permettre une bonne utilisation de celle-ci. Toutefois, la digestibilité de la fibre du maïs ensilage reste très variable puisqu'elle dépend souvent de la composition chimique de la fibre dont sa teneur en lignine, une partie indigeste des parois cellulaires, qui diminue aussi la disponibilité des autres nutriments compris dans les fourrages (Sommerfeldt et al., 1979). Cette diminution de digestibilité influence les performances des vaches laitières et nuit à la rentabilité des fermes. En effet, la composition chimique en fibre a un impact direct sur la fermentation ruminale en plus de la digestibilité des nutriments (Miller et al., 2021). La digestibilité de la fibre est, aussi, souvent corrélée à un apport énergétique plus élevé (Barrière et al., 2003) et à une meilleure santé du rumen. Ainsi, il est primordial d'avoir un fourrage bien digestible pour que les vaches laitières atteignent de bonnes performances. Pour contrer aux limites de digestibilité du maïs ensilage conventionnel, l'ensilage de maïs à nervure brune (BMR), peut sembler une belle alternative. Les gènes « brown mibrid » ont été découverts à l'Université du Minnesota, en 1924, par Jorgenson (Tine et al., 2001). Cet hybride a comme caractéristique d'avoir un contenu en lignine inférieur à celui du maïs ensilage conventionnel grâce au gène *bm3* (Barrière & Argillier, 1993) et ainsi d'avoir une meilleure digestibilité. Quel est le réel effet de cet hybride sur les performances métaboliques et laitières de la vache ? Est-ce que l'ensilage de maïs BMR peut être une option économique ? C'est ce que ce séminaire permettra de constater.

## 2. Les caractéristiques de l'ensilage de maïs BMR

Le maïs ensilage BMR est différent du maïs ensilage conventionnel sur plusieurs aspects et peut donc avoir des avantages ou des inconvénients. Ces aspects doivent être pris en compte par le producteur afin de choisir le type d'ensilage de maïs qui convient le mieux à l'objectif spécifique de sa ferme.

### 2.1. La productivité au champ

La valeur agronomique de l'ensilage de maïs BMR est reconnue pour être inférieure à celle de ses équivalents conventionnels (Barrière & Argillier, 1993). En effet, une étude scientifique, faite au Minnesota qui analysait les rendements aux champs des hybrides d'ensilage de maïs BMR versus conventionnel, a permis de confirmer le plus faible rendement chez le BMR. Le tableau 1 présente ces résultats où l'on observe, d'abord, un plus petit rendement au niveau des grains du maïs avec 9,3 t/ha pour le BMR et 10 t/ha pour le conventionnel. Le même constat est fait pour les tiges du plant de maïs avec 7,25 t/ha pour l'hybride et 7,8 t/ha pour le standard. Au final, pour les plants complets, le rendement était de 16,55 t/ha pour le BMR comparativement au conventionnel qui en avait un de 17,8 t/ha. Ainsi, la plus petite productivité du BMR au champ peut être matière à réflexion à savoir si les avantages qu'apportera cet hybride aux animaux compensent pour les pertes au champ et donc si l'aspect économique est compromis.

Tableau 1. Rendement au champ d'un maïs ensilage BMR et d'un maïs ensilage conventionnel

Rendement	Type de maïs ensilage		
	Conventionnel	BMR	Valeur de P
Grain (tonne/ha)	10,0	9,3	< 0,05
Tige (tonne/ha)	7,8	7,25	< 0,05
Plant complet (tonne/ha)	17,8	16,55	< 0,05

*Adapté de (Sheaffer et al., 2006)*

## 2.2. La composition chimique

La composition chimique des ensilages de maïs peut être influencée par plusieurs facteurs tels que les conditions climatiques, les caractéristiques du sol ou encore les conditions de récolte. Ainsi, les compositions chimiques des ensilages diffèrent d'une expérience à l'autre, mais la base reste souvent la même. À titre d'exemple, le tableau 2 présente les analyses des deux types d'ensilages de maïs qui ont été cultivés dans l'expérience de Sheaffer et al. (2006) présentée précédemment.

Tableau 2. Composition chimique du maïs ensilage conventionnel et BMR

Composition chimique	Type de maïs ensilage		
	Conventionnel	BMR	Valeur de P
Matière organique (g/kg)	55,50	60,25	< 0,05
Protéine brute (g/kg)	73	72,25	< 0,05
NDF (g/kg)	447,50	418,25	NS
Digestibilité in vitro (g/kg)	731	761	< 0,05
Digestibilité NDF (g/kg)	398,50	428,75	< 0,05
Amidon (g/kg)	330,50	374,25	< 0,05

*Adapté de (Sheaffer et al., 2006)*

Il est possible de constater, en observant ces résultats numériques, que l'hybride BMR a une teneur en matière organique supérieure (60,25 g/kg) que le conventionnel (55,50 g/kg). La protéine brute, elle, est similaire pour les deux cultivars tandis que la fibre NDF est présente en plus grande quantité chez le maïs ensilage conventionnel avec 447,50 g/kg tandis que le BMR en a 418,25 g/kg. Toutefois, la digestibilité totale de la matière sèche déterminée in vitro (761 g/kg vs 731 g/kg) et la digestibilité de la NDF (428,75 g/kg VS 398,50 g/Kg) sont largement supérieures chez le BMR, ce qui explique une bonne digestibilité chez le BMR. Quant à l'amidon, il est aussi supérieur chez le BMR (374,25 g/Kg versus 330,50 g/Kg) et apporte donc plus d'énergie à l'animal. Il est aussi important d'analyser la fibre du maïs ensilage pour mieux connaître les constituants cellulaires qui la composent et ainsi mieux connaître la digestibilité de celle-ci. Pour ce faire, le tableau 3 présente les caractéristiques de la fibre des ensilages de maïs qui, dans cette expérience,

ont été cultivés sur une station agronomique à l'université de Purdue, en Indiana. Il est à noter que les données du tableau ont été prises le 20 octobre.

Tableau 3. Composition de la matière sèche (MS) de la fibre du maïs ensilage conventionnel et BMR

Composition de la fibre, % MS	Type de maïs ensilage	
	Conventionnel	BMR
<b>Feuilles</b>		
Cellulose	30,5	30,2
Hémicellulose	25,2	26
ADF	44,3 <sup>a</sup>	41,8 <sup>b</sup>
Lignine	7,4 <sup>a</sup>	5,2 <sup>b</sup>
<b>Tiges</b>		
Cellulose	48,30 <sup>a</sup>	45,1 <sup>b</sup>
Hémicellulose	22,0 <sup>b</sup>	25,2 <sup>a</sup>
ADF	60,4 <sup>a</sup>	53,4 <sup>b</sup>
Lignine	9,6 <sup>a</sup>	6,1 <sup>b</sup>

<sup>ab</sup> P < 0,05 si lettres différentes

*Adapté de* (El-Tekriti et al., 1976)

La composition des feuilles et des tiges permet de tirer les mêmes conclusions lorsque l'on compare les types de maïs ensilage. Dans les deux cas, la cellulose est supérieure chez le maïs ensilage conventionnel (30,50 %MS et 48,30 %MS) comparativement au BMR (30,2 % MS et 45,1 % MS) tout comme pour l'ADL (44,30 % MS et 60,4 % MS pour le conventionnel ainsi que 41,8% MS et 53,4% MS pour le BMR). L'hémicellulose est inférieure chez le maïs ensilage conventionnel (25,2 % MS et 22 % MS) versus l'hybride (26 % MS et 25,2 % MS). De plus, le tableau dresse une belle différence du maïs ensilage BMR et du conventionnel au niveau de la composante la plus importante : la lignine. En effet, le maïs ensilage conventionnel contient 7,4 % MS de lignine dans ses feuilles et 9,6 % MS dans ses tiges tandis que le BMR en contient 5,2 % MS dans ses feuilles et 6,1 %MS dans ses tiges. Ainsi cette concentration inférieure en lignine dans le BMR explique la majeure différence au niveau de la digestibilité de l'hybride. De plus, comme l'ADF comprend la cellulose et la lignine et que ces composantes se retrouvent en plus faibles concentrations dans le maïs ensilage BMR, on comprend donc pourquoi la teneur en ADF est plus faible chez cet hybride.

### 3. La répercussion du maïs ensilage BMR sur la valeur nutritive et les performances des animaux

#### 3.1. La prise alimentaire

La prise alimentaire est d'une grande importance afin de pouvoir combler les besoins métaboliques des animaux et ainsi obtenir de bonnes performances. Dans le cas des vaches consommant de l'ensilage de maïs BMR, les chercheurs observent une tendance très fréquente de l'augmentation de la consommation volontaire de matière sèche de celle-ci. Le tableau 4 énumère des résultats de trois expériences où des vaches multipares en lactation consommaient une ration à base d'ensilage de maïs conventionnel ou BMR. On constate donc que la prise alimentaire est significativement plus grande, chez les vaches consommant le BMR de 1,2 unité de pourcentage pour l'expérience 1 (Coons et al., 2019), de 1,6 unité de pourcentage pour l'expérience 2 (Hassanat et al., 2017) et de 2,1 unité de pourcentage pour l'expérience 3 (Oba & Allen, 1999a).

Tableau 4. Prise alimentaire de matière sèche (kg/j) de vaches consommant de l'ensilage de maïs conventionnel et BMR dans le cadre de diverses expériences

Expérience	Type d'ensilage de maïs		Valeur de P
	Conventionnel	BMR	
1	26,8	28	0,02
2	25,8	27,4	< 0,01
3	23,5	25,6	< 0,01

*Adapté de (Coons et al., 2019; Hassanat et al., 2017; Oba & Allen, 1999a)*

Les mêmes résultats que le tableau 4 sont aussi observés dans une étude chez des vaches en début de lactation, soit les semaines 2 à 8 suivant le vêlage, comme le présente la figure 1. Cette figure démontre clairement que la prise alimentaire de matière sèche exprimée en pourcentage du poids vif est supérieure chez les vaches consommant l'ensilage de maïs BMR. En moyenne, au courant des 7 semaines d'expérience, la consommation de matière sèche était de 3,15 % du poids corporel des vaches consommant le BMR, soit 20,24 kg/j et 2,72 % du poids corporel pour celle consommant le conventionnel, soit 18,63 kg/j. On

constate donc que l'augmentation de cet apport en matière sèche chez les vaches laitières est observable dès le vêlage tout comme au cours de la lactation.

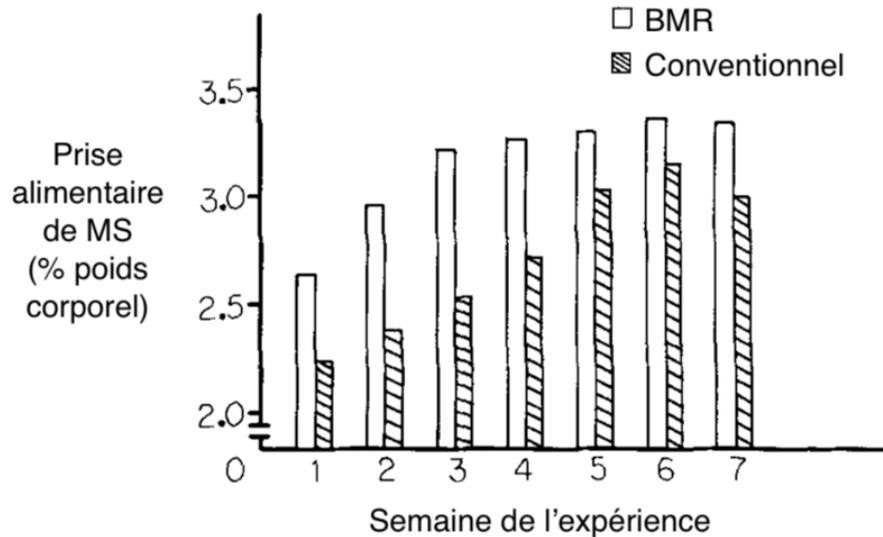


Figure 1. Prise alimentaire de matière sèche par semaine expérimentale (semaine 2 à 8 post-partum)

*Adapté de (Rook et al., 1977)*

### 3.2. La fermentation ruminale

La fermentation ruminale est, en fait, la transformation de la matière organique dans le rumen sous l'action des microorganismes. Le produit final de cette transformation sera des ions  $H^+$ , du  $CO_2$  et des acides gras volatils. Les acides gras volatils sont par la suite utilisés comme principale source d'énergie chez les vaches laitières. Comme les fibres sont de longue chaîne de glucides, on comprend donc leur importance dans l'alimentation des ruminants.

#### 3.2.1. Le pH ruminal et la production d'acides gras volatils

Les fibres permettent, chez la vache laitière, de provoquer d'abord la mastication et ensuite la rumination. Ces mécanismes permettent de produire de la salive contenant des éléments tampons qui, une fois dans le rumen, augmentent le pH (qui est initialement bas à cause de la présence d'ions  $H^+$  provenant de la fermentation ruminale) près de la neutralité afin

d'avoir une bonne santé du rumen. De plus, divers éléments peuvent influencer la production d'acides gras volatils dont le pH ruminal qui influence leur absorption (Dijkstra et al., 1993). La production de ces acides gras volatils et leur absorption est d'une grande importance puisqu'ils représentent à eux seuls au moins 50% de la quantité totale d'énergie digérée chez les ruminants (Sutton, 1985). L'acétate, le propionate et le butyrate sont les principaux acides gras volatils présents dans les fluides du rumen.

Tableau 5. Caractéristiques du rumen de vaches nourries avec de l'ensilage de maïs conventionnel et BMR

	Type d'ensilage de maïs		
	Conventionnel	BMR	Valeur de P
pH	5,77	5,66	0,04
Acides gras volatils (mM)	99,8	103,5	0,47
Acétate (% mol)	60,8	60,6	0,89
Propionate (% mol)	20,4	22,6	0,10
Butyrate (% mol)	13,2	13,2	0,86

*Adapté de (Greenfield et al., 2001)*

Le tableau 5 présente le pH et les acides gras volatils du rumen chez des vaches laitières, dans le cadre d'une expérience où cinq vaches multipares recevaient sur une première période de 21 jours des rations avec de l'ensilage de maïs à nervure brune et sur une deuxième période de 21 jours de l'ensilage de maïs conventionnel. Le pH ruminal des vaches qui consomment de l'ensilage de maïs BMR est de 5,66 ce qui est significativement ( $P=0,04$ ) inférieur à celles qui consomment de l'ensilage de maïs conventionnel. Cette diminution de pH ruminal est d'ailleurs observée dans plusieurs expériences scientifiques portant sur l'ensilage de maïs BMR. La figure 2 compare, dans le cadre de la même expérience, le pH ruminal à la suite de la consommation d'ensilage de maïs conventionnel ou d'ensilage de maïs BMR chez des vaches laitières. Ce graphique brosse bien le portrait du fait que le pH ruminal est plus bas chez les vaches consommant du BMR. On observe que le pH le plus bas est 4 heures suite à la prise alimentaire de la ration. Cette diminution de pH entre les deux hybrides peut être expliquée par différents facteurs, dont le fait que l'ensilage de maïs BMR est plus fermentescible que le conventionnel (Miller et al., 2021), ce qui augmente la production d'ion  $H^+$  dans le rumen lors de la fermentation.

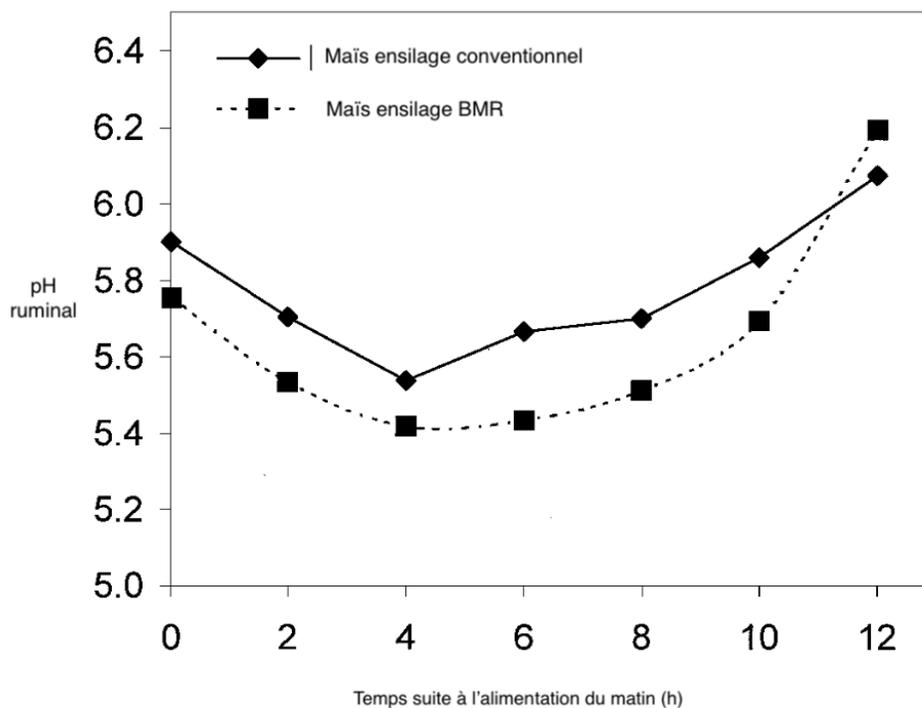


Figure 2. pH ruminal suite à l'alimentation du matin des vaches laitières d'une ration contenant de l'ensilage de maïs conventionnel et d'une autre contenant de l'ensilage de maïs BMR

*Adapté de (Greenfield et al., 2001)*

Les teneurs en acides gras volatils varient d'une expérience scientifique à l'autre. Toutefois, leur concentration totale présente dans le rumen est souvent augmentée avec la consommation d'ensilage de maïs BMR. Dans le cas de l'expérience présentée au tableau 5, le pourcentage molaire de l'acétate (60,6 % mol) et du butyrate (13,2 % mol) n'ont pas été affectés par le type d'hybride ( $P = 0,89$  ET  $P = 0,86$ ). Aussi, on remarque aucune différence entre la production totale des acides gras volatils dans le rumen pour les deux types d'ensilage de maïs (103,5 mM pour le BMR vs 99,8 mM pour le conventionnel), puisque les résultats sont non significatifs ( $P = 0,47$ ). Cependant, il y a une tendance à la hausse du propionate chez les vaches qui consomment du BMR (22,6 % mol) comparativement à celles qui consomment du conventionnel (20,4% mol), bien que ces résultats ne soient pas significatifs ( $P = 0,101$ ). L'augmentation de la production de propionate est causée par l'augmentation de la prise alimentaire de matière sèche des animaux et par l'ingestion de glucides plus fermentescibles chez cet hybride (Miller et al.,

2021). De plus, bien qu'il y ait une augmentation de la production d'acides gras volatils, l'important est qu'ils soient absorbés par les cellules épithéliales des parois du rumen afin de procurer de l'énergie nécessaire à l'animal pour répondre à ses besoins. Il a été observé que le pH des fluides du rumen a un impact direct sur l'absorption de ceux-ci. En effet, un pH du rumen plus bas aurait tendance à augmenter l'absorption des acides gras volatils (Dijkstra et al., 1993). La figure 3 présente ces observations qui ont été faites dans le cadre d'une expérience où douze solutions expérimentales ont été insérées dans deux vaches canulées en lactation. Ce graphique démontre que l'acide butyrique est mieux absorbé que l'acide propionique ou acétique. Une diminution significative ( $P < 0,05$ ) de l'absorption de l'acide butyrique et propionique est observée avec l'augmentation du pH ruminal. Pour l'acide acétique, les résultats ne sont pas significatifs ( $P > 0,10$ ), mais on remarque, tout de même, la même tendance que les autres acides. Ainsi, on se fiant au graphique de Dijkstra et al., on peut interpréter que plus le pH est faible, plus l'absorption des acides gras volatils sera rapide.

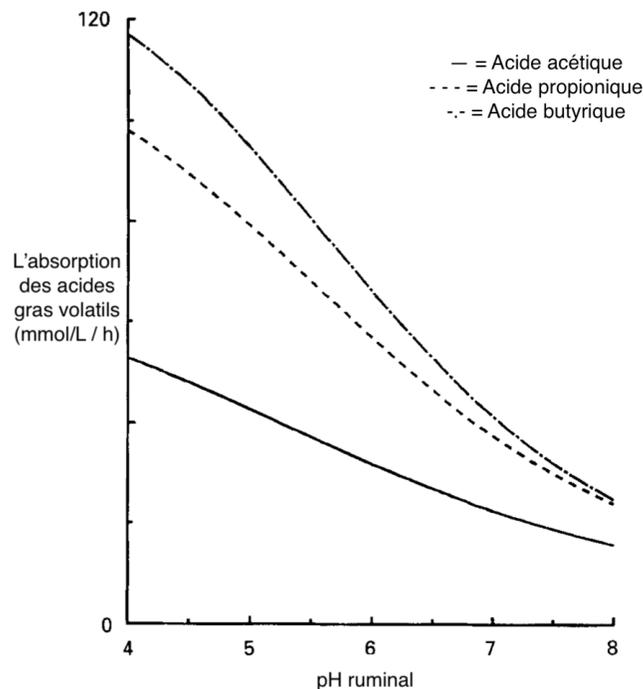


Figure 3. L'absorption des acides gras volatils en fonction du pH ruminal chez la vache laitière

*Adapté de (Dijkstra et al., 1993)*

### 3.2.2. La synthèse de protéine microbienne et la production d'ammoniac

La protéine dégradable présente dans les rations des vaches laitières est une composante importante au niveau de la fermentation ruminale. En effet, cette composante permet de fournir l'azote nécessaire à la croissance microbienne dans le rumen et la production d'acides aminés essentiels pour l'entretien métabolique et la production laitière (Clark et al., 1992). De plus, bien qu'un pH ruminal faible nuise à la croissance et l'efficacité microbienne (Hoover, 1986), l'ensilage de maïs BMR augmente, tout de même, la production de protéine brute microbienne (Ramirez et al., 2012). En effet, la hausse de la consommation volontaire de matière sèche, l'augmentation de l'énergie disponible pour les microorganismes du rumen par l'entremise des acides gras volatils ainsi qu'une meilleure utilisation bactérienne de l'azote causée par une amplification de la rapidité du taux de passage des aliments sont des éléments caractéristiques du BMR qui augmentent la synthèse de protéine brute microbienne (Oba & Allen, 2000; Ramirez et al., 2012). Cette accentuation de la synthèse de protéine microbienne provoque une diminution de la concentration d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) dans le rumen puisqu'elle est incorporée dans la protéine microbienne (Oba & Allen, 2000). Le NH<sub>3</sub> diminue lorsque les bactéries du rumen sont capables d'utiliser ce composé chimique pour faire des protéines. C'est probablement ce qui s'est produit dans le cadre d'une expérience faite sur des vaches en lactation qui portaient une canule au niveau du rumen et une autre au niveau du duodénum pendant une période de 21 jours, dont les résultats sont présentés au tableau 6.

Tableau 6. NH<sub>3</sub> du rumen et protéine microbienne de vaches nourries avec de l'ensilage de maïs conventionnel et BMR selon la teneur en NDF

	Type d'ensilage de maïs				NDF	Valeur de P	
	NDF faible		NDF élevée			Ensilage Maïs	NDF x maïs
	Conventionnel	BMR	Conventionnel	BMR			
NH <sub>3</sub> du rumen (mg/dl)	13,4	11,6	13,8	12,1	0,62	0,09	0,96
Protéine microbienne (g/j)	509	520	457	575	0,96	0,04	0,08

*Adapté de (Oba & Allen, 2000)*

Il est possible d'observer, dans le tableau 6, la corrélation entre le  $\text{NH}_3$  et la protéine microbienne. En effet, on remarque, par les résultats de Oba & Allen, que lorsque la production de protéine microbienne augmente, le  $\text{NH}_3$  est plus faible. De plus, on voit que la teneur en NDF dans l'ensilage a un impact sur la quantité de protéines microbiennes produites. En effet, lorsque la teneur en NDF est faible, la protéine de l'ensilage de maïs conventionnel est de 509 g/j tandis que pour le BMR elle est de 520 g/j. Cependant, lorsque la teneur en NDF est élevée, la protéine est de 457 g/j pour le conventionnel et 575 g/j pour le BMR. On constate donc une tendance pour une interaction entre le type d'ensilage de maïs et la teneur en fibre de la ration sur la synthèse de protéine microbienne. Remplacer l'ensilage de maïs conventionnel par le BMR a eu tendance à diminuer les concentrations en  $\text{NH}_3$  du liquide ruminal.

### 3.2.3. *La production de méthane*

Les gaz à effet de serre sont un facteur environnemental bien connu par la population dû aux dommages qu'ils causent à l'environnement. L'agriculture est souvent la cible des consommateurs et plus spécifiquement les vaches qui produisent du méthane ( $\text{CH}_4$ ) contribuant à ces gaz à effet de serre. Le  $\text{CH}_4$  peut être présent dans le fumier des vaches ou encore dans leurs rots. Ce  $\text{CH}_4$  est produit par le processus de méthanogenèse lors de la digestion microbienne des aliments du rumen par fermentation. La ration des ruminants a alors un rôle à jouer dans la production de ce composé chimique. En effet, il a été démontré que la production de  $\text{CH}_4$  est corrélée à la consommation volontaire de matière sèche or, si la prise alimentaire se voit augmenter, la production de  $\text{CH}_4$  l'est aussi (Beauchemin et al., 2009). Pour ce qui est du  $\text{CH}_4$  présent dans le fumier des ruminants, l'augmentation de la prise alimentaire de matière sèche accroît aussi la production de solides volatils dans le fumier, soit la production de matière organique qui, elle, hausse la production de  $\text{CH}_4$  (IPCC, 2006) cité par (Beauchemin et al., 2009). Cette hausse de solides volatils augmente la production de  $\text{CH}_4$  puisque les bactéries du fumier utilisent ces solides comme nourriture pour produire le  $\text{CH}_4$ . Ainsi, comme l'ensilage de maïs BMR occasionne une plus grande prise alimentaire chez la vache laitière, il en résulte une production de  $\text{CH}_4$  supérieure dans le fumier. Ces énoncés ont pu être vérifiés dans une expérience où du fumier de vache

consommant de l'ensilage de maïs BMR et du fumier de vache consommant de l'ensilage de maïs conventionnel ont été incubés pendant 17 semaines. Les résultats de cette expérience concluent qu'après incubation, le fumier de vaches nourries au BMR produisait 19% plus de CH<sub>4</sub> que celui des vaches nourries au conventionnel (P =0,01)(Benchaar & Hassanat, 2019). Les auteurs de cette expérience supposent que puisque le BMR a moins de lignine, cela augmente le CH<sub>4</sub> du fumier puisque la dégradation des fibres se fait plus rapidement. Par ailleurs, les travaux de Hassanat et al. (2017) ont montré que la production de CH<sub>4</sub> entérique était similaire que l'ensilage de maïs soit conventionnel ou BMR et que si l'on exprime cette production de CH<sub>4</sub> sur une base de kilogramme de matière sèche ingérée, on obtient une production inférieure de CH<sub>4</sub> pour les vaches qui consomment de l'ensilage de maïs BMR (Hassanat et al., 2017). Le même constat est fait si l'on rapporte la production de CH<sub>4</sub> sur une base d'énergie brute ingérée (Tine et al., 2001). Dans le cas précédent, la diminution de synthèse de CH<sub>4</sub> est expliquée par le taux de passage plus rapide de l'ensilage de maïs BMR chez la vache laitière (Hassanat et al., 2017). D'autres études présentant des résultats contraires sont observées or, on voit que la production de CH<sub>4</sub> entérique chez la vache laitière est un élément très variable et mériterait peut-être d'être plus explorée.

### **3.3. La digestibilité**

#### *3.3.1. La digestibilité de la fibre*

La digestibilité de la fibre est un élément important dans la qualité du fourrage puisqu'elle vient influencer plusieurs aspects du métabolisme de la vache laitière. Comme nous l'avons vu précédemment, les vaches qui consomment une ration contenant de l'ensilage de maïs BMR ont tendance à avoir une consommation volontaire de matière sèche plus grande. Cette tendance peut être expliquée par le fait que la fibre au détergent neutre (NDF) est plus digestible chez l'ensilage de maïs BMR (Oba & Allen, 1999b). En effet, la NDF est composée de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Ainsi, puisque l'ensilage de maïs BMR contient moins de lignine que le conventionnel, comme le présente le tableau 3, la NDF devient automatiquement plus digestible dû à la diminution de cette portion non digestible. Le tableau 7 nous présente la digestibilité de la NDF des différents types

d'ensilage de maïs chez des vaches en lactation dans l'expérience réalisée par Greenfield et al. (2001) et présentée plus tôt. On constate une différence significative quant à la digestibilité de la NDF qui est de 32,3% pour l'ensilage de maïs conventionnel comparativement à 48,2% pour le BMR. La figure 4 présente la digestibilité in vitro des constituants de la paroi cellulaire du maïs ensilage BMR et conventionnel en fonction de leur temps d'incubation dans le rumen. On observe que le taux de disparition était plus grand et donc la digestibilité est plus importante, soit 65,29%, après 48h, comparativement à l'ensilage de maïs conventionnel dont les parois avaient une digestibilité de 54,75% au même moment (Keith et al., 1979). D'ailleurs, selon les auteurs de cette expérience, la grande digestibilité de l'ensilage de maïs BMR apporte plus d'énergie disponible à l'animal.

Tableau 7. Apport et digestibilité de la NDF de l'ensilage de maïs conventionnel et BMR chez la vache laitière

NDF	Type d'ensilage de maïs		
	Conventionnel	BMR	Valeur de P
Apport (Kg/j)	6,4	6,2	0,39
Digestion ruminale (kg/j)	2,1	3,0	0,01
Digestibilité ruminale (%)	32,3	48,2	<0,01

*Adapté de (Greenfield et al., 2001)*

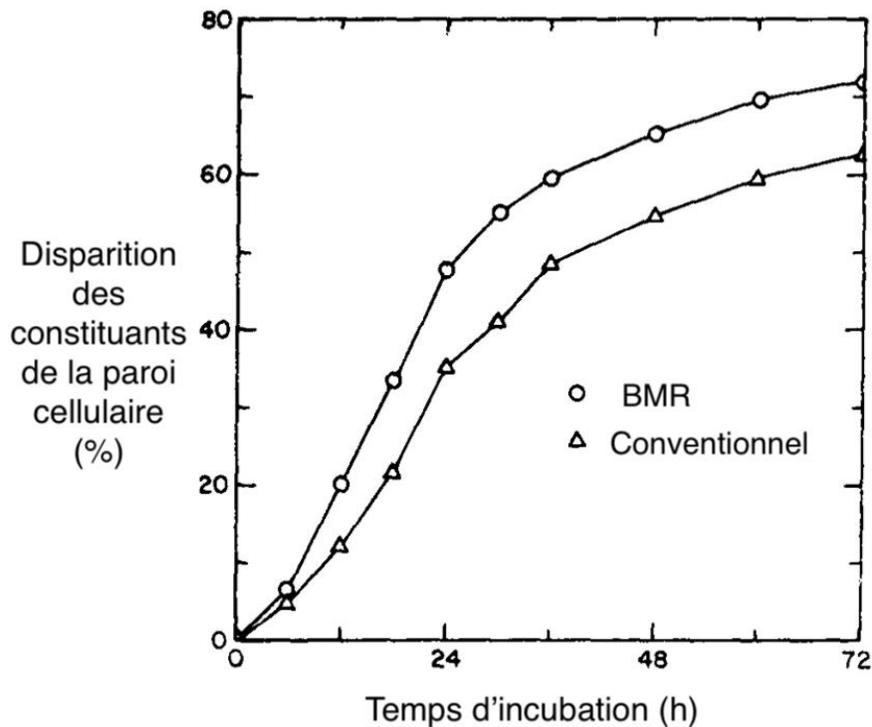


Figure 4. Digestibilité in vitro des constituants de la paroi cellulaire de l'ensilage de maïs BMR et conventionnel

*Adapté de (Keith et al., 1979)*

Le fait que la NDF est plus digestible permet une hydrolyse plus rapide de celle-ci dans le rumen et occasionne un meilleur taux de passage (Oba & Allen, 1999b). L'augmentation du taux de passage permet de réduire le remplissage physique du rumen et ainsi d'augmenter la consommation volontaire de matière sèche comme le constatent plusieurs scientifiques (Dado & Allen, 1995). Cependant, une corrélation négative a été observée entre la prise alimentaire de matière sèche et la digestibilité de la NDF (Oba & Allen, 1999a). En effet, dans cette expérience où 22 vaches en lactation étaient assignées soit à une ration contenant de l'ensilage de maïs BMR ou de l'ensilage de maïs conventionnel, il a été remarqué que le taux de passage rapide des aliments stimulait l'ingestion de matière sèche et pouvait diminuer la digestibilité de la NDF. En effet, l'augmentation de la prise alimentaire vient diminuer le temps de rétention de la fibre dans le rumen. La diminution du temps de rétention fait en sorte que les aliments transitent plus rapidement dans le tractus gastro-intestinal, ce qui diminue la digestibilité. La figure 5 présente la relation significativement négative ( $P < 0,0002$ ) entre la consommation volontaire de matière sèche

et la digestibilité de la NDF pour l'ensilage de maïs BMR. Son coefficient de corrélation ( $R^2$ ) est de 0,41.

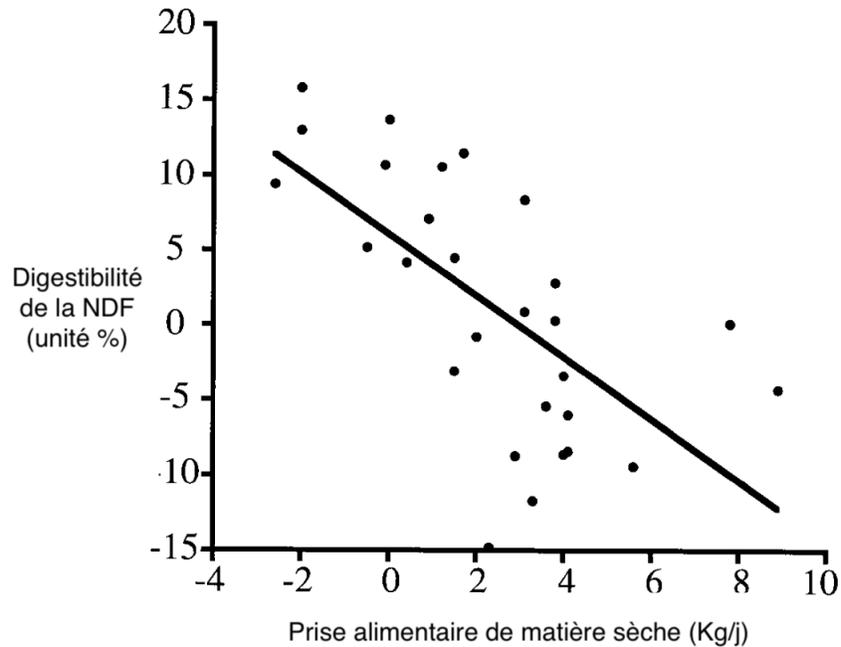


Figure 5. Relation entre la digestibilité de la NDF de l'ensilage de maïs BMR et la prise alimentaire de matière sèche des vaches laitières ( $R^2 : 0,41; P < 0,01$ )

*Adapté de (Oba & Allen, 1999a)*

Bien que le taux de passage des aliments vers le duodénum ait tendance à être plus rapide chez l'ensilage de maïs BMR et que le temps de rétention dans le rumen est plus bas, ceux-ci sont influencés par la grosseur des particules de l'ensilage de maïs. Le Tableau 8 présente le taux de passage et le temps de rétention des particules d'ensilage de maïs chez des vaches en lactation. Ces résultats ont été recueillis dans le cadre d'une expérience où 8 vaches de races Holstein canulées recevaient une des rations composées de l'ensilage de maïs conventionnel ou BMR pendant 28 jours. Les petites particules sont celles qui se retrouvent entre 0,03mm et 1,18mm, inclusivement, les moyennes entre 1,18mm et 4,75mm, tandis que les grosses particules sont celles entre 4,75mm et 19mm. Les vaches nourries avec de l'ensilage de maïs BMR présentaient un taux de passage significativement plus rapide pour les petites ( $P = 0,03$ ) et les moyennes ( $P < 0,01$ ) particules d'ensilage avec une vitesse de

5,73%/h pour les petites et 4,75%/h pour les moyennes comparativement à celle du conventionnel qui était de 5,37%/h pour les petites particules et 4,31%/h pour les moyennes. D'ailleurs pour l'ensilage de maïs BMR, les petites particules ont passé 1,3 heure et les moyennes 2,35 heures de moins dans le rumen comparativement aux particules du conventionnel. Pour ce qui est des grosses particules, les résultats du taux de passage ( $P = 0,94$ ) et du temps de rétention dans le rumen ( $P=0,89$ ) ne sont pas significatifs et sont très similaires selon le type d'hybride. Ainsi, on peut dire que les grosses particules ne sont pas impactées par les différentes sources d'ensilage de maïs. Pour les petites et moyennes particules, il est possible de faire le constat que le taux de passage est bel et bien plus rapide pour l'ensilage de maïs BMR et que le temps de rétention dans le rumen est plus petit (Tableau 8). De plus, il est observable que plus la taille des particules augmente, plus le temps de rétention des aliments dans le rumen augmente, contrairement au taux de passage qui, lui, diminue avec la taille des particules. La taille des particules a aussi un impact sur la fibre au détergent neutre physiquement efficace (peNDF). La peNDF est, en fait, la partie de la fibre qui permettra la mastication (donc la salivation) et la rumination chez le ruminant. Elle agit aussi sur le tapis ruminal de la vache (Mertens, 1997), soit les particules en suspension dans le liquide ruminal qui permet un temps de rétention plus long des aliments. Ainsi, la peNDF a un impact sur la digestibilité de la fibre. En effet, l'augmentation de la taille des particules augmente l'apport en peNDF, mais de l'augmentation de cet apport, il en résulte une diminution de la digestibilité de la NDF (Yang & Beauchemin, 2006). En effet, ceci concorde avec les résultats du tableau 8, soit que l'augmentation de la taille des particules diminue la digestibilité de l'ensilage de maïs. Ainsi, même si la peNDF est bénéfique pour la santé du rumen, il est important que le ratio de grosses particules dans la ration soit adéquat pour ne pas venir nuire à la digestibilité, et ce, autant pour l'ensilage de maïs conventionnel et BMR puisque cet aspect dépend de la coupe et non de l'hybride offert aux vaches.

Tableau 8. Taux de passage et temps de rétention dans le rumen des particules chez des vaches laitières nourries avec de l'ensilage de maïs conventionnel et BMR

	Type d'ensilage de maïs		
	Conventionnel	BMR	
<b>Petites particules</b>			
Taux de passage (%/h)	5,37	5,73	0,03
Temps de rétention moyen (h)	19,15	17,85	0,03
<b>Moyennes particules</b>			
Taux de passage (%/h)	4,31	4,75	< 0,01
Temps de rétention moyen (h)	23,70	21,35	< 0,01
<b>Grosses particules</b>			
Taux de passage (%/h)	3,99	4,00	0,94
Temps de rétention moyen (h)	25,05	24,85	0,89

*Adapté de (Miller et al., 2020)*

### 3.3.2. La digestibilité de l'amidon

Bien que la digestibilité de la fibre soit un élément important à prendre en considération dans les rations des vaches laitières, la digestibilité de l'amidon l'est tout autant. Le site de digestion de l'amidon peut varier entre une digestion ruminale ou une digestion post-ruminale. En fait, lorsque l'amidon s'échappe du rumen sans avoir été digéré dans celui-ci, cette composante est alors digérée à l'extérieur du rumen, soit par une digestion post-ruminale. Toutefois, la digestion post-ruminale n'est pas aussi efficace que la digestion ruminale et la quantité d'amidon digérée est moindre. La digestibilité ruminale de l'amidon est très variable et peut se retrouver entre 42 et 96% selon le type d'aliment (Nocek & Tamminga, 1991). Pour l'ensilage de maïs BMR, la digestibilité de l'amidon a souvent tendance à être plus faible que celle du conventionnel (Coons et al., 2019). Cette diminution de la dégradabilité de l'amidon peut être expliquée par un taux de passage plus rapide de cette composante causé par l'augmentation de la consommation de matière sèche de l'ensilage de maïs BMR (Moharrery et al., 2014). Les résultats présentés au tableau 9, issus de l'expérience de Oba et Allen (2000) décrite plus tôt, confirment ces affirmations. Dans ce tableau, il est possible de voir un que l'apport en amidon est similaire pour les deux types d'ensilage de maïs. Toutefois, le taux de passage de l'amidon chez cet hybride

est de 12,85%/h ce qui est significativement ( $P=0,02$ ) plus rapide que l'ensilage de maïs conventionnel. Ce taux de passage plus rapide explique donc le fait que son taux de digestion a tendance à être inférieur soit de 12,70 %/h comparativement au conventionnel qui est de 14,20 %/h. De plus, la dégradabilité au niveau du rumen est significativement ( $P < 0,01$ ) plus petite pour le BMR (50,45%) que pour le conventionnel (57,85%), ce qui explique la plus grande digestion post-ruminale (41,75 % apport) du BMR (conventionnel = 35,80%) qui compense pour ce qui n'a pas été digéré au rumen. Au final, on remarque que la digestion totale du tractus est plus grande chez l'ensilage de maïs conventionnel avec 93,65% de digestibilité versus 92,20% de digestibilité pour le BMR et ce, de manière significative ( $P < 0,01$ ). Des résultats qui appuient ceux-ci ont été rapportés dans une autre expérience réalisée chez la vache laitière (Ferraretto & Shaver, 2015). En effet, les auteurs ont observé une diminution de la digestibilité ruminale de 6 unités de pourcentage et de 1,4 unité pourcentage pour la digestibilité totale pour l'ensilage de maïs BMR comparé au conventionnel. Ceci nous confirme donc que la digestibilité de l'amidon chez l'ensilage de maïs BMR est réellement inférieure à celle du conventionnel.

Tableau 9. Taux de passage et digestion de l'amidon chez des vaches laitières nourries à l'ensilage de maïs conventionnel et BMR

Amidon	Type d'ensilage de maïs		
	Conventionnel	BMR	P
Apport (kg/j)	7,30	7,55	0,23
Taux de passage (%/h)	10,60	12,85	0,02
Taux de digestibilité (%/h)	14,20	12,70	0,08
Dégradabilité ruminale (%)	57,85	50,45	< 0,01
Digestibilité post-ruminale (% apport)	35,80	41,75	< 0,01
Digestibilité totale (%)	93,65	92,20	< 0,01

*Adapté de (Oba & Allen, 2000)*

## **4. La répercussion de l'ensilage de maïs BMR sur les performances de productivité**

### **4.1. La production et les composantes du lait**

Les performances laitières des vaches sont le reflet de la rigueur du producteur dans la gestion de sa ferme et donnent comme résultat final le fruit des efforts de celui-ci. Tout ce que nous avons vu jusqu'à présent dans ce rapport vient directement ou indirectement impacter ces performances. D'abord, nous avons précédemment abordé le fait que l'ensilage de maïs BMR augmente la consommation volontaire de matière sèche de nos ruminants. Cette augmentation de l'apport en matière sèche a comme résultats, selon plusieurs recherches, une augmentation de la production laitière (Oba & Allen, 1999a). Cette hausse de productivité est explicable par le fait que la NDF est plus dégradable dans le BMR, d'où une prise alimentaire supérieure (Holt et al., 2013). La figure 6 présente un graphique qui met en évidence la production de lait supérieure des vaches consommant de l'ensilage de maïs BMR versus conventionnel. Ce graphique a été réalisé à partir des données d'une expérience où 28 vaches Holstein multipares avaient été sous surveillance dès le début de leur lactation jusqu'à 180 jours de lactation. La moitié d'entre elles avait une ration à base de l'ensilage de maïs conventionnel et l'autre moitié une ration comprenant du BMR. Chaque point sur le graphique équivaut à la moyenne de production des vaches de chaque traitement au jour donné. Nous pouvons observer que la consommation du type d'hybride ne fait, pratiquement, aucune différence au niveau de la production laitière avant le pic de lactation, soit le 60<sup>ème</sup> jour. À la suite de ce pic de lactation, les vaches qui consomment la ration avec du BMR ont une productivité supérieure à celles qui consomment de l'ensilage de maïs conventionnel. Au final, sur les 180 jours de lactation, la moyenne de production était de 40,0 kg/j pour les vaches consommant le conventionnel et 41,7 kg/j pour celles consommant le BMR ( $P < 0,01$ ) (Holt et al., 2013).

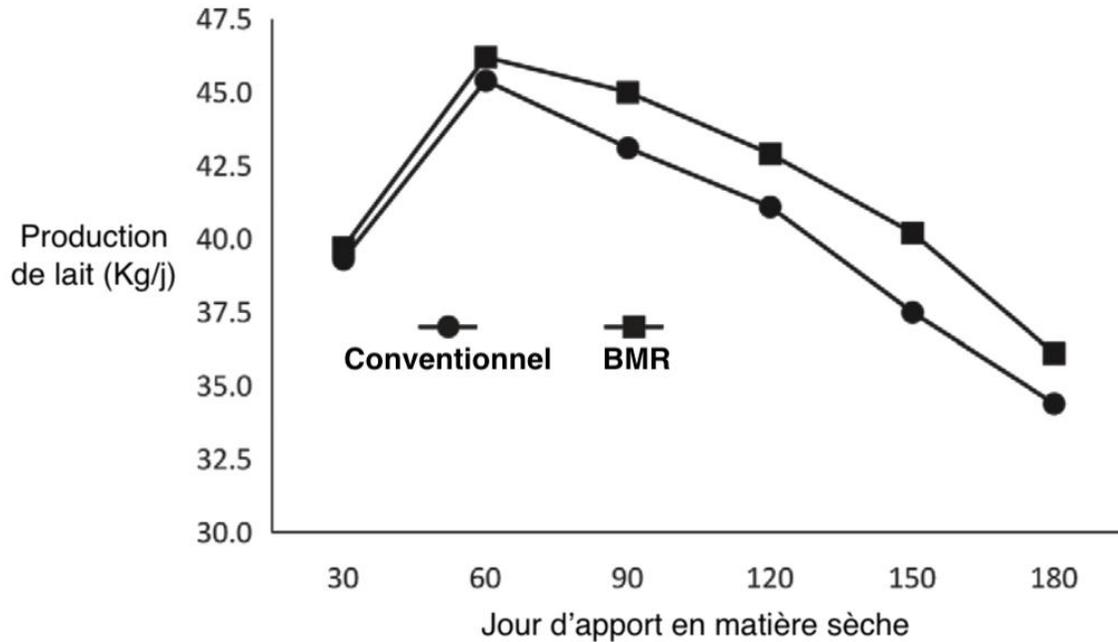


Figure 6. Production de lait des vaches laitières nourries avec une ration d'ensilage de maïs conventionnel et BMR sur une période de 180 jours en lactation

*Adapté de (Holt et al., 2013)*

En plus d'une productivité supérieure, l'ensilage de maïs BMR a un impact sur d'autres éléments de la production et des composantes du lait. Le tableau 10 présente différents paramètres de production influencés par le type d'hybride d'ensilage de maïs dans la ration des vaches laitières. Ces résultats ont été recueillis dans une expérience où les performances de 15 vaches nourries avec de l'ensilage de maïs BMR à grain farineux ont été comparées à des vaches nourries à l'ensilage de maïs conventionnel. Il est à noter que tous les résultats présentés au tableau 10 sont des résultats significatifs. D'abord, il est possible d'observer une plus grande production de lait chez les vaches nourries au BMR (47,3 kg/j) versus celles nourries au conventionnel (43,8 kg/j). De plus, afin de comparer la production de lait sur une même base, le FCM (lait corrigé pour la matière grasse) et le ECM (lait corrigé pour l'énergie) ont été calculés pour nos deux types d'ensilage. Le FCM ajuste la production de lait sur le gras produit. Dans cette expérience, le FCM, rapporté sur une base de gras de 3,5%, est de 49,7 kg/j pour les vaches nourries au BMR tandis que celles nourries au conventionnel ont un FCM de 47,1 kg/j. Le ECM, quant à lui, ajuste la production de lait sur le gras, la protéine et le lactose produits. On observe aussi une hausse

du ECM chez les vaches nourries au BMR (50, kg/j) comparativement aux autres (47,3 kg/j). Ces résultats montrent bien le potentiel de l'ensilage de maïs BMR à améliorer la production laitière chez la vache en comparaison à l'ensilage de maïs conventionnel. Le gras est une composante bien importante du lait puisque c'est la composante qui rapporte le plus financièrement au producteur. Toutefois, dans la même expérience, une diminution de taux de gras est remarquée chez les vaches consommant du BMR avec 3,85% alors que celles consommant du conventionnel ont un taux de 4%. Cette diminution est assez logique puisque les vaches ont une production laitière supérieure. En ce sens, la diminution du taux de gras est expliquée par un effet de dilution dû au plus grand volume de lait produit chez les vaches consommant l'ensilage de maïs BMR (Genero et al., 2016a). Une autre explication d'un taux de matière grasse plus faible est une augmentation de l'apport en acides gras polyinsaturés occasionné par l'augmentation de la prise alimentaire de matière sèche de l'ensilage de maïs BMR (Ferraretto & Shaver, 2015). Bien qu'une diminution du taux de gras soit remarquée, la production de gras est toutefois augmentée. En effet, la production de gras est de 1,80 kg/j pour les vaches nourries au BMR et de 1,74 kg/j pour celles nourries au conventionnel. Ceci s'explique par le fait que la production de lait est supérieure chez les vaches consommant le BMR. Ainsi avec un plus grand volume de lait, elles produisent, au final, une plus grande quantité de gras, malgré un taux de gras plus faible. De plus, le taux de protéine du lait est une composante qui augmente avec la consommation de BMR avec un taux de 3,19 %, dans l'expérience du tableau 10, comparativement à 3,13% pour le conventionnel. D'ailleurs la production de protéine est elle aussi supérieure chez les vaches consommant le BMR (1,49 kg/j) comparativement à 1,36 kg/j avec l'ensilage de maïs conventionnel. Cette augmentation du taux et de la production de protéine peut s'expliquer par une meilleure synthèse de protéine microbienne (Coons et al., 2019). La même tendance est présente chez le lactose qui est supérieur chez les vaches consommant du BMR (4,85%) plutôt que du conventionnel (4,80%). L'efficacité alimentaire, soit le ratio entre la production de lait et la consommation de matière sèche, est aussi un paramètre important à prendre en considération lorsqu'on compare les deux hybrides. Le ratio d'efficacité alimentaire des vaches consommant du BMR est supérieur (1,69) à celui des vaches consommant du conventionnel (1,63). Ainsi, les ruminants utilisent plus adéquatement les aliments consommés pour les transformer en

lait. Le type d'endosperme a son influence sur ce paramètre et le fait que, dans cette expérience, le grain du maïs soit farineux, le rend plus digestible et peut-être un des éléments qui améliorent l'efficacité alimentaire (Taylor & Allen, 2005).

Tableau 10. Performances laitières et efficacité alimentaire de vaches laitières nourries à l'ensilage de maïs conventionnel et BMR

Maïs ensilage	Type d'ensilage de maïs		
	Conventionnel	BMR	Valeur de P
Production de lait			
Lait (Kg/j)	43,80	47,30	0,001
3,5% FCM (Kg/j)	47,10	49,70	0,001
ECM (Kg/J)	47,20	50,30	0,001
Composantes du lait			
Gras (%)	4,00	3,85	0,010
Production de gras (Kg/j)	1,74	1,80	0,001
Protéine (%)	3,13	3,19	0,010
Production de protéine (Kg/j)	1,36	1,49	0,010
Lactose (%)	4,80	4,85	0,012
Efficacité alimentaire			
Production Lait/Apport de MS	1,63	1,69	0,001

*Adapté de (Coons et al., 2019)*

Ces résultats sur la production et les composantes concordent avec des recherches disant que la production de lait, de gras et de protéine est supérieure chez les vaches nourries avec une ration dont la NDF est plus digestible (Kendall et al., 2009), tel est le cas pour l'ensilage de maïs BMR. De plus, une étude, où des vaches en transition (15 premières semaines suivant le vêlage) avaient été nourries avec de l'ensilage de maïs BMR et comparées à des vaches nourries au conventionnel, a obtenu des résultats similaires à l'expérience de Coons et al. (2019), soit une plus grande production de lait (42,4 vs 39,8 kg/j), une production de gras (1,71 vs 1,58 kg/j), de protéine (1,33 vs 1,30 kg/j) et de lactose (1,98 vs 1,84 kg/j) supérieures ainsi qu'un plus grand FCM (46,2 vs 42,8 kg/j) et ECM (41,7 vs 38,9 kg/j) (Stone et al., 2012). Toutefois, dans cette expérience, le taux de gras était plus grand chez les vaches nourries au BMR (4,08 vs 4,05 %). Bien que les résultats des performances laitières du tableau 10 soient ceux les plus fréquemment observés, des études démontrent

que ces résultats peuvent parfois être différents. D'abord, le stade de lactation occasionne évidemment des variations dans les performances laitières et il a été observé que ces variations ne sont pas les mêmes pour les vaches dont les rations différaient au niveau de l'ensilage de maïs. Dans une expérience où 2 groupes de 13 vaches en début de lactation et deux groupes de 7 vaches en fin de lactation étaient comparés, la production de lait était plus grande chez les vaches en début de lactation qui consommait de l'ensilage de maïs BMR (38,3 vs 35,4 kg/j) comparée à celle des vaches consommant du conventionnel, mais chez les vaches en fin de lactation leur production de lait était inférieure lorsqu'elle consommait le BMR (24,6 vs 26,4 kg/j) (Genero et al., 2016b). La même tendance a été observée avec le FCM rapporté sur une base 4% de gras (début : 31,9 vs 31,8 kg/j ; Fin : 21,3 vs 23,9 kg/j), la production de protéine (début : 1,28 vs 1,20 kg/j ; Fin : 0,96 vs 0,99kg/j) et le taux de lactose (début : 5,11 vs 5,08 % ; Fin : 5,03 vs 5,09 %). Au niveau du taux et de la production de gras, les vaches en début et en fin de lactation avaient des résultats inférieurs lorsqu'elles consommaient le BMR plutôt que le conventionnel (début : 2,91 vs 3,34 % ; 1,01 vs 1,12 kg/j ; Fin : 3,17 vs 3,34% ; 0,77 vs 0,88 kg/j). La diminution de la synthèse de matière grasse peut s'expliquer par un accroissement de la concentration en acides gras dans le lait, ce qui inhibe la lipogenèse de la glande mammaire (Bauman & Griinari, 2001; Harvatine et al., 2009). Bref, on peut voir que les performances laitières sont très sensibles aux variations. Les résultats peuvent différer même si on ne prend pas en considération le stade de lactation des vaches. Par exemple, dans une expérience on peut dire que la production de lait et le FCM sont supérieurs avec des rations à base de BMR, comme l'indique les résultats présentés au tableau 10, et dans une autre expérience, on peut observer que ces paramètres ne sont pas affectés (Keith et al., 1979). Ainsi, il est difficile de se donner une idée précise de l'impact de l'ensilage de maïs BMR sur les performances laitières. Toutefois les résultats du tableau 10 restent les plus courants.

## **4.2. Le poids**

Le poids des vaches laitières est aussi un élément à ne pas négliger puisqu'une vache trop grasse ou trop maigre ne pourra pas produire de façon adéquate. Certains rapportent le fait que la consommation de l'ensilage de maïs BMR augmente le poids des animaux

(Frenchick et al., 1976) et d'autres, que le poids n'est pas affecté par le type d'hybride d'ensilage ingéré (Rook et al., 1977). Toutefois, le poids est un élément qui varie au cours de la lactation. Ainsi, dans l'étude de Holt et al (2013), le changement de poids des vaches laitières a été analysé en fonction des jours de lactation (Figure 7). On remarque qu'avant le pic de lactation, les vaches consommant du BMR ont tendance ( $P = 0,09$ ) à subir un moins grand changement de poids ( $-0,19$  kg/j) que celles qui consomment du conventionnel ( $-0,52$  kg/j). Après le pic de lactation, la variation de poids des animaux semble très similaire pour les deux types d'ensilage de maïs. En moyenne, pendant les 180 jours de lactation, le changement de poids est similaire pour les animaux nourris au conventionnel que pour ceux nourris au BMR ( $P=0,24$ ). Dans une étude où les auteurs avaient observé une légère augmentation de poids chez les vaches nourries au BMR ( $0,1$  kg/j) en début de lactation (42 jours), il a été expliqué que les rations à base de BMR avaient probablement un avantage énergétique lorsque comparé au conventionnel et qu'ainsi plus d'énergie était dirigée vers les tissus corporels de la vache (Sommerfeldt et al., 1979).

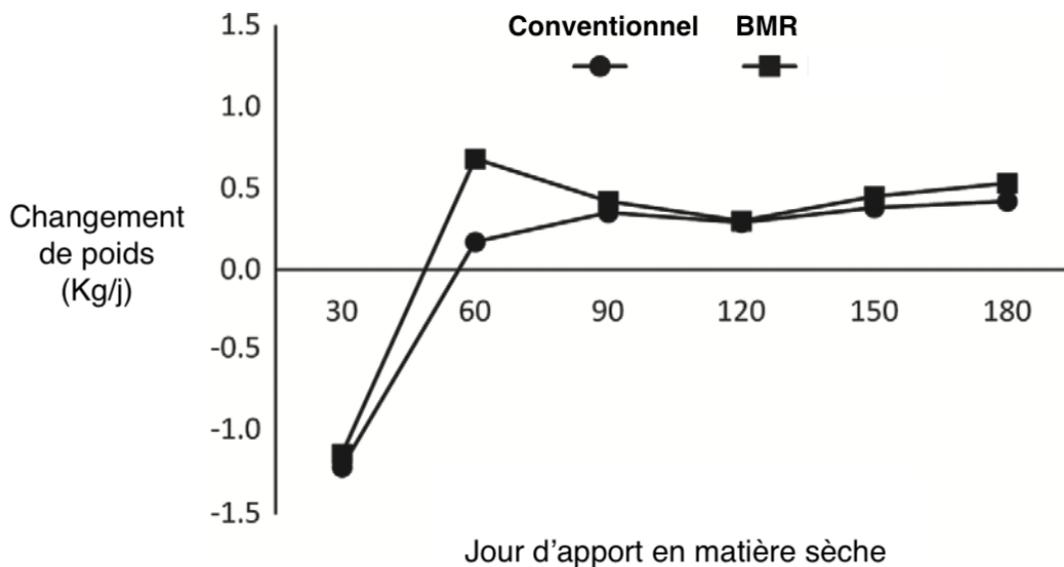


Figure 7. Changement du poids des vaches laitières nourries avec une ration d'ensilage de maïs conventionnel et BMR sur une période de 180 jours en lactation

*Adapté de (Holt et al., 2013)*

## Conclusion

Ce présent séminaire a permis de brosser le portrait de l'ensilage de maïs BMR. Bien que les rendements au champ de cette culture soient inférieurs au rendement de l'ensilage de maïs standard, plusieurs avantages ont été présentés. La différence entre les deux cultivars au niveau de leur composition chimique, principalement la composition de la fibre, a permis d'expliquer la meilleure digestibilité de l'ensilage de maïs BMR due à une réduction de la teneur en lignine dans le BMR.

La meilleure digestibilité de l'ensilage a permis d'expliquer une plus grande prise alimentaire des vaches consommant l'hybride. Une augmentation de la prise alimentaire et une meilleure digestibilité reflètent une augmentation de la mastication et de rumination qui, elles, occasionnent une hausse de la production d'acides gras volatils. De plus, un ensilage plus fermentescible a pour effet de diminuer le pH ruminal des ruminants, qui influence, lui aussi, la production d'énergie dans le rumen. La consommation de la ration et la production d'acides gras volatils plus élevées ont pour effet d'augmenter la synthèse de protéine microbienne qui diminue la production d'ammoniac au rumen. L'ensilage de maïs BMR influence donc plusieurs facteurs avantageux au niveau métabolique chez la vache laitière et on remarque que les éléments s'influencent entre eux. Toutefois, le taux de méthane entérique chez la vache laitière peut être similaire selon le type d'hybride d'ensilage de maïs consommé, mais est inférieur lorsqu'il est rapporté sur une base de prise alimentaire de matière sèche ou d'énergie brute. Cependant, l'émission de CH<sub>4</sub> dans les fèces se voit supérieure. Ainsi ce qui n'est pas produit dans le rumen de l'animal l'est à l'extérieur dans la fosse. On peut donc déduire que l'effet souhaité d'un taux de CH<sub>4</sub> inférieur dans le rumen est annulé dans la fosse.

Évidemment, la digestibilité de la fibre est supérieure chez l'hybride d'ensilage de maïs principalement par sa teneur faible en lignine. Toutefois, contrairement à la digestibilité de la fibre, la digestibilité de l'amidon se voit diminuée par un taux de passage plus élevé. Ainsi, bien qu'il y ait plus d'amidon dans l'ensilage de maïs BMR, il ne s'agit pas d'un avantage si celui-ci ne peut pas être digéré adéquatement.

Les performances laitières sont aussi affectées par le type d'ensilage de maïs. Le BMR a tendance à faire augmenter la production laitière des vaches. Cet aspect est donc intéressant pour le producteur, puisqu'il s'agit de son gagne-pain. De plus, certaines composantes comme la protéine et le lactose se voient, généralement, augmentées lorsque les vaches sont nourries au BMR et, bien que le taux de gras soit plus faible, la production de gras est plus élevée malgré tout.

Bref, l'ensilage de maïs BMR offre de nombreux bénéfices. Toutefois, les rendements inférieurs au champ restent un désavantage qui doit être pris en considération afin de savoir si l'amélioration des performances laitières est suffisante pour justifier le choix de cet hybride. De plus, la faible digestibilité de l'amidon est un critère qui pourrait être amélioré. Ainsi, il serait utile d'investiguer plus loin à savoir si d'autres hybrides pourraient être plus avantageux à ces niveaux. L'ensilage de maïs feuillu pourrait peut-être s'avérer une option intéressante étant donné son amidon plus digestible (Ferraretto et al., 2015).

## Liste des ouvrages cités

- Barrière, Y., & Argillier, O. (1993). Brown-midrib genes of maize : A review. *Agronomie*, 13(10), 865-876. <https://doi.org/10.1051/agro:19931001>
- Barrière, Y., Guillet, C., Goffner, D., & Pichon, M. (2003). Genetic variation and breeding strategies for improved cell wall digestibility in annual forage crops. A review. *Animal Research*, 52(3), 193-228. <https://doi.org/10.1051/animres:2003018>
- Bauman, D. E., & Griinari, J. M. (2001). Regulation and nutritional manipulation of milk fat : Low-fat milk syndrome. *Livestock Production Science*, 70(1-2), 15-29. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00195-6](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00195-6)
- Beauchemin, K. A., McAllister, T. A., & McGinn, S. M. (2009). Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CABI Reviews*, 2009, 1-18. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20094035>
- Benchaar, C., & Hassanat, F. (2019). Methane emissions of stored manure from dairy cows fed conventional or brown midrib corn silage. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 10632-10638. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16822>
- Clark, J. H., Klusmeyer, T. H., & Cameron, M. R. (1992). Microbial Protein Synthesis and Flows of Nitrogen Fractions to the Duodenum of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 75(8), 2304-2323. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77992-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77992-2)
- Coons, E. M., Fredin, S. M., Cotanch, K. W., Dann, H. M., Ballard, C. S., Brouillette, J. P., & Grant, R. J. (2019). Influence of a novel bm3 corn silage hybrid with floury kernel genetics on lactational performance and feed efficiency of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 9814-9826. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16786>
- Dado, R. G., & Allen, M. S. (1995). Intake Limitations, Feeding Behavior, and Rumen Function of Cows Challenged with Rumen Fill from Dietary Fiber or Inert Bulk. *Journal of Dairy Science*, 78(1), 118-133. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76622-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76622-X)

- Dijkstra, J., Boer, H., Van Bruchem, J., Bruining, M., & Tamminga, S. (1993). Absorption of volatile fatty acids from the rumen of lactating dairy cows as influenced by volatile fatty acid concentration, pH and rumen liquid volume. *British Journal of Nutrition*, 69(2), 385-396. <https://doi.org/10.1079/BJN19930041>
- El-Tekriti, R. A., Lechtenberg, V. L., Bauman, L. F., & Colenbrander, V. F. (1976). Structural Composition and in vitro Dry Matter Disappearance of Brown Midrib Corn Residue<sup>1</sup>. *Crop Science*, 16(3), 387-389. <https://doi.org/10.2135/cropsci1976.0011183X001600030017x>
- Ferraretto, L. F., Fonseca, A. C., Sniffen, C. J., Formigoni, A., & Shaver, R. D. (2015). Effect of corn silage hybrids differing in starch and neutral detergent fiber digestibility on lactation performance and total-tract nutrient digestibility by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 395-405. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8232>
- Ferraretto, L. F., & Shaver, R. D. (2015). Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2662-2675. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9045>
- Ferraretto, L. F., Shaver, R. D., & Luck, B. D. (2018). Silage review : Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3937-3951. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13728>
- Frenchick, G. E., Johnson, D. G., Murphy, J. M., & Otterby, D. E. (1976). Brown Midrib Corn Silage in Dairy Cattle Rations. *Journal of Dairy Science*, 59(12), 2126-2129. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(76\)84497-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(76)84497-9)
- Genero, G. A., Cangiano, C. A., Raimondi, J. P., Roig, J. M., & Gagliostro, G. A. (2016a). Replacing conventional with brown midrib corn silage in a total mixed ration : The impact on early and late lactation dairy cow intake, milk yield and composition, and milk fatty acids profile. *Animal Production Science*, 56(7), 1136. <https://doi.org/10.1071/AN14030>
- Harvatine, K. J., Boisclair, Y. R., & Bauman, D. E. (2009). Recent advances in the regulation of milk fat synthesis. *Animal*, 3(1), 40-54. <https://doi.org/10.1017/S1751731108003133>

- Hassanat, F., Gervais, R., & Benchaar, C. (2017). Methane production, ruminal fermentation characteristics, nutrient digestibility, nitrogen excretion, and milk production of dairy cows fed conventional or brown midrib corn silage. *Journal of Dairy Science*, *100*(4), 2625-2636. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11862>
- Holt, M. S., Eun, J.S., Thacker, C. R., Young, A. J., Dai, X., & Nestor, K. E. (2013). Effects of feeding brown midrib corn silage with a high dietary concentration of alfalfa hay on lactational performance of Holstein dairy cows for the first 180 days of lactation. *Journal of Dairy Science*, *96*(1), 515-523. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5856>
- Hoover, W. H. (1986). Chemical Factors Involved in Ruminal Fiber Digestion. *Journal of Dairy Science*, *69*(10), 2755-2766. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80724-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80724-X)
- Keith, E. A., Colenbrander, V. F., Lechtenberg, V. L., & Bauman, L. F. (1979). Nutritional Value of Brown Midrib Corn Silage for Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, *62*(5), 788-792. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(79\)83326-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83326-3)
- Kendall, C., Leonardi, C., Hoffman, P. C., & Combs, D. K. (2009). Intake and milk production of cows fed diets that differed in dietary neutral detergent fiber and neutral detergent fiber digestibility. *Journal of Dairy Science*, *92*(1), 313-323. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1482>
- Martin, N. P., Russelle, M. P., Powell, J. M., Sniffen, C. J., Smith, S. I., Tricarico, J. M., & Grant, R. J. (2017). Invited review : Sustainable forage and grain crop production for the US dairy industry. *Journal of Dairy Science*, *100*(12), 9479-9494. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13080>
- Mertens, D. R. (1997). Creating a System for Meeting the Fiber Requirements of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, *80*(7), 1463-1481. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2)
- Miller, M. D., Kokko, C., Ballard, C. S., Dann, H. M., Fustini, M., Palmonari, A., Formigoni, A., Cotanch, K. W., & Grant, R. J. (2021). Influence of fiber degradability of corn silage in diets with lower and higher fiber content on lactational performance, nutrient digestibility, and ruminal characteristics in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *104*(2), 1728-1743. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19088>

- Miller, M. D., Lanier, J. S., Kvidera, S. K., Dann, H. M., Ballard, C. S., & Grant, R. J. (2020). Evaluation of source of corn silage and trace minerals on rumen characteristics and passage rate of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *103*(10), 8864-8879. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18490>
- Moharrery, A., Larsen, M., & Weisbjerg, M. R. (2014). Starch digestion in the rumen, small intestine, and hind gut of dairy cows – A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*, *192*(2014), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.03.001>
- Nocek, J. E., & Tamminga, S. (1991). Site of Digestion of Starch in the Gastrointestinal Tract of Dairy Cows and Its Effect on Milk Yield and Composition. *Journal of Dairy Science*, *74*(10), 3598-3629. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78552-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78552-4)
- Oba, M., & Allen, M. S. (1999a). Effects of Brown Midrib 3 Mutation in Corn Silage on Dry Matter Intake and Productivity of High Yielding Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, *82*(1), 135-142. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75217-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75217-3)
- Oba, M., & Allen, M. S. (1999b). 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*(3), 589-596. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75271-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75271-9)
- Oba, M., & Allen, M. S. (2000). Effects of Brown Midrib 3 Mutation in Corn Silage on Productivity of Dairy Cows Fed Two Concentrations of Dietary Neutral Detergent Fiber : 3. Digestibility and Microbial Efficiency. *Journal of Dairy Science*, *83*(6), 1350-1358. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75002-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75002-8)
- Ramirez, H. A. R., Nestor, K., Tedeschi, L. O., Callaway, T. R., Dowd, S. E., Fernando, S. C., & Kononoff, P. J. (2012). The effect of brown midrib corn silage and dried distillers' grains with solubles on milk production, nitrogen utilization and microbial community structure in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, *92*(3), 365-380. <https://doi.org/10.4141/cjas2011-133>
- Rook, J. A., Muller, L. D., & Shank, D. B. (1977). Intake and Digestibility of Brown-Midrib Corn Silage by Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, *60*(12), 1894-1904. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(77\)84121-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)84121-0)

- Sheaffer, C. C., Halgerson, J. L., & Jung, H. G. (2006). Hybrid and N Fertilization Affect Corn Silage Yield and Quality. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192(4), 278-283. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00210.x>
- Sommerfeldt, J. L., Schingoethe, D. J., & Muller, L. D. (1979). Brown-Midrib Corn Silage for Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 62(10), 1611-1618. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(79\)83469-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83469-4)
- Stone, W. C., Chase, L. E., Overton, T. R., & Nestor, K. E. (2012). Brown midrib corn silage fed during the peripartal period increased intake and resulted in a persistent increase in milk solids yield of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 95(11), 6665-6676. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5531>
- Sutton, J. D. (1985). Digestion and Absorption of Energy Substrates in the Lactating Cow. *Journal of Dairy Science*, 68(12), 3376-3393. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)81251-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)81251-0)
- Taylor, C. C., & Allen, M. S. (2005). Corn Grain Endosperm Type and Brown Midrib 3 Corn Silage: Feeding Behavior and Milk Yield of Lactating Cows. *Journal of Dairy Science*, 88(4), 1425-1433. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72810-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72810-1)
- Tine, M. A., Mcleod, K. R., Erdman, R. A., & Baldwin, R. L. (2001). Effects of Brown Midrib Corn Silage on the Energy Balance of Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 84(4), 885-895. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74546-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74546-8)
- Yang, W. Z., & Beauchemin, K. A. (2006). Increasing the Physically Effective Fiber Content of Dairy Cow Diets May Lower Efficiency of Feed Use. *Journal of Dairy Science*, 89(7), 2694-2704. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72345-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72345-1)