



**Trouver sa  
zone de confort!**

**Le jeudi 28 octobre 2010**

**Best Western Hôtel Universel, Drummondville**

# **Le rôle des probiotiques en production laitière**

**Johanne CHIQUETTE, Ph.D.**

Agriculture et Agroalimentaire Canada  
Centre de recherche et de développement sur le bovin laitier et le porc  
Sherbrooke

**Note :** Cette conférence a été présentée lors de l'évènement  
et a été publiée dans le cahier du participant.

Vous retrouverez ce  
document sur le site  
Agrireseau.qc.ca



Pour commander le cahier des conférences, consultez  
[le catalogue des publications du CRAAQ](#)



Centre de référence en agriculture  
et agroalimentaire du Québec

Comité bovins laitiers

# LE RÔLE DES PROBIOTIQUES EN PRODUCTION LAITIÈRE

## Introduction

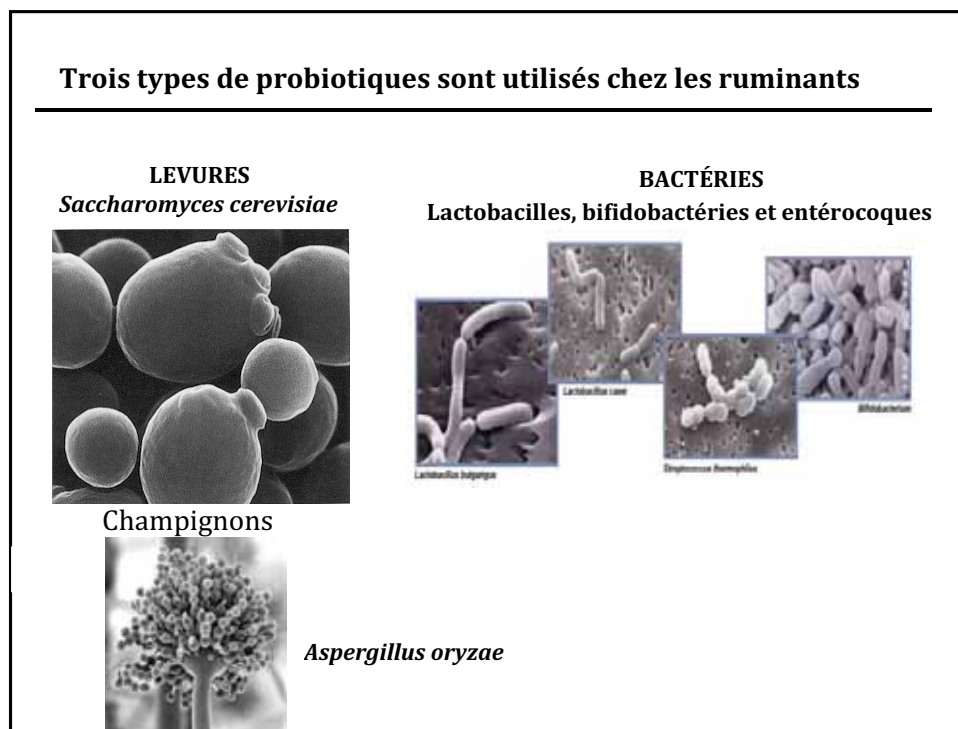
Le terme « probiotique » vient du grec *pro* (qui est pour, partisan de) et *biôtikos* (qui concerne la vie). Les probiotiques ont été définis comme étant des microorganismes vivants pouvant avoir un effet bénéfique chez l'hôte qui les ingère grâce à une amélioration de l'équilibre de la microflore intestinale de ce dernier (Fuller, 1989). Plus récemment, Havenaar *et al.* (1992) ont proposé de les définir comme étant des monocultures ou des cultures mixtes de microorganismes vivants qui, lorsqu'elles sont administrées à un animal ou à un être humain, ont un effet bénéfique grâce à l'amélioration des propriétés de sa microflore indigène. Cette dernière définition est plus précise en ce qui a trait à l'hôte et aux types de microorganismes et elle ne limite pas les probiotiques à la communauté microbienne intestinale, mais inclut d'autres écosystèmes microbiens tels que celui retrouvé dans la bouche par exemple, ou le rumen. L'intérêt de l'homme pour les probiotiques ne date pas d'hier. En effet, il y a un siècle, Metchnikoff proposait déjà, dans un livre intitulé « Essais optimistes », l'idée que la consommation de lactobacilles survivant dans le tractus intestinal était souhaitable pour la santé. Les Bulgares étaient alors reconnus pour leur grande longévité, que Metchnikoff attribuait à la consommation des lactobacilles des produits laitiers fermentés. À la suite de la découverte des antibiotiques après la Seconde Guerre mondiale, la popularité des probiotiques a décliné, mais ils étaient encore utilisés pour rétablir la flore intestinale après des traitements antibiotiques vigoureux. Ce n'est que récemment que s'est renouvelé l'intérêt pour l'utilisation des probiotiques chez les humains et les animaux ainsi que pour la compréhension de leur mode d'action. Ce regain d'intérêt pour les probiotiques est issu de la préoccupation du grand public et des milieux scientifiques au sujet de l'utilisation répandue des antibiotiques et de la possibilité d'un transfert de l'antibiorésistance aux bactéries pathogènes pour l'humain. C'est pour cette raison que l'Union européenne a banni, en janvier 2006, l'utilisation des antibiotiques à des fins non thérapeutiques. Au Canada, il n'y a toujours pas de législation à cet effet, mais ce n'est probablement qu'une question de temps. Aussi, il est impératif de trouver des solutions de rechange sécuritaires à l'utilisation des antibiotiques.

Selon l'Animal Health Institute of America, sans l'utilisation d'antibiotiques favorisant la croissance, les É.-U. devraient produire 452 millions de poulets, 23 millions de bovins et 12 millions de porcs supplémentaires pour maintenir leur production aux niveaux obtenus grâce aux méthodes actuelles (Al-Dobaib et Mousa, 2009).

## Probiotiques utilisés chez les ruminants

Les microorganismes principalement utilisés comme probiotiques chez les ruminants sont des bactéries, des levures (surtout *Saccharomyces cerevisiae*) et, dans une moindre mesure, des champignons (*Aspergillus oryzae*) [Fig. 1]. Nous analyserons les effets associés à chacun ainsi que leur mode d'action chez les veaux et les vaches laitières adultes. Il existe également sur le marché

des levures mortes et leur milieu de fermentation mais, dans le cadre de cette présentation, nous ne traiterons que des microorganismes vivants qui, selon la définition présentée précédemment, constituent ce qu'on appelle les probiotiques.



**Figure 1. Types de probiotiques utilisés chez les ruminants**

### **1) Bactéries probiotiques**

Le tableau 1 est une liste des espèces bactériennes utilisées comme probiotiques chez les animaux et les êtres humains. Les lactobacilles (*Lactobacillus* spp.) constituent les espèces les plus utilisées; viennent ensuite les bifidobactéries (*Bifidobacterium* spp.). La plupart des bactéries probiotiques sont des bactéries produisant de l'acide lactique (bactéries lactiques). Il a été démontré que l'acide lactique inhibe la croissance des coliformes dans le tractus gastrointestinal des porcelets et cet effet a été attribué à la réduction du pH du milieu (l'acide lactique a un puissant effet acidifiant). En effet, les milieux acides sont défavorables pour de nombreux agents pathogènes (Fuller, 1977). Dans l'alimentation humaine, ce sont les produits laitiers qui occupent la principale part du marché des aliments fonctionnels – les cultures probiotiques en étant l'ingrédient bioactif le plus important (ex. yogourt, fromage, etc.). À l'heure actuelle, on estime qu'il existe 80 différents types de produits contenant des cultures probiotiques à l'échelle internationale. Chez les ruminants, on retrouve surtout les lactobacilles et les entérocoques dans la composition des probiotiques.

**Tableau 1. Microorganismes ajoutés aux produits probiotiques**

<b>Espèces de <i>Lactobacillus</i></b>	<b>Espèces de <i>Bifidobacterium</i></b>	<b>Autres bactéries lactiques</b>	<b>Bactéries non lactiques</b>
<i>L. acidophilus</i>	<i>B. adolescentis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Bacillus cereus</i>
<i>L. casei</i>	<i>B. animalis</i>	<i>E. faecium</i>	<i>Escherichia coli</i>
<i>L. crispatus</i>	<i>B. bifidum</i>	<i>Lactococcus lactis</i>	<i>Propionibacterium freudenreichii</i>
<i>L. gallinarum</i>	<i>B. breve</i>	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	
<i>L. gasseri</i>	<i>B. infantis</i>	<i>Pediococcus acidilactici</i>	
<i>L. johnsonii</i>	<i>B. lactis</i>	<i>Sporolactobacillus inulinus</i>	
<i>L. paracasei</i>	<i>B. longum</i>	<i>Streptococcus thermophilus</i>	
<i>L. plantarum</i>			
<i>L. reuteri</i>			
<i>L. rhamnosus</i>			

(Holzapfel *et al.*,1998).

## 2) Levures probiotiques

Malgré le nombre croissant d'études effectuées au sujet des probiotiques bactériens, la vaste majorité des probiotiques utilisés chez les ruminants adultes sont constitués de préparations composées de levures, soit *Aspergillus oryzae* et/ou *Saccharomyces cerevisiae*. Les cellules sont alors séchées pour la préservation de leur viabilité et de leur activité métabolique. Dans certains produits, les levures sont mélangées à leur milieu de fermentation.

## Rôle des bactéries et des levures probiotiques chez les veaux

### 1) Accroissement de la vitesse d'établissement des populations cellulolytiques dans le rumen

À la naissance, le système digestif du jeune ruminant est pratiquement stérile, mais l'animal nouveau-né acquiert rapidement une microflore par contact avec la salive et les excréments de sa mère et des autres animaux (Chaucheyras-Durand *et al.*, 2008). Le contact prolongé entre la mère et son petit est important pour favoriser un bon établissement de la flore microbienne, alors que dans nos systèmes de régie le veau est rapidement séparé de sa mère. Une telle situation peut conduire au déséquilibre de la flore microbienne et accroître la sensibilité du jeune ruminant à différentes infections. L'équilibre entre les populations de bactéries bénéfiques et d'agents pathogènes dans l'intestin détermine la santé intestinale. Les troubles gastrointestinaux constituent l'une des plus importantes causes de pertes économiques dans l'exploitation d'animaux préruminants. Dans une étude portant sur des agneaux, Chaucheyras-Durand et Fonty (2001) ont signalé que la vitesse d'établissement des populations cellulolytiques était plus grande chez les agneaux ingérant *S. cerevisiae* quotidiennement que chez les agneaux témoins. De plus, les populations cellulolytiques étaient plus stables chez les animaux supplémentés.

Par ailleurs, les protozoaires se nourrissent des bactéries du rumen et leur population ne s'installe donc dans le rumen qu'une fois la population bactérienne établie. Chaucheyras-Durand et Fonty (2002) ont ainsi observé que les protozoaires apparaissaient plus tôt chez les agneaux supplémentés avec *S. cerevisiae* que chez les agneaux témoins.

## 2) Réduction de l'incidence de la diarrhée, accroissement du gain de poids quotidien et maintien de la santé intestinale

Les premiers jours qui suivent la naissance et la période de sevrage sont deux périodes critiques durant lesquelles il a été démontré que l'addition de probiotiques à la ration avait un effet bénéfique chez les veaux. Les veaux nouveau-nés sont souvent stressés de se retrouver dans un nouvel environnement et des recherches ont montré que le stress peut altérer la microflore. Les veaux stressés souffrant de diarrhée ont une population réduite de lactobacilles intestinaux (Tannok, 1983). D'autres chercheurs ont signalé que la supplémentation avec *Lactobacillus* et *Streptococcus* réduisait l'incidence de la diarrhée chez les veaux (Beckman *et al.*, 1977; Maeng *et al.*, 1987; Fox, 1988). Galvao *et al.* (2005) ont constaté une réduction du nombre de jours de diarrhée et des coûts de traitement avec l'ajout de levures *S. cerevisiae* ou *S. boulardii* aux céréales ou à l'aliment d'allaitement de veaux Holstein (Tableau 2).

La période de sevrage, au cours de laquelle l'alimentation solide est introduite de façon plus importante, est également difficile pour l'intestin. Chaucheyras-Durand et Fonty (2001) ont signalé que l'ajout de probiotiques à la ration d'agneaux accroissait la vitesse d'établissement de différentes espèces bactériennes. Dans ces circonstances, le rôle des probiotiques est de coloniser l'intestin et d'empêcher ainsi sa colonisation par des agents entéro-pathogènes causant la diarrhée (Krehbiel *et al.*, 2003). Cet effet est probablement attribuable à l'action des probiotiques bactériens sur la muqueuse intestinale. Il est bien connu que, en particulier chez les monogastriques, les probiotiques bactériens peuvent modifier la perméabilité de la muqueuse intestinale, activer les cellules immunitaires et empêcher l'adhésion des agents pathogènes à la muqueuse de l'intestin. Également, comme il a été mentionné précédemment, la production d'acide lactique par les probiotiques bactériens crée un milieu acide néfaste pour les agents pathogènes. De plus, la production de bactériocines par certaines souches de probiotiques contribue au maintien de la santé de l'intestin. Les bactériocines sont des toxines que les bactéries produisent pour inhiber la croissance de souches bactériennes similaires ou étroitement apparentées.

**Tableau 2. Effet de l'ajout de levures aux céréales ou à l'aliment d'allaitement sur les paramètres associés au nombre de jours de diarrhée chez les veaux Holstein**

	Témoin	<i>S. cerevisiae</i>	<i>S. boulardii</i>	<i>S. cerevisiae</i> <i>S. boulardii</i>
<b>Jours de diarrhée avant le sevrage</b>	5,83 <sup>a</sup>	4,00 <sup>b</sup>	4,00 <sup>b</sup>	5,50 <sup>ab</sup>
<b>Coût des traitements curatifs (\$ US/veau)</b>	3,03	1,49	1,43	1,96

a, b : Des lettres différentes indiquent que les traitements ont eu un effet statistiquement significatif sur les moyennes observées.

Grâce à un meilleur équilibre entre les populations de bactéries pathogènes et de bactéries bénéfiques, on a fait état d'une augmentation de 45 % du gain de poids quotidien moyen entre le 6<sup>e</sup> et le 25<sup>e</sup> jour suivant la naissance chez les veaux ayant reçu un aliment d'allaitement supplémenté avec *Enterococcus faecium* et un prébiotique (galacto-oligosaccharide [GOS]) (Tableau 3). Un prébiotique est un ingrédient alimentaire indigestible par l'animal (donc qui se rend intact à l'intestin) et qui stimule la croissance et/ou l'activité des « bonnes » bactéries au niveau de l'intestin.

**Tableau 3. Gain de poids quotidien moyen (g/jour) de veaux traités avec *Enterococcus faecium* + GOS**

Âge des veaux en jours				
	6-15	16-25	26-47	48-68
Témoins	325	467	579	790
Traités	450	708	644	820

### **Considérations pratiques (Hutjens, 2007)**

- Bactéries utilisées chez le veau :** Lactobacillus, bifidobactéries et entérocoques. (Ex. de produits : BioPlus 2B® de Chr-Hansen).
- Quantité :** Variable en fonction du manufacturier (ex. 1,25 g/100 kg de lait correspondant à 10<sup>7</sup> à 10<sup>9</sup> unités formatrices de colonies [UFC]).
- Mode d'administration :** Dans l'aliment d'allaitement et l'alimentation solide de début.
- Période d'administration :** De la naissance (après le colostrum) jusqu'à 10 semaines.
- Durée de vie à l'entreposage :** Environ 1 an.
- Coût :** Entre 5 et 15 cents/veau/jour.
- Statut :** Recommandé pour les veaux recevant un aliment d'allaitement et durant les périodes de stress ou à la suite de l'administration d'antibiotiques.

N.B. Le peu d'information disponible sur l'utilisation des levures chez les veaux ne permettait pas de fournir les données correspondantes à celles rapportées ci-haut.

### **Conclusion**

*Plusieurs études ont démontré que l'administration de probiotiques à des veaux permet de réduire la durée des épisodes de diarrhée en raison d'un meilleur équilibre entre les bactéries pathogènes et les bactéries bénéfiques du système digestif. Une augmentation de gain de poids est également rapportée. La diminution des épisodes de diarrhée et l'établissement rapide de la flore cellulolytique ne sont probablement pas étrangers à cette amélioration du gain de poids.*

## Rôle des bactéries et des levures probiotiques chez la vache laitière adulte

Les bactéries probiotiques ont tout d'abord été étudiées pour le rôle qu'elles jouent dans l'intestin. Par la suite, on a découvert qu'elles jouent également un rôle dans le rumen, où l'on retrouve un autre écosystème microbien très actif. Chez les ruminants adultes, les probiotiques sont recommandés dans les cas de déséquilibre entre les différentes populations microbiennes, par exemple lorsqu'une vache laitière passe la période de transition entre une ration à forte teneur en fourrage et une ration à forte teneur en concentré.

Afin de mieux comprendre le rôle et le mode d'action des probiotiques chez les ruminants, il est important de comprendre la fonction du rumen. Le rumen est un écosystème complexe qui joue un rôle majeur dans la digestion. Chez l'animal adulte, il a un volume d'environ 100 litres et il contient des bactéries ( $10^{11}$  cellules/mL), des protozoaires ( $10^5$  cellules/mL) et des champignons ( $10^3$  cellules/mL). Les principaux produits finaux issus de la fermentation ruminale sont illustrés dans la figure 2 ci-dessous. Brièvement, les fibres fourragères et l'amidon provenant des céréales subissent une hydrolyse enzymatique qui conduit à la production de glucose. Ce dernier est fermenté par les microorganismes du rumen pour produire des acides gras volatils (AGV) (et plus ou moins de lactate en fonction de la teneur en amidon de la ration) et des gaz. Les AGV sont absorbés à travers la paroi ruminale et fournissent environ 70 % de l'énergie provenant de l'alimentation de l'animal. Les gaz sont érucés.

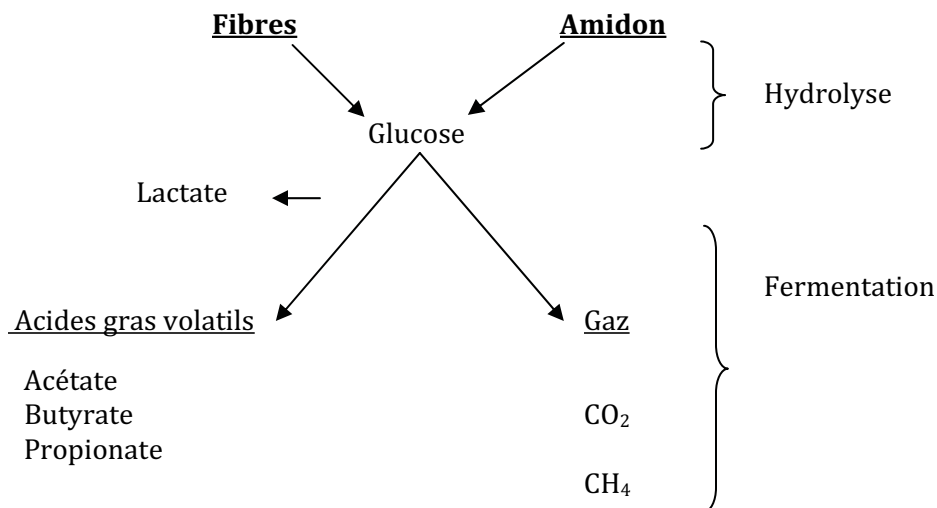


Figure 2. Schéma de la dégradation des hydrates de carbone dans le rumen

### 1) Prévention de l'acidose ruminale

Parce qu'ils sont rapidement fermentés dans le rumen, les concentrés causent une accumulation rapide d'acides gras volatils et de lactate (acide fort), ce qui concourt à la réduction du pH ruminal. Lorsque le pH ruminal descend sous 6,0, l'activité des bactéries cellulolytiques est grandement réduite et le nombre des protozoaires diminue. L'un des effets exercés sur les populations bactériennes par un pH ruminal bas est l'accroissement du nombre des bactéries qui tolèrent bien

les pH peu élevés, comme *Streptococcus bovis* (producteur de lactate) et *Megasphaera elsdenii* (utilisateur de lactate). Tant et aussi longtemps que les bactéries utilisant le lactate sont en mesure de métaboliser le lactate produit, la situation est maîtrisée, même si les animaux sont alors considérés comme étant en acidose ruminale subaiguë (aussi appelée subclinique)(pH du rumen entre 5,2 et 5,6) (Beauchemin *et al.*, 2006) et ont une consommation de matière sèche fluctuante qui conduit à une baisse de production de lait. Si le pH continue de diminuer, les lactobacilles finissent par prendre le dessus, ce qui provoque l'augmentation de la concentration de lactate. Cette concentration élevée de lactate contribue à abaisser le pH du rumen sous 5,2 et ainsi à faire disparaître les bactéries utilisant le lactate. Ce trouble grave, connu sous le nom d'acidose métabolique (aussi appelé acidose aiguë ou clinique), peut entraîner la mort de l'animal si ce dernier n'est pas traité.

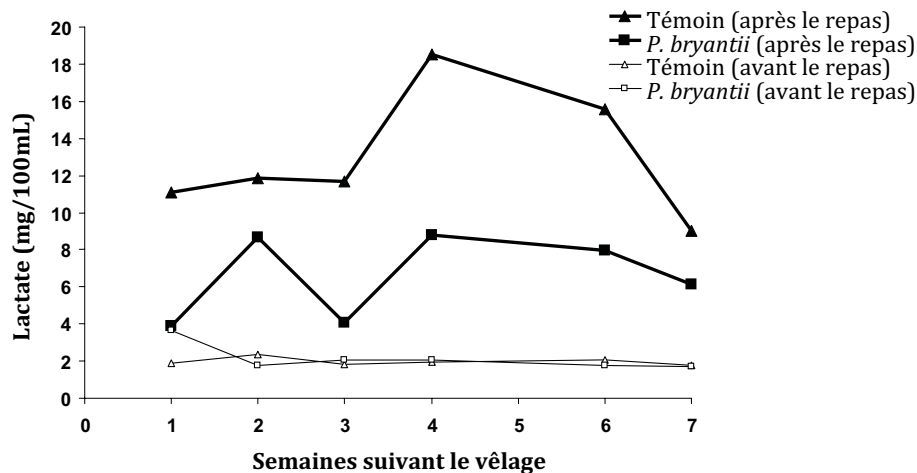
### *Bactéries probiotiques*

La plupart des expériences portant sur la prévention de l'acidose par l'utilisation de probiotiques bactériens (*Lactobacillus* et/ou *Enterococcus*) ont été menées sur des bouvillons. Quelques-unes ont montré une stabilisation du pH à la suite d'une supplémentation en probiotiques, tandis que d'autres n'ont pas révélé un tel effet. Nocek *et al.* (2002) ont supplémenté des vaches laitières avec *Lactobacillus* et *Enterococcus*, et leurs résultats ont indiqué une augmentation du pH moyen quotidien et une diminution du temps où le pH se trouvait sous 5,5. Les espèces de bactéries utilisées dans ces études étaient des productrices de lactate, le principe étant de permettre un apport constant de lactate dans le rumen de façon à ce que les bactéries utilisant le lactate soient stimulées et que l'ensemble de la microflore puisse s'adapter à une concentration accrue de lactate.

Des bactéries utilisant le lactate (*Megasphaera elsdenii*) sont également utilisées comme probiotiques, et certaines études (Greening *et al.*, 1991; Kung et Hession, 1995) ont montré qu'elles pouvaient diminuer la concentration ruminale de lactate et stabiliser le pH ruminal.

Enfin, d'autres espèces bactériennes ayant la capacité de fermenter l'amidon sans produire de lactate sont à l'étude. À ce titre, *Propionibacteria*, qui produit du propionate au lieu du lactate, a surtout été étudiée chez le bouvillon. Le propionate est le plus important précurseur du glucose. Dans un projet mené conjointement avec l'Iowa State University, Chiquette *et al.* (2008) ont utilisé une souche nouvellement isolée de *Prevotella bryantii* (*Prevotella* est l'un des genres les plus abondants dans le rumen des vaches recevant une ration à forte teneur en concentré) qui est capable de fermenter l'amidon en produisant du propionate au lieu du lactate. Cette souche bactérienne (*P. bryantii* 25A) a été inoculée à des vaches laitières durant les 7 semaines suivant le vêlage et les auteurs ont observé une diminution de la concentration d'acide lactique après le repas (Figure 3). Il n'y a eu aucun effet sur le pH ruminal, probablement parce que *P. bryantii* 25A a fait augmenter la concentration des acides gras volatils totaux, ce qui a contrebalancé l'effet de la baisse de concentration de lactate.





**Figure 3. Effet de *P. bryantii* 25A sur la concentration de lactate au cours des 7 semaines suivant le vêlage**

### *Levures probiotiques*

La supplémentation au moyen de levures a également joué un rôle dans la réduction de la concentration ruminale de lactate en cas d'acidose (William *et al.*, 1991; Lynch et Martin, 2002), que ce soit par une compétition avec *Streptococcus bovis* pour la fermentation de l'amidon ou par la stimulation des populations ruminales de bactéries utilisant le lactate. *In vitro*, les levures ont produit des acides aminés, des acides organiques et des vitamines B, tous des éléments essentiels à la croissance des bactéries utilisant le lactate. Le mécanisme par lequel les levures maintiennent le pH ruminal dans le cas d'une acidose ruminale subaiguë n'a pas été très bien étudié, mais certaines hypothèses ont été émises. Lorsqu'on ajoute des levures à la ration des ruminants, la fermentation de la nourriture favorise la multiplication des bactéries plutôt que la production d'acides gras volatils. Les levures sont également capables de stimuler les entodiniomorphes, protozoaires qui englobent les grains d'amidon, retardant ainsi la fermentation. Bach *et al.* (2007) ont administré des suppléments de levures à des vaches en lactation et ont observé une augmentation du pH ruminal moyen quotidien, du pH maximum (0,5 unité) et du pH minimum (0,3 unité). Dans une étude publiée récemment (Chiquette, 2009), une acidose ruminale subaiguë a été provoquée chez des vaches en milieu de lactation. Les traitements probiotiques étaient les suivants : 1) *A. oryzae* (supplément AO) [0,6 g/jour]; 2) AO supplémenté à 3,0 g/jour; 3) *Enterococcus faecium* + *Saccharomyces cerevisiae* (supplément ES) [ $5 \times 10^5$  cellules/mL de liquide ruminal]; 4) Aucun probiotique (témoin). Durant la période d'acidose, chez les vaches recevant le supplément ES, le pH moyen était plus élevé que chez les vaches témoins (5,8 contre 5,4); le pH minimum était également plus élevé chez les animaux recevant le supplément ES que chez les animaux du groupe témoin (5,0 contre 4,4). Les valeurs de pH des vaches recevant le supplément AO se situaient à mi-chemin entre celles des vaches recevant le supplément ES et celles des vaches témoins, mais elles n'étaient pas statistiquement différentes de celles du groupe témoin.

## 2) Maîtriser la croissance des agents pathogènes dans le rumen

### *Bactéries probiotiques*

Tel qu'il a été indiqué précédemment, la production de bactériocines par certaines bactéries probiotiques (comme *Enterococcus faecium*) permet à ces dernières de limiter la croissance de certains agents pathogènes dans le rumen. Peterson *et al.* (2007) et d'autres chercheurs avant eux ont signalé que des souches de *Lactobacillus acidophilus* avaient réduit l'excrétion d'*Escherichia coli* O157:H7 chez les bovins.

### *Levures probiotiques*

Des études menées *in vitro* ont montré une diminution de la croissance et de la viabilité d'*E. coli* O157:H7 et de *Listeria monocytogenes* lorsqu'elles étaient cultivées en présence de levures. Quelques espèces de *Saccharomyces* se sont révélées plus efficaces que d'autres pour réduire les populations d'agents pathogènes. Par exemple, on a signalé que *S. boulardii* était efficace contre *Salmonella* et *E. coli* et qu'elle dégradait la toxine produite par *Clostridium difficile*. Mis à part la dégradation de toxine, on croit qu'il existe d'autres mécanismes de réduction des populations d'agents pathogènes, dont l'exclusion compétitive et la liaison cellulaire (Chaucheyras-Durand *et al.*, 2008).

## 3) Consommation de matière sèche, production laitière et composition du lait

### *Bactéries probiotiques*

Jusqu'ici, la recherche au sujet de l'effet des bactéries probiotiques sur la production laitière et la composition du lait a été très limitée. En général, on a fait état d'une hausse de l'ordre de 0,75 à 2 kg de lait/jour, mais l'effet sur la prise alimentaire et la composition du lait a été plus variable. Dans une étude publiée récemment, Chiquette *et al.* (2008) ont signalé une hausse de la production des produits de fermentation et du pourcentage de matières grasses du lait de vaches laitières ayant reçu une souche bactérienne nouvellement isolée (*Prevotella bryantii* 25A) à partir de la 3<sup>e</sup> semaine précédant le vêlage jusqu'à la 7<sup>e</sup> semaine post-partum (Figure 4). Jacquette *et al.* (1988) et Ware *et al.* (1988a) ont observé chez des vaches ayant reçu dans leur alimentation *Lactobacillus acidophilus* ( $2 \times 10^9$  cellules/jour) une production laitière accrue (1,8 kg/jour) en comparaison de celle des vaches témoins. Gomez-Basauri *et al.* (2001) ont observé une production laitière accrue (0,73 kg/jour) chez des vaches recevant un mélange de *L. acidophilus*, de *L. casei* et d'*Enterococcus faecium* dans leur ration. La plupart de ces études ont été diffusées sous forme de résumés dans lesquels ne figuraient aucun détail quant à l'état physiologique des vaches. Plus récemment, Stein *et al.* (2006) ont fait état d'une hausse de 8,5 % du lait, standardisé à 4 % de matières grasses, chez des vaches recevant  $6 \times 10^{10}$  cellules de *Propionibacterium*/jour à partir de la 2<sup>e</sup> semaine précédant le vêlage jusqu'à la 30<sup>e</sup> semaine post-partum. Par contre, Raeth-Knight *et al.* (2007) n'ont observé aucun effet sur la production laitière, la composition du lait ou la consommation de matière sèche de vaches laitières (moyenne de  $74 \pm 32$  jours de lactation) recevant dans leur alimentation une combinaison de *Lactobacillus acidophilus* ( $1 \times 10^9$  cellules/jour) et de *Propionibacterium freudenreichii* ( $2 \times 10^9$  cellules/jour).

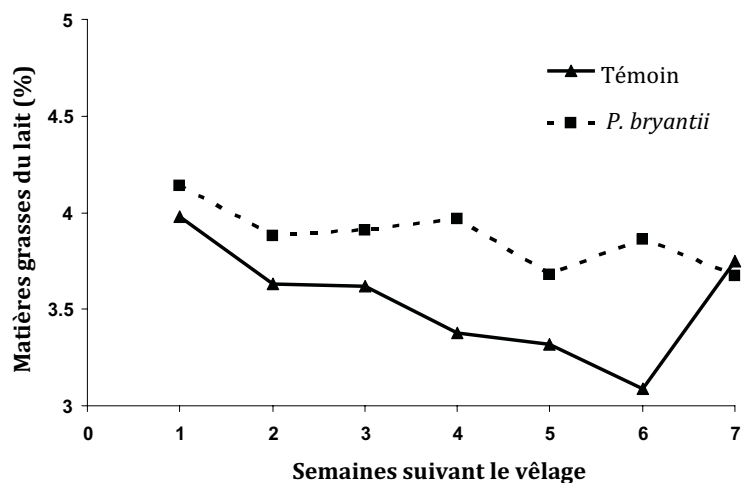


Figure 4. Effet de *P. bryantii* 25A sur le pourcentage de matières grasses du lait après le vêlage

### Conclusion

*Il ressort des ces études que l'augmentation de production de lait est très variable et fonction du probiotique utilisé, de la dose, de la période de supplémentation et du statut de l'animal.*

### *Levures probiotiques*

Desnoyers *et al.* ont procédé en 2009 à une méta-analyse des résultats de 157 expériences consignées dans 110 articles scientifiques traitant de l'administration de levures comme supplément à des ruminants (une méta-analyse met en jeu un ensemble de méthodes statistiques servant à combiner les données de plusieurs études dans un but d'évaluation de la force d'ensemble des relations établies). Le premier objectif de cette méta-analyse était de mettre en évidence les principaux effets quantitatifs des levures sur la prise alimentaire, la fermentation ruminale et la production de lait. Le second objectif était de mettre en évidence les disparités majeures existant entre les conditions expérimentales des différentes études, disparités susceptibles d'avoir eu une influence sur les réponses aux traitements. Les chercheurs ont découvert qu'en moyenne, les levures faisaient augmenter la consommation de matière sèche (+ 0,44 g/kg, poids corporel) et la production laitière (+ 1,2 g/kg, poids corporel), et qu'elles avaient tendance à faire augmenter la teneur en matières grasses du lait (+ 0,05 %), mais qu'elles n'avaient aucun effet sur les protéines laitières. En moyenne, l'administration des levures a entraîné une hausse du pH ruminal (+ 0,03) et de la concentration des acides gras volatils dans le rumen (+ 2,17 mM), et eu tendance à réduire la concentration en acide lactique (- 9 mM). L'effet positif des levures sur le pH ruminal croît en fonction du pourcentage de concentré contenu dans la ration ainsi qu'en fonction de la consommation de matière sèche.

Les réponses aux levures probiotiques dépendent de la composition de la ration et de l'état physiologique de l'animal. Il a été également démontré que les levures interagissaient avec le mélange de fourrage utilisé dans la ration (Adams *et al.*, 1995). Putman *et al.* (1997) ont découvert que la production de lait augmentait avec l'ajout de levures, mais uniquement lorsque la teneur en protéines de la ration était insuffisante. Cette découverte corrobore l'observation selon laquelle les

levures augmentent le flux de protéines microbiennes vers l'intestin grêle, mais que cet apport protéique supplémentaire n'est bénéfique qu'en cas de carence protéique dans la ration. D'autres chercheurs ont observé une réponse positive chez des vaches primipares, mais n'en ont pas constaté chez les vaches multipares (Robinson et Garret, 1999). Dans la plupart des études, l'accroissement de la production de lait était associé à une augmentation de la consommation de matière sèche. L'effet des levures sur la composition du lait est plus variable et se manifeste habituellement par un accroissement du pourcentage de matières grasses. Chiquette (1995) a signalé une augmentation de 6 % de l'efficacité laitière (kg de lait/kg de matière sèche ingérée) de 20 vaches ayant reçu quotidiennement soit 3 g d'*A. oryzae* avec un extrait de fermentation, soit 10 g d'un mélange d'*A. oryzae* et de *S. cerevisiae*.

### Conclusion

*Les résultats de méta-analyse montrent un effet modéré mais positif des levures sur la fermentation ruminale, l'ingestion de matière sèche (environ + 1,5 %) et la production laitière (augmentation de 2,5 à 3 %). Tout comme pour les bactéries probiotiques, la réponse aux levures probiotiques est variable et fonction du type de levure, de la diète et du statut physiologique de l'animal.*

### *Combinaison de bactéries et de levures probiotiques*

Des études plus récentes ont été effectuées sur la combinaison de levures et de bactéries. Dans une vaste étude portant sur 366 vaches, Oetzel *et al.* (2007) n'ont remarqué aucun effet sur la production laitière ou la composition du lait lorsqu'une combinaison d'*Enterococcus faecium* et de *S. cerevisiae* était donnée dans l'alimentation de vaches à partir du 10<sup>e</sup> jour précédant le vêlage jusqu'au 23<sup>e</sup> jour post-partum. Toutefois, Nocek et Kautz (2006) ont observé un accroissement de la consommation de matière sèche (2,6 kg/jour) (Figure 5) et de la production laitière (2,3 kg/jour) (Figure 6) chez 44 vaches en début de lactation ayant reçu la même combinaison (2 g/animal/jour) dans leur ration, mais cette fois à partir de la 3<sup>e</sup> semaine précédant le vêlage jusqu'à la 10<sup>e</sup> semaine post-partum. On a montré que l'amélioration de la consommation de matière sèche et de la production laitière était plus importante lorsque le mélange de probiotiques était administré depuis approximativement la 3<sup>e</sup> semaine précédant le vêlage jusqu'à la 10<sup>e</sup> semaine post-partum plutôt qu'uniquement avant le vêlage ou durant la période post-partum. Nocek et Kautz (2006) ont obtenu des résultats similaires en réalisant un essai très semblable sur 44 vaches Holstein. Enfin, Lehloenya *et al.* (2007) ont fait état d'un accroissement de 9 % de la production laitière avec un mélange de levures et de *Propionibacterium* administré dans l'alimentation de vaches à partir de la 2<sup>e</sup> semaine précédant le vêlage jusqu'à la 30<sup>e</sup> semaine post-partum.

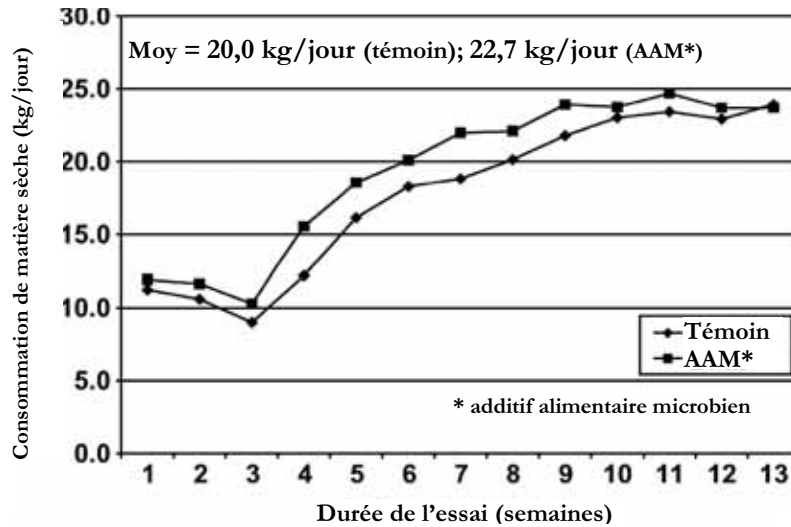


Figure 5. Effet d'*Enterococcus faecium* et de *Saccharomyces cerevisiae* sur la consommation de matière sèche de 44 vaches en début de lactation

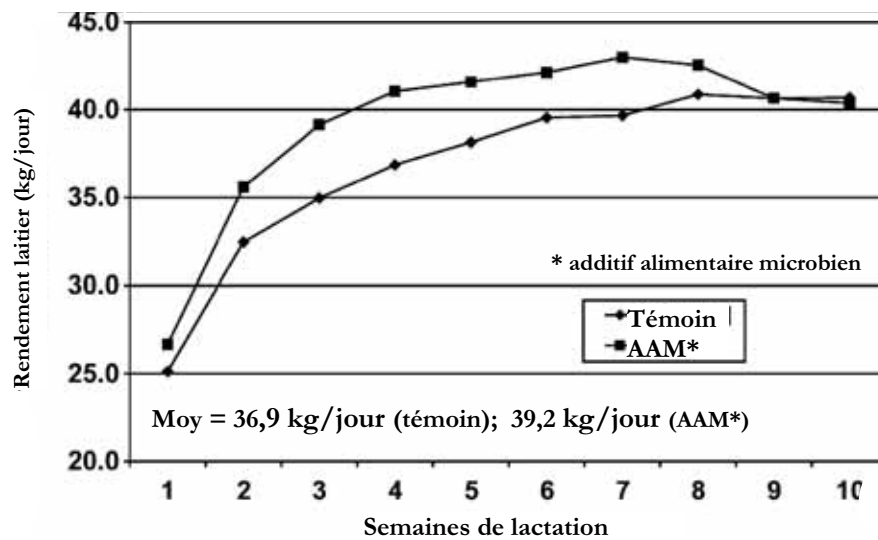


Figure 6. Effet d'*Enterococcus faecium* et de *Saccharomyces cerevisiae* sur le rendement laitier de vaches en début de lactation (Nocek et al., 2006)

### Conclusion

Il semblerait avantageux de combiner l'ajout de bactéries probiotiques à des levures. Des études sont en cours pour démontrer que les levures créent un environnement ruminal qui facilite l'action des bactéries probiotiques.

#### **4) Amélioration de la dégradation des fibres dans le rumen**

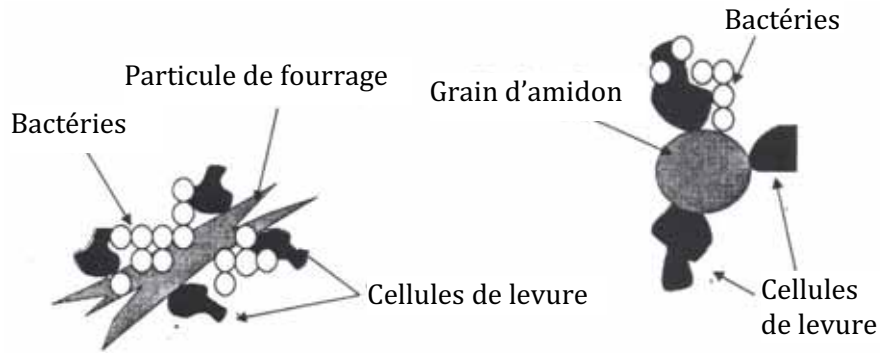
##### *Levures probiotiques*

La fibre NDF constituée principalement de cellulose et d'hémicellulose représente au minimum environ 30 % de la matière sèche de la ration de la plupart des vaches laitières. Elle est dégradée dans le rumen par une population bactérienne particulière, car l'animal ne produit pas les enzymes nécessaires pour décomposer la cellulose et l'hémicellulose. Les levures se sont révélées avoir un effet stimulant sur les populations cellulolytiques du rumen et sur leur activité enzymatique. Toutefois, la plupart des résultats obtenus sur la question proviennent d'études effectuées *in vitro*. En 2007, Mosoni *et al.* ont constaté que le nombre de copies du gène de l'ARNr 16S de *Ruminococcus albus* et de *R. flavefaciens* a doublé et parfois quadruplé chez des chèvres ayant ingéré des levures probiotiques. On attribue cet effet sur les populations cellulolytiques au fait que les levures piègent l'oxygène (O<sub>2</sub>) ruminal, lequel nuit à ces populations. On signale également que les levures libèrent des vitamines et d'autres facteurs de croissance (acides organiques, vitamines B et acides aminés) qui sont essentiels au développement des bactéries cellulolytiques. Cette hausse de la digestibilité des fibres explique l'accroissement de la consommation de matière sèche souvent associée au supplément de levures.

#### **5) Accroissement du nombre total de bactéries**

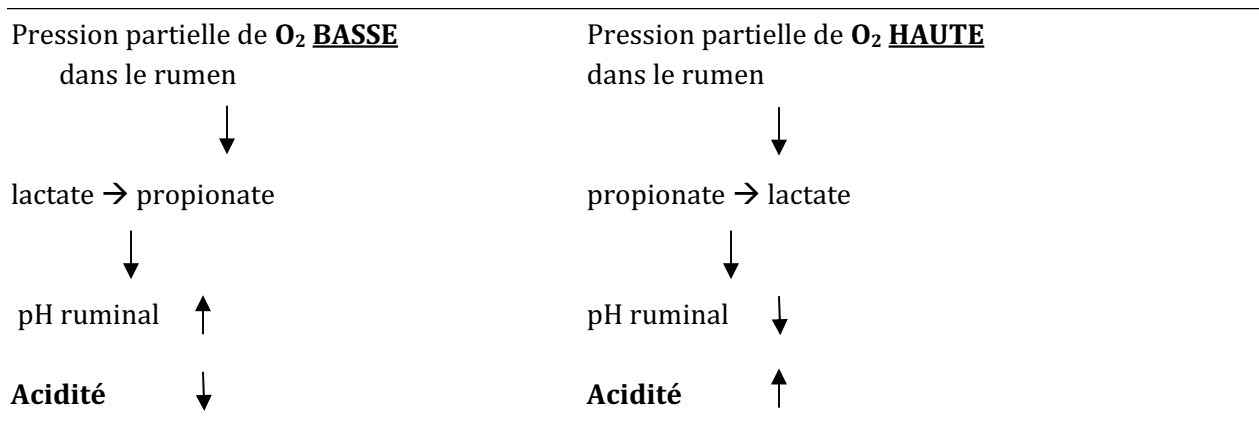
##### *Levures probiotiques*

Les suppléments de levures ont invariablement pour effet de stimuler la croissance bactérienne dans le rumen. Ce phénomène s'explique par les facteurs de croissance, comme les vitamines B et les acides aminés, que les levures apportent aux bactéries. La propriété qu'ont les levures de capter l'O<sub>2</sub> contribue également à créer un environnement favorable à la croissance des bactéries. En 2006, Jouany a proposé un modèle qui, pour la première fois, expliquait la plupart des effets positifs attribués aux levures ajoutées à l'alimentation des ruminants. Ce modèle, représenté à la figure 7, est basé sur le fait que les levures sont des microorganismes aérobies qui, une fois dans le rumen, proliféreront en utilisant l'O<sub>2</sub> emprisonné dans la fraction solide du contenu ruminal. Jusqu'à 16 L d'O<sub>2</sub> peuvent entrer dans le rumen des ovins durant la prise d'eau et d'aliments. Les levures sont ainsi étroitement associées aux particules solides autour desquelles est formé un micro-consortium. Une diminution de 20 mV du potentiel redox a été observée par Jouany *et al.* (1999) dans le rumen des animaux traités. Ce microenvironnement (plus anaérobie qu'en absence de levures) stimule la croissance des bactéries cellulolytiques et leur fixation aux particules de fibres (Roger *et al.*, 1990) et accroît la vitesse initiale de la digestion de la cellulose, ce qui pourrait expliquer l'augmentation de la prise alimentaire associée aux levures probiotiques. La grande variabilité de la capacité de capture de l'O<sub>2</sub> des levures devrait être prise en considération lorsqu'on choisit les levures qui serviront de probiotiques. Une étude convaincante effectuée par Newbold (1996) a montré que l'utilisation de levures mutantes de *S. cerevisiae* ayant une déficience respiratoire n'avait aucun effet sur la croissance bactérienne.



**Figure 7. Modèle de l'interaction des cellules de levure avec les bactéries du rumen, proposé par Jouany (2006)**

La conversion du propionate en lactate et la réaction inverse sont fonction de la pression partielle d'O<sub>2</sub> dans le rumen (Figure 8). Lorsque la pression partielle d'O<sub>2</sub> est basse, la réaction lactate → propionate est favorisée, et lorsque la pression partielle d'O<sub>2</sub> est élevée, c'est la réaction propionate → lactate qui est favorisée. Ce phénomène explique pourquoi les levures réduisant la pression partielle d'O<sub>2</sub> dans le rumen favorisent une voie de fermentation moins acide, d'où leur effet stabilisateur sur le pH ruminal. La stabilisation du pH ruminal est également bénéfique pour les microorganismes cellulolytiques, lesquels sont sensibles à l'acidité. Le micro-consortium créé autour des levures explique en partie comment même une petite quantité de levures ayant une vie relativement courte peut fournir des facteurs de croissance tels que des acides organiques, des vitamines B et des acides aminés aux bactéries qui sont à proximité dans le rumen.



**Figure 8. Effet de la pression partielle d'oxygène (O<sub>2</sub>) dans le rumen sur le pH ruminal**

### **Considérations pratiques** (Hutjens, 2007)

<u>Bactéries utilisées chez la vache :</u>	Lactobacillus, bifidobactéries et entérocoques.
Quantité :	Variable suivant le produit (ex. : 2 g/jour correspondant à 10 <sup>9</sup> à 10 <sup>10</sup> unités formatrices de colonies (UFC) (ProbioTC de Chr. Hansen : mélange de levures et bactéries).
Mode d'administration :	Dans l'aliment solide.
Périodes d'administration :	2 semaines avant le vêlage jusqu'à 10 semaines après vêlage. Avant et pendant une période de stress (transport, par exemple). À la suite d'une perte d'appétit.
Durée de vie à l'entreposage :	1 an.
Coût :	5 à 15 cents/vache/jour.
Statut :	À l'étape d'évaluation.
<u>Levure utilisée chez la vache :</u>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> .
Exemples de produits commercialisés :	YEA-SACC Alltech 1026; Chr-Hansen Biomate; Diamond V « XP », Levucell SC de Lallemand).
Quantité :	Entre 0,5 à 10 g/jour dépendant de la concentration en levure et correspondant à 10 <sup>9</sup> à 10 <sup>10</sup> UFC.
Mode d'administration :	Dans l'alimentation solide.
Périodes d'administration :	2 semaines avant le vêlage jusqu'à 10 semaines après vêlage. Avant et pendant une période de stress (transport, par exemple). À la suite d'une perte d'appétit.
Durée de vie à l'entreposage :	1 an.
Coût :	4 à 6 cents/vache/jour.
Statut :	Recommandé.
Rapport coût/bénéfice :	1/4



## Restrictions concernant les probiotiques

Certains critères microbiologiques doivent être satisfaits pour que les probiotiques puissent jouer le rôle voulu en production animale. Le probiotique doit être : 1) non pathogène, 2) spécifique à son hôte, 3) résistant à l'environnement du système digestif (ex. pH) et 4) génétiquement stable. Une part importante de la variabilité de la réponse aux probiotiques est due à la variation de certains facteurs : souches utilisées, viabilité des microorganismes (survie au processus de cubage, par exemple), état de l'animal et nature de la ration. Un autre facteur important à prendre en considération est la variabilité intrinsèque entre les animaux d'un même troupeau. En effet, certains paramètres concernant le comportement alimentaire, comme la vitesse d'injection et d'abreuvement, et des facteurs physiologiques tels que le renouvellement du contenu ruminal et le volume de la production de salive varient d'un animal à l'autre et pourraient expliquer les disparités entre les résultats de différents essais.

L'absence de résultats observables peut être attribuable au fait que le probiotique ne satisfait pas à certains de ces critères. D'après les études publiées au sujet des ruminants, les bactéries et les levures probiotiques ne semblent pas indiquées pour le traitement des animaux extrêmement malades.

## Facteurs à considérer avant d'introduire les probiotiques à la ferme

- 1) Avant de donner des probiotiques à des vaches qui ne produisent pas à leur plein potentiel, vérifier que la ration qu'elles reçoivent est bien équilibrée et que vos instruments de mesure sont bien calibrés.
- 2) Évaluer les pratiques de gestion du troupeau qui pourraient affecter vos vaches de façon négative.
- 3) Choisir le bon probiotique en fonction de la réponse attendue.
- 4) S'assurer qu'il s'agit d'un produit qui a fait l'objet d'expérimentations rigoureuses.

## Mesure de la réponse à la ferme (Kung, 2005)

Il n'y a pas de méthodes parfaites pour évaluer de façon précise à la ferme si un probiotique donne les résultats attendus. Cependant, les quelques points suivants peuvent aider à faire une évaluation plus éclairée que le système dit « à l'œil! » :

- 1) Il est important d'avoir un bon système d'enregistrement des données de performance du troupeau.
- 2) Enregistrer les données de performances des vaches deux semaines avant l'introduction des probiotiques.

- 3) Pendant la période de supplémentation en probiotique, ne pas faire de changements majeurs dans la gestion du troupeau ou dans la ration.
- 4) Idéalement, former un groupe de vaches contrôles et un groupe de vaches traitées en essayant de distribuer dans chacun de ces groupes des vaches qui sont au même stade de lactation, avec une production de lait similaire, une ration similaire et ayant un nombre de lactations similaire.
- 5) Alternativement, ne former qu'un seul groupe de vaches traitées et mesurer les performances avant, pendant et après le traitement.

## Recherches futures à effectuer

- Des études portant sur la caractérisation de la digestibilité ruminale et la digestibilité totale (c.-à-d. considérant la totalité du tractus digestif) lorsque des probiotiques sont administrés dans l'alimentation.
- D'autres études comprenant des informations détaillées au sujet du supplément microbien utilisé et de la composition microbienne des matières fécales dans le cas d'expériences menées sur des animaux nouveau-nés souffrant de diarrhée.
- Poursuite de la recherche avec des modèles d'acidose provoquée sur différents probiotiques et différentes combinaisons de probiotiques.
- D'autres études sur l'utilisation de probiotiques bactériens chez la vache en lactation sont nécessaires pour que des recommandations puissent être formulées à l'intention des producteurs laitiers.

## Défis de l'avenir pour les probiotiques

- Les probiotiques peuvent-ils être utilisés pour réduire les émissions de polluants azotés dans l'environnement?
- Est-ce que les levures probiotiques peuvent être utilisées afin de réduire la production de méthane ruminal?
- Peut-on stimuler des bactéries ruminales telles que *Butyrivibrio fibrisolvens* au moyen de levures afin que le lait ait une teneur accrue en acide linoléique conjugué?
- Serait-il possible de sélectionner certaines souches de levures afin de neutraliser les mycotoxines du rumen?

### Conclusion

*Il est important de retenir que la réponse aux probiotiques est très variable. Cette variabilité provient du fait que le traitement est constitué de matériel vivant par opposition à une molécule chimique stable. Cette variabilité est observée même entre les souches d'une même espèce. Il sera donc important dans les recherches à venir de déterminer les souches spécifiques qui agissent et leur mode d'action ainsi que les conditions optimales d'utilisation.*

## Conclusion générale

L'utilisation de microorganismes pour le maintien d'une bonne santé et la prévention ou le traitement des maladies est un sujet d'étude qui remonte aux débuts de la microbiologie. Toutefois, notre grand manque de connaissances sur la composition des populations de microorganismes retrouvées chez les animaux, ainsi que sur leur environnement et leurs besoins biologiques, a nui à la mise en application de probiotiques efficaces. Avec les avancées techniques de la biologie moléculaire, nous serons en mesure de mieux comprendre les écosystèmes microbiens retrouvés chez les animaux et les gènes qui déterminent leur activité. Notre compréhension grandissante de la compétition et de la coopération des espèces microbiennes ruminales facilitera la conception de nouveaux probiotiques ayant une efficacité accrue (Dominguez-Bello et Blaser, 2008).

## Références

- Adams, A.L., B. Harris, Jr. H.H. Van Horn et C.J. Wilcox. 1995. *Effects of varying forage types on milk production responses to whole cottonseed, tallow, and yeast*. J. Dairy Sci. 78:573-581.
- Al-Dobaib, S.N. et H.M. Mousa. 2009. *Benefits and risks of growth promoters in animal production*. Journal of Food, Agriculture and Environment 7:202-208.
- Bach, A., C. Iglesias et M. Devant. 2007. *Daily rumen pH pattern of loose-housed dairy cattle as affected by feeding pattern and live yeast supplementation*. Animal Feed Science and Technology 136:146-153.
- Beauchemin, K.A., C.R. Krehbiel et C.J. Newbold. 2006. *Enzymes, bacterial direct-fed microbials and yeast: principles for use in ruminant nutrition*. In: Mosenthin, R., J. Zentek and T. Zebrowska (Eds), *Biology of nutrition in growing animals*. Elsevier, London, pp.251-284.
- Bechman, T.J., J.V. Chambers et M.D. Cunningham. 1977. *Influence of Lactobacillus acidophilus on performance of young dairy calves*. J. Dairy Sci. 60 (Suppl. 1): 74.
- Chaucheyras-Durand, F. et G. Fonty. 2001. *Establishment of cellulolytic bacteria and development of fermentation activities in the rumen of gnotobiotically-reared lambs receiving the microbial additive Saccharomyces cerevisiae CNCM I-1077*. Reprod. Nutr. Dev. 41:57-68.
- Chaucheyras-Durand, F. et G. Fonty. 2002. *Influence of a probiotic yeast (Saccharomyces cerevisiae CNC I-1077) on microbial colonization and fermentation in the rumen of newborn lambs*. Microb. Ecol. Health Dis. 14:30-36.
- Chaucheyras-Durand, F., N.D. Walker et A. Bach. 2008. *Effects of active dry yeasts on the rumen microbial ecosystem: Past, present and future*. Anim. Feed Sci. and Technol. 145:5-26.

- Chiquette, J. 1995. *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae*, used alone or in combination, as a feed supplement for beef and dairy cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 75:405-415.
- Chiquette, J., M.J. Allison et M.A. Rasmussen. 2008. *Prevotella bryantii* 25A used as a probiotic in early-lactation dairy cows: Effect on ruminal fermentation characteristics, milk production, and milk composition. *J. Dairy Sci.* 91:3536-3543.
- Chiquette, J. 2009. Evaluation of the protective effect of probiotics given to dairy cow during a subacute rumen acidosis challenge. *Anim Feed Sci. and Technol.* 153: 278-291.
- Desnoyers, M., S. Giger-Reverdin, G. Bertin, C. Duvaux-Ponter et D. Sauvant. 2009. *Meta-analysis of the influence of Saccharomyces cerevisiae supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants.* *J. Dairy Sci.* 92:1620-1632.
- Dominguez-Bello, M.G. et M.J. Blazer. 2008. *Do you have a probiotic in your future? Microbes and Infection*, 10:1072-1076.
- Fox, S.M. 1988. *Probiotics intestinal inoculants for production animals.* *Vet. Med.* 83:806-830.
- Fuller, R. 1977. *The importance of lactobacilli in maintaining normal microbial balance in the crop.* *Br. Poult. Sci.* 18:85-94.
- Fuller, R. 1989. *Probiotics in man and animals.* *J. Appl. Microbiol.* 66:365-378.
- Galvao, K.N., J.E.P. Santos, A. Coscioni, M. Villasenor, W.M. Sicho et A.C.B. Berge. 2005. *Effect of feeding live yeast products to calves with failure of passive transfer on performance and patterns of antibiotic resistance in fecal Escherichia coli.* *Reprod. Nutr. Dev.* 45:427-440.
- Gomez-Basauri, J., M.B. de Ordanza et J. Siciliano-Jones. 2001. *Intake and milk production of dairy cows fed lactic acid bacteria and mannanoligosaccharide.* *J. dairy Sci.* 84 (Suppl. 1) 283 (Abstract).
- Greening, R.C., W.J. Smolenski, R.L. Bell, K.M. Barsuhn, M. Johnson et J.A. Robinson. 1991. *Effects of inoculation of Megasphaera elsdenii strain 407A (UC-12497) on ruminal pH and organic acids in beef cattle,* *J. Anim. Sci.* 69 (Suppl. 1) 518 (Abstract).
- Havenaar, R., B. ten Brink et J.H.J. Huis in't Veld. 1992. In: Fuller, R. (Ed.), *Probiotics, The Scientific basis.* Chapman & Hall, London, pp. 209-224.
- Holzapfel, W.H., P. Haberer, J. Snel, U. Schillinger et J.H.J. Huis in't Veld. 1998. *Overview of gut flora and probiotics.* *Int. J. Food Microbiol.* 41: 85-101.
- Hutjens, M.F. 2007. *Feed additives-the good, the bad and the useless.* Western Canadian Dairy Seminar, *Adv. in Dairy Technol.* 19:87-101.

- Jacquette, R.D., R.J. Dennis, J.A. Coalson, D.R. Ware, E.T. Manfredi et P.L. Read. 1988. *Effect of feeding viable Lactobacillus acidophilus (BT1386) on performance of lactating dairy cows*. J. Dairy Sci. 71 (Suppl. 1) 219 (Abstract).
- Jouany, J.P. 2006. *Optimizing rumen functions in the close-up transition period and early lactation to drive dry matter intake and energy balance in cows*. Anim. Reprod. Sci. 96:250-264.
- Jouany, J.P., F. Mathieu, J. Sénaud, J. Bohatier, G. Bertin et M. Mercier. 1999. *Influence of protozoa and fungal additives on ruminal pH and redox potential*. S. Afr. J. Anim. Sci. 29:65-66.
- Krehbiel, C.R., S.R. Rust, G. Zhang et S.E. Gilliland. 2003. *Bacterial direct-fed microbials in ruminant diets: Performance response and mode of action*. J. Anim Sci. 81(14\_suppl\_2):E120-132.
- Kung, L. 2005. *Feed additives: modes of action and assessing their efficacy*. Proceedings of the Intermountain Nutrition Conference, Salt Lake City, UT.
- Kung, L. et A.O. Hession. 1995. *Preventing in vitro lactate accumulation in ruminal fermentation by inoculation with Megaspheera elsdenii*. J. Anim. Sci. 73:250-256.
- Lehloenya, K.V., D.R. Stein, D.T. Allen, G.E. Selk, D.A. Jones, M.M. Aleman, T.G. Rehberger, K.J. Mertz et L.J. Spicer. 2007. *Effect of feeding yeast and propionibacteria to dairy cows on milk yield and components, and reproduction*. J. Anim. Physiol. and Anim. Nutr. 92:190-202.
- Lynch, H.A. et S.A. Martin. 2002. *Effects of Saccharomyces cerevisiae culture and Saccharomyces cerevisiae live cells on in vitro mixed ruminal microorganism fermentation*. J. Dairy Sci. 85:2603-2608.
- Maeng, W.J., C.W. Kim et H.T. Shin. 1987. *Effect of a lactic acid bacteria concentrate (Streptococcus faecium Cernelle 68) on growth rate and scouring prevention in dairy calves*. Korean J. Dairy Sci. 9:204-210.
- Mosoni, P., F. Chaucheyras-Durand, C. Bérat-Maillet et E. Forano. 2007. *Quantification by real-time PCR of cellulolytic bacteria in the rumen of sheep after supplementation of a forage diet with readily fermentable carbohydrates. Effect of a yeast additive*. J. Appl. Microbiol. 103:2676-2685.
- Newbold, C.J., F.M. McIntosh et R.J. Wallace. 1996. *Mode of action of the yeast, Saccharomyces cerevisiae, as a feed additive for ruminants*. Br. J. Nutr. 76: 249-261.
- Nocek, J.E. et W.P. Kautz. 2006. *Direct-fed microbial supplementation on ruminal digestion, health, and performance of pre- and postpartum dairy cattle*. J. Dairy Sci. 89:260-266.
- Nocek, J.E., W.P. Kautz, J.A.Z. Leedle et J.G. Allman. 2002. *Ruminal supplementation of direct-fed microbials on diurnal pH variation and in situ digestion in dairy cattle*. J. Dairy Sci. 85:429-433.

- Nocek, J.E., W.P. Kautz, J.A.Z. Leedle et E. Block. 2003. *Direct-fed microbial supplementation on the performance of dairy cattle during the transition period*. J. Dairy Sci. 86:331-335.
- Oetzel, G.R., K.M. Emery, W.P. Kautz et J.E. Nocek. 2007. *Direct-fed microbial supplementation and health and performance of pre- and postpartum dairy cattle: A field trial*. J. Dairy Sci. 90:2058-2068.
- Palm, H. 2004. *Microbial teamwork pays*. Feed mix. 12:13-15.
- Peterson, R.E., T.J. Klopfenstein, G.E. Erickson, J. Folmer, S. Hinkley, R.A. Moxley et D.R. Smith. 2007. *Effect of Lactobacillus acidophilus strain NP51 on E. coli O157:H7 fecal shedding and finishing performance of beef feedlot cattle*. J. Food Protection 70:287-291.
- Putnam, D.E., C.G. Schwab, M.T. Socha, N.L. Whitehouse, N.A. Kierstead et B.D. Garthwaite. 1997. *Effect of yeast culture in the diets of early lactation dairy cows on ruminal fermentation and passage of nitrogen fractions and amino acids to the small intestine*. J. Dairy Sci. 80:374-384.
- Raeth-Knight, M.L., J.G. Linn et H.G. Jung. 2007. *Effect of direct-fed microbials on performance, diet digestibility, and rumen characteristics of Holstein dairy cows*. J. Dairy Sci. 90:1802-1809.
- Robinson, P.H. et J.E. Garrett. 1999. *Effect of yeast culture (Saccharomyces cerevisiae) on adaptation of cows to postpartum diets and on lactational performance*. J. Anim. Sci. 77:988-999.
- Roger, V., G. Fonty, S. Komisarczuk-Bony et P. Gouet. 1990. *Effects of physicochemical factors on the adhesion to cellulose Avicel of the ruminal bacteria Ruminococcus flavefaciens and Fibrobacter succinogenes subsp. succinogenes*. Appl. Environ. Microbiol. 56:3081-3087.
- Stein, D.R., D.T. Allen, E.B. Perry, J.C. Bruner, K.W. Gates, T.G. Rehberger, K. Mertz, D. Jones et L.J. Spicer. 2006. *Effects of feeding propionibacteria to dairy cows on milk yield, milk components, and reproduction*. J. Dairy Sci. 89:111-125.
- Tannock, G.W. 1983. *Effect of dietary and environmental stress on the gastrointestinal microbiota*. In: Hentges, D. (Ed.), Human intestinal microflora in health and disease. Academic Press, New York, NY, pp. 517-539.
- Ware, D.R., P.L. Read et E.T. Manfredi. 1988 a. *Lactation performance of two large dairy herds fed Lactobacillus acidophilus strain BT138 in a switchback experiment*. J. Dairy Sci. 71 (Suppl. 1) 219.
- Williams, P.E., C.A. Tait, G.M. Innes et C.J. Newbold. 1991. *Effects of the inclusion of yeast culture (Saccharomyces cerevisiae plus growth medium) in the diet of dairy cows on milk yield and forage degradation and fermentation patterns in the rumen of steers*. J. Anim. Sci. 69:3016-3026.