

Élevage de précision : périmètre, applications et perspectives en élevage bovin

ALLAIN .C (1), CHANVALLON A. (2), CLEMENT P. (3) (4), GUATTEO R. (3) (4), BAREILLE N. (3) (4)

(1) Institut de l'Élevage, BP 85225, F-35652 Le Rheu Cedex

(2) Institut de l'Élevage, Oniris, F-44307 Nantes, France

(3) LUNAM Université, Oniris, UMR BioEpAR, CS 40706, 44307 Nantes, France

(4) INRA, UMR1300 BioEpAR, CS 40706, 44307 Nantes, France

RESUME

L'élevage de précision émerge depuis quelques années, notamment dans les exploitations bovines. Son développement s'explique par la disponibilité de nouvelles technologies dans les domaines de la microélectronique, de l'informatique, des télécommunications et des nanotechnologies, mais aussi par le besoin des éleveurs d'accroître la productivité et l'efficacité de leurs élevages. L'élevage de précision est principalement utilisé en élevage bovin laitier pour le pilotage de l'alimentation, la détection des troubles infectieux et des troubles métaboliques et/ou la surveillance des événements liés à la reproduction. Les performances de détection des outils commercialisés sont hétérogènes et très dépendantes des événements ciblés. Mais du point de vue des éleveurs, les performances et l'efficacité d'un outil sont surtout caractérisés par son rapport coût/bénéfice. Les impacts économiques semblent ainsi rarement positifs et principalement pour des troupeaux de grande taille ou très productifs. En revanche l'impact de l'élevage de précision sur l'évolution du métier d'éleveur, la relation homme/animal et l'organisation du travail ne sont pas négligeables et restent à mieux appréhender. Le développement des capteurs permet également d'envisager du phénotypage automatisé, standardisé et à haut débit sur des caractères non disponibles à ce jour et ouvre de nouvelles possibilités à la sélection. Enfin, pour se développer davantage, l'élevage de précision doit offrir de nouvelles fonctionnalités aux éleveurs en ne s'arrêtant pas uniquement à la délivrance d'une information, mais en allant jusqu'à la fourniture d'un conseil.

Scope, applications and prospective of precision dairy and beef farming

ALLAIN .C (1), CHANVALLON A. (2), CLEMENT P. (3) (4), GUATTEO R. (3) (4), BAREILLE N. (3) (4)

(1) Institut de l'Élevage, BP 85225, F-35652 Le Rheu Cedex

SUMMARY

Precision livestock farming (PLF) has been emerging in the last few years, especially in dairy and beef herds. The development of PLF is mostly pushed by the availability of new technologies in microelectronics, computer sciences, telecommunications, and nanotechnologies. But it also meets the farmers' needs to increase efficiency and productivity of their farms. PLF is mostly used in dairy farms to manage feeding, animal health and reproduction. Performances of PLF systems are very heterogeneous and closely dependent on the event targeted. But from a farmer's point of view, the cost/benefit ratio is the main indicator of the PLF system performance and efficiency. Thus, it seems that economic impacts are only slightly positive and mostly for big or productive herds. On the contrary, impacts of PLF on farmers' trade evolution, workload or man to animal relationship are not negligible and need to be better assessed. PLF development also offers new possibilities for standardized and automated phenotyping and selection on new traits. Finally, PLF needs to offer new features to improve its adoption by farmers, not only by supplying information but also by providing advice.

INTRODUCTION

Le développement de nouvelles technologies et leur utilisation en élevage, donnant naissance à l'élevage de précision, apparaît comme un des leviers d'action possible pour répondre au besoin de développement d'un élevage durable économiquement, socialement et respectueux de l'environnement (Eastwood *et al.*, 2004 ; Bewley, 2010). Plusieurs raisons expliquent le développement de l'élevage de précision au cours de ces dernières années. Quel que soit le type de production ou l'espèce concernés, la taille des élevages français et européens augmente chaque année (Gambino *et al.*, 2012) sans augmentation de la main d'œuvre associée. Cette évolution est en partie motivée par les perspectives d'évolution des politiques agricoles communes (fin des quotas), la volatilité du coût des matières premières et du prix de vente des produits qui rendent les marges économiques plus minces que par le passé (Bewley, 2010). Par conséquent, l'amélioration, même faible, de la productivité ou de l'efficacité des élevages est devenue un enjeu important pour améliorer le profit des éleveurs. De plus, les éleveurs doivent faire face aux demandes sociétales et aux contraintes législatives croissantes autour du bien-être animal, de l'impact de l'élevage sur l'environnement ou encore de la rationalisation de l'utilisation d'intrants médicamenteux (Berckmans, 2004 ; Wathes, 2007). Enfin, les éleveurs aspirent de plus en plus à une diminution de leurs contraintes

(traite, distribution de l'alimentation, observation des chaleurs,...) et à une meilleure maîtrise du temps et du confort de travail. Parallèlement à ces constats, des sauts technologiques dans la microélectronique, l'informatique, les télécommunications et désormais les nanotechnologies, ont eu lieu. Leur utilisation dans d'autres industries a permis de réduire considérablement leur coût. Ainsi, par exemple, le succès mondial des téléphones mobiles ou encore des jeux vidéo a eu un impact important sur la diminution des coûts des technologies de communication sans fil ou des capteurs. Cela favorise de fait leur utilisation pour d'autres applications comme l'élevage de précision. Néanmoins, passé l'effet de mode, il convient d'identifier les conditions optimales de mise en œuvre et de déploiement de telles technologies en élevage. Cette synthèse reprend l'état des connaissances sur l'élevage de précision et fait le point sur les perspectives permises pour l'élevage bovin laitier et allaitant.

1. DEFINITION DE L'ELEVAGE DE PRECISION

Différentes définitions de l'élevage de précision sont proposées dans la littérature. Bewley (2010) définit l'élevage de précision comme l'utilisation de technologies permettant de mesurer des indicateurs physiologiques, comportementaux ou de production sur les animaux pour améliorer les stratégies de

management du troupeau et les performances de l'élevage. Ces performances peuvent être économiques, sociales ou environnementales (Eastwood *et al.*, 2004, Bewley, 2010). Selon Berckmans (2012), c'est le pilotage de l'élevage grâce au monitoring automatisé et en temps réel de la production, de la reproduction, de la santé et du bien-être des animaux. Ainsi, une définition relativement consensuelle aux différentes filières animales peut être proposée (Hostiou *et al.*, 2014) : l'élevage de précision, c'est l'utilisation coordonnée i) de capteurs pour mesurer des paramètres comportementaux, physiologiques ou de production sur les animaux, ii) de TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) pour échanger, stocker, transformer et restituer ces informations à l'éleveur pour l'aider dans sa prise de décision en complément de ses observations. Par extension, l'utilisation d'automatismes permettant de décharger l'éleveur de certaines tâches astreignantes (traite, alimentation, régulation de l'ambiance des bâtiments) peut également être associée à l'élevage de précision s'ils sont couplés à l'utilisation de capteurs et de technologies de transfert d'informations. D'autres automatismes (robots racleurs des déjections, pousse-fourrage, « chiens » de troupeaux pour pousser les vaches en salle de traite, ...) ne produisant pas de données utilisables pour la conduite du troupeau sont exclus de la notion d'élevage de précision. Selon Aerts *et al.* (2003), Berckmans (2004) et Whates (2007), plusieurs conditions doivent être réunies pour permettre un monitoring et un pilotage continu de l'élevage. D'abord, des variables animales doivent être mesurées et analysées en continu à une échelle de temps appropriée à l'aide de capteurs fiables. Dans un second temps, un modèle prédictif (algorithme de détection) pour chaque variable mesurée (ou combinaison de variables) de la réponse de l'animal aux conditions environnementales (alimentation, climat, conduite d'élevage...) doit être développé. C'est ensuite la comparaison entre ce qui est attendu (calculé par ce modèle) et ce qui est

mesuré par les capteurs qui va permettre de détecter les animaux ou les situations (œstrus par exemple) nécessitant une attention particulière de la part de l'éleveur. Une information sous forme d'alerte ou d'indicateur lui sera envoyée. Des données complémentaires à celles des capteurs (économiques par exemple) peuvent également être intégrées directement dans un algorithme de monitoring et un modèle d'aide à la décision et ainsi permettre de produire une information sur l'état du troupeau et de fournir un conseil à l'éleveur (Rutten *et al.*, 2013b). Ce niveau, encore peu étudié, sera décrit plus précisément dans la partie 4.1. Le concept d'élevage de précision décrit précédemment est présenté en Figure 1.

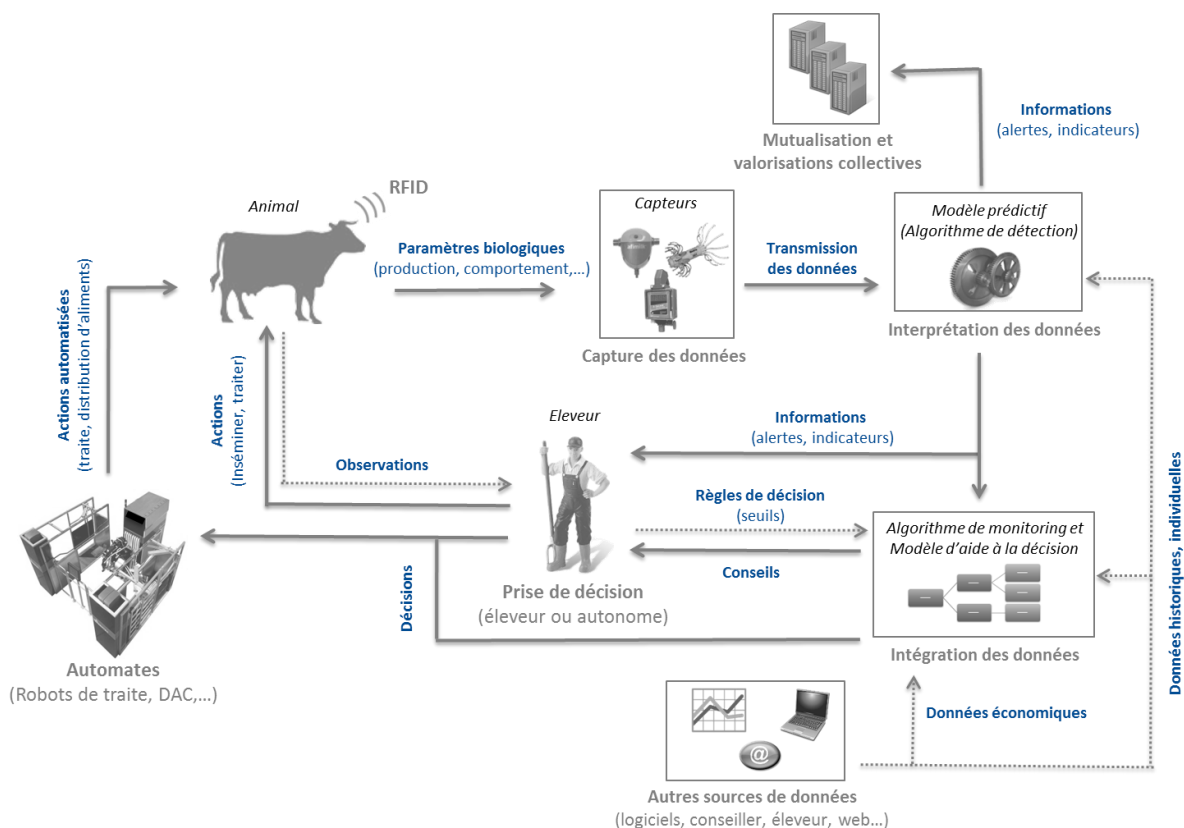


Figure 1 : Concept d'élevage de précision (adapté de Allain *et al.*, 2012 ; Rutten *et al.*, 2013b)

2. APPLICATIONS EN ELEVAGE BOVIN

2.1 QUELS OUTILS POUR QUELLES MESURES ?

Dans le cadre de l'élevage de précision, les capteurs permettent (i) d'automatiser une mesure pouvant être réalisée manuellement (pesée de la quantité d'aliment ingérée) ou visuellement (chevauchements, vêlages) ; ou (ii) de mesurer de nouveaux paramètres non détectables par l'œil humain ou difficilement mesurables (activité, rumination). Ces capteurs peuvent être positionnés sur l'animal, intégrés dans un automate de traite, de pesée, de tri ou d'alimentation ou positionnés dans les bâtiments d'élevage. D'après Favardin (2012), ces outils basés sur des technologies diverses peuvent en général mesurer des paramètres :

- physiologiques sur l'animal (production laitière, ingestion, température corporelle),
- biologiques sur ses produits (caractéristiques physico-chimiques du lait, niveaux hormonaux),
- morphologiques (mensurations, poids)
- comportementaux (déplacement, activité, comportement alimentaire).

Les données produites sont ensuite valorisées soit pour le management du troupeau (alimentation), soit pour la détection précoce de troubles de la santé (mammmites troubles métaboliques) ou d'évènements d'intérêt (vêlages, chaleurs). Dans certains cas, les informations mesurées par ces capteurs et croisées avec d'autres informations peuvent également servir à modifier le fonctionnement d'un automate (fréquence de traite, quantité de concentrés distribuée, séparation du lait ou d'un animal). Un panorama des principaux outils disponibles est présenté dans le tableau 1.

En complément, de nombreuses innovations sont à l'étude pour le pilotage fin du troupeau (évaluation automatisée de l'état corporel, spectrométrie moyen infra rouge) et seront développées dans la suite de l'article. Dans le domaine de la santé, d'autres applications peuvent être citées : la détection de troubles respiratoires chez les porcs par l'enregistrement des sons liés à la toux qui pourrait être appliquée aux bovins notamment aux veaux (Ferrari *et al.*, 2010) et la détection de boiteries par imagerie numérique (Viazzi *et al.*, 2013). Enfin le bâtiment d'élevage fait aussi l'objet d'avancées technologiques par exemple concernant la mesure de consommation d'eau (Ménard *et al.*, 2012) ou le renouvellement d'air pour préserver la santé des animaux. Des capteurs sont ainsi mis au point pour réguler de façon automatique plusieurs paramètres d'ambiance : température, hygrométrie, concentrations en ammoniac et en dioxyde de carbone (Fang, 2003 ; Janni et Jacobson, 2013).

2.2 PERFORMANCES POUR LA DETECTION D'EVENEMENTS SANITAIRES ET DE REPRODUCTION

L'évaluation des performances des outils de monitoring de la santé et de la reproduction est capitale pour permettre (i) un choix éclairé des éleveurs lors de l'investissement (quelles performances pour quel coût) et (ii) un usage réel, conforme et durable de ces outils en élevage. En effet, pour la santé par exemple, un système générant trop d'alertes chez des animaux sains (faux positifs), ou pas suffisamment d'alertes chez des animaux malades (faux négatifs), risque d'entraîner une perte de confiance de l'éleveur dans les informations fournies par le système et une sous-utilisation de celui-ci. Mal utilisé, il peut engendrer des atteintes au bien-être animal, une surutilisation des traitements médicamenteux et impacter négativement l'économie des exploitations. L'évaluation des performances d'un système de détection se fait par le calcul de statistiques comme le pourcentage d'évènements à détecter (chaleurs ou troubles de santé) effectivement détectés par le système (sensibilité), le pourcentage d'évènements à ne pas détecter (absence de chaleurs ou de troubles de santé) effectivement non détectés par le système (spécificité) et l'évaluation de la précocité des détections. La sensibilité et la spécificité constituent les valeurs intrinsèques

d'un système d'alerte. Pour l'éleveur, il s'agit plutôt de savoir quelles seront les performances d'un système donné dans son élevage. Pour cela, on utilise des statistiques opérationnelles comme la valeur prédictive positive (VPP=probabilité qu'une vache en alerte ait l'évènement à détecter, chaleur ou trouble de santé) ou négative, ou le taux de détection à tort (par exemple le nombre de fausses alertes pour 1000 traites pour un système de détection des mammmites) qui permettent de rendre compte simplement de la qualité du système d'alertes (Kamphuis *et al.*, 2008). Ces valeurs prédictives des alertes dépendent non seulement de leurs sensibilité et spécificité, mais aussi de la prévalence des évènements à détecter dans l'élevage : ainsi plus la prévalence est forte, plus la VPP sera élevée, ce qui sera recherché en priorité en élevage (détection des vaches réellement malades).

Or, la prévalence des troubles de santé en élevage est heureusement relativement faible. Pour atteindre des valeurs prédictives qui soient suffisamment élevées et que les outils de monitoring apportent réellement une information utile à l'éleveur, il faut ainsi que la sensibilité et la spécificité des alertes soient très élevées. Ainsi, la norme ISO/FDIS 20966 (ISO, 2007) recommande une sensibilité supérieure à 80% combinée à une spécificité supérieure à 99% pour les systèmes de détection automatisée des mammmites sur les robots de traite, ce qui permet d'atteindre des valeurs de VPP de 35-50%. Cependant, parmi les 28 études citées par Rutten *et al.* (2013b) et ayant évalué récemment des systèmes automatisés de détection des mammmites, seules 3 systèmes d'alerte de 3 études différentes atteignent ces objectifs. C'est alors à l'éleveur de « filtrer » parmi les nombreuses alertes générées par le système sur des animaux sains (défaut de spécificité) celles qui requièrent réellement son attention. Il peut pour cela utiliser les autres informations dont il dispose (historique de la vache, observation visuelle, autres capteurs...). Cependant, la pertinence du tri effectué est subjective et l'objectif de diminuer la charge mentale et physique associée à la gestion d'une maladie n'est dans ce cas pas atteint (Dreno, 2011). Parmi les technologies fournissant des alertes de santé (mammmites, boiteries, troubles métaboliques (Rutten *et al.*, 2013b)), la plupart semblent moins performantes que l'éleveur pourtant déjà peu sensible (exemple des boiteries, Fabian *et al.*, 2014), ce qui devrait être le niveau d'exigence minimal pour leur utilisation en élevage.

Au contraire, les systèmes automatisés de détection des chaleurs atteignent des sensibilités de 50 à 99% pour des spécificités supérieures à 93% (Rutten *et al.*, 2013b), ce qui correspond à des performances généralement supérieures aux performances moyennes de détection des éleveurs autour de 50% (At-Taras et Spahr, 2001). Des systèmes de détection de l'ovulation (dosage de la progestérone dans le lait) sont désormais disponibles sur le marché et sont encore plus performants (sensibilité de 93 à 99%, spécificité de 94% ; Friggens *et al.*, 2008) (Tableau 1).

Peu d'outils présents sur le marché ont à ce jour été évalués de manière scientifique et indépendante. Et lorsqu'ils le sont, leur évaluation technique doit être regardée de manière critique car les méthodes d'évaluation utilisées ne sont pas standardisées. Une problématique majeure réside dans la méthode de référence à laquelle l'outil est confronté, le gold standard parfait n'existant souvent pas. On se retrouve ainsi fréquemment à comparer l'outil à l'observation de l'éleveur que l'on sait déjà par ailleurs subjective. Par exemple, la méthode de référence utilisée pour classer les animaux sains ou malades peut être variable d'une étude à l'autre (concentration en cellules somatiques ou observation visuelle pour les mammmites) ou peut être très imparfaite. Ainsi, dans une étude récente (Timsit *et al.*, 2011), seuls 26% des hyperthermies détectées chez des broutards par un thermobolus avaient été détectées et traitées par les éleveurs. La détection par l'éleveur aurait donc été une méthode de référence très imparfaite pour évaluer ce thermobolus.

Cependant, si la connaissance des performances des outils est importante, l'évaluation doit aussi intégrer l'impact

économique de l'équipement et l'impact sur l'organisation du travail de l'éleveur.

3. CONSIDERATIONS ECONOMIQUES ET SOCIALES

3.1 IMPACTS TECHNIQUES ET ECONOMIQUES

Pour un éleveur, le coût des outils de monitoring est assez facile à cerner. Par exemple, pour les outils de détection des chaleurs, il comprend l'investissement (base réceptrice et un set de capteurs) et la maintenance (changement des batteries, casse). Ainsi, pendant les 5 premières années d'utilisation, le coût par vache et par an varie de 20 € dans les grands troupeaux à 60 € dans les petits troupeaux et dans ceux à vêlages étalés qui nécessitent d'équiper toutes les vaches (Courties, 2014).

En revanche, les bénéfices économiques (hors temps de travail) sont plus difficilement évaluables. Ils vont essentiellement dépendre de l'amélioration de la sensibilité de détection des événements obtenue grâce à l'équipement en capteur des animaux. Ainsi, une meilleure détection des vêlages doit améliorer la survie des veaux ; une meilleure détection des vaches malades doit permettre de limiter leurs pertes de production, mais, si un traitement médicamenteux avec temps d'attente est appliqué, ce bénéfice peut être vite perdu.

Les travaux de quantification des bénéfices technico-économiques attendus d'un équipement de surveillance ont surtout concerné les détecteurs de chaleurs. Ils peuvent permettre de raccourcir le délai de mise à la reproduction, les intervalles entre inséminations non-fécondantes, l'intervalle entre vêlages et in fine d'améliorer la marge brute de l'atelier laitier (Seegers *et al.*, 2010). Rutten *et al.* (2013a) ont analysé l'intérêt technico-économique de l'équipement en détection automatisée des chaleurs dans un troupeau de 130 vaches laitières par modélisation stochastique. Ils ont montré qu'avec une amélioration de 30 % de sensibilité de détection, il était possible d'atteindre un retour sur investissement en 7 ans. Des résultats similaires ont été observés par Østergaard *et al.* (2005) et Dolecheck *et al.* (2013) en grands troupeaux. Une exploration récente dans le contexte français (Courties, 2014) confirme en partie ces conclusions. En effet, le coût de l'équipement n'est compensé en 5 ans que pour les troupeaux de grande taille (120 vaches laitières et plus) et pour ceux de taille moyenne (60 vaches) à fort niveau de production, là encore si l'amélioration de sensibilité atteint 30 à 40%. Ces niveaux d'amélioration peuvent être attendus dans des exploitations où le temps consacré à l'observation des chaleurs avant équipement est très limitant. A contrario, pour des éleveurs performants avant équipement (sensibilité >50%) et pour les troupeaux à production modérée ou de taille réduite, l'investissement est difficilement rentable économiquement.

D'une manière générale, les études économiques sont encore très rares alors que l'évaluation du rapport coût/bénéfices des nouvelles technologies en élevage est un enjeu important pour leur développement. Pour répondre à ce besoin, des travaux sont en cours dans le cadre du projet Mariage (CASDAR Recherche Technologique 2014) et visent à développer un outil d'aide à la décision pour s'équiper d'un capteur pour la détection automatisée des chaleurs, incluant une analyse du rapport coût/bénéfices.

3.2 IMPACTS SUR L'ORGANISATION DU TRAVAIL

Une synthèse récente proposée par Hostiou *et al.* (2014a) dresse un état des lieux complet de l'impact de l'élevage de précision sur l'organisation du travail et le métier d'éleveur. En effet, les automatismes (robots de traite ou d'alimentation), couplés à la collecte de données par des capteurs et leur restitution sous forme d'alertes ou de rapports synthétiques, peuvent améliorer le confort de travail en réalisant automatiquement des tâches pénibles, en aidant à la prise de

décision ou en allégeant la charge mentale par l'indication des interventions nécessaires, par exemple, à l'occasion des mises-bas. En revanche, de nouvelles tâches peuvent en découler comme l'apprentissage de son utilisation, l'entretien et la surveillance de l'équipement, la consultation et l'interprétation des données. Cela peut être source de stress en raison de la multiplicité des alarmes ou des alertes, parfois la nuit, et des risques accrus de pannes dans des systèmes électroniques sophistiqués. La complexité des informations à gérer peut désorienter les éleveurs et être à l'origine d'erreurs d'interprétation et de diagnostics. Enfin, l'élevage de précision peut conduire à un désinvestissement éventuel des exploitants dans les savoir-faire pratiques (repérage visuel des animaux malades ou en chaleur,...). L'élevage de précision est susceptible d'exercer un attrait pour le métier notamment de jeunes en quête de modernité, mais peut aussi se révéler source d'échecs s'il n'est pas adapté aux besoins et aux compétences des éleveurs. Un article détaillant ce thème est proposé lors de ces journées 3R 2014 (Hostiou *et al.*, 2014b).

4. LES PERSPECTIVES DE L'ELEVAGE DE PRECISION POUR LE PHENOTYPAGE HAUT DEBIT ET LA CONDUITE DU TROUPEAU

4.1 VERS UNE PRISE DE DECISION OPTIMISEE OU AUTONOMISEE

La prise de décision (et l'action qui en découle) est l'étape ultime et indispensable de tout processus de management de l'exploitation. En élevage, certaines décisions comme l'application d'un traitement médicamenteux ou l'insémination peuvent impacter négativement l'économie de l'exploitation et la santé ou le bien-être animal si elles sont prises à tort ou si elles ne sont pas prises au bon moment. Les technologies d'élevage de précision, en apportant une information objective, et si possible fiable à l'éleveur, le sécurisent dans sa prise de décision.

Récemment, Rutten *et al.* (2013b) ont décrit la dynamique de l'information inhérente à l'élevage de précision, du capteur à la décision (Figure 1). Dans cette publication, les auteurs soulignent que les travaux scientifiques concernant les outils d'élevage de précision n'évaluent souvent que leurs performances pour détecter des troubles de santé ou des événements de reproduction. Pourtant, l'agrégation d'informations issues des capteurs avec d'autres informations (économiques, historiques, techniques) provenant de l'élevage, qui pourraient permettre la production de conseils pour faciliter la décision de l'éleveur, nécessite d'être approfondie.

Cette intégration de modèle d'aide à la décision par les constructeurs représente une perspective d'avenir potentiellement intéressante pour l'élevage de précision. Quelques dispositifs commerciaux le proposent déjà.

Ainsi, le système DLM® (Dynamic Linear Model) développé par Lely en lien avec ses robots de traite, permet d'ajuster automatiquement la distribution de concentrés et la fréquence de traite individuellement en fonction de considérations techniques (niveau de production, TB et TP du lait, intervalle de traite et temps de préparation à la traite) et économiques (prix du lait et coût des aliments) pour optimiser la marge économique par litre de lait et non plus uniquement le niveau de production.

De même, le système Herd Navigator® (Lattec), prend en compte des facteurs comme la parité de la vache, son stade de lactation, ou son niveau de production en complément de l'alerte issue du dosage de progestérone pour conseiller à l'éleveur d'inséminer ou non.

Dans ces deux exemples, on pourrait craindre que l'éleveur perde la maîtrise de sa décision voire de l'action qui en découle. En réalité, il peut rester maître des règles de décision qui sont appliquées (par exemple le stade de lactation en dessous duquel il ne souhaite pas inséminer l'animal dans le cas du Herd Navigator®) et délègue la décision et parfois

l'action à un automate (distribution de concentrés, par exemple dans le cas du DLM®).

4.2 DE NOUVELLES ECHELLES D'APPLICATION

A la problématique de la prise de décision s'ajoute celle de l'échelle d'application. Si le monitoring en élevage bovin est majoritairement individu-centré, les données individuelles peuvent être agrégées pour produire de l'information nouvelle. Rutten *et al.* (2013b) détaillent ainsi deux types de valorisation des données à l'échelle du troupeau. D'abord, ces données peuvent être réutilisées pour améliorer l'algorithme de détection. Par exemple, dans le cas de la détection des chaleurs basée sur l'activité physique, une hausse générale d'activité du troupeau liée à un évènement particulier (sortie au pâturage) peut être utilisée pour corriger l'algorithme de détection individuel. Ensuite, ces données « troupeau » peuvent apporter une information nouvelle à l'éleveur sur l'état de son cheptel. Ainsi, une baisse de l'intensité d'expression des chaleurs ou la diminution de la fréquence des alertes pourrait être un signe d'une détérioration de l'état reproductif du troupeau avant que l'éleveur s'en aperçoive par lui-même. Enfin, une agrégation des données à une échelle collective plus importante (non plus à l'échelle de la ferme, mais à une échelle régionale ou nationale) pourrait servir à la sélection sur de nouveaux caractères (cf. 4.4), mais aussi à détecter des dérives de performances concomitantes à l'arrivée d'un évènement sanitaire ou climatique. Ce niveau d'information permettrait alors d'évaluer l'impact d'une maladie émergente plus précocement qu'aujourd'hui (exemple de la FCO) et de proposer un plan de maîtrise rapidement.

4.3 DE NOUVELLES POSSIBILITES POUR LA MESURE DE PHENOTYPES D'INTERET EN ELEVAGE

En permettant d'évaluer des paramètres non observables par l'homme ou difficilement mesurables, l'élevage de précision apporte de réelles perspectives pour mesurer des phénotypes d'intérêt.

L'estimation de l'état des réserves corporelles est un bon exemple d'application potentielle (Boichard et Brochard, 2012). Celles-ci sont en effet fortement liées à la productivité, la longévité ou au bien-être des vaches. De plus, les variations des réserves corporelles reflètent le bilan énergétique de l'animal qui constitue un indicateur intéressant pour le pilotage de troupeau. Mais il n'est mesuré que peu précisément dans les élevages expérimentaux (via la Note d'Etat Corporel, NEC) et rarement estimé dans les élevages commerciaux.

Récemment, Fischer *et al.* (2014) ont développé une méthode pour estimer la NEC à partir de l'utilisation de l'imagerie en 3D. La méthode construite à partir d'un traitement global de l'image a permis d'estimer objectivement et précisément la NEC des vaches laitières. La mesure de la NEC par les surfaces 3D apparaît surtout 2,8 fois plus reproductible que la NEC estimée par les notateurs.

Un autre exemple est la spectrométrie moyen infrarouge (MIR). Cette technique est utilisée depuis longtemps dans les laboratoires d'analyse du lait pour déterminer les éléments de paiement du lait : taux butyreux, taux protéique, comptage de cellules somatiques, mais aussi d'autres caractères comme l'urée ou le lactose. Depuis quelques années, l'utilisation de la spectrométrie MIR s'est développée grâce à la possibilité d'extraire et de stocker les spectres qui, jusqu'alors, étaient détruits après détermination des caractères souhaités. De nombreux projets ont vu le jour pour fournir aux éleveurs des indicateurs de pilotage du troupeau fondés sur l'analyse des données spectrales. Les plus aboutis concernent la composition en acides gras et protéines du lait pour le pilotage fin de l'alimentation et de l'indexation génomique (Gelé *et al.*, 2014 ; Ferrand-Calmels *et al.*, 2014 ; De Marchi *et al.*, 2013). Depuis, les recherches sur les spectres MIR du lait se sont étendues à d'autres applications (estimation des teneurs en minéraux et en corps cétoniques du lait, estimation du bilan

énergétique, détection de maladies métaboliques, évaluation de l'aptitude fromagère du lait, diagnostic de gestation, etc) (De Marchi *et al.*; 2014). La spectrométrie MIR du lait présente donc de nombreux avantages – rapidité, faible coût – qui permettraient à l'avenir une utilisation en routine et à grande échelle de nombreux phénotypes pour le pilotage fin du troupeau (équilibre des rations, couverture des besoins, fertilité, santé, empreinte environnementale) mais aussi pour la constitution de population de référence en vue d'une indexation génomique sur ces nouveaux caractères (De Marchi *et al.*, 2014).

En revanche, certaines autres potentialités prometteuses ont été également évaluées avec des résultats malheureusement plus mitigés. Ainsi, une étude récente s'est intéressée à la relation entre durées de rumination et quantités ingérées chez des vaches laitières en lactation. La mesure des durées de rumination avec une bonne précision est en effet possible depuis 2011 en élevage commercial, grâce à un appareil de monitoring de la santé (Schirmann *et al.*, 2009). L'hypothèse faite par les auteurs était que les durées de rumination étaient liées aux quantités ingérées, une durée de rumination plus importante étant nécessaire pour remastiquer une quantité croissante de ration. Les durées de rumination auraient ainsi pu permettre d'évaluer indirectement les quantités ingérées et donc d'améliorer les modèles de prédiction de l'ingestion voire de contribuer à estimer l'efficacité alimentaire des animaux. L'étude a cependant montré qu'il n'existait pas de relation entre les durées de rumination et les quantités de matière sèche ingérées durant la lactation chez des vaches recevant une ration complète (Clément *et al.*, 2014). Le monitoring des durées de rumination permet cependant de détecter certains troubles de santé chez les vaches laitières (Clément *et al.*, 2013).

4.4 VERS UNE UTILISATION POUR LE PHENOTYPAGE INDIVIDUEL DE MASSE

En France, près de 4000 exploitations laitières sont aujourd'hui équipées de robots de traite (Idele, 2014) avec leurs lots de capteurs en font de véritables plateformes potentielles de phénotypage.

Ce développement très rapide (nombre d'élevages équipés multiplié par 4 depuis 2007) ouvre la voie à de nouvelles perspectives pour le phénotypage animal à grande échelle sur de nouveaux caractères ou des caractères existants mais mesurés avec une faible précision ou une fréquence inadaptée. Ainsi, des phénotypes tels que la vitesse de traite (Heringstad, 2014), les débits de matière utile (Fogh, 2012), le tempérament (basé sur le comportement pendant la traite mesuré par le nombre de fois ou les faisceaux trayeurs se décrochent ; Rinell, 2013), la conformation de la mamelle (basée sur les enregistrements des caméras des robots ; Fogh, 2012) pourraient facilement être utilisés pour la sélection. Les données de conductivité du lait pourraient également être utilisées pour le phénotypage de la santé mammaire (Norberg, 2005).

De nombreux robots de traite sont également équipés de balances électroniques qui pèsent les animaux lors de chaque traite. La pesée automatique plusieurs fois par jour est un moyen prometteur de prévoir les changements de poids quotidiens, l'accumulation des mesures permettant de contrôler les variations aléatoires dues à l'alimentation et l'abreuvement (Boichard et Brochard, 2012).

De nouveaux dispositifs comme le Herd Navigator® réalisent une prise d'échantillon et une analyse en ferme de marqueurs biologiques comme le lactate déshydrogénase pour la détection des mammites, le bêta-hydroxybutyrate pour les acétonémies ou la progestérone pour la reproduction et permettent des diagnostics plus précis (Friggens *et al.*, 2008 ; Hojsgaard et Friggens, 2010).

Les capteurs embarqués sur les animaux sont aussi des sources prometteuses de données pour le phénotypage. Les systèmes de détection automatisée des chaleurs comme les

podomètres et les accéléromètres sont en plein essor. Outre la production d'alertes, ils pourraient également être utilisés pour caractériser l'expression des chaleurs et la cyclicité des vaches laitières (Lovendhal et Chagunda, 2009). En fournissant des données en continu sur des paramètres physiologiques parfois méconnus, ces capteurs permettront également de mieux comprendre la physiopathologie de certains troubles de santé ou de reproduction.

Les accéléromètres positionnés sur le cou permettent de plus en plus d'avoir accès au comportement alimentaire (ingestion, rumination, abreuvement) en plus de la détection des œstrus. Ils pourraient être un bon complément des mesures réalisées par les DAC (Distributeurs Automatiques de Concentrés) pour les travaux sur l'efficacité alimentaire.

De nombreux autres capteurs (température et pH ruminal, etc. – Tableau 1) peuvent être envisagés pour des applications quasiment illimitées, comme par exemple l'identification d'animaux résistants ou résilients à certaines maladies/affections.

Ces technologies offrent donc des perspectives de phénotypage à grande échelle (plusieurs dizaines voire centaines de milliers d'animaux). L'avantage principal est que les coûts de collecte de ces informations sont limités et que les données sont enregistrées de façon objective et avec une fréquence élevée, à condition que les appareils soient correctement réglés.

En revanche, un challenge très important concerne la standardisation de ces données et l'accès à celles-ci (y compris leur propriété et leur droit d'utilisation potentielle), sachant que chaque constructeur fonctionne avec son propre format de données et ses propres logiciels (Boichard et Brochard, 2012). Des travaux sur la standardisation des échanges de données entre les robots, les capteurs et les organismes d'élevage sont d'ailleurs en cours au sein de l'International Committee for Animal Recording (ICAR) (Rehben, 2014).

CONCLUSION

Cet article présente la diversité d'applications de l'élevage de précision en productions bovines. Il souligne également que si les outils d'élevage de précision semblent être d'un intérêt évident pour le gain de temps et de confort de travail, ils ne sont pas toujours rentables techniquement et surtout économiquement. Des méthodes d'évaluation du rapport coût/bénéfices de ces technologies restent cependant à construire pour mieux appréhender ces premières constatations.

Si l'élevage de précision se développe, il est évident qu'il en est encore à un stade précoce. D'abord, les fonctionnalités offertes à l'éleveur doivent franchir le cap de la délivrance d'une alerte (œstrus, mammite) pour aller jusqu'à la fourniture d'un conseil (insémination, traitement). Ensuite, le développement technologique actuel offre de nouvelles opportunités pour approcher des paramètres clés difficilement mesurables mais cruciaux pour l'avenir de la production bovine (efficacité alimentaire, bien-être, etc.). Enfin, les outils déjà déployés en masse sur le terrain pourraient être mieux valorisés pour le phénotypage et la sélection, mais aussi comme sentinelles pour suivre l'évolution d'épizooties ou de maladies émergentes.

Aerts, J.-M., Wathes, C.M., Berckmans, D., 2003. Biosyst. Eng., 84, 257-266.

Allain, C., Duroy, S., Alix, E., Dassé, B., Delaunay, M., Langlais, J., 2012. Conf. SPACE 2012.

<http://idele.fr/domaines-techniques/sequiper-et-organiser/elevage-de-precision/publication/idelesolr/recommends/utilisation-des-capteurs-et-des-tic-en-elevage-laitier-une-nouvelle-dimension-pour-la-conduite-du.html>

Allain, C., 2013.

<http://idele.fr/recherche/publication/idelesolr/recommends/panorama-des-capteurs-en-elevage-bovin.html>

At-Taras, E.E., Spahr, S.L., 2001. J. Dairy Sci., 84, 792-798

Berckmans D., 2004. In International society for animal hygiene. 27-30.

Berckmans, D., 2012.

http://ec.europa.eu/food/animal/diseases/strategy/docs/presentation_15062012_point_1_berckmans_en.pdf

Bewley, J., 2010. In Proc. First North Am. Conf. Precis. Dairy Manag., Toronto, Canada.

<http://www.precisiondairy2010.com/proceedings/s1bewley.pdf>

Bewley, J.M., Russell, R.A., 2010. In Proc. First North Am. Conf. Precis. Dairy Manag., Toronto, Canada.

<http://www.precisiondairy2010.com/proceedings/s1bewley2.pdf>

Boichard, D., Brochard M., 2012. Animal, 6:4, 544–550.

Clément, P., Guatteo, R., Philipot, J.M., Lamy, J.M., Chanvallon, A., Trou, G., Bareille, N., 2013. In Precision Dairy Conference 2013, Minnesota, USA, 147-148.

Clément, P., Guatteo, R., Delaby, L., Rouillé, B., Chanvallon, A., Philipot, J.M., Bareille, N., 2014. J. Dairy Sci. 97, 6531–6535.

Courtiers R., 2014. Thèse Doctorat Vétérinaire, Oniris Nantes, 119 p.

Dolecheck, K.A., Heersche, G., Bewley, J.M., 2013. In Precision Dairy Conference 2013, Minnesota, USA, 103-104.

De Marchi, M., Toffanin, V., Cassandro, M., Penasa, M., 2013. J. Dairy Sci., 96, 4707-4715.

De Marchi, M., Toffanin, V., Cassandro, M., Penasa, M., 2014. J. Dairy Sci., 97, 1171-1186.

Dreno, J.N., 2009. Thèse Doctorat Vétérinaire, Oniris Nantes, 134 p.

Eastwood, C., Chapman, D., Paine, M., 2004. Precision dairy farming-taking the microscope to dairy farm management. Non publié.

Fabian, J., Laven, R. A., Whay, H. R., 2014. Vet. J., 201, 31-38.

Fang, W., 2003. http://www.agnet.org/library.php?func=view&id=20110801163637&type_id=5.

Faverdin, P., 2012. EAAP Annual Meeting, Bratislava, Slovaquie.

http://www.eaap.org/Previous_Annual_Meetings/2012Bratislava/Papers/Published/41_Faverdin.pdf

Ferrand-Calmels, M., Palhière, I., Brochard, M., Leray, O., Astruc, J.M., Aurel, M.R., Barbey, S., Bouvier, F., Brunschwig, P., Caillat, H., Douguet, M., Faucon-Lahalle, F., Gelé, M., Thomas, G., Trommenschlager, J.M., Larroquet, H., 2014. J. Dairy Sci., 97, 1-19

Ferrari, S., Piccinini, R., Silva, M., Exadaktylos, V., Berckmans, D., Guarino, M., 2010. Prev. Vet. Med., 96, 276–280.

Fischer, A., Luginbuhl, T., Delattre, L., Delouard, J.M., Faverdin, P., 2014. Renc. Rech. Ruminants, 21, à paraître.

Fogh, A., 2012. In 38th ICAR annual meeting, Cork, Ireland.

http://www.icar.org/Cork_2012/Manuscripts/Published/Fogh.pdf

Friggens, N.C., Bjerring, M., Ridder, C., Hojsgaard, S., Larsen, T., 2008. Reprod Dom Anim Vol 43.

Gambino, M., Laisney, C., Vert J., 2012.

http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Le_monde_agricole_en_tendances.pdf

Gelé, M. et al., 2014. Innovations Agronomiques, 34, 189-206.

Herringstad, B., 2014. In 39th ICAR annual meeting, Berlin Germany,

http://www.icar.org/Documents/Berlin_2014/PPTs/Presented/Herringstad.pdf

Hojsgaard, S., et Friggens, N.C., 2010. J. Dairy Sci., 93, 582–592.

Hostiou, N., Allain, C., Chauvat, S., Turlot, A., Pineau, C., Fagon, J., 2014a. INRA Prod. Anim., 2014, 27 (2), 113-122.

Hostiou, N., Allain, C., Chauvat, S., Turlot, A., Pineau, C., Fagon, J., 2014b. Renc. Rech. Ruminants, 21, à paraître.

Institut de l'élevage, 2014. <http://idele.fr/domaines-techniques/sequiper-et-sorganiser/elevage-de-precision/publication/idelesolr/recommends/robots-de-traitement-deploiement-continue.html>.

ISO 20966:2007. Geneva, Switzerland.

Janni, K.A., Jacobson, L.D., 2013. In Precision Dairy Conference 2013, Minnesota, USA, 63-64.

Kamphuis, C., Sherlock, R., Jago, J., Mein, G., Hogeveen H., 2008. J. Dairy Sci., 91, 4560-4570.

Lovendahl, P., Chagunda, M.G.G, 2009. J. Dairy Sci. 93, 249–259.

Ménard, J.L., Lepesme, M., Brunschwig, P., Coutant, S., Fulbert, L., Huneau, T., Libeau, J., Lowagie, S., Magnière, J.P., Nicoud, M., Piroux, D., Boudon, A., 2012. Renc. Rech. Ruminants, 19, 173-176.

Norberg, E., 2005. Liv. Prod. Sci., 96, 2-3, 129-139.

Ostergaard, S, Friggens, N.C, Chagunda, M.G.G., 2005. Theriogenology. 64, 819-843.

Rehben, E., 2014. In 39th ICAR annual meeting, Berlin Germany, http://www.icar.org/Documents/Berlin_2014/PPTs/Presented/Rehben.pdf.

Rinell, E., 2013. Thèse Master, Upsalla, 24p. http://stud.epsilon.slu.se/596777/rinell_e_130821.pdf.

Rutten, C.J., Steeneveld, W., Inchaisri, C., Hogeveen, H., 2013a. In Precision livestock farming. Wageningen Academic Pub, 124–132.

Rutten, C.J., Velthuis, A.G.J, Steeneweld, W., Hogeveen, H., 2013b. J. Dairy Sci. 96 :1928–1952.

Schirmann, K., von Keyserlingk, M. A., Weary, D. M., Veira, D. M., Heuwieser, W., 2009. J. Dairy Sci., 92, 6052-6055.

Seegers, H., Billon, D., Bossard-Apper, E., Ponsart, C., Bareille, N., 2010. Renc. Rech. Ruminants, 17, 146.

Timsit, E., Assie, S., Quiniou, R., Seegers, H., Bareille, N., 2011. Vet. J., 190, 136-142.

Timsit, E., N. Bareille, H. Seegers, A. Lehebel, and Assie. S., 2011a. J Anim Sci 89:4272-4280.

Viazzi, S., Bahr, C., Schlageter-Tello, A., Van Hertem, T., Romanini, C.E.B., Pluk, A., Halachmi, I., Lokhorst, C., Berckmans, D., 2013. J. Dairy Sci., 96, 257-266

Wathes C., 2007. In XIIIth International Congress in Animal Hygiene. 397-404.

Tableau 1 : Panorama des principaux outils de monitoring disponibles en élevage bovin et leurs applications (d'après Allain, 2013)

Système ⁽¹⁾	Mesure	Applications	Performances de détection ⁽²⁾	Coût (50 vaches)
Paramètres physiologiques sur l'animal				
Compteur à lait	Production laitière	Pilotage du troupeau (santé, alimentation, performance)	-	500 à 1500€ par poste ou intégré au robot
Thermomètre	Température ruminale ou auriculaire	Troubles infectieux	-	5 à 10k€
	Température vaginale	Vêlages	Se = 100%, VPP = 100% (pour l'expulsion de la poche des eaux) ⁽⁴⁾	3 à 4 k€ (+ abonnement éventuel)
Bolus ruminal	pH ruminal	Troubles métaboliques	-	490€/bolus + 2500€ station de réception
Paramètres biologiques sur les produits				
Analyseur de lait	Concentration en cellules somatiques Conductivité (+Couleur)	Mammites	Se = 40 à 100% , Sp = 18 à 99% ⁽³⁾	7500€ + consommables 500 à 1500€ par poste ou intégré au robot
	Matière grasse, matière protéique	Troubles métaboliques	-	-
	Dosage de progestérone, Lactate déshydrogénase, β-hydroxy butyrate, urée	Chaleurs Mammites Troubles métaboliques	Se = 93 à 99%, Sp = 99% ⁽⁵⁾ Se = 80 à 82%, Sp = 98% ⁽³⁾ -	40 à 50 k€ (+50 €/vache/an)
Paramètres morphologiques				
Balance	Poids	Troubles métaboliques Gestion de l'alimentation, Performances (allaitant)	-	5 à 10 k€
	Poids, Gain Moyen Quotidien, Buvées	Troubles de santé Gestion de l'alimentation	-	-
Paramètres comportementaux				
Ceinture abdominale	Contractions abdominales	Vêlages	-	3,5 à 4 k€
Podomètre	Activité motrice (nb de pas)	Chaleurs	Se = 59 à 96% , Sp = 96 à 99% ⁽³⁾	4,5 à 8 k€ (10 k€ si tous animaux équipés)
	Position debout/couché	Vêlage Boiteries, Chaleurs	-	4,5 à 8 k€ (10 k€ si tous animaux équipés)
Accéléromètre	Activité Physique	Chaleurs Boiteries	Se = 50 à 99%, Sp = 90 à 100% ⁽³⁾	4,5 à 8 k€ (+ abonnement éventuel)
	Temps d'ingestion Temps de rumination	Troubles de santé	-	
	Mouvements de la queue	Vêlages	-	3,5 à 4 k€
Détecteur électronique de chevauchement	Acceptation du chevauchement	Chaleurs	Se = 88% ⁽³⁾	6,5 k€
Microphone	Temps de rumination	Troubles métaboliques	-	8 à 10 k€ (tous animaux équipés)
Tapis (capteur de pression)	Pression de chaque patte	Boiteries	Se = 51 à 100%, Sp = 57 à 99% ⁽³⁾	-

⁽¹⁾ Le détail des produits disponibles sur le marché est disponible ici <http://idele.fr/recherche/publication/idelesolr/recommends/panorama-des-capteurs-en-elevage-bovin.html>

⁽²⁾ Se : Sensibilité ; Sp : Spécificité ; VPP : Valeur Prédictive Positive. Cf 2.2 pour leurs définitions.

⁽³⁾ D'après Rutten *et al.*, 2013b.

⁽⁴⁾ D'après Chanvallon *et al.*, 2012

⁽⁵⁾ D'après Friggens *et al.*, 2008