

Symposium sur les bovins laitiers

Une initiative du
Comité bovins laitiers



Nutrition, alimentation et reproduction

Jean BRISSON, agronome
Agent-conseil spécialisé

Équipe de R&D du PATLQ
Sainte-Anne-de-Bellevue (Québec)

Conférence préparée avec la collaboration de :

Daniel LEFEBVRE, Ph.D., agronome, agent de R&D, PATLQ
Bruno GOSSELIN, agronome, M.Sc., agent de liaison, PATLQ
Hélène PETIT, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Lennoxville
Essi EVANS, Essi Evans Technical Advisory Services Inc.

30 octobre 2003
Hôtel des Seigneurs
Saint-Hyacinthe



Messages à retenir

- L'énergie joue un rôle déterminant dans la reproduction de la vache laitière. La perte de poids dans les premiers jours de la lactation doit être gardée au plus bas par des bonnes stratégies alimentaires.
- La protéine de la ration pourrait, dans certaines circonstances, avoir des effets négatifs sur la reproduction, notamment en diminuant les chances d'implantation de l'embryon dans l'utérus. Le dosage de l'urée dans le lait peut être un moyen de garantir une nutrition protéique sécuritaire.
- La majorité des minéraux, majeurs et mineurs, ont un rôle à jouer en reproduction. Le rôle du phosphore n'est certainement pas aussi déterminant qu'on pourrait le croire.
- Les besoins en vitamines A, D et E doivent être couverts. La question du β -carotène n'est pas parfaitement élucidée.
- Les modes de logement et nos conditions climatiques au Québec présentent des défis intéressants selon les saisons.

1. INTRODUCTION

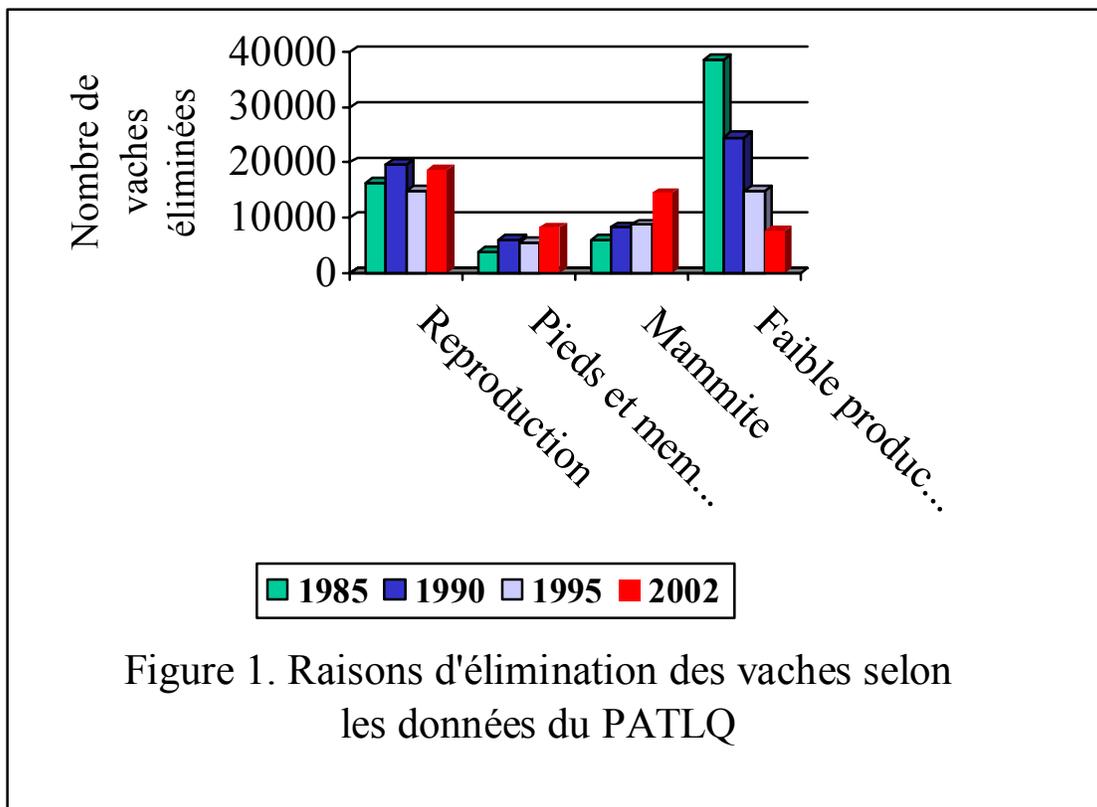
L'impact de la nutrition sur la reproduction est reconnu depuis très longtemps. On rapporte que les sociétés anciennes étaient très au courant des effets de la nutrition et de la lactation sur la reproduction. Aristote a écrit que la nutrition était le facteur environnemental le plus important dans le contrôle de la conception. Dans notre société moderne, les effets de la nutrition sur la reproduction vont dans le même sens. Les animaux en mauvaise condition, ou perdant du poids, ont généralement des performances reproductives décevantes. La raison qui est le plus souvent citée pour expliquer ce phénomène, c'est la hiérarchisation des priorités des nutriments. Après le vêlage, la vache dirige en priorité l'énergie consommée vers la production, et en second lieu vers la reprise de la condition de chair (tissus adipeux). C'est seulement une fois que ces besoins sont satisfaits que le processus de reproduction est ré- initié. On peut penser que c'est dans l'ordre des choses en regard de la survie de l'espèce : la production laitière, indispensable à la survie du nouveau-né, a priorité sur la reproduction. Il est plus important d'assurer la survie du veau que d'en concevoir un autre !

Les mécanismes par lesquels la nutrition contrôle la reproduction sont certainement d'un grand intérêt. Il demeure important d'assurer des vêlages à l'intérieur d'intervalles raisonnables. Il faut très peu d'énergie pour l'ovulation d'un follicule, pour la formation du corps jaune et le maintien d'une gestation qui n'en est qu'à ses débuts, à comparer avec les besoins de la vache en début de lactation. À mesure que la gestation progresse, les besoins liés à cette fonction augmentent, ce qui n'a généralement pas de conséquence puisque les besoins liés à la production laitière diminuent au fur et à mesure que la lactation avance.

Dans nos conditions modernes de production laitière, la reproduction représente certainement l'un des plus intéressants défis à relever. Un défi, parce que la production a atteint des niveaux sans commune mesure avec les besoins d'origine. Un défi, parce que la reproduction ne se mesure pas aussi facilement que le volume de lait ou sa teneur en protéine, et ce, malgré le développement de nouveaux outils de diagnostic. Un défi, enfin, parce que les pertes économiques associées à l'infertilité sont importantes, et dépassent largement le coût de l'insémination et de la semence.

Par ailleurs, il faut réaliser que nous ne sommes pas les premiers à nous questionner sur les problèmes de reproduction. Un auteur du Minnesota écrivait : « Ces dernières années, l'opinion partagée par un grand nombre de producteurs de lait est que les problèmes de reproduction viennent avec les fortes productions. Les producteurs ont eu l'impression que les problèmes de reproduction ont augmenté ces dernières années. Comme les niveaux de production ont également augmenté durant la même période, la conclusion a été tirée que les deux ont une relation de cause à effet. » Ceci a été écrit... en 1929 !

Parmi les raisons d'élimination des vaches au Québec, la reproduction occupe la première place, et ce, depuis déjà quelques années. C'est ce que nous révèlent les rapports de production du PATLQ. Depuis 1985, c'est entre 15 000 et 20 000 vaches qui sont éliminées pour cause de problèmes de reproduction. Cela demeure une préoccupation majeure, d'autant plus que les vaches éliminées pour cette raison sont souvent de bonnes productrices qui sont éliminées à regret.



Les données publiées un peu partout dans le monde semblent indiquer que la reproduction des vaches laitières est plus difficile aujourd'hui qu'il y a quelques décennies. Qu'en est-il pour les vaches du Québec ? Les données du CIAQ sur le pourcentage de non-retour indiquent une baisse de l'ordre de 3 unités (de 70 à 67 %) entre 1991 et 2001 (CIAQ, communications personnelles). Ce n'est peut-être pas alarmant, mais c'est certainement préoccupant. Comment expliquer que la reproduction soit plus difficile aujourd'hui ? L'augmentation de la production par vache a augmenté de façon spectaculaire depuis 25 ans. Est-il légitime de « blâmer » l'augmentation de la production ?

Si on en juge par l'intervalle de vêlage d'après la base de données du PATLQ (tableau 1), les performances de reproduction des troupeaux ayant un niveau de production élevé (supérieur à 10 000 kg par vache) sont très comparables à celles des troupeaux ayant une production par vache plus faible. Par ailleurs, si on en juge par le nombre de saillies par conception, il est évident que la fertilité est moins bonne pour les troupeaux ayant une production par vache plus élevée. On peut spéculer que la qualité de la régie dans les troupeaux à production élevée compense pour la baisse de fertilité. Nous verrons dans le chapitre sur l'énergie qu'il est possible de maintenir un niveau satisfaisant de fertilité même avec des vaches fortes productrices.

Tableau 1. Effet du niveau de production sur les performances de reproduction (données du PATLQ, 2002, sur 6 238 troupeaux)

Production (kg/vache/an)	Nombre de troupeaux	Intervalle de vêlage	Intervalle vêlage 1^{re} saillie	Saillies par vache
< 6 000	364	421	82	1,64
6 001-7 000	742	423	88	1,73
7 001-8 000	1534	420	86	1,81
8 001-9 000	1962	417	83	1,89
9 001-10 000	1231	417	83	1,91
> 10 001	405	420	88	1,89

2. ÉNERGIE

Introduction

L'impact de l'énergie sur les performances en reproduction est clair et admis par tous. L'énergie est-elle pour autant l'aspect de la nutrition le plus important relativement à la reproduction ? Il faut plutôt dire que tous les nutriments ont leur importance afin de réaliser des performances de reproduction à la hauteur de vos attentes. D'un autre côté, il faut bien admettre que l'énergie est probablement l'aspect le plus difficile à gérer. Il faut se rappeler qu'à eux seuls, les glucides représentent autour de 70 % de la ration de la vache laitière, qu'elle soit tarie ou en lactation. La vache a besoin d'énergie en grandes quantités. Quand il est question d'apport énergétique, on ne parle pas de milligrammes ou de grammes, mais plutôt de kilogrammes de nourriture, et de plusieurs kilogrammes. Nous savons bien que le maïs-grain, par exemple, est un aliment riche en énergie. Mais avec un kilo de maïs, la vache qui produit 30, 40, 50 kg de lait par jour ne va

pas bien loin. De plus, avec l'énergie, nous sommes un peu coincés entre assurer des apports suffisants, et ne pas basculer du côté de la ration trop pauvre en fibre, qui pourrait entraîner acidose, fourbure et par conséquent problèmes de reproduction. L'énergie présente des défis intéressants qu'il faut relever pour assurer des vêlages à intervalles réguliers.

Relation Énergie-Reproduction

Voici quelques-unes des conclusions rapportées par les chercheurs ayant travaillé sur la question :

- La production quotidienne et cumulative des 21 premiers jours de lactation est plus étroitement associée avec la fertilité que la production à 305 jours.
- Il y a une relation étroite entre le déficit en énergie durant les 3 premières semaines de lactation, l'intervalle vêlage – première ovulation et la fertilité.
- Parmi les fortes productrices, les vaches qui ont le déficit en énergie le plus important sont celles qui ont la période d'anoestrus (absence de chaleur) la plus longue.
- La longueur de la période d'anoestrus a été associée à une diminution du relâchement de la LH par l'hypophyse, et à une diminution de la réponse de l'ovaire à la LH.
- Plusieurs facteurs sont associés à la longueur de l'intervalle vêlage - première chaleur :
 - o Niveau de production;
 - o Bilan énergétique;
 - o Changement de poids vif;
 - o Changements des niveaux de glucocorticoïdes, de LH et d'estradiol.

Le fil conducteur est, de toute évidence, le déficit en énergie, en particulier durant les toutes premières semaines de lactation. Très simplement, il y a déficit lorsque les sorties excèdent les entrées. C'est vrai pour un budget, c'est vrai en commerce international, c'est vrai également pour l'énergie d'une vache. Pour avoir un bilan négatif, cela présuppose d'abord qu'il y ait des réserves. La vache qui n'a que très peu de réserves (qui n'a que la peau et les os, comme on dit) ne peut pas être en bilan énergétique négatif pour une période prolongée. Les sorties d'énergie (production de lait, gestation) baisseront rapidement pour ne pas excéder les entrées (énergie consommée). La vache qui a des réserves d'énergie (cela se voit à l'œil) pourrait être en bilan énergétique négatif. Si les entrées d'énergie sont insuffisantes pour couvrir les sorties, elle va compenser en utilisant ses réserves. Trois conditions pourraient mener à un déficit énergétique :

- Niveau de dépenses élevé (production quotidienne élevée, test de gras élevé, etc.).
- Niveau d'entrées faible attribuable à un problème de consommation (aliments peu appétents, manque d'eau, fièvre, etc.).
- Niveau d'entrées faible attribuable à un mauvais balancement de la ration (pas suffisamment riche en énergie, texture de grain inadéquate, rumination insuffisante, etc.).

Nous reviendrons un peu plus loin sur les précautions à prendre pour éviter que de telles conditions ne se présentent. Pour bien visualiser l'impact d'un problème d'énergie sur la reproduction, nous allons examiner le cas de deux vaches pour lesquelles l'auteur rapporte l'information détaillée du début de lactation (Butler et Smith, 1989). Cela nous permettra de bien saisir les conséquences d'un déficit trop important.

Examinons d'abord la vache N° 1688. On constate que son bilan énergétique (ligne du bas de la figure 2) était à zéro au jour du vêlage, a chuté autour de -20 Mcal par jour une semaine après le vêlage pour remonter progressivement et revenir à zéro autour de 35 jours en lactation. L'échelle rapportant le poids vif est trop serrée pour que l'on puisse en tirer de l'information précise. La perte de poids ne semble pas avoir été importante de par l'allure de la courbe. La consommation d'énergie a été soutenue, et surtout en ligne avec la production. Côté reproduction, c'est presque trop beau pour être vrai :

- 1^{re} chaleur très tôt en début de lactation;
- Cycles à intervalles réguliers (21 et 19 jours entre les chaleurs);
- Conception dès la 1^{re} saillie.

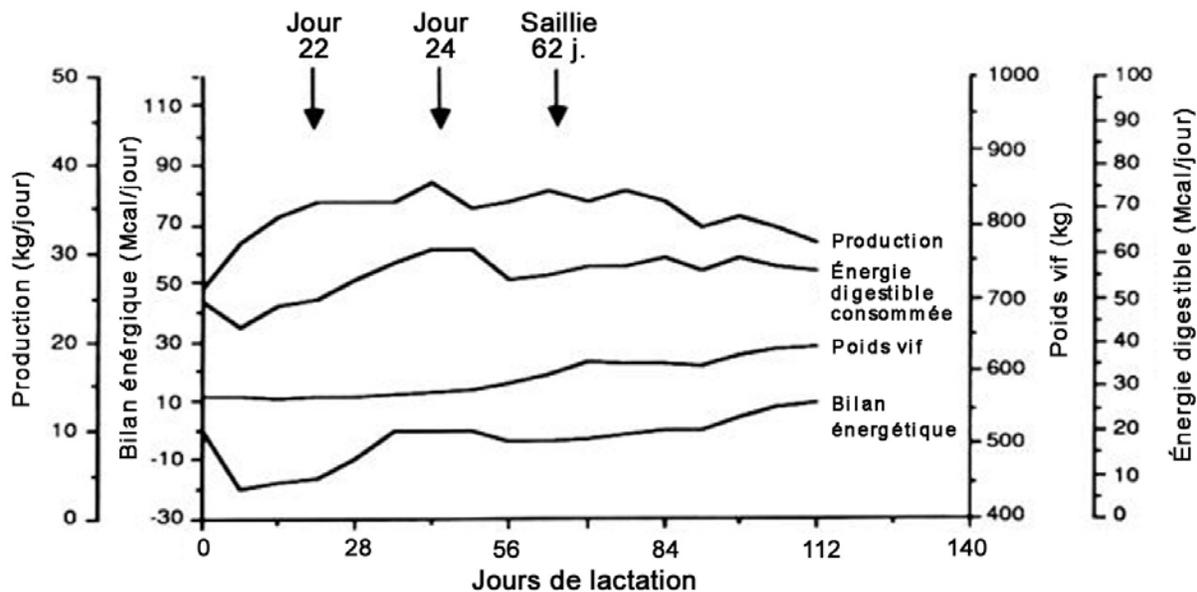


Figure 2. Relation entre la production de lait, la consommation d'énergie digestible, le poids vif et le bilan énergétique du début de la lactation pour la vache N° 1688. La vache est venue en chaleur et elle a ovulé à 22, 43 et 62 jours en lait tel qu'indiqué par les flèches. Elle a été inséminée à sa 3^e chaleur (62 jours en lait) et elle a conçu dès la 1^{re} insémination (adapté de Butler et Smith, 1989).

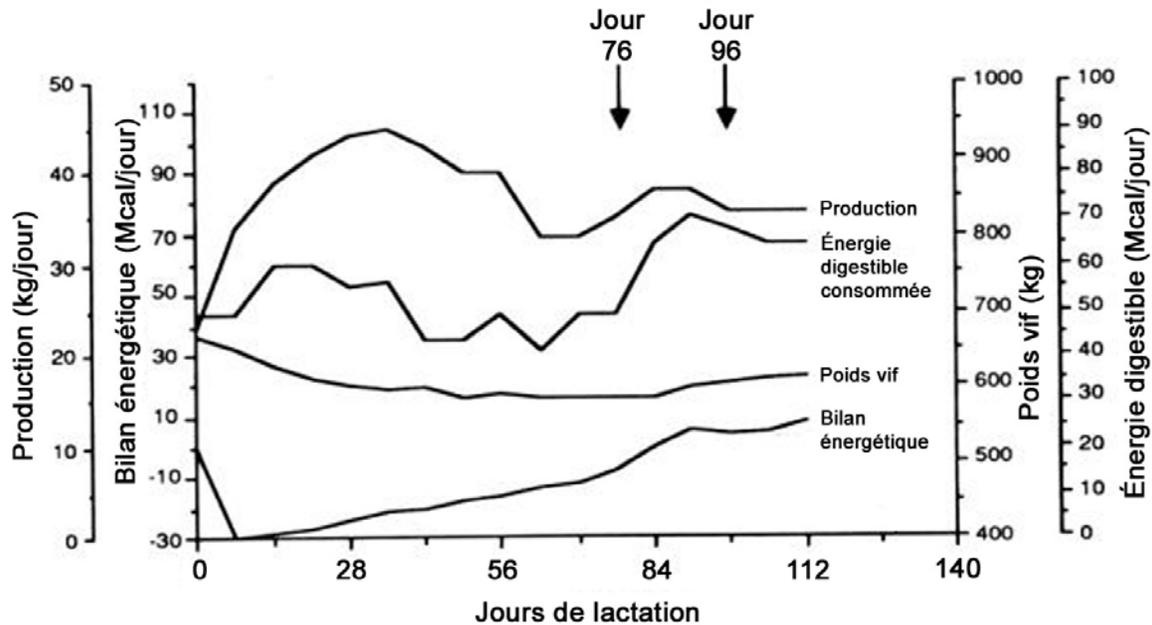


Figure 3. Relation entre la production de lait, la consommation d'énergie digestible, le poids vif et le bilan énergétique du début de la lactation pour la vache N° 26. La vache est venue en chaleur et elle a ovulé pour la première fois à 76 jours en lait. Elle n'a pas conçu après 2 saillies suivant les deux chaleurs observées à 76 et à 96 jours en lait (adapté de Butler et Smith, 1989).

Le cas de la vache N° 26 est passablement différent. Son bilan énergétique (ligne du bas de la figure 3) était aussi à zéro au vêlage, mais a chuté à -30 Mcal par jour une semaine après le vêlage. Il lui aura fallu 84 jours avant de revenir à zéro. Ça signifie qu'elle aura maigri pendant 3 mois. Tout un régime... Même si l'échelle de la courbe du poids vif est serrée, on constate que la perte est importante. C'est le résultat d'une production élevée combinée à une consommation d'énergie très moyenne jusqu'à la 12^e semaine de lactation. On constate également que la production au pic a été bonne, mais qu'elle a chuté abruptement autour de 60-70 jours en lait. La chute ne peut certainement pas s'expliquer par le fait que la gestation ait été confirmée, puisqu'elle n'avait pas encore été saillie... On peut soupçonner que la chute a plutôt coïncidé avec le moment où les réserves d'énergie ont été épuisées. Côté reproduction, c'est loin de la situation rêvée :

- Aucun signe de chaleur avant le 76^e jour de lactation;
- Deux saillies non fécondantes malgré un intervalle régulier de 20 jours entre les deux saillies.

Nous rêvons évidemment que la reproduction des vaches du troupeau se passe comme pour la vache N° 1688. Malheureusement, des vaches comme la N° 26, il y en a dans plusieurs étables du Québec.

Un autre facteur qui revêt une importance capitale, c'est le fait que les vaches qui gagnent du poids au moment de l'insémination ont un taux de conception supérieur à celui des vaches qui en perdent. Et c'est un phénomène qui n'est pas unique aux vaches laitières. Chez plusieurs espèces, on pratique la suralimentation dans les jours qui précèdent la saillie pour la simple raison que les résultats sont meilleurs.

Une étude (Gerloff et Morrow, 1986) fait état d'un taux de réussite à la saillie de 67 % pour les vaches gagnant du poids comparé à 44 % pour les vaches en perdant. Une seconde étude (King, 1968) fait état d'un taux de réussite de 77 % pour les vaches gagnant du poids comparé à 16 % pour les vaches en perdant. D'autres études (Baishya *et al.*, 1982), portant cette fois sur des taures de remplacement, font état d'un écart de l'ordre de 35 % du taux de réussite pour les taures gagnant du poids au moment de la saillie, comparé à celles en perdant. Assez éloquent, n'est-ce pas ?

On expliquerait la diminution du taux de conception des vaches perdant du poids par une diminution du pic de LH et de plus faibles concentrations de progestérone (Weaver, 1987). La concentration de progestérone dans le sang est influencée par le bilan énergétique; elle a tendance à être plus faible au 1^{er} cycle après le vêlage, au 1^{er} cycle des taures et en été, ce qui s'expliquerait par le fait que le corps jaune est moins actif et qu'il répond moins à la LH.

Cote d'état de chair, outil de gestion de l'énergie

Revenons au bilan énergétique. C'est une donnée relativement facile à générer pour une ferme de recherche. Ce n'est pas si simple pour une ferme commerciale. Nous ne sommes pas dépourvus de moyens pour autant, parce que le bilan énergétique, qu'il soit positif ou négatif, se traduit par un changement au niveau des réserves de graisses. Et le niveau des réserves, il est possible de le qualifier (Edmonson *et al.*, 1989). Nous avons la possibilité de faire l'évaluation de l'état de chair. Un système de pointage, avec une échelle qui va de 1 à 5, a en effet été mis au point il y a de cela plusieurs années. Quoiqu'imparfait parce basé sur une évaluation subjective, il n'en permet pas moins de se faire une idée de la perte ou du gain de poids d'une vache ou d'un groupe de vaches. Des chercheurs ont travaillé à déterminer la composition corporelle associée à un animal à différentes cotes d'état de chair. À la lecture du tableau 2, on constate que l'animal avec une cote d'état de chair à 5,0 a des réserves de graisse très significatives alors que l'animal qui a une cote à 1,0 n'a pas de réserves de graisse à sa disposition pour compenser un déficit énergétique. Il y a en effet des fonctions vitales qui requièrent du gras, et ce n'est donc pas tout le gras corporel qui peut être utilisé pour la production par exemple. Les réserves sont également très significatives pour l'animal ayant une cote de 4,0. Ça ne signifie pas pour autant que la vache ayant une cote élevée est en meilleure position pour se reproduire efficacement puisqu'il y a la question de la gestion de l'utilisation de ces réserves qui peut poser un problème. On sait en effet que la vache qui arrive au vêlage dans un état de chair excessif a souvent un appétit capricieux, un foie moins fonctionnel, etc.

Tableau 2. Composition corporelle en fonction de la cote d'état de chair (adapté de Ferguson et Otto, 1989 et Otto *et al.*, 1991)

Constituant	État de chair				
	1	2	3	4	5
Eau	70,0	64,5	57,0	47,4	47,3
Protéine	18,5	19,6	16,9	13,4	12,5
Gras	10,6	14,6	25,0	38,3	39,3
Cendres	0,94	1,04	0,89	0,70	0,59

Le tableau 3 nous donne un aperçu des quantités d'énergie représentées par un point de cote d'état de chair. Ainsi, à titre d'exemple, une vache de 700 kg qui passerait d'une cote de 4,0 à 3,0 et qui aurait un déficit en énergie moyen de 10 Mcal par jour mettrait 45 jours (450/10) à perdre un point de cote. La vache de 400 kg qui passerait d'une cote de 3,0 à 2,0 et qui aurait un déficit en énergie moyen de 10 Mcal par jour ne mettrait que 25 jours (245/10). La vache N° 26 que nous avons examinée plus haut, avec un bilan à -30 Mcal/jour très tôt en début de lactation, aura perdu un point de cote de chair dans le temps qu'il faut pour le dire...

Tableau 3. Énergie (Mcal) remise en circulation dans l'organisme par la perte d'un point de cote de chair pour des vaches à des poids vifs différents (NRC, 2001)

Cote d'état de chair	Poids vif (kg)			
	400	500	600	700
2	230	288	346	404
3	245	307	368	430
4	257	321	385	450
5	266	332	399	465

Une recherche dont les résultats ont été publiés en 1995 (Zurek *et al.*, 1995) (tableau 4) a permis de préciser un certain nombre de points :

- L'ovulation peut arriver même si la vache a encore un bilan énergétique négatif.
- L'ovulation arrive généralement 10-15 jours après le moment où le déficit en énergie le plus négatif a été atteint.
- Ce n'est pas seulement la valeur absolue du déficit en énergie qui compte, mais aussi la dynamique ou la manière selon laquelle la perte de poids évolue dans le temps.
- Les vaches qui produisent plus de lait ne sont pas forcément les vaches à ovuler le plus tardivement.

Tableau 4. Détails du bilan énergétique des vaches selon qu'elles ont ou non ovulé en dedans de 24 jours après le vêlage. Les valeurs rapportées sont pour la période des premiers 24 jours en lactation (Zurek *et al.*, 1995)

Paramètre	Groupe 1 vaches ayant ovulé en dedans de 24 jours en lait	Groupe 2 vaches n'ayant pas ovulé en dedans de 24 jours en lait
Bilan énergétique (Mcal/jour)	-17,5	-16,2
Production (kg/jour)	34,6 ^a	28,4 ^b
Perte de poids (kg/jour)	2,8	2,2

^{a,b} Sur une même ligne, les moyennes marquées d'une lettre différente sont statistiquement différentes (P < 0,02).

On constate que les vaches qui n'avaient pas ovulé dans les premiers 24 jours de lactation n'étaient pas forcément les vaches les plus fortes productrices, ni celles qui avaient perdu le moins de poids. Un fait demeure, la perte d'état de chair affecte l'activité ovarienne (figure 4).

On comprend que ce n'est pas facile de préciser exactement le moment où chaque vache atteint son bilan énergétique le plus négatif. À des fins de gestion de l'état de chair du troupeau, la perte d'état de chair dans les premières semaines de lactation s'avère une information fort utile. D'ailleurs, la recherche a bien précisé le point à partir duquel le troupeau risque de se retrouver en difficulté. Il est généralement admis que la perte d'état de chair devrait être de moins d'un point pour pouvoir maintenir des performances de reproduction acceptables. Les données des figures 5 et 6 sont fort éloquentes. Le taux de conception baisse de façon très nette à mesure que la perte d'état de chair s'accroît. C'est évident que, dans nos conditions modernes de production, il est difficile d'imaginer des vaches gagnant de la condition de chair durant les deux premiers mois de lactation. Par ailleurs, il arrive de voir, dans certaines étables, des vaches perdre 2 points de cote de chair, et même plus. C'est presque courir à la catastrophe, n'est-ce pas ?

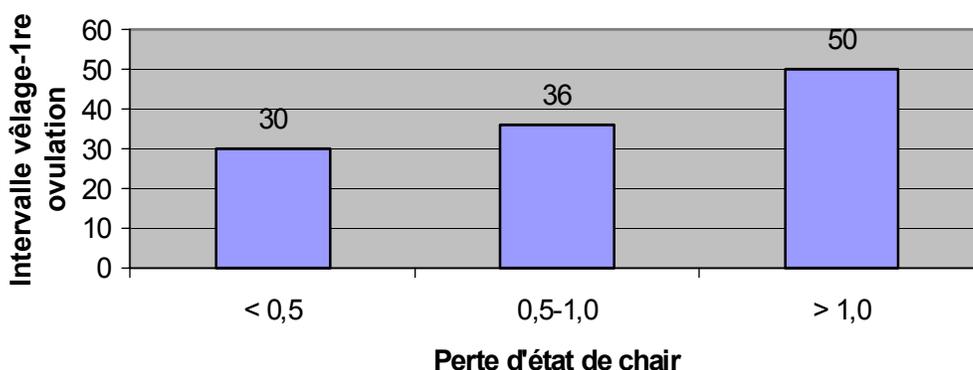


Figure 4. La perte d'état de chair durant les 30 premiers jours de lactation allonge l'intervalle vêlage-1re ovulation (Butler, 2003)

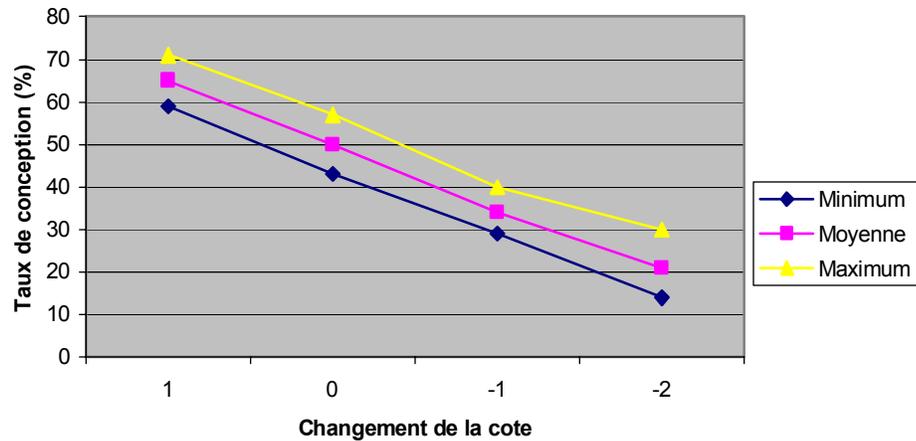


Figure 5. Effet du changement de la condition de chair sur le taux de conception (adapté de Ferguson et Otto, 1989)

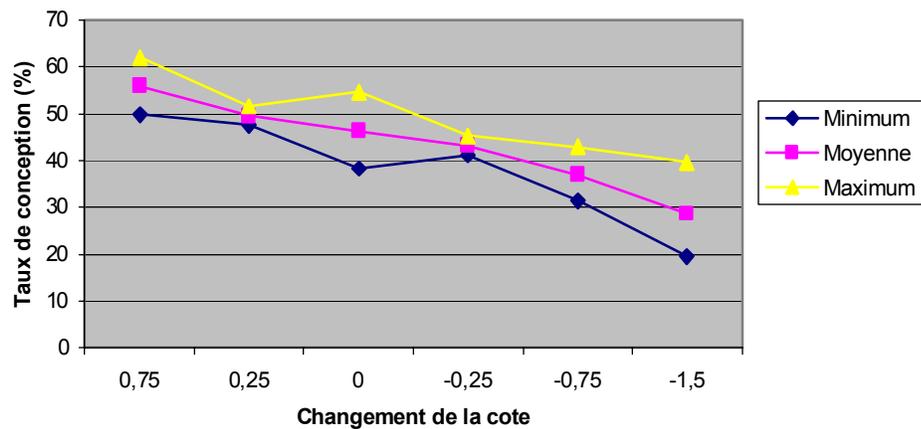


Figure 6. Effet du changement de la condition de chair sur le taux de conception (adapté de Nebel, 2000)

Tableau 5. Relation entre la perte d'état de chair durant les 5 premières semaines de lactation et les performances de reproduction (Butler et Smith, 1989)

Variable	Perte d'état de chair		
	< 0,5	0,5-1,0	>1,0
Nombre de vaches	17	64	12
Jours à la 1 ^{re} ovulation	27 ^a	31 ^a	42 ^b
Jours à la 1 ^{re} chaleur	48 ^{a,b}	41 ^a	62 ^b
Jours à la 1 ^{re} saillie	68 ^a	67 ^a	79 ^b
% conception à la 1 ^{re} saillie	65 ^a	53 ^a	17 ^b
Saillies par conception	1,8	2,3	2,3
% vaches gestantes après 200 jours	94	95	100

^{a,b} Sur une même ligne, les moyennes marquées d'une lettre différente sont statistiquement différentes (P < 0,05)

Le tableau 5 nous fournit quelques informations supplémentaires. Les vaches ayant perdu plus d'un point de cote d'état de chair, comparées aux vaches en ayant perdu moins :

- Ont ovulé plus tard (11 à 15 jours);
- Sont venues en chaleur plus tard (14 à 21 jours);
- Ont eu un taux de conception nettement moins bon à la 1^{re} saillie.

La consolation, c'est que le taux de gestation à 200 jours a été comparable pour toutes les vaches. En d'autres termes, les vaches perdant beaucoup de poids en début de lactation ne concevront pas facilement, mais il ne faut pas se décourager, ça va finir par fonctionner.

Doit-on blâmer la génétique pour des performances de reproduction moins satisfaisantes ?

Nos programmes modernes de sélection visent, entre autres choses, à améliorer le bagage génétique de nos vaches en vue d'une production de lait plus élevée. Un taureau avec une épreuve négative en production, aussi bon soit-il pour d'autres caractères, ne trouverait pas facilement preneur sur le marché nord-américain. Or, qui dit amélioration du bagage génétique dit production plus élevée et, par conséquent, dépense énergétique plus importante. Or, si la dépense énergétique est plus importante, on peut en déduire que les risques de déficit énergétique sont plus importants. Il est clair, comme on l'a vu, que déficit énergétique important est synonyme de faible fertilité. Il serait donc facile de blâmer la génétique améliorée pour des performances de reproduction moins satisfaisantes.

Les données de la recherche de Harrison et collaborateurs (tableau 6) apportent un éclairage intéressant. Ils ont étudié les performances de reproduction de 2 groupes de vaches : le premier avait un bagage génétique moyen, le second avait un bagage génétique élevé, résultat de 20 années d'amélioration génétique. Ce n'est pas une surprise de constater que les vaches améliorées ont produit près de 4 000 kg par vache de mieux que les vaches moyennes. Côté reproduction, les vaches améliorées se sont distinguées sur les aspects suivants :

- 23 jours de plus avant de montrer une première chaleur visible;
- Presque une ovulation de plus (1,6 vs 0,7) avant la première chaleur visible;
- Beaucoup plus de jours ouverts (217 vs 74).

Les données du projet de Harrison et collaborateurs sont claires : les vaches améliorées génétiquement ont été plus difficiles à mettre en veau. C'est assez incriminant, n'est-ce pas ? Il faut cependant ajouter un détail qui n'est pas banal : toutes les vaches ont reçu la même ration, une Ration Totale Mélangée à 42 % de concentrés. L'idée derrière une ration unique, c'était d'éliminer une source de variation. Or, vous savez bien qu'une ration à 42 % de concentrés, c'est amplement suffisant pour des vaches à 6 900 kg de lait, mais ce n'est pas suffisant pour des vaches à 10 800 kg. D'un point de vue nutrition, une conclusion semble aller de soi : c'est très bien d'améliorer la génétique, encore faut-il que l'alimentation soit ajustée en conséquence. Nous en savons suffisamment aujourd'hui : des besoins différents exigent des rations différentes.

Tableau 6. Effet du niveau génétique résultant de la sélection pour la production sur certains paramètres de production et de reproduction (adapté de Harrison *et al.*, 1990)

Paramètre mesuré	Bagage génétique	
	Élevé	Moyen
Production (équivalent maturité à 305 jours) (kg/v/an)	10 814 ^c	6 912 ^d
Jours pour compléter l'involution utérine	24	27
Intervalle vêlage-1 ^{re} ovulation	31	29
Durée de la première phase lutéale (jours)	11	14
Intervalle vêlage-1 ^{re} chaleur (jours)	66 ^c	43 ^d
Nombre d'ovulations avant la première chaleur visible	1,6 ^a	0,7 ^b
Jours pour concevoir	217 ^c	74 ^d
Écarts	103 à 395	53 à 145

^{a,b} Sur une même ligne, les moyennes marquées d'une lettre différente sont statistiquement différentes (P < 0,05)

^{c,d} Sur une même ligne, les moyennes marquées d'une lettre différente sont statistiquement différentes (P < 0,01)

Tableau 7. Paramètres de production et de reproduction pour deux groupes de vaches ayant un mérite génétique différent (adapté de Snijders *et al.*, 2001)

Paramètre	Mérite génétique	
	Élevé	Moyen
Perte de poids du vêlage à la 1 ^{re} saillie (kg/jour)	-0,42±0,06	-0,42±0,06
Cote d'état de chair au vêlage	2,88±0,05 ^b	3,31±0,05 ^a
Perte d'état de chair du vêlage à la 1 ^{re} saillie	-0,47±0,05 ^b	-0,23±0,05 ^a
Consommation de matière sèche (kg/jour)	18,6±0,43 ^a	16,7± 0,47 ^b
Intervalle vêlage-1 ^{re} saillie (jours)	72,4± 2,49	70,3± 2,46
Taux de conception à la 1 ^{re} saillie (%)	41,5 (39/94) ^d	52,1 (50/96) ^c
Taux de conception à la 2 ^e saillie (%)	40,0 (22/55) ^b	58,7 (27/46) ^a
Taux de conception saillies No 3 à 5 (%)	51,9 (14/27)	72,2 (13/18)
Saillies par conception (vaches gestantes seulement)	1,75± 0,11	1,70± 0,11
Saillies par vaches (toutes les vaches)	2,67 (195/73) ^a	1,91 (170/90) ^b

^{a, b, c, d} Sur une même ligne, les moyennes marquées d'une lettre différente sont statistiquement différentes (^{a, b} P < 0,05 ^{c, d} P < 0,09)

Une autre étude publiée récemment (tableau 7) va exactement dans le même sens. Les vaches avec un mérite génétique élevé, comparées aux vaches avec un mérite génétique moyen, ont :

- Un taux de conception plus bas;
- Une perte d'état de chair plus importante;
- Une consommation de matière sèche plus élevée;
- Une perte de poids comparable.

La perte d'état de chair a été plus importante pour les vaches avec un mérite génétique élevé, ce qui en soi n'est pas une grosse surprise puisque l'alimentation a été la même pour les deux groupes de vaches. La perte de poids n'a pas été plus importante, ce qui peut surprendre à première vue. Il faut se rappeler que plus la consommation de matière sèche est élevée, plus le contenu du tube digestif est important en poids. Le poids des vaches vides aurait été différent. Comme pour l'expérience de Harrison et collaborateurs, la même conclusion s'impose : l'alimentation doit être ajustée en fonction de la production.

Est-ce à dire que la génétique n'a absolument rien à voir avec les performances de reproduction d'un troupeau ? Nous laisserons aux spécialistes du domaine le soin de répondre à cette question. Des travaux sont en cours de manière à y voir un peu plus clair. Ce qui est certain, c'est que l'alimentation doit être à la hauteur, et ajustée pour permettre l'expression du potentiel génétique.

Comment faire pour minimiser la perte d'état de chair en début de lactation ?

Nous en sommes à répondre à cette grande question : comment minimiser la perte d'état de chair en début de lactation ? C'est une évidence, plus la perte d'état de chair – visible à l'œil – est importante, plus le taux de conception en souffrira. L'équation est simple :

$$\text{Bilan énergétique} = \text{Entrées} - \text{Sorties}$$

Tableau 8. Besoins de production en énergie, selon différents paramètres de production en assumant un taux constant de lactose dans le lait à 4,7 % (NRC 2001)

Lait (L/jour)	% Gras	% Protéine	Besoins en Enl (Mcal/jour)	Besoins relatifs
10	3,6	3,2	7,0	100
10	4,0	3,4	7,4	107
10	5,0	4,0	8,7	125
25	3,6	3,2	17,4	250
25	4,0	3,6	18,6	267
40	4,2	3,5	30,7	442
40	5,0	4,0	34,8	500
50	3,6	3,2	34,8	500
50	3,0	2,8	30,9	444
50	5,0	4,0	43,4	625

La partie de l'équation qui représente les sorties d'énergie est représentée par la production et le niveau des composantes. Ce n'est évidemment pas une surprise (tableau 8).

- La vache qui fait 50 litres de lait à 3,6 % gras et 3,2 % protéine dépense 5 fois plus d'énergie comparée à la vache qui fait 10 litres avec les mêmes composantes !!!
- La vache qui fait 50 litres de lait à 3,6 % gras et 3,2 % protéine dépense la même énergie que celle qui fait 40 litres à 5,0 % gras et 4,0 % protéine.

- La vache qui fait 50 litres de lait à 3,0 % gras et 2,8 % protéine dépense la même énergie que celle qui fait 40 litres à 4,2 % gras et 3,5 % protéine.
- La partie de l'équation qui représente les entrées d'énergie est le résultat de la multiplication de la concentration en énergie par la quantité consommée.

$$\text{Entrées d'énergie (Mcal)} = \text{Concentration (Mcal/kg)} * \text{Quantité consommée (kg)}$$

Il serait tentant de jouer simplement sur la concentration en énergie de la ration. Il suffirait de consulter les tables de composition d'aliments, et de choisir les aliments les plus riches en énergie. C'est malheureusement un peu simpliste, car cela fait abstraction d'une partie importante de l'équation, soit la consommation. Les données du tableau 9 illustrent bien cette idée. Si la vache n'aime pas l'aliment choisi et qu'elle en mange moins que ce qu'on avait estimé, elle perdra du poids malgré notre ration parfaite « sur papier ». C'est ainsi que le choix de l'ensilage de foin le plus énergétique sur papier pourrait s'avérer un mauvais choix si cet ensilage est mal conservé, s'il est anormalement élevé en acide butyrique, s'il chauffe à peine deux heures après la reprise, si la fibre est trop courte, etc. Ainsi, un ensilage de foin à 1,25 Mcal/kg peut être un bien meilleur choix qu'un autre à 1,50 Mcal/kg si la vache consomme mieux le premier que le deuxième. Il faut se rappeler de la simple règle de mathématique :

$$1,50 \text{ Mcal/kg} \times 0 \text{ kg} = 0 \text{ Mcal} !!!$$

Tableau 9. Effet de la consommation de matière sèche et de la densité énergétique de la ration sur la contribution en énergie

Densité énergétique (Mcal/kg)	Consommation volontaire de matière sèche (kg)	Apports en énergie (Mcal)
1,72	22,7	39
1,72	20,5	35
1,76	20,5	36
1,67	22,7	38
1,67	18,2	30

Partant de là, il faut éviter de tomber dans le piège de la facilité en se cantonnant derrière une fausse sécurité que représente la seule valeur en énergie de la ration totale. « Mes vaches ne peuvent pas manquer d'énergie, ma ration est à 1,76 Mcal/kg »...

Les facteurs qui font varier la consommation sont très nombreux. Mentionnons :

- Qualité de la conservation des aliments humides (ensilages, grains humides, etc.)
 - o Absence de moisissures
 - o Peu ou pas d'acide butyrique
 - o pH de stabilité adéquat
 - o Stabilité à la reprise

- Qualité de la conservation des aliments secs (foin, grains, etc.)
 - o Absence de poussière
 - o Absence de moisissures
- Disponibilité de l'eau
 - o Emplacement des abreuvoirs
 - o Débit minimum
- Qualité de l'eau
- Nombre de repas
- Accès à la mangeoire
- Confort
- Ventilation
- Longueur des jours
- Etc.

Étant donné qu'il est question d'appétit et de vaches fraîches, nous ne pouvons pas passer sous silence l'importance que revêt la période de transition. Est-il nécessaire de rappeler que le déficit en énergie dans les premières 3 à 4 semaines de lactation est critique. Or, il est indéniable que certaines stratégies d'alimentation appliquées durant la période de transition peuvent avoir carrément pour effet de réduire l'appétit dans les jours qui précèdent le vêlage. C'est le cas en particulier des rations apportant des quantités excessives de potassium. Il y a aussi la question des maladies qui se présentent plus souvent au vêlage ou dans les jours qui suivent. Pensons entre autres au déplacement de la caillette, à l'acétonémie clinique et sous-clinique, à la fièvre du lait, à la non-délivrance, aux infections utérines. La vache affectée par l'un ou l'autre de ces problèmes aura assurément moins de chances de concevoir dans des délais raisonnables. Or, la recherche nous a appris que plusieurs de ces problèmes peuvent être prévenus. Nous vous invitons à consulter le texte d'une conférence portant sur le sujet de la transition présentée au *Symposium des Bovins Laitiers* en 1999 par Lefebvre *et al.*

En plus de la nécessité de maximiser la consommation de matière sèche, il y a d'autres aspects susceptibles de nous venir en aide. Parmi ceux-ci, il y a par exemple la régulation de l'alimentation. Le seul fait de donner 1 kg de foin comme premier repas le matin (évidemment lorsque les conditions d'étable le permettent) va aider à maintenir des conditions ruminales adéquates et par le fait même une meilleure utilisation des aliments de la ration.

La finesse de hachage des ensilages est un autre facteur à surveiller. Haché trop long au moment de l'ensilage, on pourrait se retrouver avec un ensilage moins bien conservé, moins appétent et faisant ainsi une moins bonne contribution aux entrées d'énergie. Haché trop fin, on pourrait se retrouver avec des conditions plus susceptibles de produire de l'acidose, possiblement de la fourbure et encore là, le résultat net serait une ingestion moindre d'énergie.

La texture des grains est également un autre facteur à considérer. On sait que la vache laitière n'utilise pas efficacement les grains ronds (maïs, avoine, orge, blé). La perte d'énergie peut aller jusqu'à 20 %. Par ailleurs, dépendant du reste de la ration, un grain moulu très finement pourrait entraîner de l'acidose. C'est donc dire que nous avons plusieurs facteurs sur lesquels nous pouvons intervenir pour nous permettre de maximiser les apports en énergie.

Ajout de gras à la ration

Il peut arriver que nous ayons fait tout ce qu'il était possible, et malgré tout, les apports en énergie sont insuffisants. Que faire ? Depuis plusieurs années, autant sur les marchés européen que nord-américain, il existe des concentrés en énergie qui sont offerts justement pour permettre de boucler la boucle. On parle ici de gras et plus précisément de gras protégés contre la dégradation ruminale. D'un simple point de vue chimique, le gras a une valeur énergétique 2,25 fois supérieure à celle des glucides. Par ailleurs, on sait que les gras non protégés (gras de bœuf, lard, huiles végétales, etc.) ont un effet au niveau du rumen qui est variable. Dans certaines conditions, ils peuvent réduire la digestibilité du reste de la ration et réduire la production de protéine microbienne. L'effet varie d'une vache à l'autre, et d'un type de gras à l'autre.

Parmi les gras protégés de la dégradation ruminale, plusieurs produits sont apparus sur le marché nord-américain au cours des ans. Plusieurs sont disparus, faute de résultats. C'est beau d'avoir un gras non dégradé, encore faut-il qu'il soit digestible pour la vache. De façon générale, on peut dire que les produits qui sont offerts sur le marché aujourd'hui ont fait leurs preuves. Le tableau 10 rapporte les résultats d'un essai réalisé à la fin des années 1980, sur des vaches produisant alors dans le voisinage de 10 000 kg. On constate que le taux de conception était nettement meilleur pour les vaches ayant reçu du gras protégé. 1,96 saillie par conception pour des vaches produisant 10 000 kg, c'est bon; 1,57 saillie par conception, c'est encore mieux, vous en conviendrez.

Tableau 10. Effet de la supplémentation en gras protégé sur la reproduction (adapté de Ferguson et al., 1990)

Paramètre	Témoin (sans gras)	Avec gras (0,5 kg Mégalac®)
Nombre de vaches	138	115
Saillies par conception	1,96 ^a	1,57 ^b
Jours ouverts	96,2	91,9
Jours à la 1 ^{re} saillie	80,9	80,4
Taux de conception à la 1 ^{re} saillie (%)	42,6 ^a	59,1 ^c
Taux de conception toutes les saillies (%)	40,7 ^a	59,3 ^c

^{a, b, c} Sur une même ligne, les moyennes marquées d'une lettre différente sont statistiquement différentes a vs b (P < 0,05), a vs c (P < 0,005)

Tableau 11. Comparaison des performances de reproduction entre les vaches témoins et celles recevant du gras protégé durant les premiers 180-200 jours en lactation (Scott *et al.*, 1995)

Paramètre	Témoin	Avec gras (0,45 kg Mégalac®)
% des vaches gestantes à 150 jours	65,9	65,6
% des vaches gestantes à 200 jours	85,2	79,1
Jours ouverts des vaches gestantes	109	111
Jours ouverts de toutes les vaches	138	146
Saillies par vaches (toutes les vaches)	1,74	1,71
Nombre de jours à la première saillie	94	95

Par ailleurs, il ne faut pas croire qu'il faille absolument servir du gras protégé pour avoir des performances en reproduction qui soient satisfaisantes. Dans ce sens, le projet réalisé par Scott et collaborateurs (tableau 11) est révélateur. Le projet impliquait 5 troupeaux ayant une moyenne de production supérieure à 9 000 kg. On constate que les performances de reproduction ont été tout aussi bonnes pour le groupe témoin que pour les vaches ayant reçu le gras protégé. Il faut en conclure que l'ajout de gras protégé permettra d'améliorer les performances seulement si nous avons un problème d'énergie à régler. Dans l'essai de Scott et de ses collaborateurs, les rations des vaches du groupe témoin étaient suffisamment bien pourvues en énergie. Il faut ajouter également que, d'un point de vue économique, les produits de gras protégés coûtent relativement cher. Il faut des conditions de marché exceptionnelles (par exemple du maïs-grain à 300 \$ la tonne) pour penser remplacer du grain par des gras protégés et réaliser des économies.

La recherche nous aide à mieux comprendre

Depuis quelques années, la recherche dans le secteur des gras est en pleine effervescence. On entend de plus en plus parler d'oméga-3, d'oméga-6 et d'acide linoléique conjugué. Dans le même ordre d'idée, les travaux du Dr Hélène Petit au centre de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Lennoxville et ceux d'autres chercheurs à travers le monde ont soulevé une hypothèse fort intéressante : tous les gras n'auraient pas le même potentiel à améliorer les performances de reproduction. Dans le cadre d'un projet mené en collaboration avec l'*Institute of Grassland and Environmental Research* du Royaume-Uni, elle a vérifié si la reproduction des vaches laitières de race Holstein était affectée par le type d'acides gras incorporés à la ration. En tout, 35 vaches laitières ont été alimentées de la semaine 10 à la semaine 20 de lactation avec soit des sels de calcium d'acides gras d'huile de palme, soit de la graine de lin traitée à la formaldéhyde comme source principale de gras. Les rations étaient équivalentes pour ce qui est de la protéine, de l'énergie et du gras. Le taux de conception à la 1^{re} saillie était de 50 % pour les vaches ayant reçu des sels d'acides gras d'huile de palme (Mégalac®) comparativement à 87,5 % pour celles ayant reçu de la graine de lin traitée (tableau 12). Ce sont là des différences remarquables, n'est-ce pas ?

Tableau 12. Effet de la source de gras protégé sur les performances de production et de reproduction (Petit *et al.*, 1998)

Paramètre	Mégagalac®	Graine de lin traitée
Consommation de matière sèche (kg/jour)	13,4	13,6
Changement de poids vif (g/jour)	-61	-4
Production (kg/jour)	19,8 ^a	18,6 ^b
% Gras du lait	4,62	4,37
% Protéine du lait	2,95 ^b	3,09 ^a
Taux de conception à la 1 ^{re} saillie	50,0 % ^b	87,5 % ^a

^{a,b} Sur une même ligne, les moyennes marquées d'une lettre différente sont statistiquement différentes (P < 0,05).

Ce que les résultats de ce projet nous invitent à faire, c'est d'explorer un peu plus à fond la nature des gras. Des quantités équivalentes de gras dans la ration ont eu des effets très différents. Vous connaissez l'histoire de la protéine ? On sait qu'une protéine est composée de longues chaînes d'acides aminés différents (lysine, arginine, méthionine, cystine, etc.) organisés dans un ordre très précis et présents dans des proportions très précises. C'est pourquoi on sait maintenant que la kappa-caséine du lait est une protéine du lait qui a des propriétés physiques fort différentes d'une autre protéine du lait, la β -lactoglobuline par exemple.

Il en va de même pour les différentes sources de gras. Un peu comme pour les acides aminés, il existe une longue liste d'acides gras différents que l'on distingue sommairement par le nombre d'atomes de carbone qui les composent, et par le nombre de double liaisons que l'on retrouve sur la chaîne. Prenons le cas de l'acide stéarique. Il est composé de 16 atomes de carbone et ne comporte aucune double liaison. On le représente comme C16:0. L'acide linoléique est composé de 18 atomes de carbone et comporte 2 doubles liaisons. On le représente comme C18:2. La recherche a poussé plus loin à étudier la position des doubles liaisons et la configuration géométrique de la liaison. C'est pourquoi on parle de C18:2 trans-10, cis-12, ou encore de C18:2 cis-9 trans-11. Il y a aussi la notion d'oméga qui réfère à la position de la première double liaison à partir du bout libre de la chaîne.

Tableau 13. Composition en acides gras de certaines sources de gras (% des acides gras totaux) (adapté de Erasmus, 1993)

Type d'huile	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	Total C18
Mais	2	25	60	1	88
Coton	25	21	50	0	96
Lin	4	19	14	58	95
Olive	2	76	8	0	86
Arachide	2	47	32	0	81
Canola	2	64	19	8	93
Carthame	2	12	77	0	91
Sésame	2	42	45	0	89
Soya	4	24	53	7	88
Tournesol	5	20	69	0	94
Palme	4	39	10	1	54

Revenons aux sources de gras. Le tableau 13 illustre très clairement qu'il existe des différences très importantes d'une source d'huile à l'autre. Simplement sur le total des acides gras à 18 atomes de carbone, la proportion passe de 54 % pour l'huile de palme à 96 % pour l'huile de coton. Il faut en comprendre que l'huile de palme, par exemple, est riche en C16:0 qui n'est pas représenté dans le tableau 13. L'huile d'olive est très riche en C18:1, un peu comme l'huile de canola. L'huile de carthame est très riche en C18:2, comme l'huile de tournesol et l'huile de maïs. L'huile de lin fait un peu bande à part, avec une teneur très élevée en C18:3. Sachant que le Mégalac[®] est un produit à base d'huile de palme, vous êtes à même de constater que l'essai dont les résultats sont rapportés au tableau 12 a effectivement comparé des gras ayant un profil très différent.

Cette première recherche, réalisée au Royaume-Uni, a soulevé plusieurs questions. Les vaches ont été traitées entre la 10^e et la 20^e semaine de lactation et le niveau de production n'était pas très élevé. On se demandait si l'effet bénéfique de la graine de lin pourrait se répéter avec des vaches fraîches vélées et plus fortes productrices. De plus, dans cette recherche, la graine de lin était traitée avec de la formaldéhyde. On voulait vérifier la possibilité d'utiliser la graine de lin entière, non traitée. À cette fin, une recherche a été réalisée à Lennoxville, en collaboration avec l'*Institut Laitier et Fourrager de l'Atlantique* à Frédéricton, Nouveau Brunswick, et la compagnie *Semences Prograin* de Saint-Césaire au Québec (tableau 14). Dans ce projet, les vaches recevaient trois types de gras différents : de la graine de lin entière non traitée, des sels d'acides gras d'huile de palme (Mégalac[®]) et de la fève soya micronisée. Il y avait 45 vaches à chacun des 2 sites. Les rations étaient équivalentes pour ce qui est de la protéine, de l'énergie et du gras. Les rations ont été servies de la 3^e à la 16^e semaine de lactation. Le taux de gestation représente le pourcentage de vaches gestantes 30 jours après la saillie (mesure faite par échographie) et le pourcentage de mortalité embryonnaire a été obtenu par la différence entre les vaches gestantes 30 jours après la saillie et celles non gestantes 50 jours après la saillie (toujours par échographie).

Tableau 14. Effet de la source de gras sur les performances de production et de reproduction (adapté de Hélène Petit, données non publiées)

Paramètre	Graine de lin	Mégalac [®]	Fève Soya Micro
<i>Lennoxville</i>			
Consommation (kg m.s./jour)	19,0	18,0	17,6
Production (kg/jour)	36,0	33,8	35,5
% gras	3,89	4,29	3,96
% Protéine	2,90 ^a	2,79 ^b	2,83 ^{ab}
<i>Frédéricton</i>			
Production (kg/jour)	40,0	37,6	38,2
% gras	3,76 ^{a,b}	3,96 ^a	3,60 ^b
% Protéine	3,08 ^a	2,96 ^b	2,92 ^b
Vaches gestantes 30 jours après la saillie (saillies 1 et 2)			
%	54,8	64,3	60,0
n ^{bre}	17/31	18/28	18/30
Vaches gestantes après la saillie (3 saillies)	61,3	71,4	73,3
Mortalité embryonnaire (3 saillies) %	0 ^b	20,0 ^a	19,0 ^a

^{a,b} Sur une même ligne, les moyennes marquées d'une lettre différente sont statistiquement différentes (P < 0,10).

Nous sommes forcés d'admettre que les résultats sont loin d'être aussi spectaculaires que ceux de la première recherche. La graine de lin n'a pas permis d'améliorer la proportion des vaches gestantes après 3 saillies. Si la graine de lin avait été traitée à la formaldéhyde, est-ce que les résultats auraient été différents ? La réduction des mortalités embryonnaires avec la graine de lin semble une piste encourageante. Il faut dire que l'incidence des mortalités embryonnaires se situerait entre 20 et 35 % (Cupps, 1991), ce qui est loin d'être négligeable.

Quelques pistes pouvant expliquer pourquoi l'ajout de gras à la ration aiderait les performances en reproduction

Parmi les hypothèses posées par les chercheurs, il y a d'abord la question de la progestérone. L'ajout de gras dans la ration augmente le niveau de cholestérol dans le sang. Le cholestérol est un précurseur pour la synthèse de la progestérone. Les résultats rapportés au tableau 15 ne sont pas très surprenants.

Tableau 15. Effet de l'ajout de gras dans la ration sur la concentration en progestérone (ng/ml) dans le sang de vaches en lactation (Staples et Thatcher, 1998)

Période de mesure	Ration	
	Témoin	Gras ajouté
Jours 1-12 du cycle	4,2 ^a	5,2 ^b
Jours 9-15 du cycle	6,6 ^a	7,7 ^b
Semaines 8-20 de lactation		Plus ^{a b}
Semaines 5-12 de lactation	4,5 ^a	6,0 ^b
Semaines 1-7 de lactation		Plus ^{a b}
Semaines 2-12 de lactation	4,2 ^a	4,8 ^b

^{a,b} Sur une même ligne, les moyennes marquées d'une lettre différente sont statistiquement différentes (P < 0,05).

La progestérone est une hormone essentielle pour le maintien de la gestation après la saillie, et elle doit être présente dans le sang en quantité suffisante pour supporter le développement de l'embryon et sa survie. Les niveaux de progestérone augmentent dans le cours des trois premiers cycles après le vêlage, mais l'augmentation est moindre pour les vaches ayant un plus grand déficit en énergie (Villa-Godoy *et al.*, 1988). La période critique pour une influence optimale de la progestérone en relation avec la conception apparaît comme étant 5-7 jours après la saillie. La reconnaissance maternelle de la gestation requiert la présence d'un embryon suffisamment bien développé produisant des quantités suffisantes d'interféron-tau (τ) qui à son tour dépend d'une stimulation appropriée par les concentrations de progestérone dans le sang (Butler, 2003). Cela pourrait expliquer, du moins en partie, pourquoi les vaches qui n'ont pas ovulé dans les 50 premiers jours de lactation ont moins de chances de concevoir. L'activité ovarienne semblerait devoir reprendre tôt après le vêlage si on souhaite que la vache conçoive à nouveau. Les données de la figure 7 le démontrent très clairement.

Un autre effet persistant possiblement lié au bilan énergétique négatif pourrait être que les ovocytes (éventuellement des ovules) seraient marqués, à l'intérieur du follicule durant leur développement (période de 60 à 80 jours), par des conditions ayant une incidence négative. Un bilan énergétique très négatif a affecté le potentiel de développement des ovocytes à 80-120 jours en lactation (Butler, 2003). Ceci suggère que les concentrations élevées dans le sang en acides gras non estérifiés (AGNE) auraient des effets toxiques (Butler, 2003). Collectivement, ces résultats nous indiquent qu'un bilan énergétique négatif a un impact négatif sur la compétence des ovocytes à se développer en embryons, mais les effets métaboliques ne se limitent pas au développement des follicules durant le début de la lactation, mais peuvent se manifester en continu durant les périodes de production élevée (Butler, 2003).

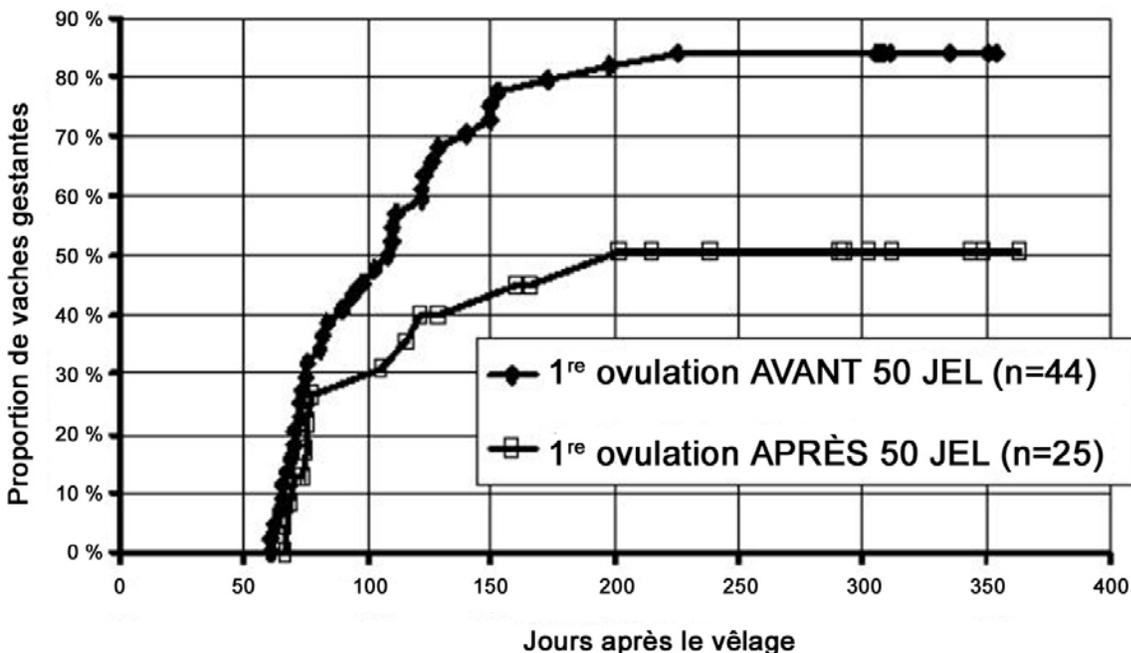


Figure 7. Un retard de l'ovulation jusqu'après 50 jours en lait diminue le taux de gestation durant la lactation (Butler, 2003)

Le fait d'inclure dans la ration des gras polyinsaturés comme l'huile de lin et l'huile de poisson permet de faire varier la composition en acides gras de l'utérus, et la production de prostaglandines. On se rappellera que l'une des fonctions des prostaglandines est de faire régresser le corps jaune. Une forte proportion des mortalités embryonnaires durant l'établissement de la gestation chez les bovins coïncide avec la période d'inhibition par l'embryon de la sécrétion de la prostaglandine utérine (PGF2 α) aux jours 15 à 17, ce qui suggère que certaines mortalités arrivent parce que les embryons ne sont pas capables d'inhiber la sécrétion de PGF2 α (Butler, 2003). Par conséquent, les stratégies permettant d'inhiber la sécrétion de PGF2 α pourraient résulter en une amélioration de la survie des embryons, et du taux de gestation. Ambrose *et al.* (2003) ont d'ailleurs démontré que les vaches recevant de la graine de lin (source d'oméga-3) ont un pourcentage de survie embryonnaire plus élevé au jour 24 de gestation que celles recevant de la graine de tournesol

(source d'oméga-6) : 48,4 vs 32,2 %, P = 0,07. Des recherches récentes semblent vouloir confirmer que le fait d'alimenter avec des gras polyinsaturés de type oméga-3 comme la graine de lin (Petit *et al.*, 2002) et la farine de poisson (Mattos *et al.*, 2000) permettent de réduire la sécrétion de PGF_{2α}, prévenant la régression du corps jaune et augmentant le taux de gestation. Selon Mattos *et al.* (2002), les acides gras oméga-3 de la farine de poisson réduiraient la sensibilité du corps jaune à la PGF_{2α} ou diminueraient la sécrétion de PGF_{2α}, retardant la lutéolyse, ce qui entraînerait une régression incomplète du corps jaune. Des résultats semblables ont été observés par Lessard *et al.* (2003) avec la graine de lin.

Partant de là, il ne faut pas se surprendre de voir apparaître sur le marché des produits susceptibles de répondre à ces besoins-là. Les pistes semblent suffisamment solides pour que la recherche poursuive ses travaux. La figure 8 suggère que ces acides gras :

- Permettraient d'économiser du glucose et stimuleraient le relâchement de la LH par l'hypophyse, ce qui stimulerait le développement des cellules du corps jaune;
- Pourraient augmenter dans le sang les niveaux de cholestérol, un précurseur de la progestérone, laquelle est associée à une amélioration de la fertilité;
- Pourraient inhiber la production de PGF_{2α} et d'estradiol-17β ce qui permettrait d'augmenter la durée de vie du corps jaune, augmentant potentiellement la survie de l'embryon.

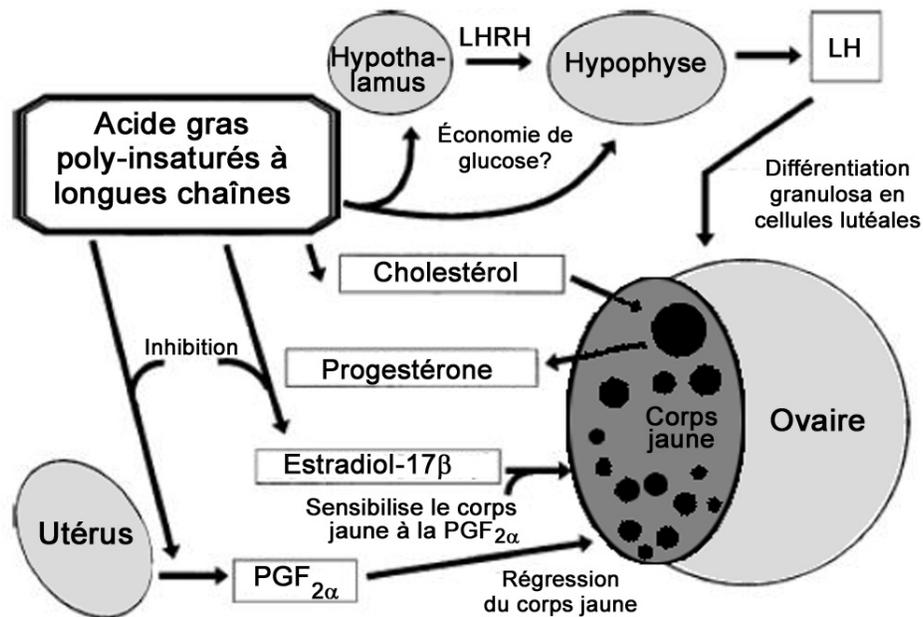


Figure 8. Résumé des modes d'action suggérés pour expliquer l'amélioration du taux de gestation par l'ajout dans la ration d'acides gras polyinsaturée à chaîne longue (Staples *et al.*, 1998)

Autres pistes d'amélioration de la reproduction

L'ajout de gras dans la ration n'est pas l'unique moyen d'améliorer la reproduction sur le plan de l'énergie. Comme nous l'avons vu précédemment, il semblerait que des niveaux élevés d'acides gras non-estérifiés (AGNE) dans le sang pourraient avoir des effets toxiques sur le développement des ovocytes, et que ces effets pourraient laisser des traces plusieurs semaines après le vêlage (Butler, 2003). Or, nous avons des indications claires dans la littérature qu'il est possible de diminuer les niveaux d'AGNE dans le sang dans les jours qui précèdent et qui suivent le vêlage. C'est le cas avec le propylène-glycol, un produit bien connu et depuis longtemps (Bell et Bauman, 1996). Dans le cadre d'un projet lié à la reproduction, Miyoshi *et al.* (2001) ont voulu mesurer l'effet du propylène glycol sur le bilan énergétique, sur l'activité ovarienne et la reproduction. La moitié des vaches ont reçu 500 ml de propylène-glycol par jour, à partir du 7^e jour de lactation jusqu'au 42^e jour. On sait que ce produit agit dans les minutes qui suivent son administration. Il permet d'augmenter les niveaux de glucose et d'insuline, et d'abaisser les niveaux d'AGNE, ce qui en soi serait positif parce qu'il semble que l'insuline soit nécessaire pour une activité ovarienne normale (tableau 16).

Tableau 16. Concentrations en glucose, insuline, AGNE et urée dans le sang pour les vaches du groupe témoin et celles ayant reçu le propylène-glycol, à 0, 30 et 90 minutes après l'administration (Miyoshi *et al.*, 2001)

Paramètre	Expérimental (n = 17)			Témoin (n = 16)		
	0 min.	30 min.	90 min.	0 min.	30 min.	90 min.
Glucose (mg/dl)	55,8	59,5	60,8 ^b	53,5	53,0	52,5
Insuline (µU/ml)	6,6	11,4	11,8 ^{b,c}	6,3	6,4	6,9
AGNE (µeq/L)	379	287	242 ^b	386	386	347 ^d
Urée (mg/dl)	15,0	14,9	14,5	14,3	14,3	14,3

^b Effet linéaire avec le temps (P < 0,01).

^c Effet quadratique avec le temps (P < 0,01).

^d Effet linéaire avec le temps (P < 0,01).

Ce qui nous intéresse encore davantage, c'est de savoir si les performances de reproduction ont été supérieures. Les données rapportées au tableau 16 nous révèlent que :

- Les vaches ayant reçu le propylène-glycol ont ovulé plus tôt après le vêlage (32,3 vs 44,5 jours);
- L'intervalle entre les deux premières ovulations a été plus court pour les vaches n'ayant pas reçu de propylène-glycol (11,6 vs 19,8 jours);
- La première phase lutéale a été plus courte pour les vaches de groupe témoin (7,3 vs 13,1 jours).

Par ailleurs, l'auteur indique bien que les autres résultats ne sont pas différents d'un point de vue statistique. Malgré tout, les données numériques indiquent que les niveaux de progestérone ont eu tendance à être plus élevés pour les vaches ayant reçu le produit, autant au 1^{er} pic qu'au

2^e. La quantité cumulative pour le 1^{er} cycle a également eu la même tendance. Les vaches ayant reçu le produit ont eu tendance à avoir moins de jours ouverts (95,5 vs 113,3 jours), moins de saillies par conception et un taux de conception meilleur à la 1^{re} saillie.

Le propylène-glycol n'aura pas permis d'améliorer la production, ni la consommation de matière sèche pour les 6 premières semaines de lactation. Il aura permis d'atteindre le point du bilan énergétique le plus bas 7 jours plus tôt. Il aura donc permis d'améliorer l'activité ovarienne, ce qui est cohérent avec ce que nous avons vu plus tôt.

Tableau 17. Effet de l'administration de propylène-glycol sur la consommation de matière sèche, sur la production, et sur certains paramètres liés à la reproduction (Miyoshi *et al.*, 2001)

Paramètre	Expérimental (n = 17)	Témoin (n = 16)
Consommation (kg m.s./jour)	15,4	15,7
Production (kg lait corr. 4 %/jour)	31,2	31,0
Intervalle vêlage-1 ^{re} ovulation (jours)	32,3	44,5
Intervalle vêlage-2 ^e ovulation (jours)	52,1	56,1
Intervalle 1 ^{re} -2 ^e ovulation (jours)	19,8	11,6
Durée de la 1 ^{re} phase lutéale (jours)	13,1	7,3
Durée de la 2 ^e phase lutéale (jours)	13,6	13,2
1 ^{er} pic de progestérone (ng/ml)	4,7	4,0
2 ^e pic de progestérone (ng/ml)	6,7	5,3
Concentration cumulative de progestérone pour le 1 ^{er} cycle (ng)	42,9	29,4
Concentration cumulative de progestérone pour le 2 ^e cycle (ng)	57,9	55,6
Intervalle vêlage-1 ^{re} saillie (jours)	72,7	72,3
Jours ouverts	95,5	113,3
Saillies par conception	1,7	2,3
% conception à la 1 ^{re} saillie	57,1	33,0
% des vaches gestantes à 150 jours en lait	85,7	83,3

Conclusions relativement à l'énergie

Il faut admettre que l'énergie est un aspect de la nutrition dont la gestion présente des défis importants, et encore davantage pour les vaches fortes productrices. Pour des performances de reproduction satisfaisantes, l'énergie joue des rôles multiples : production d'hormones de la reproduction comme la LH, la progestérone, activité ovarienne, développement des ovocytes. Tout ce que nous pouvons faire pour améliorer la consommation de matière sèche en début de lactation aura un effet positif sur la reproduction. Le suivi de l'état de chair à intervalles réguliers est à encourager. Enfin, il est primordial d'avoir des stratégies alimentaires (choix des aliments, ajustements des quantités, régie de l'alimentation) permettant de minimiser la perte d'état de chair en fin de gestation et en début de lactation.

3. PROTÉINE

Principes fondamentaux de la nutrition protéique

La protéine, comme tous les autres nutriments, est très importante, et encore davantage pour la vache haute productrice. Une production élevée et/ou un test de protéine élevé requièrent en effet un apport important d'acides aminés absorbés à l'intestin. Ces acides aminés proviennent en partie de la portion de la protéine brute ingérée non dégradée au rumen, et en partie (quantité très significative) de la protéine d'origine microbienne, c'est-à-dire constituante des cellules des micro-organismes de la flore ruminale (NRC, 2001). Celle-ci dégrade une partie de la protéine ingérée tout d'abord en acides aminés, et ceux-ci à leur tour en leurs squelettes de carbone et en ammoniac. Les squelettes de carbone peuvent être oxydés par les micro-organismes comme sources d'énergie ou réutilisés pour synthétiser de nouveaux acides aminés. L'ammoniac résultant de la dégradation des acides aminés et les sources d'azote non protéique d'origine alimentaire sont par la suite réutilisés pour la synthèse d'acides aminés par certaines populations de micro-organismes, qui les utiliseront pour fabriquer leurs propres protéines constituantes. Certaines autres populations microbiennes requièrent quant à elles des acides aminés préformés pour la synthèse protéique.

L'utilisation par les bactéries ruminales de l'ammoniac pour la synthèse d'acides aminés requiert un apport proportionnel et simultané d'énergie et de source de carbone. Celles-ci sont fournies par les glucides alimentaires. Tout déséquilibre quantitatif ou temporel entre les quantités disponibles d'ammoniac et de sources de carbone résultera en une diminution de la production de protéine microbienne (Léonard *et al.*, 1996). Une trop faible disponibilité d'ammoniac dans le rumen ralentira la production d'acides aminés alors qu'un déficit de sources de carbone et d'énergie par rapport à l'ammoniac disponible préviendra la captation de celui-ci. L'ammoniac s'accumulant, sa concentration dans le jus ruminal augmente et comme la paroi ruminale est perméable à l'ammoniac, sa concentration augmente également dans les fluides interstitiels et par conséquent dans le plasma sanguin. Comme l'ammoniac est toxique pour le système nerveux central, il existe un mécanisme efficace de captation et d'élimination de l'ammoniac. Celui-ci est transformé en urée, principalement dans le foie, et l'urée emprunte par la suite la circulation sanguine pour être finalement excrétée dans l'urine par les reins (Visek, 1984). Il est également important de noter que l'ammoniac peut également provenir de la dégradation des acides aminés par le métabolisme de la vache. En effet, les acides aminés fournis en trop et non utilisés pour la synthèse protéique sont dégradés et oxydés, donnant lieu à la libération d'ammoniac. Cette situation peut se produire :

- 1) Si l'apport total d'acides aminés absorbés à l'intestin excède les besoins métaboliques de l'animal;
- 2) Si la proportion des acides aminés absorbés ne correspond pas au profil requis pour la synthèse protéique par l'animal;
- 3) En situation de déficit de précurseurs glucogéniques comme par exemple en début de lactation.

L'équilibre de la ration en protéine peut avoir un impact sur la reproduction

Comme nous venons de le voir, le métabolisme de la protéine est complexe. La recherche des dernières décennies nous permet de mieux comprendre les directions à prendre pour éviter les contre-performances, autant en termes de production (lait, % protéine du lait) qu'en termes de reproduction. Il reste assurément de la recherche à faire puisque plusieurs questions demeurent sans réponses.

Nous savons aujourd'hui que l'équilibre de la ration en protéine peut avoir un impact très significatif sur les performances de reproduction. En règle générale, les rations avec des niveaux élevés de protéine diminuent l'efficacité de la reproduction. C'est ce que nous révèle la revue faite par Ferguson et Chalupa (1989) (tableau 18), puisque 7 études sur 9 concluent dans ce sens. 2 études amènent une conclusion contraire, et ces 2 études impliquaient plus du double du nombre de vaches des 7 études réunies... Il faut se rendre à l'évidence que la teneur en protéine brute de la ration ne peut pas être pris comme seul indicateur de sécurité relativement à l'adéquation des apports de la ration pour des performances de reproduction satisfaisantes. Nous savons bien que la notion de qualité de la protéine doit également être prise en considération.

Tableau 18. Effet du niveau de protéine dans la ration sur le nombre de saillies par conception. (Noter que les valeurs sont rapportées en prenant 1,00 comme valeur de référence. La valeur entre parenthèse est le nombre de saillies par conception en valeur absolue) (Ferguson et Chalupa, 1989)

Référence	Vaches par traitement	% Protéine de la ration		
		12-13	15-16	17-20
Edwards <i>et al.</i>	9-9-9	0,88	1,00 (2,6)	1,04
Folman <i>et al.</i>	19-20	---	1,00 (1,8)	1,25
Jordan & Swanson	15-15-15	0,79	1,00 (1,9)	1,37
Kaim <i>et al.</i>	98-107	---	1,00 (1,8)	1,31
Piatowski <i>et al.</i>	17-18	---	1,00 (2,0)	1,40
Huber	418-237-223	1,12	1,00 (1,9)	1,01
Aalseth <i>et al.</i>	32-31	---	1,00 (1,5)	1,14
Chandler <i>et al.</i>	67-69	1,13	1,00 (2,1)	---
Carroll <i>et al.</i>	29-28	1,00 (1,5)	---	1,20

Pour s'en convaincre, nous allons examiner les résultats de 3 expériences menées sur la question de la protéine et son effet sur la reproduction. Il est important de noter la composition de la ration avant de juger du niveau de protéine brute de la ration.

Expérience de Howard et collaborateurs:

- 146 vaches
- De 10 à 149 jours en lait
- 2^e lactation et plus
- Ration à 45 % d'ensilage de sorgho, 55 % de concentrés en RTM
- Source de protéine supplémentaire : tourteau de soya

On constate d'abord que la réponse au niveau de la production (tableau 19) à l'augmentation des apports en protéine a été minime, et certainement pas suffisante pour justifier l'augmentation des coûts. Par ailleurs, les effets négatifs souvent rapportés au niveau de la reproduction ne se sont pas matérialisés puisque les performances ont été tout aussi bonnes avec la ration à 19,4 % de protéine qu'avec la ration à 14,5 %.

Tableau 19. Effet du niveau de protéine brute de la ration sur certains paramètres liés à la production et à la reproduction (Howard *et al.*, 1987)

Paramètre	Niveau de protéine	
	Modéré (14,5 % P.B.)	Élevé (19,4 % P.B.)
Production (kg/jour)	25,9	26,4
Test de gras (%)	3,98	3,84
Test de protéine (%)	3,21	3,25
Consommation (kg m.s./jour)	21,6	21,8
Intervalle vêlage-1 ^{re} chaleur	40,5	38,2
Nombre de saillies (toutes les vaches)	1,55	1,47
Nombre de saillies (vaches gestantes)	1,39	1,40
Jours ouverts	80,4	79,9

Expérience de Visek

- 45 vaches à plus de 30 kg de lait par jour
- 4 à 91 jours en lait
- Ration constituée de : ensilage d'herbe, foin de luzerne, orge, tourteau de soya, mélasse, minéraux
- Source de protéine supplémentaire : tourteau de soya

On constate cette fois-ci (tableau 20) un impact négatif très marqué de l'augmentation du niveau de protéine brute de la ration sur la reproduction. Que le nombre de saillies passe de 1,47 à 2,47 a certainement un effet qui serait remarqué si cela se produisait dans votre étable...

Tableau 20. Effet du niveau de protéine brute de la ration sur les performances de reproduction (Visek, 1984)

Critère	Niveau de protéine		
	Bas (12,7 % P.B.)	Moyen (16,3 % P.B.)	Élevé (19,3 % P.B.)
Intervalle vêlage-1 ^{re} chaleur	36	45	27
Intervalle vêlage-conception	69	96	106
Saillies par conception	1,47	1,87	2,47

Autre expérience de Visek

- 20 vaches fortes productrices
- Ration constituée de : fourrages verts, maïs-grain, orge, pulpe de betterave, fève soya, tourteau de soya et minéraux
- Sources de protéine supplémentaire : tourteau de soya et tourteau de soya traité à la formaldéhyde

Cette expérience visait à comparer non pas seulement l'effet du niveau de protéine brute de la ration, mais également l'effet d'inclure une source de protéine moins dégradabile au niveau du rumen. Il faut constater que de multiples produits ont été développés ces dernières années dans le but de satisfaire les besoins en protéines plus résistantes à la dégradation ruminale.

Ce n'est pas une surprise de constater (tableau 21) une augmentation du niveau d'ammoniac ruminal et du niveau d'urée dans le sang avec l'augmentation du niveau de protéine brute de la ration (par l'ajout de tourteau de soya). Et le traitement du tourteau de soya a eu l'effet escompté. Il faut également constater que les performances de reproduction ont été supérieures avec la ration à 16 % de protéine brute contenant le tourteau de soya traité, en comparaison avec les deux autres traitements.

Tableau 21. Effet du niveau de protéine brute de la ration et du choix de la source de protéine supplémentaire sur certains paramètres (Visek, 1984)

Paramètre	Niveau de protéine		
	16 % Tourteau de soya traité	16 % Tourteau de soya régulier	20 % Tourteau de soya régulier
NH ₃ ruminal	8,6	10,0	17,3
Urée sanguin	8,4	8,8	15,4
Taux de conception (%)	69	56	< 44
Intervalle vêlage- conception (jours)	84	98	102

Vous imaginez bien que des dizaines de projets de recherche ont été réalisés sur cette question au cours des ans, comparant des rations formulées tantôt avec de la farine de poisson, tantôt avec de la farine de sang ou de viande, tantôt avec du fin gluten de maïs ou du tourteau de soya traité pour être moins dégradables. Les résultats sont variables, tantôt meilleurs, tantôt moins bons, selon la ration de base à compléter. Les sources de protéine de complément doivent être choisies selon la nature de la protéine apportée par les fourrages. Ce n'est pas simple. L'évaluation de la proportion de la protéine sujette à la dégradation ruminale n'est pas chose facile, et comporte une part d'imprécision encore inévitable aujourd'hui. Que faire ?

L'urée du sang et du lait comme indicateurs de la nutrition protéique

L'utilisation de l'urée du lait comme outil de monitoring nutritionnel ayant déjà été présentée (Lefebvre *et al.*, 1995; Block *et al.*, 1998), nous ne reprendrons ici que les grandes lignes.

Les parois des vaisseaux sanguins étant perméables à l'urée, la concentration d'urée dans le sang se reflète également dans les autres fluides corporels. Ceci permet d'une part de recycler une partie de l'urée vers le rumen via la salive. D'autre part, l'urée traverse également l'épithélium alvéolaire de la glande mammaire et se retrouve donc dans le lait en quantité proportionnelle à sa concentration sanguine (Clark *et al.*, 1978). De nombreuses études ont démontré la valeur de la mesure de la concentration d'urée dans le sang ou le lait comme indicateur de l'efficacité d'utilisation de l'azote alimentaire (Roseler *et al.*, 1993; Elrod et Butler, 1993; Gustafsson et Palmquist, 1993; Broderick et Clayton, 1997; Hof *et al.*, 1997; Jonker *et al.*, 1998; Westwood *et al.*, 1998; Godden *et al.*, 2000; Jonker *et al.*, 2002).

L'urée du lait est donc sensible aux apports de protéine et à la dégradabilité de celle-ci (Carlsson et Pehrsson, 1994; Roseler *et al.*, 1993; Baker *et al.*, 1995), ainsi qu'au ratio protéine:énergie ou protéine: glucides non-fibreux (Broderick et Clayton, 1997; Depatie, 2000; Godden *et al.*, 2000). La concentration d'urée dans le sang est cependant sujette à d'importantes variations journalières (d'heure en heure en fonction de l'heure des repas) principalement en fonction du moment du prélèvement de l'échantillon par rapport au dernier repas. Lorsque des échantillons de lait sont prélevés fréquemment, la concentration d'urée du lait suit une tendance similaire, bien que légèrement moins prononcée que celle du sang (Gustafsson et Palmquist, 1993; Rodriguez *et al.*, 1997; Ferdinand *et al.*, 2000). En pratique cependant, l'urée du lait est analysée dans des échantillons prélevés lors d'une traite ou un composite de deux traites ou plus. Dans de telles conditions, l'urée du lait est plus représentative de la concentration moyenne d'urée dans le sang au cours de l'intervalle écoulé depuis la dernière traite en raison du mouvement bidirectionnel continu de l'urée entre le lait et le plasma sanguin (Gustafsson et Palmquist, 1993; Broderick et Clayton, 1993; Staples et Thatcher, 2001).

L'analyse de bilans nutritionnels indique que la plage optimale d'urée dans le lait pour une utilisation efficace de l'azote alimentaire serait entre 10 et 16 mg/dL (Roseler *et al.*, 1993; Hof *et al.*, 1997; Jonker *et al.*, 1999)

Urée et reproduction

Comme l'illustre le tableau 22, l'impact négatif d'une concentration élevée d'urée dans le lait ou le sang sur la reproduction a été maintes fois démontré dans la littérature. Dans la majorité des études, un apport excessif de protéine se traduisant par un taux d'urée élevé, le taux de conception a été réduit de façon significative. De plus un effet similaire a été obtenu lorsque la concentration d'urée avait été causée soit par un excès de protéine brute, un excès de protéine dégradée au rumen ou de protéine échappant à la dégradation ruminale. Il ne s'agit donc pas d'un effet associé au type d'aliment utilisé, mais bien au résultat des modifications alimentaires, soit une concentration élevée d'urée dans le sang.

Tableau 22. Taux de conception (TC) et urée sanguine chez des vaches ou génisses laitières recevant des rations à teneur modérée ou élevée de protéine brute (PB) (adapté de Staples et Thatcher, 2001)

Référence	N	PB modérée (13 à 17 %)		PB élevée (19 à 21 %)		*
		TC %	Urée mg/dL	TC %	Urée mg/dL	
Jordan et Swanson, 1979	30	53	--	40	18	*
Folman <i>et al.</i> , 1981	39	56	9	30 ¹	15	
Kaim <i>et al.</i> , 1983	250	79	9	65	17	*
Howard <i>et al.</i> , 1987	109	87	15	85	25	
Carroll <i>et al.</i> , 1988	57	64	10	56	24	
Bruckental <i>et al.</i> , 1989	139	65	25	52	32	*
Canfield <i>et al.</i> , 1990	65	48	12	31	19	*
Elrod et Butler, 1993 (génisses)	80	82	14	61	24	*
Barton <i>et al.</i> , 1996	64	41	9	44 ²	21	
McCormick <i>et al.</i> , 1999	119	75	20	53	25	*
<i>N^{bre} total de sujets / Moyennes</i>	<i>952</i>	<i>65</i>	<i>14</i>	<i>53</i>	<i>22</i>	

* Différence statistiquement significative

1 En considérant non gestantes les vaches ayant été réformées après quatre saillies

2 Interaction race x diète, avec effet négatif de la protéine élevée pour la race Jersey

3 Aucun effet sur le TC, mais augmentation significative du nombre de jours ouverts et du nombre de saillies par conception pour les vaches recevant la ration à PB élevée

D'autres études (Butler *et al.*, 1996; Larson *et al.*, 1997; Wittwer *et al.*, 1999; Rajala-Schultz *et al.*, 2001) ont évalué la performance reproductive en fonction de catégories de taux d'urée déterminées *a posteriori* (indépendamment du traitement nutritionnel) et ont confirmé les résultats observés par les études listées au tableau 23. Par exemple, Butler *et al.* (1996) ont séparé 315 vaches en fonction du taux d'urée du lait le jour de la première insémination et ont observé une réduction de 18 à 21 points du taux de conception chez les vaches présentant un taux d'urée supérieur à 19 mg/dL comparativement aux vaches ayant un taux d'urée inférieur (figure 9). Une analyse statistique plus détaillée indique que l'effet est apparent dès que le taux

d'urée excède 16 mg/dL, mais qu'il est plus prononcé pour les concentrations excédant 19 mg/dL. De même, Rajala-Schultz (2001) ont obtenu des résultats similaires par l'analyse de données de 24 troupeaux de l'Ohio. Ces auteurs ont observé que les vaches qui avaient un taux d'urée moyen avant la saillie supérieur à 15.4 avaient un taux de conception inférieur à celles ayant une concentration d'urée inférieure. Outre le taux de conception, des études ont démontré un effet négatif d'un taux d'urée élevé sur l'intervalle entre le vêlage et la première ovulation (Garcia-Bojalil *et al.*, 1998) ou la première insémination (Gustafsson et Carlson, 1993).

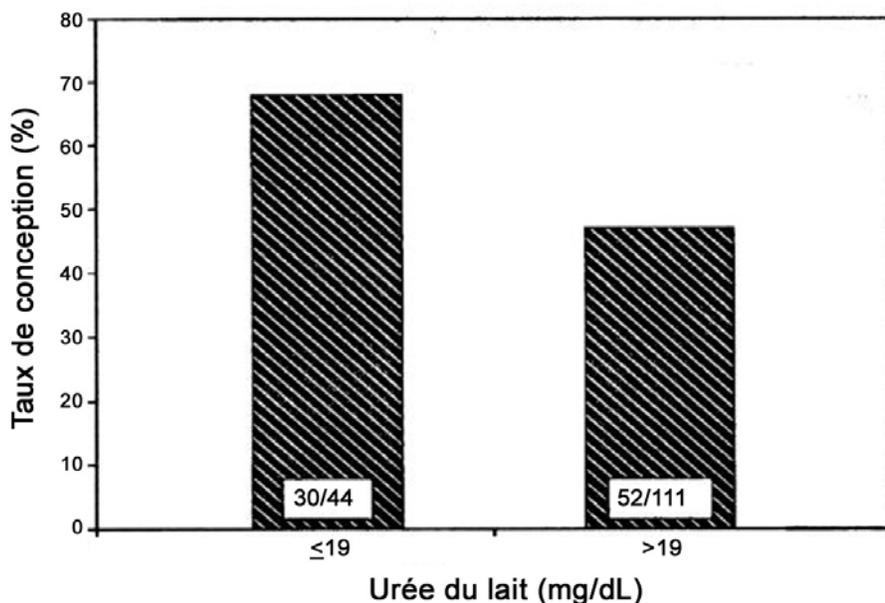


Figure 9. Effet du niveau d'urée dans le lait sur le taux de conception (Butler *et al.*, 1996)

Mécanisme d'action

Le mécanisme par lequel un taux élevé d'urée dans le sang affecte négativement la fertilité n'est pas entièrement élucidé. Plusieurs mécanismes sont proposés et il est probable qu'ils jouent un rôle simultané et possiblement additif.

Altération de l'environnement utérin

Comme les autres fluides corporels, la concentration d'urée dans les sécrétions utérines augmente parallèlement à l'urée sanguine (Jordan *et al.*, 1983). Cependant, d'autres modifications à sa composition ont également été observées durant la phase lutéale : diminution de la concentration de phosphore, potassium et magnésium (Jordan *et al.*, 1983), diminution du pH (Elrod et Butler, 1993). Normalement, le pH des sécrétions utérines est

d'environ 6,8 durant la phase oestrale (un pH similaire à celui du sperme bovin), puis augmente à environ 7,1 durant la phase lutéale. Les minéraux mentionnés plus haut présentent une variation similaire (Elrod et Butler, 1993). Les variations normales de pH sont contrôlées par la réponse de l'endomètre utérin à la concentration de progestérone. Une concentration d'urée élevée diminuerait la capacité de la progestérone de contrôler la composition ionique du fluide utérin (Butler, 1998). De plus, une sécrétion accrue de prostaglandines $F_{2\alpha}$ et E_2 a été observée lorsque des cellules endométriales d'utérus ont été incubées avec des concentrations élevées d'urée (Butler, 1998). Ensemble, ces résultats indiquent clairement que des concentrations élevées d'urée affectent le développement et diminuent les chances de survie et d'implantation de l'embryon (Blanchard *et al.*, 1990; Bishonga *et al.*, 1996; Ocon *et al.*, 2003).

Elrod et Butler (1993) et Ferguson (2002) ont mesuré l'intervalle entre les saillies et ont observé un nombre plus élevé de cycles longs (26 à 36 jours) chez les sujets démontrant un taux d'urée élevé, ce qui indique une possible mortalité embryonnaire subséquente à une fertilisation (tableau 23). La reconnaissance de l'embryon par l'utérus préviendrait donc la lutéolyse, mais la modification de l'environnement utérin ne permettrait pas à l'embryon de s'implanter et de survivre.

Tableau 23. Effet de la protéine de la ration sur l'intervalle entre les saillies (Ferguson, 2002)

	Ration		Pourcentage du total					
	% Prot.	% Prot. Dégradable	< 10 jours	10-17 j	18-24 j	25-35 j	36-48 j	> 48 j
Avant la saillie	16,5	71	--	20	65	13	2	--
	16,4	63	--	16	65	12	3	4
Après la saillie	16,5	71	3	20	40	26	6	6
	16,4	63	--	6	81	11	3	--

Nous avons jusqu'ici fort peu parlé de la reproduction des sujets de remplacement. Il faut garder à l'esprit qu'un déséquilibre de la ration en protéine peut également avoir des conséquences sur la reproduction des sujets de remplacement. À cet effet, il est intéressant d'examiner les données rapportées au tableau 24. Cette recherche impliquait 80 taures de 14 mois et plus, d'un poids vif moyen à 373 kg au début de l'expérience. Le gain de poids visé était de 800 grammes par jour, dans le voisinage de ce que l'on vise dans nos conditions d'élevage. La ration était constituée d'ensilage de maïs (64-66 % de la ration), de foin (25-26 % de la ration), de tourteau de soya et de minéraux. L'urée alimentaire a été utilisée pour augmenter le niveau de protéine brute de la ration. Le pourcentage de réussite à la 1^{re} saillie est passée de 82 % – ce qui est bon – à 61 %, ce qui est nettement moins satisfaisant pour des sujets de remplacement. La longueur moyenne du cycle précédent a été la même pour les deux groupes avant la saillie, mais pas après la saillie, ce qui tend à indiquer que l'implantation de l'embryon dans l'utérus n'a pas été aussi fructueuse avec le niveau élevé (21,8 %) de protéine. Les résultats d'Elrod et Butler (1993) (tableau 24) confirment une fois de plus les variations journalières importantes des valeurs d'urée dans le sang.

Au Québec, il arrive que la ration des taures de remplacement soit à un niveau élevé de protéine, que ce soit au pâturage ou lorsque le fourrage principal est un très bon ensilage de foin. Il faut alors y prêter une attention particulière.

Tableau 24. Effet du niveau de protéine de la ration sur certains paramètres mesurés sur des taures de remplacement en âge de se reproduire (Elrod et Butler, 1993)

Paramètre	Niveau de protéine	
	Normal (15,5 %)	Élevé (21,8 %)
% réussite à la 1 ^{re} saillie	82 % (32/39) ^a	61 % (25/41) ^b
Longueur du cycle précédent la saillie (jours)	20,1	20,4
Longueur du cycle après la saillie (jours)	21,9	24,4
Urée plasmatique (mg/100 ml) [*]	10,2 -17,5	14,8 -23,6

^{*} Niveau avant le repas et au pic

^{a,b} Sur une même ligne, les moyennes marquées d'une lettre différente sont statistiquement différentes (P < 0,05).

Impact sur le cycle oestral

Il semble que l'effet de l'apport protéique et de la concentration d'urée sur le retour de l'activité cyclique ovarienne soit minime et aucun effet sur le développement folliculaire n'a été rapporté (Butler, 1998). Aucun effet sur l'incidence de kystes ovariens n'a été observé (Carlsson et Pehrson, 1993). Certaines études ont démontré un effet négatif du niveau de protéine de la ration sur la concentration de progestérone chez les vaches en lactation, mais non chez les vaches tarées ou les génisses. Il est probable que la diminution de la concentration de progestérone durant la phase lutéale suivant l'insémination chez les vaches en lactation explique une partie de l'effet négatif du niveau de protéine sur la fertilité et que cette action soit reliée à un effet sur le bilan énergétique (Butler, 1998).

Impact sur le bilan énergétique

L'élimination de l'excès d'azote sous forme d'urée entraîne une dépense énergétique significative pour la synthèse de l'urée à partir de l'ammoniac. Chaque molécule d'urée produite requiert l'apport de quatre molécules de phosphate provenant d'ATP, (McBride et Kelly, 1990), ce qui se traduit par une dépense énergétique estimée à environ 18 kcal par gramme d'azote en excès (Staples et Thatcher, 2001). Comme la priorité métabolique des vaches en début de lactation est la production de lait, ce coût énergétique additionnel affecte plus fréquemment les réserves corporelles (mobilisation plus importante, délai dans l'atteinte de l'équilibre énergétique ou regain plus lent) que la production. L'impact du bilan énergétique sur la reproduction (retard de la première ovulation, développement anormal des follicules et de l'embryon) a été démontré plus haut, il suffit donc de rappeler qu'un taux d'urée élevé engendre une dépense énergétique supplémentaire qui détériore le bilan énergétique. C'est pourquoi l'effet d'un taux d'urée élevé sur la reproduction a un impact négatif plus important chez des vaches subissant déjà un bilan énergétique négatif ou un stress comme une métrite (Ferguson, 2002).

Enfin, le niveau d'ammoniac dans le rumen serait l'un des mécanismes de contrôle de l'appétit, une concentration trop élevée entraînant une baisse de la consommation. Tout ce qui affecte l'appétit risque forcément d'entraîner des problèmes de reproduction conséquence d'un déficit en énergie plus prononcé comme nous l'avons vu plus haut.

Conclusions relativement à la protéine

Étant donné la dégradation partielle de la protéine alimentaire dans le rumen et la synthèse de protéine microbienne, la complexité du métabolisme de la protéine chez la vache laitière demeure un défi de taille. Heureusement, la recherche a fait des progrès. Cependant, force est de reconnaître que les concepts décrivant la « qualité » de la protéine portent encore une part d'imprécision. Ce qui est rassurant, c'est que la recherche se poursuit.

Pour des performances satisfaisantes en reproduction, il est clair que le suivi du niveau d'urée dans le lait est une piste intéressante, à condition de faire une interprétation éclairée des résultats. Le service d'analyse de l'urée du lait est offert au Québec depuis déjà plusieurs années. Des résultats d'urée dans le lait inférieurs à 10 mg/dL pour un groupe de vaches ne sont pas forcément alarmants sous l'angle des performances attendues en reproduction. Mais si un bon nombre de vaches en période de reproduction ont un taux supérieur à 16, les risques que la nutrition protéique affecte la reproduction augmentent. Le comptage de cellules somatiques doit être pris en considération puisqu'un comptage élevé peut interférer avec le dosage d'urée dans le lait.

4. MINÉRAUX MAJEURS ET MINEURS

Introduction

De tous les minéraux, le phosphore est certainement celui qui retient le plus l'attention lorsqu'il est question de reproduction. Est-ce que cette relation est aussi nette qu'on veut bien le croire ? Nous ferons le point sur la question. Par ailleurs, le phosphore n'est certainement pas le seul minéral à jouer un rôle au niveau de la reproduction. Voici donc un bref survol.

Calcium

Le calcium extracellulaire est essentiel pour la formation des tissus du squelette, la transmission des impulsions des tissus nerveux, l'excitation des contractions des muscles squelettiques et cardiaque, la coagulation du sang, et comme composant du lait. Le calcium intracellulaire, même s'il ne représente que 1/10 000 de la concentration du calcium extracellulaire, n'en est pas moins important puisqu'il est impliqué dans une grande variété d'enzymes et qu'il agit comme messenger de la surface de la cellule vers l'intérieur.

Environ 98 % du calcium de l'organisme se trouve dans le squelette où le calcium, de pair avec l'anion phosphate, procure à l'os sa force structurelle et sa dureté. Le reste du calcium (environ 2 %) se trouve dans les liquides extracellulaires de l'organisme.

Ces énoncés ne nous permettent pas de faire de lien avec la reproduction. Par ailleurs, lorsqu'il est question de contractions musculaires, et sachant que l'utérus est constitué d'une paroi de tissu musculaire lisse, on peut dès lors faire le lien, tel que rapporté par Pugh (1985) entre une déficience en calcium et :

- Vêlage difficile (contractions pas efficaces pour assurer l'expulsion du veau);
- Rétention placentaire (contractions pas efficaces pour assurer l'expulsion du placenta dans des délais raisonnables);
- Prolapsus utérin chez les multipares;
- Retard de l'involution utérine.

Même si le calcium n'a pas de rôle connu dans la synthèse de la progestérone ou de la LH, par exemple, il n'en demeure pas moins important de satisfaire les besoins de la vache en calcium. Par ailleurs, il est rapporté que des excès en calcium pourraient interférer avec l'absorption des minéraux mineurs, notamment le zinc (NRC, 2001). Bref, il faut couvrir les besoins sans excès importants.

Phosphore

Le phosphore a plus de fonctions biologiques connues que n'importe quel autre élément minéral. Environ 80 % du phosphore de l'organisme se retrouve dans les dents et les os. Il se retrouve également dans toutes les cellules du corps et la majorité des transactions d'énergie dans les cellules implique la formation ou la dissociation de liaisons riches en énergie qui lient des oxydes de phosphate au carbone ou à des composés carbone-azote (comme l'adénosine triphosphate, mieux connue sous le nom d'ATP). Le phosphore est également intimement impliqué dans le système du maintien de l'équilibre acide-base du sang et des autres fluides corporels, ainsi que dans la différenciation des cellules. Le phosphore est également une composante des parois cellulaires et du contenu cellulaire comme phospholipides, phosphoprotéines et acides nucléiques.

Le phosphore est requis par les microbes du rumen pour la digestion de la cellulose et la synthèse de la protéine microbienne. Pour cette fonction, il faut une concentration minimale de phosphore dans le liquide ruminal. La salive est un véhicule qui permet de recycler le phosphore. Elle permet de maintenir des apports réguliers de phosphore dans le rumen tout au cours de la journée. La concentration en phosphore de la salive peut être 4 à 5 fois plus grande que celle du plasma sanguin. Chez la vache, entre 30 et 90 grammes de phosphore sont sécrétés par jour via la salive.

Comme on peut le constater, le phosphore n'a pas de fonction directement liée à la reproduction. Pourtant, dans la littérature populaire, plusieurs symptômes sont rapportés comme étant le résultat d'une déficience en phosphore :

- Taux de conception réduit
- Chaleurs irrégulières
- Absence de chaleurs

- Diminution de l'activité ovarienne
- Augmentation de l'incidence des kystes folliculaires.

Qu'en est-il au juste ? Plusieurs producteurs laitiers québécois ont, au cours des ans, réglé des problèmes de fertilité par une augmentation du phosphore dans la ration. Est-ce que ces expériences positives n'auraient été que le fruit du hasard ? Probablement pas. Par ailleurs, il est évident que les niveaux de phosphore dans les fourrages ont changé depuis 20-25 ans. Des foins ou des ensilages de foin à 0,12-0,15 %, on en voyait régulièrement au Québec (références personnelles et communications personnelles, Coopérative fédérée). Le rapport de production du PATLQ de 1982 indique que le niveau de phosphore était alors à 0,22 % pour l'ensemble des foins, et à 0,24 % pour l'ensemble des ensilages. On en voit moins aujourd'hui. La moyenne rapportée dans le Rapport de Production du PATLQ pour 2002 est à 0,30 % +/- 0,06 pour tous les ensilages et à 0,27 % +/- 0,06 pour les foins, et c'est dans le même ordre de grandeur que les moyennes d'analyse rapportées par le laboratoire agroalimentaire CO-OP (moyennes 1998-2002, communications personnelles). Le niveau de base de phosphore dans les rations n'est plus le même. La ration basée sur un foin à 0,15 % était certainement plus sujette à être déficiente que celle basée sur un fourrage à 0,30 %, ça va de soi. Considérant les préoccupations nouvelles relativement au phosphore, il nous paraît à propos de faire le point sur la question.

Le NRC, pour son édition 2001, a passé en revue la littérature de 1923 à 1999 dans le but d'évaluer les effets du phosphore dans la ration sur la reproduction. Certaines études semblaient démontrer qu'une carence sévère en phosphore entraîne l'infertilité ou une réduction des performances reproductives (Ishler, 2002) . Mais le portrait décrit par ces études n'était pas complet. Lorsque les vaches souffraient d'infertilité et de performances reproductives inférieures en lien avec une carence sévère en phosphore, on a également observé que :

- La concentration typique de phosphore dans la ration était à moins de 0,20 % de la matière sèche;
- Ces rations ont été servies pour des périodes prolongées (un à quatre ans).

Lorsqu'on a mesuré la consommation de matière sèche, elle s'est avérée inférieure pour d'autres raisons d'ordre alimentaire, ce qui a occasionné, par le fait même, des déficiences en énergie, en protéine, et en d'autres nutriments importants.

L'étude qui semble avoir établi un lien entre le phosphore et la performance reproductive chez la vache laitière était une enquête réalisée en Écosse en 1951 (Hignett et Hignett, 1951). Selon cette étude, le phosphore supplémentaire avait amélioré le taux de conception.

Néanmoins, avant de tirer des conclusions à partir de cette information, plusieurs points importants devraient être précisés. À cette époque, les vaches laitières étaient alimentées de manière très différente des vaches d'aujourd'hui en Amérique du Nord. On leur servait peu ou pas de grain. De plus, le foin était à base de graminées ayant probablement subi des dommages dus aux intempéries. On peut imaginer que la teneur en phosphore de ce foin était faible, et sa disponibilité réduite.

Cette étude écossaise a été largement citée et semble être à l'origine de la croyance voulant que l'ajout de phosphore à la ration soit importante pour de bonnes performances reproductives. Peu de gens ont noté que les chercheurs écossais estimaient les besoins de la vache laitière à seulement 30 grammes de phosphore par jour. C'est beaucoup moins que les 80 grammes par jour recommandés par le NRC (2001).

Le phosphore n'est pas un facteur...

Des chercheurs ont récemment effectué une revue de 13 études évaluant le lien entre le niveau de phosphore dans la ration et la reproduction (tableau 25).

Tableau 25. Performances reproductives des vaches recevant des niveaux de phosphore bas ou élevés* (Satter et Wu, 1999)

Phosphore (% m.s.)	Phosphore bas 0,32-0,40	Phosphore élevé 0,39-0,61
Nombre de vaches	393	392
	Moyenne	Moyenne
Intervalle vêlage-1 ^{re} chaleur (jours)	46,8	51,6
Intervalle vêlage-1 ^{re} saillie (jours)	71,7	74,3
Nombre de jours ouverts	103,5	102,1
Saillies par conception	2,2	2,0
% de vaches gestantes	92	85

* Les différences entre les moyennes n'étaient pas statistiquement différentes pour aucun des paramètres mesurés.

Un total de 785 vaches ont été impliquées dans ces études. La moitié des vaches ont reçu des niveaux de phosphore entre 0,32 à 0,40 % de la ration, et l'autre moitié entre 0,39 à 0,61 % de la ration.

L'auteur d'un article du *Hoard's Dairyman* (Ishler, 25 septembre 2002) tirait la conclusion : « Les moyennes pour plusieurs paramètres liés à la reproduction dans ces études n'indiquent aucun effet associé à une augmentation des niveaux de phosphore dans la ration. La reproduction chez la vache laitière ne sera pas affectée, à moins que le phosphore de la ration ne soit à un niveau très bas. Il n'y a pas de données disponibles suggérant que les recommandations du NRC pour le phosphore soient inadéquates pour des performances reproductives optimales ».

Les données du tableau 25 vont dans le même sens que celles publiées par Wu et collaborateurs en 2000 et 2001. Les deux essais de Wu et de ses collaborateurs (tableau 26) impliquaient des vaches produisant dans le voisinage de 11 000-12 000 kg, et ont porté sur une lactation (1^{er} essai) ou sur 2-3 lactations (2^e essai). Il n'a noté aucune différence ni au niveau de la production, ni au niveau de la consommation, ni même au niveau des composantes. Il est intéressant de constater que la tendance pour le nombre de saillies par conception, même si elle n'est pas significative, va dans un sens pour l'essai 1, et dans le sens contraire pour

l'essai 2. À la lumière de ces résultats, il nous semble que le niveau inférieur ne permettrait pas d'atteindre des performances de reproduction satisfaisantes. L'essai 1 aura permis de mettre en lumière la capacité de la vache à s'ajuster. Elle a des réserves de phosphore et elle peut en faire usage si les apports s'avéraient insuffisants.

Tableau 26. Performances reproductives des vaches recevant différents niveaux de phosphore (Wu *et al.*, 2000 et Wu *et al.*, 2001)

Étude 1 : 26 vaches; durée : une lactation

Paramètre	0,31 % P	0,40 % P	0,49 % P
Intervalle vêlage-1 ^{re} chaleur (jours)	41	78	44
Intervalle vêlage-1 ^{re} saillie (jours)	70	92	67
Jours ouverts	78	106	112
Saillies par conception	1,4	1,6	2,3
Phosphore dans le fumier (%)	0,51	0,73	0,90

Étude 2 : 37 vaches; durée : 2 ou 3 lactations

Paramètre	0,31 % P	0,39 % P	0,47 % P
Intervalle vêlage-1 ^{re} chaleur (jours)	74	71	83
Intervalle vêlage-1 ^{re} saillie (jours)	90	77	94
Jours ouverts	160	109	128
Saillies par conception	2,4	1,9	1,8
Phosphore dans le fumier (%)	0,54	0,83	1,12
Cendres dans les os (%)	53,9 ^b	56,2 ^a	55,6 ^{ab}

Il est intéressant de noter l'impact marqué du niveau de phosphore dans la ration sur le niveau de phosphore dans le fumier. Ce n'est pas une surprise, mais ça permet de quantifier des choses. Le niveau inférieur (0,31 % phosphore) a eu l'effet de réduire le pourcentage de cendres dans les os. Ceci explique probablement pourquoi l'auteur conclut que le niveau de 0,31 % de phosphore dans la ration semble proche d'être insuffisant pour des vaches produisant plus de 11 900 kg.

Avant de conclure sur le sujet du phosphore, il serait dommage de passer sous silence un essai récent réalisé sur la question du phosphore et l'expression des chaleurs (Lopez *et al.*, 2001). On entend à l'occasion : « mes vaches ne viennent pas en chaleur, je vais rajouter du phosphore ». Le chercheur (tableau 27) a voulu examiner si le niveau de phosphore dans la ration avait un effet sur le comportement des vaches en chaleur. L'activité des vaches a été enregistrée par un outil vendu pour aider la détection : « Heatwatch ». L'appareil appliqué sur la croupe de la vache à venir en chaleur enregistre les activités de monte : le moment et la durée. Le « Heatwatch » est certainement très utile à des fins de recherche puisqu'il permet d'enregistrer de l'information très utile en reproduction, et ce, 24 heures par jour. Le chercheur a qualifié les chaleurs :

- Longue durée si la durée de monte dépassait 7 heures, et courte durée dans le cas contraire;
- Forte intensité si le nombre moyen de monte dépassait 1,5 par heure, et faible intensité dans le cas contraire.

Les conclusions du chercheur sont claires : le niveau de phosphore dans la ration n'a pas eu d'effet marqué sur les chaleurs . Pas de chaleurs plus intenses, pas de chaleurs plus longues avec plus ou moins de phosphore dans la ration.

Tableau 27. Effet du niveau de phosphore dans la ration sur l'expression des chaleurs (Lopez et al., 2001)

Intensité et durée de la chaleur	0,38 % Phosphore (n = 42)		0,48 % Phosphore (n = 41)	
	N	%	N	%
Faible intensité, courte durée	10	24	13	32
Faible intensité, longue durée	19	45	17	41
Forte intensité, courte durée	11	26	9	22
Forte intensité, longue durée	2	5	2	5

Nous sommes forcés de conclure que le phosphore n'est pas à blâmer pour tous les problèmes de fertilité que nous pouvons rencontrer dans un troupeau laitier. Il demeure à propos d'assurer des apports suffisants pour couvrir les besoins en phosphore. Les chances de régler un problème de fertilité en apportant du phosphore en quantité très supérieure aux besoins sont minces, en même temps que ça va augmenter les niveaux de rejets dans le fumier et donc occasionner d'autres problèmes.

Magnésium

Le magnésium est un cation intracellulaire majeur (NRC, 2001). Il est un cofacteur nécessaire à des réactions enzymatiques vitales dans chaque voie métabolique majeure. Le magnésium extracellulaire est vital pour la conduction nerveuse, les fonctions musculaires, et la formation minérale des os. Environ 60 % du magnésium de l'organisme se trouve dans les os. Le magnésium est également impliqué dans certaines réactions du métabolisme de la protéine et de l'énergie.

Parmi les symptômes associés à une déficience en magnésium, il n'est jamais fait mention de reproduction. Par ailleurs, nous savons que certains cas de paralysie au vêlage s'expliquent par une déficience en magnésium. La vache qui paralyse risque davantage d'avoir un vêlage difficile, de ne pas délivrer, de faire une infection utérine et par conséquent d'avoir des problèmes de reproduction. Il s'agit d'assurer des apports suffisants pour couvrir les besoins en magnésium, particulièrement durant la période de transition.

Potassium

Le potassium est le troisième élément minéral le plus abondant dans l'organisme (NRC, 2001). L'animal a très peu de réserves de potassium. Par conséquent, il est important d'apporter le potassium requis sur une base quotidienne. Le potassium apporté en excès des besoins est excrété dans l'urine.

Le potassium est impliqué dans la régulation de la pression osmotique et de l'équilibre acide-base, dans l'équilibre hydrique, dans la transmission de l'influx nerveux, dans les contractions musculaires et dans le transport de l'oxygène et du dioxyde de carbone. Il est également impliqué dans certaines réactions enzymatiques du métabolisme des glucides et de la protéine. Il est l'électrolyte intracellulaire le plus important. La concentration du lait en potassium est plus élevée (38 meq/L) que n'importe quel autre élément minéral.

Comme pour le magnésium et la calcium, il n'y a pas de lien direct entre le potassium et la reproduction. D'autre part, on comprend mieux aujourd'hui les effets négatifs liés à un excès de potassium durant la période de transition (interférence avec le métabolisme du magnésium, excrétion plus importante du calcium, plus de risques de fièvre du lait, œdème mammaire). On l'a vu plus tôt, plus de cas de fièvre du lait signifie en bout de ligne plus de problèmes de reproduction. Il s'agit simplement d'éviter les excès avant le vêlage, et d'assurer des apports adéquats après le vêlage, et plus particulièrement durant les périodes de grandes chaleurs.

Sodium, Chlore, Soufre

On ne rapporte pas de lien direct entre ces trois minéraux majeurs et la reproduction. Ils n'en sont pas moins importants pour l'organisme.

Le sodium est le cation extracellulaire le plus important (NRC, 2001). Il est indispensable pour plusieurs fonctions dans l'organisme dont le maintien du volume des fluides extracellulaires. Il est également une composante majeure des sels contenus dans la salive.

Le chlore est l'anion le plus important dans les fluides extracellulaires. Il est essentiel pour le transport de l'oxygène et du dioxyde de carbone. Il est le principal anion dans les sécrétions gastriques pour la digestion de la protéine.

On retrouve le soufre dans certains acides aminés comme la méthionine, la cystéine, la taurine et dans certaines vitamines du groupe B comme la biotine et la thiamine. Des quantités excessives de soufre peuvent interférer avec l'absorption d'autres nutriments dont le sélénium et le cuivre. L'eau d'abreuvement peut être une source non négligeable de soufre.

La question des interférences entre le sélénium et le soufre a fait l'objet d'un essai dont les résultats ont été publiés récemment. On a expérimenté deux niveaux de sélénium (0,135 et 0,27 mg/kg) et trois niveaux de soufre (0,2-0,4 et 0,7 % de la matière sèche). Les données rapportées à la figure 10 confirment que le niveau de sélénium sanguin est influencé par le

niveau de soufre dans la ration. Il est intéressant de noter que le niveau de sélénium sanguin aura réussi à se maintenir avec les rations à 0,3 mg de sélénium par kg de matière sèche, mais pas avec les rations à 0,1 mg/kg. Par ailleurs, le sélénium dans le lait a été peu affecté, le sélénium supplémentaire étant plutôt excrété dans les fèces ou dans l'urine. Dans un autre ordre d'idée, l'auteur rapporte que l'augmentation des niveaux de soufre dans la ration a fait baisser la consommation de matière sèche, et a eu tendance à faire baisser la production.

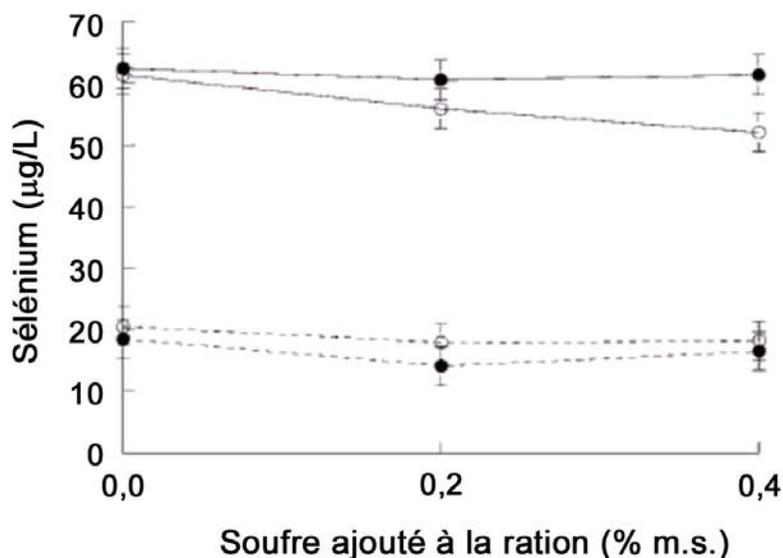


Figure 10. Concentration de sélénium plasmatique (ligne pleine) et de sélénium dans le lait (ligne pointillée) de vaches recevant 0,1 mg/kg de sélénium (●) ou 0,3 mg/kg de sélénium (○) et différentes concentrations de soufre ajouté pour une période de 112 jours (Ivancic et Weiss, 2001)

Zinc

Comme constituant d'un grand nombre de métallo-enzymes, le zinc est impliqué dans plusieurs réactions enzymatiques associées au métabolisme des glucides, de la synthèse des protéines et du métabolisme des acides nucléiques (NRC, 2001). Par conséquent, le zinc est essentiel dans des cellules comme les gonades (ovaires, testicules). C'est pourquoi les fonctions reproductives sont sérieusement affectées par une déficience en zinc. La spermatogénèse, le développement des organes sexuels primaires et secondaires du mâle et toutes les phases du processus de reproduction de la femelle, de l'oestrus jusqu'à la gestation et la lactation peuvent être affectés (Smith, 2000). Le NRC nous indique dans sa dernière édition qu'une déficience en zinc peut également modifier la synthèse des prostaglandines, ce qui par conséquent peut affecter la phase lutéale. Il existe d'autres symptômes liés à une carence en zinc dont : baisse de la consommation et du taux de gain, tissus de la corne du pied plus faibles, parakératose de la peau sur les pattes, la tête (plus particulièrement le museau) et le cou. Bref, il est important de satisfaire les besoins en zinc, sinon les performances en reproduction ainsi que les performances générales du troupeau seront affectées.

Les fourrages du Québec contiennent du zinc, en quantités variables, et à des niveaux généralement inférieurs aux besoins. Par ailleurs, il est facile de couvrir les besoins en zinc puisqu'il y a sur le marché des produits comme l'oxyde de zinc et le sulfate de zinc, régulièrement utilisés dans la formulation de minéraux commerciaux. Il est généralement admis que le zinc de l'oxyde est moins bien absorbé que le zinc provenant du sulfate. Ce serait une question de solubilité. Le NRC indique qu'il reste de la recherche à faire sur cette question.

Certains facteurs peuvent influencer la disponibilité du zinc puisqu'il existe des interactions connues avec d'autres ions minéraux. Le zinc et le cuivre sont des antagonistes l'un pour l'autre. En d'autres mots, le zinc peut nuire à l'absorption du cuivre, et il semble que l'inverse puisse se produire également. D'autres interactions entre le fer et le zinc ont également été rapportées chez l'humain et le rat. Il n'existe pas de données chez le ruminant confirmant de telles interactions. Un niveau élevé de calcium dans la ration interfère avec l'absorption du zinc chez les non-ruminants. Il n'existe pas de données chez le ruminant pour confirmer cette avenue. Nous reviendrons plus loin sur la question des minéraux organiques.

Cuivre

Le cuivre est un constituant de plusieurs enzymes dans l'organisme (NRC, 2001). Parmi les symptômes liés à une carence en cuivre, il y a : décoloration du poil, particulièrement autour des yeux, diarrhée, anémie, os fragiles et ostéoporose, problèmes cardiaques, pauvre croissance et reproduction inefficace caractérisées par des chaleurs moins intenses. D'autres symptômes reliant carence en cuivre et reproduction sont rapportés : chaleurs retardées, intervalle vêlage - première chaleur plus long, infertilité associée à l'absence de chaleur, à l'avortement ou à la résorption du fœtus, taux de conception plus bas, mortalité embryonnaire, activité ovarienne sub-optimale, incidence plus élevée de rétention placentaire et de vêlage difficile. En bref, il est important de satisfaire les besoins en cuivre, sinon les performances en reproduction du troupeau seront affectées.

Tout comme pour le zinc, les fourrages du Québec contiennent du cuivre en quantités variables et à des niveaux généralement inférieurs aux besoins. Par ailleurs, il est facile de couvrir les besoins en cuivre puisqu'il y a sur le marché des produits comme le sulfate de cuivre, l'oxyde de cuivre, le carbonate de cuivre. Les données semblent indiquer que le cuivre sous forme d'oxyde soit moins bien assimilé que sous forme de sulfate ou de carbonate.

Certains facteurs peuvent influencer la disponibilité du cuivre puisqu'il existe des interactions connues avec d'autres ions minéraux. Comme indiqué plus haut, le zinc peut nuire à l'absorption du cuivre. C'est la même chose pour le molybdène, le fer et le soufre. Le NRC indique que l'eau ayant un contenu élevé en fer pouvait être impliquée comme une cause potentielle de carence en cuivre. Pour le nord-est, le molybdène a tendance à être à des niveaux faibles, et ne devrait pas être une préoccupation.

Il semblerait que les sujets de race Jersey soient plus susceptibles que les sujets de race Holstein à une intoxication au cuivre. Les raisons de ces différences ne sont pas connues. Par ailleurs, il ne semble pas pertinent de faire des ajustements dans l'établissement des besoins sur la base de ces différences entre les races, d'après le NRC.

Manganèse

La majorité du manganèse de l'organisme se retrouve dans les os, le foie et le poil (NRC, 2001). Le foie et possiblement d'autres tissus ont une capacité limitée à entreposer le manganèse, ce qui fait qu'un animal ne pourrait pas être sur une ration déficiente en manganèse pendant des mois sans extérioriser des symptômes de carence. Parmi les symptômes liés à une carence en manganèse, il y a : croissance réduite, anomalies au niveau des os (plus courts et déformés), problèmes de reproduction, anomalies du nouveau-né (incluant l'ataxie, due à un problème de développement de l'oreille interne). Parmi les symptômes liés spécifiquement à la reproduction, il y a : absence de chaleurs, cycles irréguliers, kystes ovariens, ovulation retardée, pauvre développement folliculaire, taux de conception réduit, augmentation de l'incidence des avortements et des veaux faibles à la naissance.

Comme pour le zinc et le cuivre, il est important de satisfaire les besoins.

Les fourrages du Québec contiennent du manganèse en quantités variables et à des niveaux qui peuvent à l'occasion être inférieurs aux besoins. Il est facile de couvrir les besoins en manganèse puisqu'il y a sur le marché des produits comme le sulfate de manganèse, l'oxyde de manganèse et le carbonate de manganèse. Le manganèse sous forme de sulfate est clairement plus assimilable que les deux autres sources.

Parmi les ions minéraux pouvant interférer avec l'absorption du manganèse, il y aurait le calcium, le potassium, le phosphore et le fer.

Cobalt

La seule fonction connue pour le cobalt dans l'animal c'est son rôle comme constituant de la vitamine B₁₂ (NRC, 2001). Les microbes du rumen utilisent le cobalt pour synthétiser la vitamine B₁₂. Cette vitamine est très importante pour la production du glucose. L'animal a la capacité d'entreposer cette vitamine dans le foie. Par ailleurs, il semble que les microbes du rumen aient des besoins en cobalt qui doivent être satisfaits sur une base pratiquement quotidienne. Les premiers symptômes associés à une carence en cobalt sont : retard de croissance, perte de poids, anémie et résistance moins bonne à combattre les infections. Ceci peut entraîner indirectement des problèmes de reproduction qui vont s'extérioriser ainsi : taux de conception réduit, avortements, veaux faibles à la naissance et infertilité générale.

Le contenu des fourrages en cobalt n'est pas très bien documenté. Il est facile de satisfaire les besoins en cobalt puisqu'il y a sur le marché, des produits comme l'oxyde de cobalt, le chlorure de cobalt, le carbonate de cobalt et le sulfate de cobalt. Le cobalt sous forme d'oxyde est moins soluble, et par conséquent moins assimilable.

Iode

L'iode est nécessaire pour la synthèse des hormones thyroïdiennes qui règlent le métabolisme de l'énergie (NRC, 2001). Entre 80 et 90 % de l'iode présent dans l'alimentation est absorbé, et la portion qui excède les besoins est excrétée dans l'urine et le lait. Le goitre est le premier symptôme d'une carence en iode. Il est possible que le veau arrive à la naissance sans poil, faible ou mort. Il est possible que le fœtus meure à n'importe quel moment de la gestation. Souvent, la vache aura une allure tout à fait normale. Parmi les autres symptômes, on rapporte également : absence de chaleurs, vêlage prolongé, vêlage après la date prévue, rétention placentaire. Comme pour les autres nutriments, il est essentiel de satisfaire les besoins en iode de la vache pour des performances de reproduction satisfaisantes. Il faut également se rappeler que l'iode peut être toxique pour la vache. Parmi les symptômes de toxicité à l'iode, il y a : décharges nasales et oculaires excessives, salivation, diminution de la production, toux et pelage présentant des écailles.

Sélénium

La fonction la mieux connue du sélénium, c'est qu'il est un constituant de l'enzyme appelée la glutathione peroxidase (GSH-px) (NRC, 2001). Sur le profil biochimique de la vache, la teneur de cette enzyme dans le sang est utilisée comme indicateur du statut en sélénium. Cette enzyme convertit le peroxyde d'hydrogène en eau, et elle est une importante composante du système antioxydant de la cellule. Un symptôme bien connu d'une carence en sélénium est la maladie communément appelée la maladie du muscle blanc. Dans plusieurs études, la prévalence des rétentions placentaires était diminuée lorsque du sélénium était administré soit dans la ration, soit en injection durant la période de fin gestation. D'autres problèmes résolus à la suite d'une injection de sélénium incluent : métrite, kyste ovariens et œdème mammaire (NRC, 2001).

Des performances moins bonnes en reproduction, autant du côté du mâle que de la femelle, ont été attribuées à une carence en sélénium. Parmi les symptômes spécifiques à la reproduction, on rapporte : chaleurs erratiques, peu intenses ou silencieuses, conception retardée, pauvre fertilisation, motilité du sperme réduite, motilité utérine réduite (NRC, 2001).

Il semble que le sélénium, tout comme la vitamine E, soit impliqué indirectement dans la synthèse des prostaglandines. Le sélénium s'accumule de préférence dans les cellules du placenta, dans l'ovaire, l'hypophyse, les testicules, suggérant un rôle spécifique dans ces tissus (NRC, 2001).

Il est généralement admis que les fourrages et les céréales produits dans l'est du continent sont relativement pauvres en sélénium (<0,1 mg/kg de matière sèche), alors que les aliments produits dans le Mid-Ouest canadien et américain ont plutôt tendance à être élevés (>0,1 mg/kg de matière sèche). L'ajout de sélénium dans la ration au Canada est régi par la loi sur les Aliments du Bétail. Elle permet l'ajout de 0,3 mg de sélénium par kg de matière sèche de ration.

Le sélénium peut également être toxique pour la vache. Parmi les symptômes de toxicité, il y a : amaigrissement, perte de poil, boiteries, chute de l'onglon.

Minéraux organiques

Au cours des dernières années, des formes différentes de plusieurs minéraux mineurs ont été développées. En effet, on entend de plus en plus parler de minéraux dits « chélatés » ou plus correctement de minéraux organiques, un terme plus générique qui décrit tout élément minéral lié à une molécule organique. Les minéraux organiques sont généralement produits par une réaction hydro-thermique qui lie un ion métallique (zinc, cuivre, manganèse, etc.) à une molécule organique. L'ion métallique se trouve donc protégé par le lien avec la molécule organique, prévenant ainsi une réaction avec une autre substance dans le système digestif, qui pourrait inhiber l'absorption de l'oligo-élément. La nature de la molécule organique peut aller d'un acide aminé spécifique (par exemple la méthionine), à un complexe d'acides aminés, à un hydrolysate de protéines ou d'amidon. Pour d'autres minéraux mineurs comme le sélénium, on retrouve sur le marché des levures enrichies en sélénium. La littérature rapporte que la bio-disponibilité des minéraux organiques serait supérieure à celle des formes inorganiques. C'est le cas par exemple de la méthionine de manganèse (NRC 2001) qui a une bio-disponibilité relative de 125 % comparée au sulfate de manganèse (indice de 100) ou au carbonate de manganèse (indice de 30). Le NRC rapporte le même phénomène pour le sélénium organique comparé au sélénium inorganique, sans donner d'ordre de grandeur dans les différences. Il faut se rendre à l'évidence que la recherche doit se poursuivre dans ce secteur pour mieux comprendre les modes d'action. Si ce n'était qu'une différence au niveau de la bio-disponibilité, il suffirait d'ajouter proportionnellement davantage de la forme inorganique pour avoir des résultats équivalents à ceux obtenus avec la forme organique. Les résultats d'essais nous semblent indiquer que le phénomène est plus complexe. Est-ce le mode de transport dans le sang qui est plus performant ? Est-ce que la forme organique est plus disponible au niveau cellulaire ? La recherche y répondra certainement un jour.

Pour le moment, il faut constater que dans certaines circonstances, les formes organiques donnent des résultats supérieurs aux formes inorganiques. Dans le cadre de certains essais, l'ajout de minéraux organiques a également permis d'améliorer les performances de reproduction. Reconnaissant le rôle de certains minéraux mineurs au niveau de la reproduction, une combinaison de méthionine de zinc, de méthionine de manganèse, de lysine de cuivre et de glucoheptonate de cobalt a été passablement étudiée. Le tableau 28 rapporte le résumé des résultats de 6 essais qui visaient à mesurer l'impact de l'ajout de minéraux organiques sur les performances de reproduction. Les minéraux organiques ont permis de réduire en moyenne l'intervalle vêlage - première saillie de 7 jours, le nombre de jours ouverts de 16, et a eu tendance à faire baisser le nombre de saillies par conception (baisse numérique non significative de 0,3 saillie par conception). Il est intéressant de noter que dans tous les essais rapportés, l'ajout de minéraux mineurs n'a pas eu d'impact négatif sur les paramètres mesurés. On constate également que dans certains essais, la réponse a été nulle. On peut penser par exemple au nombre de saillies. Lorsque le groupe témoin est à 1,4 ou 1,5 saillie par conception, il est difficile de s'attendre à faire mieux...

Tableau 28. Sommaire des résultats de 6 essais ayant comme objectif de mesurer l'effet d'ajout de minéraux organiques (zinc, cuivre, manganèse et cobalt) sur les performances de reproduction (Bulletin technique Zinpro corp.)

Essai	N ^{bre} vaches	Intervalle vêlage – 1 ^{re} saillie			Jours ouverts			Saillies par conception		
		Témoin	4-Plex	Diff.	Témoin	4-Plex	Diff.	Témoin	4-Plex	Diff.
Tennessee	60	82	74	8	92	80	12	1,4	1,4	0
Texas	255	77	70	7	190	153	37	3,2	2,4	0,8
Texas	628	76	67	9	114	98	16	-	-	-
New York	158	-	-	-	159	156	3	2,7	2,5	0,2
Colorado	207	-	-	-	110	101	9	-	-	-
Mississippi	60	89	84	5	121	101	20	1,5	1,4	0,1
Moyenne	197	81	74	7	131	115	16	2,2	1,9	0,3

L'ajout de minéraux organiques à la ration ne représente certainement pas la solution à tous les problèmes de reproduction. Cette pratique ne peut certainement pas compenser pour un défaut majeur à la ration de base (fourrages de mauvaise qualité ou mal conservés, mauvais choix de concentrés, balancement inadéquat). Par ailleurs, lorsque tout ce qui devait être fait l'a été, on peut penser aux minéraux organiques pour améliorer les performances de reproduction, particulièrement pour les vaches fortes productrices.

5. VITAMINES

Introduction

Les vitamines sont sur la liste des nutriments requis pour assurer des performances satisfaisantes. Chez le ruminant, on ne se préoccupe généralement que des vitamines A, D et E. Toutes trois sont solubles dans le gras, tout comme la vitamine K. Les autres vitamines sont plutôt solubles dans l'eau. On parle ici des vitamines dites du groupe B (niacine, biotine, acide folique, thiamine, etc.) et de la vitamine C. Les vitamines A et E sont les seules pour lesquelles la vache a des besoins absolus. La vitamine K est synthétisée par les micro-organismes du rumen et de l'intestin. La vitamine D est synthétisée par la radiation ultraviolette sur la peau. Les vitamines du groupe B sont synthétisées par les microbes du rumen, et les aliments en contiennent naturellement une certaine quantité. La vitamine C est synthétisée par la vache. Plusieurs aliments contiennent des précurseurs de la vitamine A et de la vitamine E. Par ailleurs, les quantités présentes, notamment dans les fourrages et encore plus dans les fourrages récoltés et entreposés pour des périodes prolongées, sont très variables. Et avec les périodes prolongées que les vaches passent dans l'étable, il est logique de penser rajouter des vitamines A, D et E dans les rations des bovins laitiers du Québec. C'est d'ailleurs pratique courante depuis fort longtemps.

Vitamine A

La vitamine A est nécessaire pour la production d'un pigment de la vision, nécessaire pour voir lorsque l'intensité lumineuse est faible. Il faut également de la vitamine A pour une croissance et un développement normal (incluant le développement du fœtus), la spermatogénèse, l'entretien des tissus squelettiques et épithéliaux. Les avortements, une augmentation de l'incidence des rétentions placentaires, une augmentation de la morbidité et de la mortalité chez le veau peuvent être des indicateurs d'une déficience en vitamine A chez la vache gestante. Parmi les autres symptômes qui sont associés à une déficience en vitamine A chez la femelle ou chez le mâle, il y a :

- Réduction de la taille des testicules;
- Réduction de la production d'hormones par les testicules;
- Kératinisation de l'épithélium du vagin;
- Pas de conception.

Il n'est pas possible de parler de vitamine A sans parler de β -carotène. Le β -carotène est un précurseur de la vitamine A, ce qui signifie que la vache peut le convertir en vitamine A. Il faut noter que cette réaction n'est pas réversible, ce qui fait que la vache ne peut pas convertir la vitamine A en β -carotène. La majorité du β -carotène dans les plantes se trouve dans sa partie végétative. C'est pourquoi les fourrages peuvent en contenir des quantités substantielles, mais la plupart des grains et de leurs sous-produits en contiennent peu. Une exception : le fin gluten de maïs qui en contient des quantités appréciables. Le contenu des fourrages en β -carotène diminue à mesure qu'ils avancent en maturité. Le β -carotène est facilement oxydé, et sa concentration diminue dès le moment de la fauche. Ceci explique pourquoi les fourrages conservés (foin et ensilages) contiennent moins de β -carotène que les fourrages frais. Il faut ajouter que le temps joue contre nous, puisque le β -carotène s'oxyde au fur et à mesure que la période d'entreposage se prolonge (NRC, 2001). Il y en a très probablement très peu dans un ensilage vieux de 2 ans...

Outre sa fonction comme précurseur de la vitamine A, le β -carotène aurait d'autres fonctions spécifiques. Parmi celles-ci, il agirait comme antioxydant, un peu comme le sélénium et la vitamine E. Une revue de la recherche sur le sujet faisait état de données suggérant que l'ajout de β -carotène à la ration (dans le voisinage de 300 à 400 mg par vache par jour) aurait amélioré les performances de reproduction dans 12 études sur 22 (NRC, 2001). Lorsque les études réalisées en Amérique du Nord étaient isolées, seulement 1 étude sur 5 a donné des résultats positifs. D'autres observations rapportées dans la littérature : il y a des concentrations élevées de β -carotène dans le corps jaune (2 à 5 fois plus que dans d'autres tissus comme le foie, les tissus adipeux et le plasma, selon Haliloglu *et al.*, 2002), et le fluide folliculaire, mais il y a peu de réserves dans le foie.

Quelques projets de recherche nous permettent d'en savoir un peu plus. Un projet réalisé au Québec (Block et Farmer, 1987) avait révélé que le niveau de β -carotène dans le plasma était très variable dans les aliments et dans le plasma de vaches individuelles (moyenne à 288 mg/dL; CV=53,5 %). Par ailleurs, les données présentées à la figure 11 (Arécha et al.,

1998) indiquent que les niveaux de β -carotène dans le sang sont très variables d'une ferme à l'autre, et d'une saison à l'autre pour la même ferme. L'impact de l'ajout de β -carotène à la ration sur les niveaux dans le sang aura été significatif dans les 3 expériences, mais relativement plus important dans l'expérience 1 que dans les 2 autres. Pour ce qui a rapport avec les performances de reproduction, les résultats ne sont pas spectaculaires (tableau 29). Seul le pourcentage des vaches gestantes à 120 jours en lait de l'expérience 1 aura été meilleur.

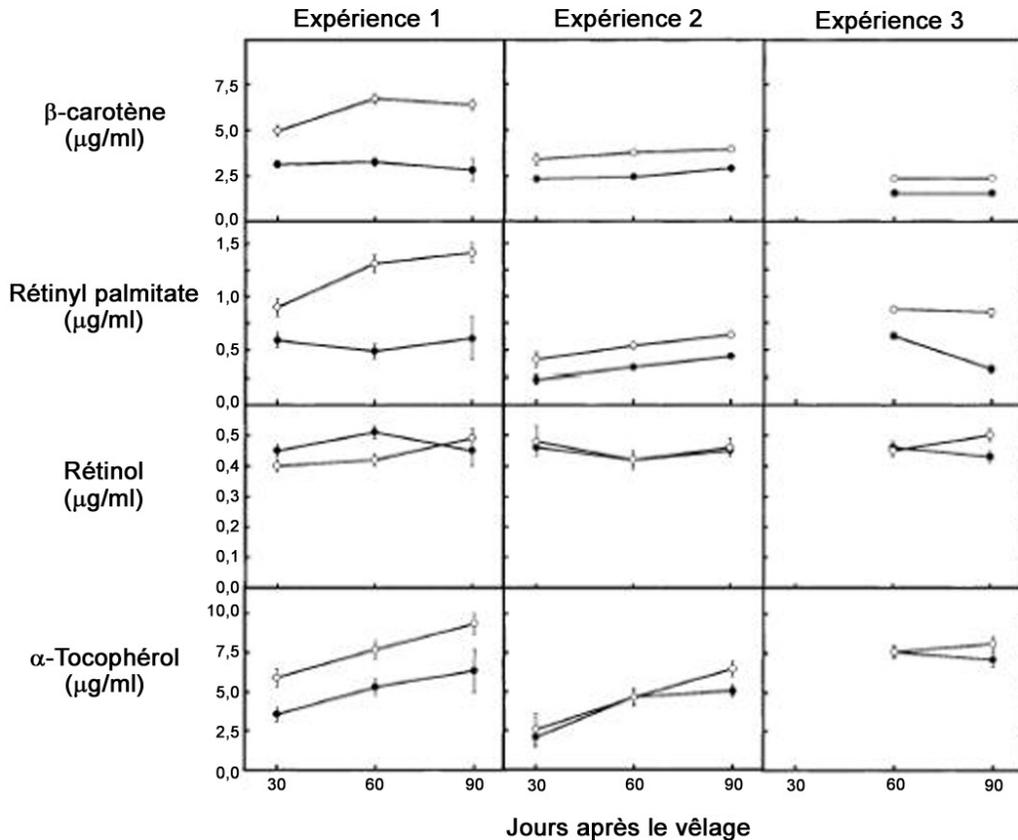


Figure 11. Changement des concentrations plasmatiques associés à l'ajout de β -carotène dans la ration. Les (●) représentent les données du groupe témoin, et les (○) représentent le groupe ayant reçu le β -carotène. L'expérience 1 a été réalisée sur une ferme du nord de la Floride, et les expériences 2 et 3 sur une ferme du sud du même État. Les expériences 1 et 2 ont été réalisées en été et au début de l'automne, alors que l'expérience 3 a été réalisée durant l'hiver et le printemps suivant (Aréchiga *et al.*, 1998).

Tableau 29. Effet de l'ajout de β -carotène pour au moins 90 jours (expérience 1) et au moins 60 jours (expérience 3) sur les performances de reproduction de vaches Holstein en production (Aréchiga *et al.*, 1998)

Expérience	Régime	Intervalle vêlage 1 ^{re} saillie (jours)	% des vaches gestantes		
			À la 1 ^{re} saillie	À 90 JEL	À 120 JEL
1	Témoin	76,8	9,3	9,4	21,1 ^a
	β -carotène	79,4	14,6	12,9	35,4 ^b
3	Témoin	62,3	17,6	33,3	50,0
	β -carotène	62,3	12,9	26,2	37,3

^{a,b} Sur une même ligne, les moyennes marquées d'une lettre différente sont statistiquement différentes (P < 0,05).

Une autre expérience (Goff *et al.*, 2002), d'un genre un peu nouveau, mérite qu'on s'y arrête. Dans le cadre de cette expérience, on a procédé à l'ablation du pis pour 10 vaches gestantes. L'idée était d'essayer de comprendre si c'est le processus du vêlage ou si c'est plutôt le début de la production de lait qui déclenche certains changements. Les résultats de l'étude (figure 12) nous révèlent que le β -carotène dans le plasma a baissé de 65 % chez les vaches intactes avec le vêlage, et les niveaux ne sont pas remontés dans les 15 jours premiers jours de lactation, contrairement à l' α -tocophérol (vitamine E). Chez les vaches ayant subi l'ablation du pis, la chute du β -carotène a été de 22 %, une baisse significative. Cette étude n'était pas la première à indiquer une chute du β -carotène durant la période péri-partum. Cette chute était alors attribuée à la production de colostrum. Chaque millilitre de colostrum contient 200 ng de β -carotène, alors que le lait n'en contient que 40. De toute évidence, la production n'est pas la seule à blâmer pour la chute du β -carotène. L'auteur propose d'autres pistes pour expliquer la chute :

- La baisse de consommation à l'approche du vêlage. Cependant, il faut reconnaître que le niveau n'a pas ré-augmenté alors que la consommation de matière sèche reprenait progressivement après le vêlage;
- Puisque le β -carotène est considéré comme un anti-oxydant, au même titre que la vitamine E et le sélénium, il faut penser que le stress oxydatif imposé à l'organisme est plus élevé au vêlage qu'à d'autres temps.

Pour conclure avec le β -carotène, il y a lieu d'espérer que la recherche se poursuive sur ce nutriment. Les coûts de l'ajout de β -carotène à la ration limitent certainement son utilisation.

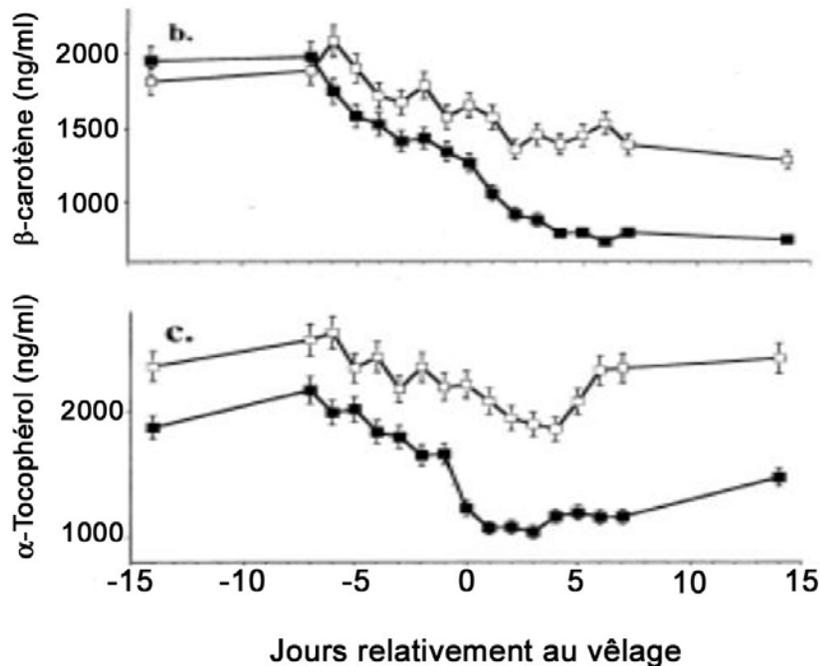


Figure 12. Concentrations plasmatiques de β -carotène et d' α -tocophérol de vaches intactes (8 vaches ■) et de vaches ayant subi l'ablation du pis (10 vaches ○) durant la période péri-partum (Goff *et al.*, 2002).

Vitamine D

La vitamine D est bien connue pour son rôle au niveau du métabolisme du calcium et du phosphore. Elle peut être produite au niveau de la peau de certains mammifères, incluant les bovins. Étant donné que les bovins laitiers sont de moins en moins exposés au soleil, il est de plus en plus indiqué d'ajouter la vitamine D à la ration. La vitamine D aurait des fonctions au niveau de certains processus intracellulaires. Elle a évidemment un rôle à jouer dans le développement du squelette du fœtus. L'ovaire, l'utérus, le placenta, les testicules, l'hypophyse contiennent de la vitamine D. La vitamine D n'a donc pas de rôle spécifique à la reproduction.

Vitamine E

La fonction la mieux comprise de la vitamine E est son rôle d'un anti-oxydant cellulaire soluble dans le gras. C'est par cette fonction, et possiblement d'autres, que la vitamine E est impliquée dans le maintien des membranes cellulaires, l'immunité et les fonctions reproductives. La maladie du muscle blanc est un signe classique de déficience en vitamine E.

Un certain nombre d'études ont évalué l'effet de l'ajout de vitamine E et de sélénium soit dans la ration ou encore en injection sur les fonctions reproductives des bovins laitiers. L'injection de sélénium et de vitamine E ou l'ajout à la ration de 1 000 unités internationales par jour de vitamine E avec une injection de 50 mg de sélénium administrée 21 jours avant le vêlage, ont

permis de diminuer l'incidence des rétentions placentaires (Seymour, 2001). Une revue (Seymour, 2001) ayant résumé les essais réalisés sur une période de 7 ans où les vaches taries recevaient ou bien 0, ou encore 1000 Unités Internationales de vitamine E pour les 42 derniers jours de gestation a révélé que la vitamine E avait permis de réduire l'incidence des rétentions placentaires de façon significative (12,6 vs 27,4 %). Il est à noter que les rations contenaient des niveaux adéquats de sélénium (0,3 ppm). L'enflure du pis avait également été moindre pour les primipares ayant reçu de la vitamine E.

Les données présentées au tableau 30 donnent un aperçu des effets potentiels de l'ajout de vitamine E : diminution de l'incidence des rétentions placentaires et des métrites, diminution du nombre de jours ouverts. D'autres expériences ont rapporté une diminution du nombre de saillies par conception. Pour des performances satisfaisantes en reproduction, il semble évident que les besoins en vitamine E doivent être satisfaits.

Selon l'espèce et la maturité, les fourrages frais contiennent entre 80 et 200 Unités Internationales de vitamine E par kilogramme de matière sèche. Les concentrations en α -tocophérol (la forme de vitamine E la plus active biologiquement) dans les fourrages diminuent rapidement après que la plante soit coupée. L'exposition à l'air et au soleil augmente les pertes de vitamine E. Les foins et les ensilages contiennent de 20 à 80 % moins d' α -tocophérol que les fourrages frais. Les concentrations diminuent avec les temps d'entreposage. Dans nos conditions de production, il semble que l'ajout de vitamine E à la ration doive être considéré pour des périodes prolongées, sinon sur une base permanente. La période de transition est certainement une cible à privilégier. Les besoins durant cette période sont importants. Le fait que le colostrum soit 10 fois plus concentré en α -tocophérol que le lait n'est certainement pas étranger à cela.

Tableau 30. Effets de la vitamine E sur la reproduction de la vache et du taureau laitier (Seymour, 2001)

Point	Miller et al.	Erskine et al.	Arechiga et al.	Valasquez-Pereira et al.	Baldi et al.
Traitement et niveau de vitamine E	0, 1000 U.I. par jour	3000 U.I. en intramusculaire	500-700 U.I. plus 40-50 mg sélénium	0, 2000, 4000 U.I. servies aux taureaux avec 14 mg/kg de gossypol	1000-2000 U.I. par jour
Quand ?	Durant le tarissement	Intramusculaire 14 jours avant le vêlage	Intramusculaire 21 jours avant le vêlage	Taureaux pubères, pendant 6 mois	De 14 jours avant jusqu'à 7 jours après le vêlage
Réponse	Moins de rétentions placentaires	Moins de rétentions placentaires et de métrites	Moins de rétentions placentaires et de jours ouverts	Augmentation du nombre de spermatozoïdes, de la viabilité et de la libido	Moins de jours ouverts; tendance à réduire les rétentions placentaires
Nombre d'animaux	640	420	198, 200	22	28

Vitamines solubles dans l'eau

Nous référerons à la vitamine C et aux vitamines du groupe B. Les vitamines appartenant à ce groupe sont : niacine, biotine, acide pantothénique, thiamine, vitamine B-12, acide folique, riboflavine et pyridoxine. La choline n'est pas une vitamine au sens traditionnel du terme parce qu'elle ne fait partie d'aucun système enzymatique et que les quantités requises sont des grammes plutôt que des milligrammes comme pour les autres vitamines (NRC, 2001). Les vitamines du groupe B agissent comme cofacteurs dans la majorité des voies métaboliques. Elles sont ainsi requises pour la croissance, la reproduction et le développement du fœtus. On rapporte qu'une déficience en acide folique, en riboflavine, en acide pantothénique, en choline ou en vitamine B-12 peut entraîner une interruption de la gestation. On rapporte également qu'une déficience en pyridoxine peut entraîner une interruption du cycle oestral et la mortalité embryonnaire.

On a toujours cru que les apports en vitamines solubles dans l'eau étaient couverts par la production des microbes du rumen, et par les quantités apportées naturellement par les aliments composant la ration. L'édition 2001 du NRC a tenté de quantifier les besoins et les apports d'une vache d'un poids de 650 kg, et produisant 35 kg de lait corrigé à 4 % de gras (tableau 31). Les premières indications sembleraient être que l'acide folique et l'acide pantothénique soient les plus susceptibles d'être limitatifs. Par ailleurs, certains essais avec la biotine, la niacine, l'acide folique ont permis de démontrer des améliorations soit de production, soit au niveau de la santé. Il est à prévoir des développements de ce côté-là ces prochaines années puisque c'est un secteur qui retient l'attention des chercheurs, notamment de l'équipe de recherche d'AAC de Lennoxville. Il est à souhaiter que les efforts de recherche se poursuivent.

Tableau 31. Comparaison de l'absorption estimée dans le petit intestin pour certaines vitamines du groupe B et des besoins estimés dans ces vitamines pour une vache d'un poids de 650 kg, produisant 35 kg de lait corrigé à 4 % de gras (NRC, 2001)

Vitamines	Besoins quotidiens estimés			Synthèse ruminale (mg/jour)	Portion non dégradée dans le rumen (%)
	Tissus (mg/jour)	Lait (mg/jour)	Total (mg/jour)		
Biotine	5	1	6	14	100
Acide folique	33	2	35	7	3
Niacine	256	33	289	1804	6
Acide pantothénique	304	121	425	38	22
Riboflavine	95	61	156	261	1
Thiamine	26	15	41	143	52
B-6	26	22	48	96	100
B-12	0,4	0,2	0,6	70	10

Vitamine C

La vitamine C (acide ascorbique) a des fonctions d'anti-oxydant cellulaire soluble dans l'eau. Spécifiquement, on pense que cette vitamine serait impliquée dans le contrôle de la synthèse des stéroïdes. La concentration en vitamine C est élevée dans les cellules qui sécrètent les stéroïdes.

Récemment, une étude a examiné la concentration en vitamine C dans les tissus maternels et dans les tissus fœtaux selon que les vaches avaient délivré ou pas. L'étude a révélé que pour les naissances à terme, que ce soit par césarienne ou pour les vêlages sans césarienne, les tissus de la mère et ceux du fœtus étaient plus faibles en vitamine C pour les sujets n'ayant pas délivré que pour les autres (Kankofer, 2001). Comme pour les autres vitamines, il faut espérer que la recherche se poursuive...

Conclusions sur les minéraux et vitamines

Il est important de satisfaire les besoins en minéraux majeurs, en minéraux mineurs et en vitamines, sans toutefois fournir une ration qui excéderait trop largement les besoins. Il existe des interactions entre les nutriments et des apports excessifs de l'un pourraient entraîner d'autres déséquilibres. Dans les situations où les performances de reproduction sont en-deçà des attentes, il faut faire une analyse détaillée de la situation avant de conclure à telle ou telle carence. Les apports doivent couvrir les besoins en tout temps, incluant la fin de la lactation et le tarissement. La baisse de consommation souvent observée à l'approche du vêlage doit certainement être prise au sérieux puisqu'une ration adéquate sur papier peut cacher des carences ou des déséquilibres qui pourraient compromettre la reproduction. C'est pourquoi il faut accorder à la période de transition toute l'attention qu'elle mérite.

6. AUTRES CONSIDÉRATIONS

Stress thermique

Le stress thermique n'a certainement pas la même signification pour nous que pour les producteurs laitiers de la Floride ou du Mexique. Par ailleurs, les vaches laitières du Québec sont affectées par le stress thermique. L'impact varie d'une région à l'autre et d'une année à l'autre, mais il est suffisant pour affecter de façon régulière la production de lait par vache, le test de gras et le test de protéine à l'échelle du Québec (Lefebvre et Plamondon, 2003). L'impact négatif ne se limite pas à la production, puisque la reproduction est également touchée.

L'augmentation de la température corporelle causée par le stress thermique a des conséquences directes et adverses sur les fonctions cellulaires. De fait, l'augmentation de la température diminue la proportion des embryons qui peuvent continuer à se développer (Hansen et Aréchiga, 1999). Les adaptations physiologiques que les homéothermes

(les humains, les ruminants, etc.) traversent durant le stress thermique peuvent compromettre d'autres systèmes physiologiques importants. Un exemple : la redistribution du flot sanguin des viscères à la périphérie durant le stress thermique. Bien que cette adaptation permette de dissiper la chaleur corporelle dans l'environnement, elle mène également à une perfusion réduite du lit vasculaire du placenta et à un retard de la croissance du fœtus.

L'impact des températures environnementales sur les fonctions animales est connu depuis l'Antiquité. Hippocrate y faisait référence 5 siècles avant Jésus-Christ... La sélection sur la production de lait réduit la capacité à maintenir la température corporelle constante face au stress thermique et amplifie la baisse saisonnière de la fertilité causée par le stress thermique (Hansen, 1993). Cette baisse saisonnière est présentée très clairement par la figure 13. Le taux de gestation varie du simple au double entre les mois chauds et les mois plus frais.

Le stress thermique réduit la durée et l'intensité des chaleurs. Une étude réalisée en Virginie (Nebel *et al.* 1997) rapportait que des vaches Holstein avaient en moyenne 4,5 montes par chaleur en été, comparé à 8,6 montes par chaleur en hiver. Le pourcentage de chaleurs non détectées sur une ferme commerciale de la Floride était estimé à 76 à 82 % durant la période de juin à septembre, comparé à 44 à 65 % durant la période d'octobre à mai (Hansen et Aréchiga, 1999). On peut penser que la réduction de l'activité physique soit en elle-même une forme d'adaptation visant à limiter la production de chaleur.

La détection des chaleurs n'est pas le seul problème engendré par le stress thermique. Si c'était le cas, les protocoles de synchronisation des chaleurs régleraient le problème mais on réalise que ces protocoles ne permettent malheureusement pas de ramener les taux de gestation durant les périodes de fortes chaleurs, aux niveaux observés durant les périodes plus froides. C'est que le stress thermique affecte également l'embryogenèse.

Le stress thermique affecte la fertilité et la survie de l'embryon. Durant les périodes chaudes, si la température rectale est maintenue à 39 °C parce que les vaches sont refroidies, les mortalités embryonnaires arrivent entre les jours 6 et 14 après la saillie. Si la température rectale atteint 41 °C, cela occasionne une réduction importante du développement de l'embryon plus tôt (au jour 7 après la saillie) (Hansen et Aréchiga, 1999). Il semble que les effets négatifs sur l'embryon du stress thermique subi par la mère soient de moins en moins sévères à mesure que l'embryon prend de l'âge.

Le stress thermique affecte également le développement des follicules. On ne sait pas si c'est suffisant pour affecter la fertilité pour les périodes qui suivent le stress thermique, et si c'était le cas, jusqu'à quel point l'effet sur le développement des follicules contribue à la baisse de fertilité observée en été. Il semble y avoir des indications que le stress thermique subi 10 jours avant la saillie aurait un impact négatif sur le taux de conception.

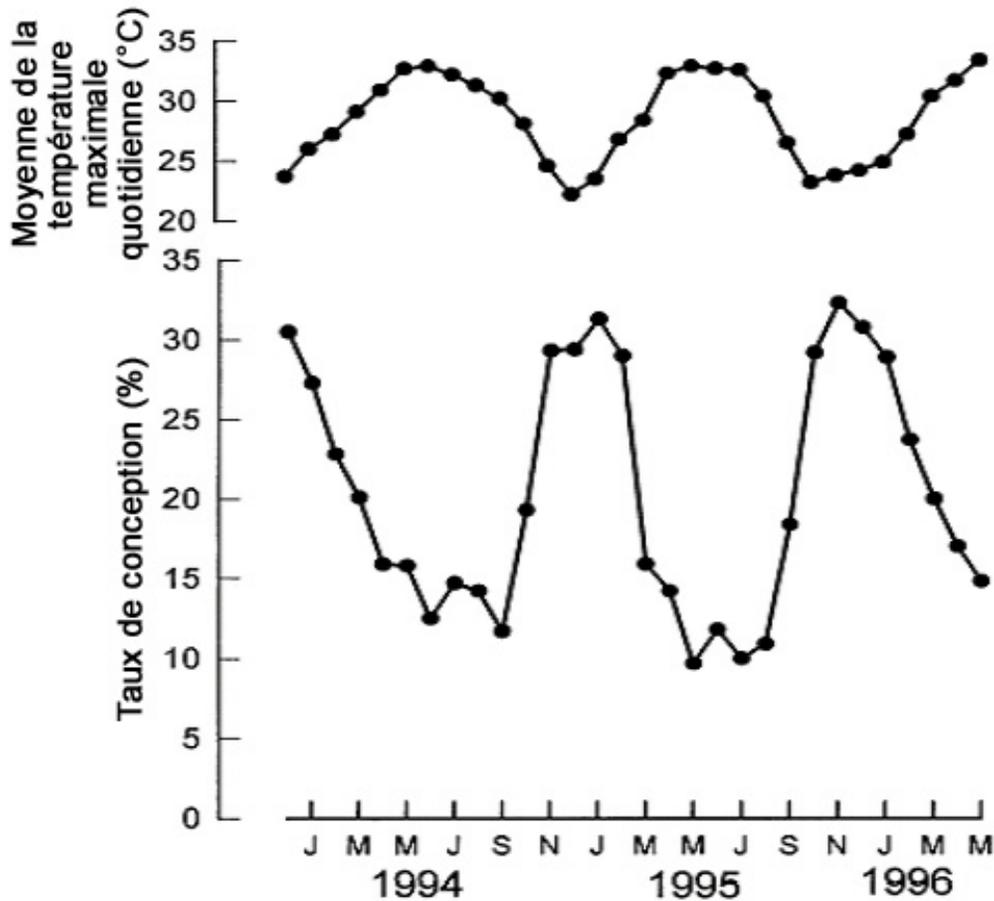


Figure 13. Variations saisonnières du taux de gestation (pourcentage des inséminations qui ont mené à une gestation) sur une ferme laitière du sud de la Floride où les vaches étaient gardées dans une aire à l'ombre, équipée de ventilateurs et de gicleurs (Hansen et Aréchiga, 1999).

En conclusion sur cette question, il est heureux, du point de vue de la reproduction, que les températures chaudes ne durent au Québec que quelques semaines par année. Il faut malgré tout voir ce qui peut être fait pour en minimiser les effets : apports suffisants d'eau de qualité, ombre pour les sujets au pâturage, ventilation bien adaptée, assurer des apports suffisants en potassium, en sodium, etc.

Substances oestrogéniques

Plusieurs plantes contiennent des substances qui donnent des effets similaires aux hormones oestrogéniques femelles lorsque consommées par les animaux (Kincaid). Ces substances, appelées phyto-oestrogènes, se retrouvent dans la luzerne, les trèfles, le pois et certains autres aliments. On a catégorisé les phyto-oestrogènes en 2 classes, selon leur capacité à causer une réponse oestrogénique chez l'animal.

Le coumestrol, la substance oestrogénique que l'on retrouve dans la luzerne, est la plus puissante des substances oestrogéniques que l'on peut retrouver dans les plantes. Le coumestrol a comme effet de réduire le niveau d'oestrogènes naturels chez l'animal mature, au point où cela pourrait affecter la reproduction.

Les effets des substances oestrogéniques sur les ruminants ne sont pas très bien documentés. Par ailleurs, il est probablement sage de voir ce qui peut être fait pour minimiser la consommation de plantes contenant ces substances. La concentration est la plus élevée dans les feuilles du foin de luzerne de pauvre qualité récolté à un stade avancé de maturité (tableau 32). La pluie sur du foin de luzerne fraîchement coupé a aussi comme effet d'augmenter la concentration en substances oestrogéniques. Il semble particulièrement important de minimiser la consommation de ces substances pour les deux semaines précédant la chaleur.

Tableau 32. Distribution du coumestrol dans le plant de luzerne (Kincaid)

Stade	Tiges	Feuilles
	% du total	
Jeune	0	3
Mature	1	41
Vieux	19	36

On peut se demander pourquoi Mère Nature a pensé à de telles substances dans les plantes. On peut penser que cela puisse être un moyen naturel de contrôler les populations de certaines espèces sauvages. Le contenu de ces substances dans les légumineuses augmente à l'automne, durant la période d'accouplement de certaines espèces. Si la pression est suffisamment forte, les animaux sont forcés de consommer les parties basses et plus matures de la plante, ce qui pourrait signifier moins de naissance au printemps suivant...

Avant de terminer sur cette question, il faut mentionner qu'il existe une troisième classe de composés présents dans les aliments qui ont une activité oestrogénique. Ces composés, des mycotoxines, sont produits par les moisissures présentes dans les grains. Du maïs, de l'orge ou du blé moisissés contiennent de la zéaralénone. Cette substance peut causer des problèmes sérieux de reproduction chez les animaux. Ces problèmes sont relativement bien documentés chez la truie. Les effets de la zéaralénone chez les ruminants ne sont pas bien définis.

Photopériode

Ce n'est plus un secret pour personne, les animaux sont sensibles à la longueur du jour. C'est encore plus drastique pour certaines espèces, comme l'ovin, qui se reproduisent de façon saisonnière. Des programmes d'éclairage adaptés sont utilisés avec succès par des producteurs du Québec ; ils arrivent ainsi à « faire croire » aux animaux en âge de se reproduire, que c'est le temps.

La vache laitière n'est pas une espèce qui se reproduit de façon saisonnière au sens strict du terme. On sait par ailleurs qu'elle répond à des jours plus longs, en augmentant sa production. Il y a également des effets au niveau de la reproduction. Par exemple, le retour à la cyclicité est plus long pour les vaches vèlées l'hiver que pour les vaches vèlées l'été (Dahl *et al.*, 2000). Ceci est cohérent avec l'observation rapportée à l'effet que les animaux exposés à 18 heures de lumière et 6 heures d'obscurité ont une réponse plus forte en LH à l'oestradiol, par comparaison avec les sujets exposés à 8 heures de lumière et 16 heures d'obscurité. Des résultats d'essais récents tendent à mettre en évidence que l'idéal serait des jours courts pour les vaches tarées, et des jours longs pour les vaches en lactation. C'est ce qui semblerait donner les meilleures réponses au niveau de la production. L'application pratique d'une telle régie n'est pas évidente.

7. CONCLUSIONS

Parmi les défis auxquels les producteurs de lait du Québec sont confrontés, la reproduction n'est certainement pas le moindre. Naturellement, la production a préséance sur la reproduction. Dès qu'une pièce du casse-tête fait défaut, la reproduction est la première fonction affectée.

Une multitude de facteurs peuvent influencer les performances en reproduction. Cela va de la longueur du jour, aux habilités individuelles à reconnaître une vache en chaleur, à la dureté du plancher, à la qualité de la gestion de l'information liée à la reproduction, à notre capacité à maintenir les vaches en santé. L'alimentation est assurément un facteur majeur de réussite ou d'échec en reproduction. Nous espérons que la revue que nous venons de compléter aura pu vous apporter quelques éléments supplémentaires dans votre recherche de la bonne ration, pour des performances en reproduction à la hauteur de vos attentes.

Il faut saluer la volonté ferme de partenaires comme le PATLQ, le CIAQ et l'AMVPQ de contribuer activement à l'atteinte de vos objectifs en reproduction. Vos chances de réussir n'en seront que meilleures...

RÉFÉRENCES

Ambrose, J.D., J.P. Kastelic, R. Corbett, P.A. Day, J.A. Small et H.V. Petit, 2003. Pregnancy outcome in dairy cows fed diets supplemented with flaxseed or sunflower seed. *J. Anim. Sci.* 81 (Suppl.1)/*J. Dairy Sci.* 86 (Suppl.1) 2.

Aréchiga, C.F., C.R. Staples, L.R. McDowell et P.J. Hansen, 1998. Effects of timed insemination and supplemental β -carotene on reproduction and milk yield of dairy cows under heat stress. *J. Dairy Sci.*, 81: 390-402

Baishya, N., S.V. Morant, G.S. Pope *et al.*. 1982. Rearing of dairy cattle. 8. Relationship of dietary energy intake, changes in live weight, body condition and fertility. *Anim. Prod.* 34:63-70.

Baker, L.D. J.D. Ferguson, W. Chalupa. 1995. Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:2424-2434.

Ballantine, H.T., M.T. Socha, D.J. Tomlinson, A.B. Johnson, A.S. Fielding, J.K. Shearer et S.R. Van Amstel, 2002. Effects of feeding complexed zinc, manganese, copper and cobalt to late gestation and lactating dairy cows on claw integrity, reproduction, and lactation performance. *The Professional Animal Scientist*, 18:211-218.

Bell, A.W., et D.E. Bauman, 1996. The transition cow: actualized homeorhesis. *Cornell Nutrition Conference*, 58:150-157.

Blanchard, T., J.D. Ferguson, L. Love, T. Takeda, B. Henderson, J. Hasler, W. Chalupa. 1990. Effects of dietary crude protein type on fertilization and embryo quality in dairy cattle. *Am J. Vet. Res.* 51:905-908.

Bishonga, C., J.J. Robinson, J.J., T.G. McEvoy, R.P. Aiten, I. Robertson. 1996. Excess urea dietary intake in ewes and its effect on ovulation rate and embryo development. *Jpn J. Vet. Res.* 44:139-151.

Block, E., C. Depatie, D. Lefebvre, D. Petitclerc. 1998. L'Urée du lait: les sources de variation et les implications. *Compte rendu, 22^e Symposium sur les bovins laitiers, CPAQ.*

Block, E., et B. Farmer. 1987. The status of beta-carotene and vitamin A in Quebec dairy herds: factors affecting their status in cows and their effects on reproductive performance. *Can. J. Anim. Sci.* 67:775.

Butler, W.R., et R.D. Smith, 1989. Interrelationships between energy balance on postpartum reproductive function in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 72: 767-783.

Butler, W.R. 1998. Review : Effet of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81: 2533-2539.

Butler, W.R., J.J. Calamanet S.W. Beam, 1996. Plasma and milk urea nitrogen in relation to pregnancy rate in lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.*, 74:858-865.

Butler, W.R. 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 60-61: 449-457.

Butler, W.R., 2003. Nutrition and reproduction loss – can we feed our way out of it ? 2nd Bi-Annual W.E. Peterson Symposium, Minnesota University.

Carlsson, J., B. Pehrsson. 1993. The relationship between seasonal variations in the concentration of urea in bulk milk and the production and fertility of dairy herds. *J. Vet Med.* 40: 205-212.

Carlsson, J., B. Pehrsson. 1994. The influence of the dietary balance between energy and protein on milk urea concentration. *Acta. Vet. Scand.* 35:193-205.

Clark, J.H., H.R. Spires, C.L. Davis. 1978. Uptake and metabolism of nitrogen components by the mammary gland. *Fed. Proc.* 37:1233.

Cupps, P.T., *Reproduction in Domestic Animals*, 4th Ed., 1991.

Dahl, G.E., B.A. Buchanan et H.A. Tucker. 2000. Photoperiodic effects on dairy cattle: a review. *J. Dairy Sci.*, 83:885-893.

Depatie, C. 2000. Nutritional, managerial, physiological, and environmental factors affecting milk urea nitrogen in Quebec Holstein cows : a field trial. M.Sc Thesis, McGill University.

Edmonson, A.J., I.J. Lean, L.D. Weaver, T. Farver et G. Webster, 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows, *J. Dairy Sci.* 72:68-78.

Elrod, C.C., W.R. Butler. 1993. Reduction of fertility and alteration of uterine pH in heifers fed excess ruminally degradable protein. *J. Anim. Sci.* 71:694-701.

Elrod, C.C., Van Amburgh, M., W.R. Butler. 1993. Alterations of pH in response to increased dietary protein in cattle are unique to the uterus. *J. Anim. Sci.* 71: 702-706.

Erasmus, U. 1993. *Fats that heal fats that kill*. 9th Ed., 456 pages, Alive books, Burnaby, BC, Canada.

Ferdinand, E.E., J.E. Shirley, M.J. Meyer, A.F. Park, M.J. VanBaale, E.C. Titgemeyer. 2000. Relationship between Milk and Plasma Urea Nitrogen concentrations and feeding time. *J. Dairy Sci.* 83 (Suppl.1):242.

Ferguson, J.D. et K.L. Otto. Managing body condition in dairy cows, 1989. Cornell Nutrition Conference. P. 75.

Ferguson, J.D., et W. Chalupa, 1989. Impact of protein nutrition on reproduction in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 72:746-766.

Ferguson, J.D., D. Sklan, W.V. Chalupa, et D.S. Kronfeld, 1990. Effect of hard fats on in vitro and in vivo rumen fermentation, milk production, and reproduction in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 73:2864-2679.

Ferguson, J.D. 2002. Protein and fertility. Proc. Zinpro Corp. Texas Dairy Seminar.

Garcia-Bojalil, C. M., C. R. Staples, C. A. Risco, J. D. Savio, W. W. Thatcher. 1998. Protein degradability and calcium salts of long-chain fatty acids in the diets of lactating dairy cows: reproductive responses. *J. Dairy Sci.* 1998 81: 1385-1395.

Gerloff, B.J., D.A Morrow. 1986. Effects of nutrition in reproduction in dairy cattle. In D.A. Morrow (ed.): *Current therapy in theriogenology*. Ed. 2. Philadelphia. W.B. Saunders Co. pp. 310-319.

Godden, S.M., K.D. Lissemore, D.F. Kelton, K.E. Leslie, J.S.Walton, J.H. Lumsden. 2001. Relationships between milk urea concentration and nutritional management, production and economic variables in Ontario dairy herds. *J. Dairy Sci.* 84: 1128-1139.

Goff, J.P., Kayoko Kimura et Ronald L. Horst, 2002. Effect of mastectomy on milk fever, energy and vitamins A,E and β -carotene status at parturition. *J. Dairy Sci.*, 85:1427-1436.

Gustafsson, A.H. , D.L. Palmquist. 1993. Diurnal variation of rumen ammonia, serum urea and milk urea in dairy cows at high and low yields. *J. Dairy Sci.* 76:475-484.

Hignett, S.L. et P.G. Hignett, 1951. The influence of nutrition on reproductive efficiency in cattle. I. The role of calcium and phosphorus intake on fertility of cows. *Vet. Rec.* 63:603-609.

Hof, G., M.D. Vervoorn, P.J. Lenaers, S. Tamminga. 1997. Milk Urea Nitrogen as a Tool to Monitor the Protein Nutrition of Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 80: 3333-3340.

Gustafsson, A.H., J. Carlsson. 1993. Effect of silage quality, protein evaluation system and milk urea content on milk yield and reproduction in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 37:91.

Hansen, P.J. et C.F. Aréchiga. 1999. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *J. Anim. Sci.* 77 (Suppl. 2) :36-50.

Harrison, R.O., S.P. Ford, J.W. Young, A.J. Conley et A.E. Freeman, 1990. Increased milk production versus reproductive and energy status of high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 73:2749-2758.

Haliloglu, S., N. Baspinar, B. Serpek, H. Erdem et Z. Bulut, 2002. Vitamin A and β -carotene levels in plasma, corpus luteum and follicular fluid of cyclic and pregnant cattle. *Reprod. Dom. Anim.*, 37: 96-99.

Howard, H.J., E.P. Aalseth, G.D. Adams, L.J. Bush, R.W. McNew et L.J. Dawson, 1987. Influence of dietary protein on reproductive performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 70:1563-1571.

Ishler, Virginia, Michael O'Connor et Zhiguo Wu. Is phosphorus still a concern for reproductive performance? *Hoard's Dairyman*, 25 septembre 2002

Ivancic, J., et W.P. Weiss, 2001. Effect of dietary sulfur and selenium concentrations on selenium balance of lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 84: 225-232.

Jonker, J.S., R.A. Kohn, R.A. Erdman. 1999. Milk Urea target concentrations for lactating dairy cows fed according to National Research Council Recommendations. *J. Dairy Sci.* 82: 1261-1273.

Jordan, E.R., T.E. Chapman, D.W. Holtan, L.V. Swanson. 1983. Relationship of crude protein to composition of uterine secretions and blood in high producing postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.* 66: 1854-1862.

Kankofer, M., 2001. Non-enzymatic antioxidative defence mechanisms against reactive oxygen species in bovine-retained and not-retained placenta: vitamin C and glutathione, 2001. *Reprod. Dom. Anim.*, 36:203-206.

Kincaid, R.L. Alfalfa contains female hormones. United States National Dairy Database, University of Maryland.

King, J.O.L.. 1968. The relationship between conception rate and changes in body weight, yield and SNF content of milk in dairy cows. *Vet. Rec.* 83:492-494.

Larson, S.F. , W.R. Butler, W.B. Currie. 1997. Reduced fertility associated with low progesterone postbreeding and increased milk urea Nitrogen in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 80: 1288-1295.

Lefebvre, D., D. Marchand, M. Léonard, C. Thibault, E. Block, T.J. Cannon. 1995. Gestion de la Performance du Troupeau Laitier : Des Outils à Exploiter. Compte rendu. 19^e Symposium sur les bovins laitiers, CPAQ.

Lefebvre, D., et P. Plamondon. Juin 2003. La chaleur, un ennemi à combattre. *Le Producteur de Lait*, Vol. 23, No 9, pp. 17-20.

Léonard, M., D. Lefebvre, J. Jalbert, E. Block, J. Cant. 1996. Concepts et stratégies alimentaires pour la vache laitière haute productrice. Compte rendu. 20^e Symposium sur les bovins laitiers, CPAQ.

Lessard, M., N. Gagnon et H.V. Petit, 2003. Immune response of postpartum dairy cows fed flaxseed. *J. Dairy Sci.*, (In Press).

Lopez, H., Z. Wu, R. Cherel, L.D. Satter et C. Wiltbank, 2001. Effect of dietary phosphorus concentration on estrus behavior of lactating dairy cows. *J. Anim. Sci.*, (Suppl. 1) 79:291.

Mattos, R., C.R. Staples et W.W. Thatcher, 2000. Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. *Rev. Reprod.* 5:38-45.

Mattos, R., C.R. Staples, J. Williams, A. Amorocho, M.A. McGuire et W.W. Thatcher, 2002. Uterine, ovarian and production responses of lactating dairy cows to increasing dietary concentrations of menhaden fish meal. *J. Dairy Sci.*, 85:755-764.

McBride, B.W., J.W. Kelly. 1990. Energy cost of absorption and metabolism in the ruminant gastrointestinal tract and liver: A review. *J. Anim. Sci.* 68:2997-3010.

- Miyoshi, S., J.L. Pate, D.L. Palmquist, 2001. Effects of propylene glycol drenching on energy balance, plasma glucose, plasma insulin, ovarian function and conception in dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 68:29-43.
- Nebel, R. L., S.M. Jobst, M.B.G. Dransfield, S.M. Pandolfi et T.L. Bailey. 1997. Use of radio frequency data communication system, HeatWatch, to describe behavioral estrus in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 80 (Suppl. 1):179 (Abstr.).
- Nebel, R., 2000. Maximizing fertility in the dairy herd. *Advances in Dairy Technology*, 12:165-176.
- National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed., National Academy Science, Washington, DC.
- Ocon, O.M., P.J. Hansen. 2003. Disruption of bovine oocytes and preimplantation embryos by urea and acidic pH. *J. Dairy Sci.* 86:1194-1200.
- Otto, K.L., J.D. Ferguson, D.G. Fox et C.J. Sniffen, 1991. Relationship between body condition score and composition of ninth to eleven rib tissue in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 74:852.
- Petit, H. V., R.J. Dewhurst, J.G. Proulx, M. Khalid et W. Haresign, 1998. *J. Dairy Sci.* 81 (Suppl. 1):302.
- Pugh, D.G., R.G. Elmore, et T.R. Hembree, 1985. A review of the relationship between mineral nutrition and reproduction in cattle. *The Bovine Practitioner*, 20:10-13.
- Rajala-Schultz, P.J., W.J.A. Saville, G.S. Frazer, T.E. Wittum. 2001. Association between milk urea nitrogen and fertility in Ohio dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84: 482-489.
- Rodriguez, L.A., C.C. Stallings, J.H. Herbein, M.L. McGilliard, 1997. Diurnal variation in milk and plasma urea Nitrogen in Holstein and Jersey cows in response to degradable protein and added fat. *J. Dairy Sci.*, 80: 3368-3376.
- Roseler, D.K., J.D. Ferguson, C.J. Sniffen, J. Herrema. 1993. Dietary Protein degradability effects on plasma and milk urea Nitrogen and milk non-protein Nitrogen in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 76: 525-534.
- Satter, L.D. et Z. Wu, 1999. Phosphorus nutrition of dairy cattle- what's new ? *Cornell Nutrition Conference*, 61:72-80.

Scott, T.A. R.D. Shaver, L. Zepeda, B. Yandell et T.R. Smith, 1995. Effects of rumen-inert fat on lactation, reproduction and health of high producing Holstein herds. *J. Dairy Sci.* 78: 2435-2451.

Seymour, W., 2001. Review : Update on vitamin nutrition and fortification in dairy cattle., *The Professional Animal Scientist*, 17: 227-237.

Smith, O.B ., O.O. Akinbamijo, 2000. Micronutrients and reproduction in farm animals. *Animal Reproduction Science.* 60-61 : 549-560.

Snijders, S.E.M., P.G. Dillon, K.J. O'Farrell, M. Diskin, A.R.G. Wylie, D.O'Callaghan, M. Rath et M.P. Boland, 2001. Genetic merit for milk production and reproductive success in dairy cows. *Animal Reproduction Science.* 65 :17-31

Staples, C.R., W.W. Thatcher. 2001. Nutrient influences on reproduction of dairy cows. *Proc. Mid-South Nutr. Conf.*

Staples, C.R., J.M. Burke et W.W. Thatcher, 1998. Influence of supplemental fats on reproductive tissues and performance of lactation cows. *J. Dairy Sci.*, 81:856-871.

Tomlinson, D.J., M.T. Socha et A.B. Johnson, 2001. Summary of eight trials evaluating the effect of feeding a combination of complexed zinc methionine, manganese methionine, copper lysine and cobalt glucoheptonate on lactation and reproduction performance of dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, Suppl. 1, 84: 86-87.

Villa-Godoy, A.,T.L. Hughes, R.S. Emery, L.T. Chapin et R.L. Fogwell, 1988. Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71:1063-1072.

Visek, W.J. 1984. Ammonia : Its Effects on Biological Systems, Metabolic Hormones, and Reproduction. *J. Dairy Sci.* 67:481-498.

Weaver, L.D.. 1987. Effects of nutrition on reproduction in dairy cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practices.* Vol. 3, No. 3, pp. 513-530.

Westwood, C.T., I.J. Lean, R.C. Kellaway. 1998. Indications and Implications for testing of milk urea in dairy cattle: A quantitative review. Part 1. Dietary protein sources and metabolism. *N.Z. J. Vet. J.* 46: 87-96.

Wittwer, F.G., P. Gallardo, J. Reyes, H. Opitz. 1999. Bulk milk urea concentrations and their relationship with cow fertility in grazing dairy herds in Southern Chile. *Prev. Vet. Med.* 38: 159-166.

Wu, Z., L.D. Satter, A.J. Blohwiak, R.H. Stauffacher et J.H. Wilson, 2001. Milk production, estimated phosphorus excretion, and bone characteristics of dairy cows fed different amounts of phosphorus for two or three years. *J. Dairy Sci.*, 84:1738-1748.

Wu, Z., L.D. Satter et R. Sojo, 2000. Milk production, reproduction performance, and fecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts of phosphorus. *J. Dairy Sci.*, 83:1028-1041.

Zurek, E., G.R. Foxcroft et J.J. Kennelly, 1995. Metabolic status and interval to first ovulation in postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 78:1909-1920.