

L'élevage laitier de précision : la prochaine merveille de l'industrie laitière ?

Jeffrey Bewley, University of Kentucky

La tendance vers la réduction du nombre d'exploitations laitières et leur consolidation se poursuit à l'échelle planétaire. La marge bénéficiaire actuellement plus faible qu'autrefois des élevages laitiers s'explique largement par la moindre intervention des pouvoirs publics dans la régulation du prix des matières premières agricoles. De légères variations de la production ou de l'efficacité peuvent alors avoir des effets significatifs sur la rentabilité globale. Le renforcement consécutif de la concurrence a accéléré la course à l'efficacité et a entraîné le déplacement des priorités vers la gestion financière et commerciale. Dans leur article intitulé "Competing on Analytics: The New Science of Winning", Davenport et Harris (2007) ont avancé l'idée selon laquelle la mise en place de « processus commerciaux très performants » constituait l'unique moyen de différenciation pour les industries dotées de technologies et de produits analogues.

En outre, le cadre décisionnel du responsable d'exploitation laitière a connu de profonds bouleversements suite à l'attention soutenue portée à la protection des consommateurs, à l'assurance-qualité continue, aux produits naturels, aux aliments sans agents pathogènes, à la transmission des zoonoses, à un usage plus limité des traitements médicaux et aux préoccupations accrues pour le bien-être animal. L'évolution de ces facteurs démographiques reflète un changement permanent dans la gestion des exploitations laitières. Ces nombreux changements sont principalement la conséquence des énormes progrès technologiques observés dans tous les aspects de l'élevage laitier, de même que dans les domaines de la génétique, de la nutrition, de la reproduction, de la lutte contre les maladies et de la gestion. En qualifiant les exploitations laitières de véritables « merveilles technologiques », W. Nelson Philpot (2003) a parfaitement capté l'essence de cette évolution. Il n'est dès lors pas insensé de penser que l'élevage laitier de précision constituera la prochaine « merveille technologique » de l'industrie laitière.

Qu'est-ce que l'élevage laitier de précision ?

L'élevage laitier de précision est l'utilisation de technologies permettant la mesure, sur des animaux individuels, d'indicateurs de la physiologie, du comportement et de la production en vue d'améliorer les stratégies de gestion et les performances des exploitations. Les producteurs laitiers font déjà appel à de nombreuses technologies de précision, telles que l'enregistrement quotidien du rendement laitier, la surveillance des composants du lait (graisse, protéines, CCS...), les podomètres, les dispositifs d'enregistrement automatique de la température, les indicateurs de détermination de la conductivité du lait, les dispositifs de détection automatique des chaleurs et les relevés quotidiens de la masse pondérale. Eastwood et al. (2004) ont défini l'élevage laitier de précision comme « l'utilisation des technologies de l'information pour évaluer la variabilité des ressources physiques et animales à petite échelle dans le but d'améliorer les stratégies de gestion et d'optimiser les performances économiques, sociales et environnementales des exploitations ». Pour Spilke et Fahr (2003), l'élevage laitier de précision, envisagé dans le cadre spécifique des technologies de surveillance individuelle des animaux, « vise à assurer la production écologiquement et économiquement durable d'un lait de qualité garantie, de même qu'un degré élevé de protection des consommateurs et des animaux ». Grâce à l'élevage laitier

de précision, la tendance actuelle en faveur de la gestion de groupes pourrait s'inverser au profit d'une gestion individuelle des vaches laitières (Schulze et al., 2007). Les technologies mises en œuvre dans l'élevage laitier de précision sont de complexité variable, qu'il s'agisse de l'enregistrement quotidien du rendement laitier ou de la mesure d'attributs spécifiques du lait à chaque traite (par exemple, la teneur en graisse ou en progestérone). L'élevage laitier de précision a pour principaux objectifs de maximaliser le potentiel de chaque animal, d'assurer le dépistage précoce des maladies et de limiter l'administration de médicaments par l'adoption de mesures sanitaires préventives. L'élevage laitier de précision est par essence un domaine pluridisciplinaire intégrant des concepts de l'informatique, de la biostatistique, de l'éthologie, des sciences économiques, de la génétique animale, de la zootechnie, de la nutrition animale et de l'ingénierie (Spilke et Fahr, 2003).

Les potentiels de l'élevage laitier de précision

Les gains d'efficacité, la maîtrise des coûts, l'amélioration qualitative des produits, la réduction des effets préjudiciables à l'environnement ainsi que l'amélioration de la santé et du bien-être des animaux figurent parmi les avantages perçus des technologies de précision. C'est notamment dans les domaines de la santé, de la reproduction et du contrôle de la qualité que ces technologies sont susceptibles d'avoir l'impact le plus significatif (de Mol, 2000). Les avantages offerts par la réduction des données et les rapports d'exception devraient être plus importants pour les grands troupeaux, dans lesquels l'observation individuelle des animaux, par ailleurs probablement peu fréquente, s'avère difficile (Lazarus et al., 1990). Les technologies de précision trouveront leur viabilité dans la poursuite du développement des exploitations laitières. En effet, ces dernières seront de plus en plus tributaires d'une main-d'œuvre de moins en moins qualifiée et pourront tirer parti des économies d'échelle liées à l'adoption de ces technologies.

Les technologies de précision permettent aux producteurs laitiers de prendre leurs décisions en toute connaissance de cause et au moment le plus opportun, contribuant ainsi à l'accroissement de la productivité et de la rentabilité (van Asseldonk et al., 1999). Les données en temps réel sont exploitables pour la surveillance des animaux et pour créer des rapports d'exception permettant de détecter tout écart significatif. Dans un grand nombre de cas, les activités de contrôle et de gestion des élevages laitiers peuvent être automatisées (Delorenzo et Thomas, 1996). À défaut, les données du système serviront à la préparation de recommandations qui seront interprétées par le gestionnaire (Pietersma et al., 1998). Les informations fournies par les technologies de précision ne sont utiles que si elles sont interprétées et employées efficacement lors de la prise de décision. L'informatisation et l'intégration des systèmes d'information sont essentielles pour interpréter la masse des données provenant des technologies de précision. Ces informations pourront alimenter des systèmes d'aide à la décision conçus pour faciliter la prise de décision sur des questions nécessitant la compilation de données issues de sources multiples.

Les producteurs laitiers s'en sont généralement remis à leur expérience et à leur bon sens pour identifier les animaux présentant une anomalie. Si de telles compétences s'avèrent précieuses et ne pourront jamais être totalement remplacées par l'automatisation, elles se heurtent néanmoins aux capacités naturellement limitées de l'homme à percevoir l'état d'une vache. Il n'est pas rare qu'il soit déjà trop tard pour intervenir lorsque l'animal manifeste les signes cliniques d'un stress ou d'une maladie. Ces symptômes cliniques facilement observables sont généralement précédés de réactions physiologiques qui échappent à l'œil humain (un

changement de température ou de rythme cardiaque, par exemple). La détection de variations dans les paramètres physiologiques permettra donc au gestionnaire de l'élevage d'intervenir plus rapidement. Les technologies de surveillance de la physiologie des vaches laitières peuvent compléter les observations de gardiens compétents. Leurs possibilités vont s'avérer critiques à l'heure où un nombre de plus en plus limité de travailleurs qualifiés devront s'occuper de troupeaux sans cesse plus importants (Hamrita et al., 1997).

Exemples d'élevage laitier de précision

La liste des technologies de précision mises en œuvre dans l'élevage laitier pour surveiller l'état des animaux et assurer la gestion ne cesse de s'allonger. La rapidité de mise au point des nouvelles technologies et d'applications connexes contribue à la progression des technologies de précision. Beaucoup de producteurs laitiers recourent déjà à de nombreuses technologies de précision, telles que les dispositifs d'enregistrement quotidien du rendement laitier et de surveillance des composants du lait (graisse, protéines, CCS...), les podomètres, les enregistreurs automatiques de température, les indicateurs de détermination de la conductivité du lait, les détecteurs automatiques des chaleurs et les relevés quotidiens de la masse pondérale. Malgré son caractère apparemment anodin, la détermination précise des quantités de lait ne devrait pas être écartée du suivi des vaches laitières dans la mesure où elle est généralement le premier paramètre subissant des fluctuations en cas de problème (Philpot, 2003). D'autres technologies encore à l'étude ont été proposées pour mesurer les mouvements des mâchoires, le pH du rumen, les contractions du bonnet, le rythme cardiaque, le positionnement et l'activité de l'animal, la résistance électrique du mucus vaginal, le comportement alimentaire, le comportement couché, l'odeur, le glucose, l'acoustique, la progestérone, les composants du lait individuel, la couleur (indicateur de propreté), les températures du pis par infrarouge et le rythme respiratoire. Malheureusement, la mise au point de technologies a tendance à être davantage dictée par la recherche de nouveaux débouchés pour une technologie existant déjà dans d'autres secteurs qu'à un besoin réel. De par son périmètre relativement limité par rapport à d'autres industries, l'industrie laitière tempère les ardeurs des dirigeants d'entreprise qui souhaiteraient investir des sommes importantes dans l'élaboration de technologies destinées exclusivement aux exploitations laitières. Un grand nombre de technologies de précision mesurent des variables qui pourraient être obtenues manuellement ; d'autres dispositifs, en revanche, autorisent la mesure de paramètres autrefois indisponibles.

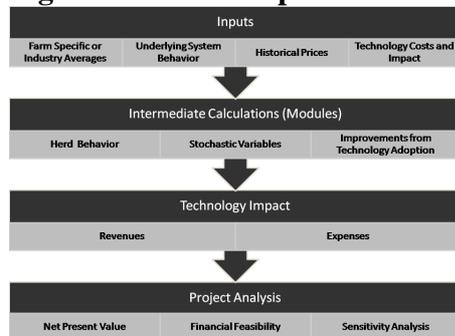
Les aspects économiques de l'élevage laitier de précision

Les producteurs laitiers ont traditionnellement fondé leurs décisions en matière d'investissement sur des recommandations générales, des estimations ou les conseils de consultants professionnels. Jusqu'à présent, l'adoption d'outils décisionnels plus sophistiqués s'est effectuée lentement dans l'industrie laitière. L'une des raisons qui pourrait expliquer cette réserve à l'égard des outils décisionnels, y compris les plus simples, tient au fait que les producteurs ne prennent pas toujours en considération le risque et l'incertitude inhérents à toute activité commerciale. En réalité, aucun producteur laitier n'ignore que la rentabilité d'un investissement ou d'une décision peut varier considérablement en fonction des composantes du prix final. L'analyse formelle des investissements par le biais de la modélisation permet d'éliminer cette mentalité « taille unique » au moment de la prise de décision.

Les simulations sont des modèles mathématiques conçus pour représenter un système, par exemple une exploitation laitière, en vue d'une prise de décision. Les modèles de simulation sont particulièrement intéressants et rentables dans des scénarios complexes comprenant à la fois un nombre élevé de variables, de grands groupes d'animaux, une longue période de temps et des conditions très diverses. L'utilisation de modèles de simulation mathématiques informatisés pour évaluer les problèmes de la production laitière a pour principal avantage de contrôler un plus grand nombre de variables au sein du modèle par rapport à un essai en grandeur réelle et de maîtriser les coûts inhérents à ce type d'initiative. La simulation englobe l'élevage laitier dans toute sa complexité car elle permet d'évaluer plusieurs facteurs économiques et biologiques qui influencent ses performances comme, par exemple, la gestion, l'alimentation, la sélection, la réforme et les maladies.

Bewley et al. (2010b) ont élaboré un modèle de simulation d'une exploitation laitière grâce auquel des investissements dans des technologies de précision peuvent être étudiés sur une période de 10 ans à la lumière d'une série de processus aléatoires. Le modèle se fonde sur la méthode du budget partiel pour caractériser la complexité biologique et économique de l'élevage laitier et analyser les coûts et les avantages découlant d'une nouvelle technologie. Bien que le modèle soit encore à l'état de recherche, il poursuit un deuxième objectif : évoluer vers un outil décisionnel souple et spécifique à chaque exploitation. Les éléments fondamentaux du modèle sont illustrés à la Figure 1. Le comportement sous-jacent de l'élevage laitier s'appuie sur l'état actuel de nos connaissances en matière de gestion des troupeaux et des vaches laitières. En outre, le modèle contient les prix historiques des sources de revenus et de dépenses essentielles au système.

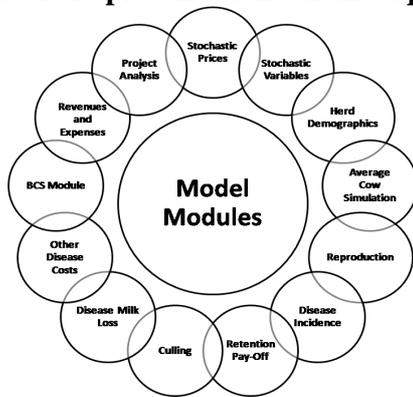
Figure 1. Schéma représentant le flux général d'informations à l'intérieur du modèle



Une fois les intrants introduits dans le modèle, une série de calculs sont effectués à l'intérieur des 13 modules pour suivre les changements sur une période de 10 ans (Figure 2). À l'issue de ces calculs, chaque module produira des résultats qui influenceront les flux des charges et des revenus nécessaires à l'analyse des investissements. Enfin, les charges et les revenus interviennent dans l'analyse du projet pour déterminer la valeur actualisée nette et la faisabilité financière du projet, et réaliser les analyses de sensibilité. Le caractère aléatoire du prix des principaux produits (lait, maïs, soja, luzerne, génisses de remplacement et les vaches de réforme) est pris en compte dans le modèle car les conditions économiques et la rentabilité des investissements fluctuent considérablement en fonction du prix des intrants et du produit de la vente. Bien qu'il soit probablement impossible de tenir directement compte des multiples décisions qui pèseront sur la rentabilité effective de l'investissement dans la technologie de précision, le modèle intègre un Facteur d'adhésion à la meilleure pratique de gestion qui permet

de représenter le potentiel découlant de l'exploitation du nombre maximum d'avantages issus de l'adoption de la technologie.

Figure 2. Représentation schématique des modules du modèle



L'analyse des investissements doit prendre en considération la valeur temps de l'argent (pour traduire la valeur supérieure d'un dollar actuel par rapport à celle d'un dollar à recevoir) parce que la rentabilité d'un investissement se mesure à l'issue de plusieurs années. Un taux d'escompte est affecté au projet pour refléter l'évolution future de la valeur de l'argent. Un investissement doit générer suffisamment de bénéfices pour concurrencer d'autres affectations éventuelles du capital. L'acquisition du système sera évitée si les coûts de la collecte et de la transformation des données fournies par une technologie de précision dépassent les bénéfices. Les coûts d'investissement comprennent les coûts de production, les coûts de mise en œuvre et les changements induits par l'utilisation d'un produit (par exemple, l'accroissement de la production laitière entraînera une augmentation de l'ingestion de matière sèche et, par conséquent, un accroissement des charges). Dans la mesure où les coûts réels d'un investissement dans une technologie sont souvent sous-estimés, on apportera un soin particulier à l'identification de l'ensemble des coûts d'investissement.

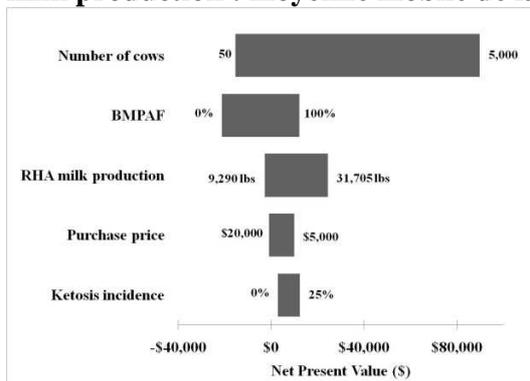
L'analyse d'un investissement dans un système automatisé d'évaluation de l'état corporel

Afin d'illustrer l'intérêt pratique du modèle, ce dernier a été utilisé pour étudier un investissement dans un système automatisé d'évaluation de l'état corporel en exploitations laitières (Bewley et al., 2010a). Les avantages découlant de l'adoption de la technologie ont été déterminés en évaluant l'impact du système sur l'incidence de cétose, de fièvre vitulaire et de métrite, sur le taux de conception et la gestion des réserves corporelles (note de l'état corporel) en début de lactation. Dans cet exemple théorique, nous avons employé des données moyennes pour les paramètres financiers et les statistiques de production du secteur, afin de représenter les conditions qui régnaient dans une grosse exploitation laitière des États-Unis en 2007. La rentabilité de l'investissement a été évaluée avec la valeur actualisée nette. En général, l'investissement est intéressant pour l'entreprise et doit être accepté lorsque la valeur actualisée nette est supérieure à 0. Dans une simulation modélisant une amélioration de la distribution des notes relatives à l'état corporel, 86,6 % des 1 000 itérations de simulation ont donné une valeur actualisée nette positive, alors que 13,4 % d'entre elles ont produit une valeur négative. En

d'autres termes, sur la base des hypothèses de modélisation, l'investissement dans le système d'évaluation automatique de l'état corporel se justifiait dans 86,6 % des scénarios de simulation. Le décideur devra ensuite prendre sa décision d'investissement en fonction de sa tolérance au risque. Bien que cet exemple illustre les modalités d'une éventuelle utilisation du modèle par un décideur, cette analyse de rentabilité ne devra pas être employée en l'état. En effet, le producteur laitier devra envisager sa décision à la lumière de variables spécifiques à son troupeau qui le renseigneront sur la rentabilité de la technologie.

La formulation d'hypothèses par le biais de l'analyse de sensibilité (fondée sur des questions du type « que se passerait-il si ») est l'un des aspects les plus importants d'une simulation. Dans l'analyse du système automatisé d'évaluation de l'état corporel, l'amélioration de la performance de reproduction est la variable aléatoire (facteur d'incertitude, par exemple le prix du lait) dont l'impact sur les revenus a été le plus marqué, suivie par la diminution des pertes de réserve corporelle et la réduction de l'incidence des maladies. L'analyse de sensibilité apporte un complément d'informations sur les mérites d'un investissement. Dans les analyses de sensibilité, les « tornado diagrams » donnent une représentation graphique de l'effet des intrants (les éléments immuables du modèle, par exemple la taille du troupeau) ou des variables aléatoires (où l'incertitude est modélisée) sur un produit d'intérêt donné. Dans le « tornado diagram » de la Figure 3, les intrants sont disposés en fonction de leur sensibilité : les intrants les plus sensibles apparaissent dans la partie supérieure et précèdent les intrants les moins sensibles. En ce qui concerne les intrants variables de notre exemple, nous constatons que la taille du troupeau a eu la plus forte influence sur la valeur actualisée nette (Figure 3). Elle est suivie par le Facteur d'adhésion à la meilleure pratique de gestion. Ce résultat peu surprenant prouve une nouvelle fois que les facteurs déterminants pour la réussite d'un projet sont liés aux mesures réellement prises par le producteur pour gérer les informations fournies par la technologie. Dans l'ordre des intrants les plus sensibles arrivait ensuite le niveau de production laitière. Les avantages découlant d'une réduction de l'incidence des maladies et d'un allongement de l'intervalle entre les vêlages se sont accrus avec l'augmentation de la production laitière. Comme on pouvait s'y attendre, la valeur actualisée nette a progressé parallèlement à la baisse des coûts d'investissement ou à la progression de l'incidence de base de la cétose.

Figure 3. « Tornado diagrams » représentant les intrants ayant un impact sur la valeur actualisée nette (BMPAF : Facteur d'adhésion à la meilleure pratique de gestion ; RHA milk production : moyenne mobile de la production laitière exprimée en livres)



L'adoption des technologies de précision en élevage laitier

L'industrie laitière n'a témoigné jusqu'à présent qu'un intérêt limité aux technologies de précision, y compris aux techniques existantes, et ce malgré leur grande disponibilité. En fait, l'adoption des logiciels à vocation agricole par les exploitants s'est effectuée à un rythme beaucoup plus lent qu'initialement prévu. La plupart du temps, les capacités d'analyse des systèmes de gestion de l'information déjà utilisés en production laitière sont largement sous-exploitées. Leur usage se limite souvent dans la pratique à la création de tableaux de production, de listes de mise à jour et de calendriers de travail. L'adoption d'une technologie est toujours influencée par la perception de l'avantage économique que l'on pourra tirer d'un investissement dans cette technologie. D'autres facteurs influent sur l'adoption d'une technologie, par exemple l'impact sur les ressources intervenant dans le processus de production, le niveau de gestion requis pour mettre en œuvre la technologie, le risque associé à la technologie, les contraintes institutionnelles, les objectifs et les motivations du producteur et l'intérêt de ce dernier pour une technologie déterminée (Dijkhuizen et al., 1997, van Asseldonk, 1999). Plusieurs facteurs inhérents au décideur lui-même influencent également l'adoption de la technologie : l'âge, le niveau d'enseignement, le style d'apprentissage, les objectifs, la taille de l'exploitation, la complexité commerciale, la hausse du loyer, la perception du risque, le type de production, l'exercice d'une activité non agricole, la créativité dans le domaine de la production, les dépenses moyennes pour l'information et l'usage de la technologie par des pairs ou des membres de la famille. Les recherches sur l'adoption des technologies de précision en élevage laitier sont rares.

Dans le but de déterminer les facteurs à l'origine de la lente adoption des technologies de précision dans l'élevage laitier, un questionnaire de cinq pages a été adressé aux producteurs laitiers certifiés de l'État du Kentucky (N=1074). Un total de 236 questionnaires ont été renvoyés. Les analyses ultérieures ont porté sur 229 questionnaires (21 %), sept questionnaires incomplets ayant été écartés. Le questionnaire comprenait des questions sur la démographie descriptive générale de l'exploitation, la planification des conseils et l'attitude face à la prise de décision. S'agissant de l'élevage laitier de précision, les participants à l'enquête se sont vu poser la question suivante : « *Jusqu'à présent, l'adoption des technologies de surveillance automatisée (par exemple, les podomètres, la détermination de la conductivité électrique à des fins de détection de la mastite) a été lente dans l'industrie laitière. Quels sont les facteurs qui, selon vous, pourraient expliquer la lenteur de cette adoption ? (Cocher TOUS les facteurs adéquats)* ». Les questionnaires ont été triés selon la taille du troupeau, le système de production, l'âge de l'opérateur et le niveau de production. La moyenne des moindres carrés des catégories a été calculée pour les variables quantitatives avec la procédure GLM de SAS®. Les différences ont été considérées comme statistiquement significatives au seuil 0,05 en utilisant le test de Tukey pour les comparaisons multiples. Pour les variables qualitatives, les analyses χ^2 ont été réalisées avec la procédure FREQ de SAS®. Les différences étaient considérées comme statistiquement significatives au seuil 0,05.

Pour les 229 questionnaires, la taille moyenne du troupeau était de $83,0 \pm 101,8$ vaches, tandis que la moyenne d'âge du producteur était de $50,9 \pm 12,9$. Les causes de la lente adoption des technologies de précision et des logiciels destinés aux exploitations laitières figurent au Tableau 1. Parmi les raisons évoquées par le plus grand nombre de sondés, citons : (1) le manque d'information sur les technologies existantes (55 %), (2) un rapport coûts-avantages inadéquat

(42%) et (3) les difficultés de gestion d'une information pléthorique (36%). Les personnes ayant mentionné le manque d'information sur les technologies disponibles ont indiqué que des efforts de marketing pourraient accroître le degré d'adoption. Le rythme d'adoption semble être influencé par les avantages économiques réels ou perçus, ce qui démontre la nécessité de concevoir des modèles économiques destinés à évaluer les avantages apportés par la technologie et d'examiner à nouveau le prix des produits au détail. Le pourcentage des producteurs qui ont coché les facteurs « Manque d'appui/formation technique » et « Problèmes de compatibilité » augmente avec la taille du troupeau ($P < 0,05$) et révèle probablement de mauvaises expériences antérieures. Il importe, lors de la mise au point de technologies, que les fabricants collaborent avec les utilisateurs finals durant la phase de conception et après l'adoption du produit afin d'éliminer toute frustration de la part des clients. On a constaté peu de différences significatives entre les différents groupes d'âges, même si les jeunes producteurs avaient davantage tendance à cocher le facteur « Meilleures options/plus commode à réaliser manuellement ». La mise au point d'une technologie devrait être précédée d'une étude de marché pour s'assurer que les nouvelles technologies répondent véritablement à un besoin.

Tableau 1. Facteurs expliquant la lenteur d'adoption des technologies de précision dans l'élevage laitier (Bewley et Russell, 2009, non publié)

Facteurs	N	Pourcentages
Manque d'information sur les technologies existantes	101	55 %
Rapport coûts-avantages inadéquat	77	42 %
Difficultés de gestion d'une information pléthorique	66	36 %
Manque de temps à consacrer à la technologie	56	31 %
Aucune perception de la valeur économique	55	30 %
Trop difficile ou complexe à mettre en œuvre	53	29 %
Manque d'appui/formation technique	52	28 %
Meilleures options/plus commode à réaliser manuellement	43	23 %
Incapacité à s'intégrer dans le régime de travail d'un éleveur	40	22 %
Phobie de la technologie/absence de compétences en informatique	39	21 %
Manque de fiabilité ou de souplesse	33	18 %
Dépourvue d'utilité/ne répond pas à un besoin réel	27	15 %
Manque de maturité de la technologie/en attente d'améliorations	18	10 %
Manque de normalisation	17	9 %
Mauvaise intégration dans d'autres systèmes/logiciels à vocation agricole	12	7 %
Problèmes de compatibilité	12	7 %

Conclusions et perspectives

Bien que l'élevage laitier de précision n'en soit qu'à ses premiers balbutiements, pas une année ne passe sans qu'une nouvelle technologie adaptée arrive sur le marché. Ces nouvelles technologies sont mises au point dans d'autres industries et adaptées à l'industrie laitière par des ingénieurs et des zootechniciens qui leur trouvent des applications spécifiques. Toutefois, il importe de constater que ces technologies se répandent largement dans les industries dotées d'un plus grand périmètre, comme le secteur automobile ou l'informatique personnelle, et que la

baisse concomitante de leurs coûts les rend plus économiques à l'usage dans les exploitations laitières. Dans la mesure où l'essentiel des recherches sur les technologies de précision sont réalisées dans des contextes de recherche, toutes les précautions seront prises lors des tentatives de transposition des résultats à l'environnement commercial. Cette différence est partiellement attribuable à l'élimination des données erronées de l'analyse des données expérimentales, ce qui est dépourvu d'intérêt pratique dans un cadre commercial. De plus, la maintenance et l'entretien du matériel peuvent faire l'objet d'une priorité plus importante dans un contexte de recherche. On éliminera cet obstacle en réalisant des expériences ou des simulations sur le terrain. Compte tenu de l'écart qui existe entre l'impact des technologies de précision dans un environnement de recherche et dans un cadre commercial, des efforts supplémentaires seront déployés vers la mise en œuvre des pratiques de gestion requises pour exploiter pleinement les informations générées par ces technologies. Des recherches complémentaires sont nécessaires pour mieux appréhender les problèmes liés à l'adoption des technologies et étudier le processus d'adoption à la lumière de ses succès mais aussi de ses échecs. Comme pour n'importe quel concept innovant ou technologie nouvelle, les recherches universitaires en milieu contrôlé sur l'élevage laitier de précision seront menées parallèlement à son adoption par les exploitants précoces et audacieux. Les investissements dans une nouvelle technologie seront précédés d'une analyse afin de valider l'intérêt de la technologie par rapport aux besoins de l'exploitation. L'élevage laitier de précision offre d'énormes possibilités d'amélioration de la gestion individuelle des animaux en exploitation laitière. L'élevage laitier de précision pourrait bouleverser les modes de gestion des troupeaux de vaches laitières de demain.

References

- Bewley, J. M., M. D. Bøehlje, A. W. Gray, H. Hogeveen, S. J. Kenyon, S. D. Eicher, and M. A. S. Russell, M.M. 2010a. Assessing the potential value for an automated dairy dattle body condition scoring system through stochastic simulation. *Agricultural Finance Review* (Accepted).
- Bewley, J. M., M. D. Bøehlje, A. W. Gray, H. Hogeveen, S. J. Kenyon, S. D. Eicher, and M. A. S. Russell, M.M. 2010b. Stochastic simulation using @Risk for dairy business investment decisions. *Agricultural Finance Review* (Accepted).
- de Mol, R. M. 2000. Automated detection of œstrus and mastitis in dairy cows. Page 177. Vol. PhD Thesis. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Delorenzo, M. A. and C. V. Thomas. 1996. Dairy records and models for economic and financial planning. *J. Dairy Sci.* 79(2):337-345.
- Dijkhuizen, A. A., R. B. M. Huirne, S. B. Harsh, and R. W. Gardner. 1997. Economics of robot application. *Comput. Electron. Agric.* 17(1):111-121.
- Eastwood, C., D. Chapman, and M. Paine. 2004. Precision dairy farming-taking the microscope to dairy farm management.
- Hamrita, T. K., S. K. Hamrita, G. Van Wicklen, M. Czarick, and M. P. Lacy. 1997. Use of biotelemetry in measurement of animal responses to environmental stressors.
- Lazarus, W. F., D. Streeter, and E. Jofre-Giraud. 1990. Management information systems: impact on dairy farm profitability. *North Cent. J. Agric. Econ.* 12(2):267-277.
- Philpot, W. N. 2003. Role of technology in an evolving dairy industry. Pages 6-14 in 2003 Southeast Dairy Herd Management Conference, Macon, Georgia.

Pietersma, D., R. Lacroix, and K. M. Wade. 1998. A framework for the development of computerized management and control systems for use in dairy farming. *J. Dairy Sci.* 81(11):2962-2972.

Schulze, C., J. Spilke, and W. Lehner. 2007. Data modeling for Precision Dairy Farming within the competitive field of operational and analytical tasks. *Comput. Electron. Agric.* 59(1-2):39-55.

Spilke, J. and R. Fahr. 2003. Decision support under the conditions of automatic milking systems using mixed linear models as part of a precision dairy farming concept. Pages 780-785 in EFITA 2003 Conference, Debrecen, Hungary.

van Asseldonk, M. A. P. M. 1999. Economic evaluation of information technology applications on dairy farms. Page 123. Vol. PhD. Wageningen Agricultural University.

van Asseldonk, M. A. P. M., A. W. Jalvingh, R. B. M. Huirne, and A. A. Dijkhuizen. 1999. Potential economic benefits from changes in management via information technology applications on Dutch dairy farms: a simulation study. *Livest. Prod. Sci.* 60(1):33-44.