

Elevage de précision : De nouvelles informations utiles pour la décision ?

FAVERDIN P. (1), ALLAIN C. (2), GUATTEO R. (3), HOSTIOU N. (4), VEISSIER I. (5)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590, Saint Gilles, France

(2) Institut de l'Élevage, Monvoisin, 35650 Le Rheu, France

(3) BIOEPAR, INRAE, Oniris, 44307, Nantes, France

(4) Université Clermont Auvergne, AgroParisTech, INRAE, VetAgro Sup, Territoires, 63000 CLERMONT-FERRAND, France

(5) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, 63122 Saint-Genes-Champanelle

RESUME

Les nouvelles technologies des capteurs, de la communication et du traitement des données ont fait leur entrée dans les élevages. Elles constituent une nouvelle source d'informations à la fois plus nombreuses et diversifiées, à plus haute fréquence, sur plus longtemps et pour plus d'entités. Elles soulèvent dans le même temps des problèmes de qualification, de fiabilité et de maintenance des informations qui restent largement à explorer. Dans la théorie de la décision, le terme information ne concerne que ce qui est susceptible d'avoir un impact sur la décision. Lorsque les informations acquises par des dispositifs automatiques se substituent à des informations obtenues par des activités de surveillance ou de mesure manuelles, ces dispositifs trouvent rapidement leur place s'ils sont fiables. A l'opposé, pour d'autres informations concernant les alertes de santé, le bien-être ou l'environnement, les dispositifs sont encore peu utilisés et leur intégration dans des outils performants d'aide à la décision est encore insuffisante. De plus, aujourd'hui, l'information sort du cadre strict de l'élevage. Les consommateurs veulent savoir d'où vient leur aliment, comment il a été produit, dans quel respect de l'environnement ou du bien-être animal, avec des garanties sur ces informations. En conclusion, les nouvelles technologies de l'information permettent l'accès à beaucoup de nouvelles informations en élevage, mais avec une idée encore trop imprécise de leurs utilisations dans les processus de décision de l'éleveur ou d'autres acteurs.

Precision livestock farming: new information useful for decision?

FAVERDIN P. (1), ALLAIN C. (2), GUATTEO R. (3), HOSTIOU N. (4), VEISSIER I. (5)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590, Saint Gilles, France

SUMMARY

New technologies for sensors, communication and data processing have entered farms. This new source of information is more diverse, obtained at higher frequencies, for longer periods of time and from more entities. They raise new problems of qualification, reliability and maintenance of information, which remain largely to be explored. In decision theory, 'information' relates to what is likely to have an impact on a decision. When the information is acquired by automatic devices rather than obtained by observation or measurement by humans, such devices quickly find their place on the condition that they are reliable. Information on animal health and welfare or on the environment, resources are still little used and their integration into effective decision-making tools is still insufficient. In addition, today, the use of this information is not limited to the livestock farm. Consumers want to know where their food comes from, how it was produced, with what level of environment protection or animal welfare, and to be able to trust this information. In conclusion, new information technologies allow accessing to a lot of new information in animal production, but it is not yet clear how it can be used in the decision-making by livestock farmers or other actors of the food-chain.

INTRODUCTION

Les nouvelles techniques de l'information et de la communication (**TIC**) ont permis des avancées exceptionnelles ces dernières années dans les domaines des capteurs, des communications et des traitements des données. Il y a une évolution exponentielle des objets connectés (environ 15 à 20 milliards d'objets connectés en 2020 avec une très forte progression (IDATE 2017)), même si le marché des particuliers est bien supérieur au marché professionnel. Plus récemment, l'Internet des Objets (Internet of Things ou **IoT**) a investi un nombre croissant d'élevages. « La vache est l'animal le plus connecté au monde », constate Nicolas Devos (Directeur Commercial de l'Agence IoT chez Open). Quelles sont les opportunités et les menaces de ces nouvelles techniques pour l'élevage ? De nombreuses synthèses ont été consacrées à ce thème pour les différentes espèces d'élevage (Wathes *et al.*, 2008, Laca, 2009, Allain *et al.*, 2014, Vranken et Berkmans, 2017, Fore *et al.*, 2018, Grodkowski *et al.*, 2018, Shallo *et al.*, 2018, Astill *et al.*, 2020, Faverdin *et al.*, 2020, Lovarelli *et al.*, 2020). Cette revue va essayer de dresser une analyse du rôle

de ces nouvelles techniques dans la chaîne de l'obtention d'informations jusqu'à leurs utilisations dans les processus de décision, afin de mieux identifier les risques et les atouts qui leur sont associés.

La terminologie pour désigner l'utilisation de ces nouvelles techniques dans le monde de l'élevage se cherche encore. Elevage de précision est le terme le plus couramment rencontré dans la littérature. C'est un développement du terme agriculture de précision. Mais l'objectif de ces techniques est-il juste de permettre d'être plus précis pour conduire l'élevage ? Si l'on s'en tient à la stricte définition de la précision - qui fait appel à des notions de justesse, d'exactitude ou de netteté -, sans doute pas. La précision est-elle un élément clé de la décision ? Aujourd'hui, cela peut sembler réducteur. En fait le terme « élevage de précision » fait aujourd'hui plus référence à du monitoring qu'à de la précision. Elevage sur mesure a été proposé en remplacement (Médale, 2019) avec pour but d'insister sur le fait que ces nouvelles techniques proposent des moyens d'ajustement du mode d'élevage aux besoins de l'animal, aux objectifs de l'éleveur et aux attentes du consommateur. Mais il faut aussi y voir une allusion aux mesures réalisées. En effet, une des caractéristiques de ces

nouvelles techniques est assurément de fournir plus d'informations, même si certaines ne sont pas très précises au sens métrologique du terme. Il s'agit donc de disposer d'un système d'information enrichi et mieux analysé pour améliorer la conduite d'élevage. Des revues ont déjà décrit le périmètre et les applications de l'élevage de précision en ruminants (Allain *et al.*, 2014, Grodowski *et al.*, 2018, Shallo *et al.* 2018).

Cette revue étudiera plus particulièrement la relation information-décision qui est au cœur de l'utilisation de ces nouvelles techniques, en privilégiant les exemples en élevage de ruminants. La figure 1 illustre le fait que ces nouvelles techniques apportent des éléments innovants dans toutes les étapes de la relation informations-décisions en élevage. Les capteurs augmentent les possibilités d'acquérir des informations et de les transmettre, les bases de données de les organiser et de les stocker. Les nouvelles méthodes d'apprentissages informatiques ou les modèles augmentent les capacités de traitement des informations et d'aide à la décision, voire de prise de décisions pour réaliser les opérations dans des systèmes automatisés. Enfin ces nouvelles techniques permettent une meilleure traçabilité des opérations, automatisée et sécurisée, souhaitée par le consommateur. Cette synthèse analysera les particularités des nouvelles sources d'informations qui sont plus riches et plus diversifiées, disponibles à plus haute fréquence et sur plus d'entités. Les nouveautés liées à cet enrichissement du système d'informations seront discutées dans la première partie de cette synthèse. La deuxième partie étudiera ce que cette information peut apporter à la décision en élevage. Dans la théorie de la décision, le terme information ne concerne que ce qui est susceptible d'avoir un impact sur la décision. Est-ce toujours le cas ? La pléthore d'informations aide-t-elle réellement l'éleveur à améliorer la conduite de son élevage et son travail ? Quelles sont les valorisations existantes ou possibles de cette masse de données ? Enfin, la dernière partie abordera la question de la valorisation élargie de ces nouveaux systèmes d'informations. En effet, l'information acquise pour les éleveurs semble ne plus leur être uniquement destinée. Et si la plus-value se faisait aussi en dehors de l'exploitation d'élevage ?

1. INFORMATIONS A HAUT DEBIT

L'acquisition d'informations en élevage est une des tâches les plus importantes de l'éleveur, même si elle est très souvent dispersée dans le temps. Ce travail, intégré dans la plupart des tâches d'astreinte, est essentiel pour initier les différentes actions de l'éleveur. En effet, une insémination artificielle ne peut être faite que si la femelle est détectée en chaleur, une vache ne peut être soignée que si elle est détectée malade. L'acquisition d'informations concerne aussi le matériel d'élevage (surveillance des appareils et des bâtiments, fonctionnement d'automates) et les ressources alimentaires (stocks d'aliments, croissance de l'herbe), ceci afin de réparer les dysfonctionnements et de gérer les ressources. L'aide à l'acquisition d'informations grâce aux nouvelles techniques présente donc un intérêt important *a priori*.

1.1. AUTOMATISATION DE L'ACQUISITION D'INFORMATIONS USUELLES EN ELEVAGE

Les nouvelles techniques de l'information ont été conçues pour assister l'éleveur dans le recueil d'un certain nombre d'informations dont il disposait déjà, comme les informations de production de lait ou de croissance. La mesure de la production de lait (compteurs à lait) et la pesée (balances électroniques) ont bénéficié très tôt de ces nouvelles techniques (Faverdin et Fischer, 2016). De même, pour le suivi de la reproduction (détection des chaleurs et plus récemment des vélages), les capteurs se sont avérés très utiles pour la conduite d'élevage. Quels en sont les bénéfices associés ?

Le premier bénéfice concerne le travail d'astreinte. Les outils assurant ces mesures ou détections de façon plus ou moins automatisée permettent souvent de réduire les temps de travail comme l'indiquent des éleveurs. Ce réel gain de temps dans l'acquisition d'information est bien entendu assujéti au bon fonctionnement des dispositifs. Mais actuellement, beaucoup de systèmes de mesures ne génèrent aucune alerte sur des dysfonctionnements, faisant que l'éleveur doit surveiller les animaux, mais aussi ces dispositifs de mesure. La surveillance est généralement bien réalisée sur les compteurs à lait (Allain *et al.*, 2012), mais celle des autres capteurs est souvent aléatoire. Comment détecter qu'un collier avec un accéléromètre n'est plus bien positionné, qu'un des capteurs de pesée ne fonctionne plus correctement, que la transmission de certains capteurs se fait mal ? En conséquence, bien que réduisant certaines tâches d'observation, l'utilisation des techniques de l'information génère un nouveau type de travail : la surveillance et le contrôle des outils. Il est important de développer des dispositifs capables de réaliser leur autocontrôle pour limiter le travail de surveillance de ces nouveaux dispositifs.

Le second avantage potentiel concerne l'amélioration de la qualité de l'information au sens large, ce qui peut s'accompagner d'une amélioration de la multi-performance. Ces nouveaux capteurs permettent parfois de recueillir une meilleure information car le suivi se fait en continu comme pour la détection des chaleurs, ce que l'éleveur ne peut pas faire, surtout la nuit. Des mesures à fréquence élevée peuvent aussi détecter des événements ignorés autrement. Ainsi, une mesure quotidienne du lait ou du poids vif n'est pas juste une information plus fréquente de la production. La mesure fréquente de ces paramètres permettra par exemple d'observer des perturbations par rapport à la situation normale. L'analyse des perturbations (Codrea *et al.*, 2011) est un bon indicateur d'un stress de l'animal (sanitaire, thermique, comportemental) (Bareille *et al.*, 2014). Il est même possible que l'analyse de la forme, l'importance, la concomitance des perturbations (Ben Abdelkrim *et al.*, 2019) aident à améliorer la qualité du diagnostic. D'autres variables peuvent également être extrapolées à partir de variables élémentaires. La modélisation des cinétiques du poids et du lait quotidien peut permettre d'estimer l'ingestion et ses perturbations (Faverdin *et al.*, 2017), alors que cette variable est très difficile à mesurer directement.

1.2. DE NOUVELLES INFORMATIONS, DE NOUVEAUX PHENOTYPES

Les nouveaux capteurs et la multiplicité des caractères potentiellement mesurables ouvrent très largement la possibilité d'avoir une connaissance de plus en plus large et continue du phénotype d'un individu ou d'un troupeau, mais aussi de son environnement.

1.2.1. La diversité des capteurs, des mesures et de leur traitement

Jusqu'à très récemment les capteurs disponibles étaient dédiés majoritairement à une mesure et/ou à la fourniture d'un seul type de service. Par exemple, les capteurs physico-chimiques réalisant des mesures en continu sur les animaux ou dans les bâtiments d'élevage : production laitière, poids vif, température, pH, concentration en gaz ou en molécules, concentration en composants du lait... Ces capteurs ont l'avantage de pouvoir être facilement contrôlés et vérifiés avec une approche métrologique. D'autres types de capteurs nécessitent souvent un traitement plus complexe pour passer du signal à une information. C'est le cas des accéléromètres (initialement pour la détection des chaleurs), de l'imagerie 3D (pour la notation d'état corporel, NEC), de l'analyse spectrale d'échantillons (proche ou moyen infra-rouge), ou de la géolocalisation (triangulation radiofréquence, GPS). Pour ces dispositifs, il n'existe pas souvent de standards, ni

véritablement d'approche métrologique possible. De plus, l'algorithme de traitement des données du capteur peut évoluer sans même que l'utilisateur le sache, ce qui complique une éventuelle qualification.

Avec le progrès technologique, les avancées importantes dans les méthodes de traitement des données, mais aussi avec l'exigence des utilisateurs finaux sur la variété des informations disponibles et sur le coût d'investissement, une diversification des services et des offres proposées est apparue progressivement. Ainsi, certains capteurs comme les accéléromètres peuvent désormais être utilisés pour alerter l'éleveur sur les troubles de santé, sur le comportement alimentaire, sur le vêlage et pour donner des indications sur le niveau de bien-être animal, en plus de permettre la détection des chaleurs (Veissier *et al.*, 2019). Certains constructeurs s'orientent aussi vers des concepts innovants pour proposer des services équivalents mais à moindre coût. Par exemple, l'utilisation du « tracking » vidéo pour suivre le comportement des animaux se développe de plus en plus (Wurtz *et al.*, 2019). Cela permet de surveiller plusieurs animaux à partir d'un équipement unique et donc à moindre coût et de repousser les limites d'une observation ponctuelle. Dans le même ordre d'idée, l'utilisation de dispositifs d'identification à plus longue distance (techniques de détection/identification à distance via Bluetooth Beacon ou radio RFID UHF) permet par exemple de détecter la présence (ou l'absence) d'animaux dans des endroits clés du bâtiment (auge, abreuvoir, logette...) et donc de fournir des renseignements individuels sur leur comportement sans avoir recours à des accéléromètres, plus coûteux. En revanche, ces techniques peuvent être plus dépendantes des conditions d'élevage et nécessiter un apprentissage spécifique du dispositif pour associer des lieux ou des positions à des événements.

1.2.2. Le phénotypage à haut débit

Un apport très innovant des nouveaux capteurs est de fournir des informations très fréquentes et sur beaucoup d'animaux. De plus, ils permettent d'observer des caractères moins renseignés auparavant que ceux de production et beaucoup plus difficiles à mesurer sur de grands effectifs.

Cette nouvelle source d'informations représente un atout pour la sélection génétique. Aujourd'hui, le phénotypage est devenu un verrou plus important pour la sélection que le génotypage, compte tenu des coûts des mesures. Avec ces techniques, les coûts sont plus faibles et sont souvent pris en charge par l'éleveur qui valorise ces informations dans sa conduite d'élevage (détection automatisée des chaleurs, données de performances laitières, poids en continu...). Il pourra également en faire bénéficier l'ensemble de la profession s'il partage cette information pour améliorer la sélection sur les caractères d'élevage en particulier comme c'est déjà le cas par exemple pour les risques de cétose (Barbat-Leterrier *et al.*, 2016). De plus, de nouveaux caractères pourront être accessibles pour la sélection, comme l'efficacité et la résilience (Phocas *et al.*, 2014a).

Pour la recherche, cela permet d'étendre la panoplie de techniques de mesures de l'ensemble des fonctions et comportements des animaux pour donner une vision de plus en plus systémique de l'élevage, « macroscopique » au sens de De Rosnay (1975), soit un formidable outil pour étudier la complexité. Les recherches en nutrition vont disposer d'une approche beaucoup plus complète de l'utilisation des aliments par les animaux pour améliorer l'efficacité alimentaire et piloter l'alimentation (Gonzales *et al.*, 2018). L'étude des caractères ayant trait à la santé, à la reproduction, aux comportements, à l'efficacité de transformation des aliments et à l'environnement va pouvoir être dotée de nouveaux outils de mesures, y compris en élevages commerciaux, là où précédemment on ne disposait principalement d'informations que sur les caractères de production. A l'heure de l'agroécologie, de l'étude de la

robustesse et de l'adaptation, c'est un formidable outil pour la recherche en zootechnie (Phocas *et al.*, 2014b) en permettant de faire des études multi-caractères et de mieux comprendre les interactions entre fonctions. Tout ceci doit également aider à mieux interpréter toutes les données qui sont fournies par ces capteurs. Aujourd'hui la recherche est en retard sur ces nouvelles techniques qui se sont répandues dans les élevages avant même d'avoir été étudiées ou même utilisées par les chercheurs. Par ailleurs, un autre challenge est l'accès aux données produites par ces techniques (Egger-Danner *et al.*, 2015). En effet, le stockage et l'accessibilité des données ne sont pas homogènes entre les différentes techniques de précision. Pour une solution donnée, il existe généralement autant de systèmes, de formats de données et de plateformes qu'il y a de fabricants. Ceci peut expliquer pourquoi il est encore difficile de bien valoriser l'utilisation de ces données dans la décision.

2. QUELS USAGES DE CES INFORMATIONS POUR L'AIDE A LA DECISION EN ELEVAGE ?

Pour être utile à l'éleveur, les TIC doivent présenter deux avantages majeurs : réduire ou améliorer le travail d'astreinte et faire progresser les performances de l'élevage (production, santé, reproduction, environnement, bien-être animal). Est-ce toujours le cas ? Face à cette masse d'informations, d'alertes, de systèmes à gérer, comment l'éleveur va-t-il s'approprier ce nouvel ensemble d'éléments pour décider et piloter son élevage ? Ces informations sont-elles adaptées aux décisions à prendre ? L'éleveur a-t-il le sentiment ou la preuve d'un bénéfice à l'introduction de ces nouvelles techniques ? Comment cela change-t-il sa vision du métier d'éleveur ? Toutes ces questions sont à la base de l'adoption ou non des nouvelles techniques en élevage.

2.1. LES « SUCCESS STORIES » : LE CAS OU L'INFORMATION ETAIT DEJA UTILISEE DANS LA CONDUITE

Certaines techniques sont aujourd'hui très répandues en élevage. Ainsi, selon une enquête réalisée en France (Allain *et al.*, 2015), près de 70 % des éleveurs sont équipés d'au moins un outil connecté. Les plus fréquents sont les capteurs embarqués comme les détecteurs de chaleurs ou de vêlages (29 %), ou les systèmes de monitoring de la traite comme les compteurs à lait, les conductimètres ou les analyseurs de lait (26 %). Des chiffres similaires ont été reportés dans une étude réalisée aux Pays-Bas chez les éleveurs laitiers néerlandais (Steenefeld et Hogeveen, 2015). Compte tenu de la croissance rapide de ces technologies dans les élevages, le taux d'équipement a probablement significativement augmenté depuis la réalisation de ces états des lieux. Dans la plupart des cas, ces outils se sont imposés car ils sont venus assister l'éleveur dans une activité de surveillance ou d'acquisition d'information qu'il réalisait déjà.

2.1.1. L'identification et la communication

Pour qu'une information soit utilisable dans le temps, il faut à la fois savoir qui elle concerne et transmettre les données à un système qui va l'exploiter pour fournir une information au décideur. L'identification est souvent tellement implicite qu'on oublie qu'elle est le préalable à toute mesure (Duroy, 2016). Si l'information doit se rapporter à un animal, il faut pouvoir le reconnaître. Si le capteur est dédié à l'animal, il suffit d'associer l'identité du capteur au numéro d'identification de l'animal. Il faut ensuite régulièrement transmettre cette information dans une base de données, si possible sans intervention de l'utilisateur. A l'opposé des téléphones portables (2G, 3G, 4G et 5G), la transmission d'informations à bas débit avec une grande autonomie (jusqu'à 5-10 ans avec une petite batterie), une longue portée et de faibles coûts a également ouvert la voie aux objets communicants qui deviennent pleinement autonomes (Sigfox, Lora). Plus de fil, plus d'ordinateur, parfois

même plus d'antenne, l'objet connecté transmet directement ses données (souvent enregistrées dans un « cloud ») sur les réseaux. L'utilisateur n'a plus à gérer la collecte, ni le stockage, ce qui est fait gagner beaucoup de temps tout en limitant les risques de perte d'informations.

2.1.2. La détection automatique des chaleurs et des mises-bas

La reproduction des bovins assure non seulement la production de lait et de viande sur l'exploitation, mais aussi le renouvellement du troupeau. Les événements de reproduction les plus essentiels, comme les chaleurs et les vêlages, doivent donc être suivis précisément pour assurer à l'élevage la meilleure performance technique et économique possible. Les chaleurs peuvent être observées visuellement par l'éleveur. Mais cela requiert du temps - la recommandation actuelle est d'observer les chaleurs 3 fois 15 à 20 min par jour - et la performance est limitée (sensibilité de détection de 50 à 60 %). Éviter les vêlages dystociques et les veaux mort-nés est aussi une priorité puisque le déroulement du vêlage conditionne la naissance d'un veau viable, mais aussi l'état sanitaire de la vache dans les semaines qui suivent et ses futures performances de reproduction. Cette surveillance est très chronophage et source de stress pour l'éleveur, même si elle peut parfois être réalisée à distance par vidéosurveillance.

C'est donc naturellement que les systèmes de détection automatisée des chaleurs (activimètre, collier mesurant activité et rumination...), des ovulations (mesure en ligne de la progestérone...) et des mises-bas (thermomètre vaginal, capteur d'activité basé sur la queue) se sont imposés dans les élevages bovins (Mottram 2016). Ils permettent des performances de détection bien supérieures aux observations visuelles pour les chaleurs (sensibilités de 60 à 100 % pour des spécificités supérieures à 90 %) (Saint-Dizier et Chastant-Maillard, 2018). Néanmoins, beaucoup d'éleveurs vérifient eux-mêmes ces détections avant d'inséminer et ne délèguent pas la décision finale au capteur. Pour les mises-bas, les performances de détection sont excellentes pour détecter l'expulsion du veau avec précision. Ces dispositifs permettent souvent aussi de prédire l'arrivée du vêlage dans les jours qui précèdent, pour permettre à l'éleveur d'anticiper et sécuriser la mise-bas.

Si les performances de ces techniques sont indéniables, les bénéfices perçus par les éleveurs sont principalement de l'ordre du confort de travail et de vie personnelle (Disenhaus et al., 2016), même si une crainte de perte de la compétence d'observation est souvent mentionnée. Pour la détection des chaleurs, au-delà du temps gagné par la délégation de la surveillance aux outils de monitoring, c'est la diminution de la charge mentale au moment de la décision d'inséminer ou non qui est avancée. En ce qui concerne la détection des mises-bas, la possibilité de déléguer la surveillance aux capteurs pendant la nuit, est souvent citée comme un gain de confort personnel.

2.1.3. La mesure de la production de lait

L'innovation majeure de la mesure individuelle automatisée de la production de lait en élevage n'est plus trop mise en avant car les techniques existent maintenant depuis plusieurs décennies et bon nombre d'élevages laitiers en sont aujourd'hui équipés. Les éleveurs laitiers ont très tôt voulu savoir combien produisaient leurs vaches et quelles étaient les bonnes et les moins bonnes laitières. Le contrôle laitier mensuel existe toujours, mais beaucoup d'élevages sont aujourd'hui équipés de compteurs à lait. Dans l'enquête de 2014 (Allain et al., 2015) il y avait déjà 10% d'élevage équipés en compteurs à lait auxquels il faut ajouter les 13 % d'élevages équipés de robot de traite et ce chiffre a dû largement progresser en 6 ans. La mesure à chaque traite de la production permet d'avoir d'autres informations que la simple différence de production entre vaches. Elle permet de détecter

des animaux à problèmes ou des anomalies de conduite d'élevage lors de chutes brutales de la production d'un individu ou du troupeau. Elle est devenue un outil de pilotage à court terme du troupeau afin de pouvoir réagir rapidement face à ces problèmes. Comme cela a été mentionné dans la partie 1.1, les perturbations de la production constituent de bons indicateurs de problèmes ou de dérives, même si elles ne permettent pas de les identifier précisément.

Ces exemples montrent que les techniques qui ont remplacé et automatisé des méthodes d'acquisition d'informations souvent chronophages ont assez rapidement trouvé des débouchés dans les élevages. Ces nouvelles techniques proposent aussi de nouvelles informations qui n'étaient pas forcément habituelles dans les élevages.

2.2. DES INFORMATIONS QUI CHERCHENT ENCORE LEUR PLACE DANS LA DECISION

A l'image des smartphones et grâce aux nouveaux outils informatiques d'apprentissage automatique (Machine Learning), on voit de plus en plus de solutions proposées pour extraire des informations élaborées à partir des données de capteurs très génériques (accéléromètre, GPS ou image) dont les données brutes prises séparément ne sont pas informatives. Nous assistons à un développement exponentiel d'outils d'élevage de précision (en général des capteurs associés à un logiciel de traitement des données), avec pour objectif de surveiller l'état sanitaire des animaux, leurs comportements, leur croissance ou encore leur état de stress (Veissier et al., 2019). Pour n'en citer que quelques-uns :

- des systèmes de localisation en temps réel (Real-time locating system, RTLS) pour détecter la position des animaux et en déduire leur activité (par exemple, CowView®, CowManager®, Smartbow®) ou des accéléromètres pour détecter si un animal est debout, couché, en mouvement ou encore en train de manger ou de ruminer (par exemple, Heat'Live®, Time'Live® et Feed'Live®, IceQube®) ; ces données sont interprétées pour identifier un animal en chaleur, malade... (Wagner et al., 2020) ;
- des caméras à détection de mouvement (par exemple Kinect®) couplées à une analyse d'images pour mesurer l'état d'engraissement ou la morphologie d'un animal, détecter des agressions, identifier des lésions... (Fischer et al., 2015 ; Le Cozler et al., 2019 ; Lee et al., 2016) ;
- des microphones pour détecter la toux ou les vocalisations d'animaux (par exemple, SoundTalks®.)

En général, des algorithmes permettent soit de classer les observations (par exemple des pattes de poulets avec ou sans lésions) ou de détecter des anomalies au sein de séries temporelles. Par exemple, le comportement d'un animal est repéré dans un premier temps pour déterminer une ligne de base et ensuite les déviations par rapport à cette ligne de base sont détectées. Ces anomalies sont généralement liées à un événement de reproduction (chaleurs, mise-bas, ...), à un problème sanitaire (maladie infectieuse, boiterie, ...) ou à un stress. Ces outils demandent à être validés dans les conditions réelles d'élevage : permettent-ils de détecter de manière fiable des anomalies et d'en faire un diagnostic ? Bien souvent les performances en termes de sensibilité et spécificité de la détection ne sont pas précisées. Par ailleurs, la détection se limite souvent à une information binaire et la question de la sévérité des troubles est rarement abordée. De plus, la détection, étant souvent très précoce, la confirmation et l'identification d'un trouble par examen clinique n'est pas simple. On peut enfin noter l'absence de cadre réglementaire concernant les caractéristiques minimales y compris en termes de sécurité, pour ces outils.

Les capteurs concernant la santé sont nombreux, mais pour beaucoup, développés initialement pour la détection des vêlages ou chaleurs : par exemple des boucles auriculaires (Fevertags®) ou des bolus ruminants (San'phone®) mesurant

la température (utiles par exemple pour la détection de troubles respiratoires en élevage de taurillons (Timsit *et al.*, 2011)). Des modifications de rumination et d'activité permettent d'alerter l'éleveur sur le/les animaux à regarder de façon plus précise sans donner toutefois un diagnostic précis de l'affection en cause. Enfin, sur les robots de traite, de nombreuses informations liées à la santé de la mamelle peuvent être obtenues (comptage des cellules somatiques et conductivité du lait par exemple), car le robot doit détecter les mammites et décider s'il faut écarter le lait ou non. La fréquentation du robot ou le suivi de la production laitière peut indiquer un souci sanitaire. De nouveaux outils basés sur l'analyse d'images sont en cours d'étude pour détecter notamment les faciès d'animaux douloureux (Noor *et al.* 2020) et identifier des anomalies de comportement. Des tapis à détection de pression permettent de détecter des anomalies d'appui et donc d'identifier des boiteries. Là encore, la détection étant souvent très précoce, la confirmation et l'identification d'un trouble par examen clinique ne sont pas simples. Par ailleurs, la référence ou « gold standard » pour évaluer la sensibilité et la spécificité de l'outil est aisée à obtenir pour des chaleurs ou un vêlage, mais beaucoup plus délicate pour des troubles de santé, ne serait-ce que par le choix des fenêtres de validation (périodes sans alertes).

En effet, si une alerte vêlage se déclenche, la simple observation de l'évènement permettra de qualifier cette alerte. Si l'alerte concerne la détection des chaleurs, la comparaison à une détection éleveur, ou à un dosage hormonal permettra également de la qualifier. Pour les troubles de santé, les difficultés concernent :

- L'alerte en elle-même : le seuil d'alerte est-il fixe (ex $T^{\circ} < 40^{\circ}C$) ou est-il basé sur l'animal qui joue son propre témoin.
- La période nécessaire d'anomalies enregistrées avant de générer l'alerte (sensibilité vs spécificité).
- Le gold standard à mettre en face pour qualifier sensibilité et spécificité. Une alerte basée sur une hyperthermie ou une baisse d'activité n'est en rien spécifique d'une maladie. Il s'agit d'identifier les animaux méritant un examen approfondi et non d'un diagnostic. La fenêtre temporelle de validation de la spécificité (en l'absence d'alerte) pose également problème.

Outre le suivi des animaux, les techniques de l'information peuvent aider à gérer les ressources, application plus rarement évoquée. Cela a pourtant des impacts importants sur l'environnement (Faverdin et Brossard, 2019). L'apport des nouvelles techniques dans l'alimentation de précision est un secteur très attendu, mais un peu décevant actuellement. Il semble qu'une alimentation individualisée en fonction des besoins définis à partir de la production permette une légère amélioration de l'efficacité alimentaire, d'autant plus importante que les apports nutritifs avant individualisation sont élevés (Cutullic *et al.* 2013), mais ces pratiques compliquent la gestion de l'alimentation. L'approche la plus originale, même si son utilisation ne se développe que modérément, est celle où l'on teste individuellement la réponse de l'animal dans l'apport de concentré pour ajuster les niveaux en fonction de celle-ci afin de réaliser une optimisation économique dynamique (Andre *et al.*, 2010). C'est sans doute dans l'utilisation des compléments nutritionnels couplée à des détections précoces de signes précliniques que l'on peut espérer une plus-value intéressante et originale de ces techniques. Si cela est plus souvent évoqué en élevage de monogastriques, cet aspect de la gestion des ressources ne doit pas être négligé pour limiter les pertes d'eau ou d'énergie, pour limiter les pertes d'azote et optimiser la gestion des effluents. Néanmoins, les offres sont encore peu structurées autour de cette gestion des ressources, sauf pour le contrôle des bâtiments en élevage de monogastriques.

2.3. DE L'AIDE A LA DECISION A LA DELEGATION DE LA DECISION

S'il y a des capteurs dont l'information délivrée n'est pas toujours facile à intégrer dans la décision, il y a à l'opposé des techniques qui sont beaucoup plus explicites dans la décision. Mais l'éleveur est-il prêt à déléguer la décision, voire l'opération, à la technologie ?

La plupart du temps, les techniques utilisées par les éleveurs se limitent à la fourniture d'une information ou d'une alerte notifiant la survenue d'un trouble sanitaire ou d'un évènement de reproduction. Pourtant, l'agrégation d'informations issues des capteurs avec d'autres informations (économiques, historiques, techniques) provenant de l'élevage et enregistrées par d'autres canaux (contrôle de performance, logiciels de gestion de troupeau, etc.) permettrait d'aboutir à la production de conseils ciblés pour faciliter la décision de l'éleveur. Le développement de ce type de modèle d'aide à la décision par les constructeurs représente une perspective d'avenir pour l'élevage de précision. Quelques dispositifs commerciaux le proposent déjà.

Ainsi, le système Herd Navigator® (DeLaval), qui permet d'effectuer automatiquement des dosages enzymatiques des paramètres du lait comme la progestérone, la lactate déshydrogénase ou le bêta-hydroxybutyrate, utilise les résultats de ces dosages en plus d'autres informations individuelles enregistrées par l'éleveur ou mesurées par le robot de traite pour construire un arbre de décision aboutissant à la production d'un conseil ciblé. Pour la gestion de la reproduction par exemple, le système prend en compte 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 et dans quel délai. L'adoption de cet automate d'analyses reste encore limitée en raison d'un coût élevé, mais son utilisation permet la détection spécifique des ovulations qui offre un meilleur suivi de la reproduction que la détection des chaleurs.

Concernant l'alimentation de précision, le système DLM® (Dynamic Linear Model) développé par Lely suite au modèle d'André *et al.* (2010) 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 biologiques et techniques (niveau de production, taux butyreux et protéique 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. Cependant, actuellement beaucoup d'éleveurs n'utilisent pas cette fonctionnalité qui peut conduire à des baisses de production mal acceptées, mais utilisent bien le pilotage de la fréquentation du robot.

Dans ces deux exemples, on voit que le niveau de délégation de la décision aux robots par les éleveurs est divers. De plus de nombreuses informations sont nécessaires pour ce pilotage. Cependant, la majorité des informations utilisées sont issues de mesures réalisées par le robot de traite ou ses périphériques, c'est-à-dire par des outils provenant majoritairement d'un même système et d'un même constructeur. A l'avenir l'interopérabilité des outils devrait être assurée pour permettre le croisement de données de diverses sources et améliorer l'utilisation des données pour décider.

2.4. UN RAPPORT COÛT/BENEFICES PARFOIS LIMITE

Les nouvelles techniques permettent dans certains cas de réduire le travail d'astreinte du fait d'une collecte de l'information automatisée par les capteurs, d'un stockage facilité, d'un traitement rapide et centralisé, d'une aide à la prise de décision (restitution sous forme d'alertes ou de rapports synthétiques) ainsi que de la possibilité de se focaliser

uniquement sur les animaux nécessitant une attention particulière. Cependant, ces gains de temps sont parfois réduits si le troupeau est agrandi (Hostiou *et al.*, 2017). Les informations produites par les capteurs sont aussi source de stress. Elles peuvent ne pas être adoptées car jugées trop compliquées ou trop nombreuses (Russel et Bewley, 2013) (tableau 1). Ces outils produisent beaucoup d'informations rendant difficile la sélection des informations utiles pour la prise de décision, amenant à une forte sélection. Seulement 3 % des alertes de mammites délivrées par les robots de traite seraient mobilisées (Hogeveen *et al.*, 2013). Les informations restituées sous forme d'alertes sont cause de stress car trop fréquentes, et perturbant les autres activités agricoles. Cependant, les informations allègent aussi le stress car les éleveurs délèguent la responsabilité de la détection de l'évènement à l'outil, notamment quand des signes physiologiques sont plus facilement détectables par les capteurs, comme les chaleurs. Pour les éleveurs, les nouvelles techniques donnent aussi une image plus moderne de leur métier, ce qui le rendrait plus attractif (Faverdin *et al.*, 2020).

Si le gain de confort et de temps de travail sont souvent cités par les éleveurs pour justifier l'investissement dans ces techniques, leur coût est en revanche un frein (tableau 1). Il dépend notamment du coût du matériel, des performances de l'élevage avant de s'équiper, du système d'élevage et des pratiques d'utilisation des techniques par l'éleveur (Bekara et Bareille, 2019). D'une manière générale, lorsque les techniques ont un coût modéré et qu'elles produisent des informations déjà utilisées dans la conduite (compteurs à lait, détecteurs de chaleurs ou de mise-bas...) leur amortissement est beaucoup plus rapide que lorsqu'il s'agit d'automates coûteux (robot de traite, d'alimentation) ou de dispositifs fournissant des informations pour lesquelles il est difficile de prendre une décision simple (monitoring des troubles de la santé et du bien-être par exemple). L'incertitude sur les avantages d'un système de capteurs, et les améliorations de conduite du troupeau attendues d'un système de capteurs, constituent des raisons économiques rationnelles d'adopter ou non ces nouvelles techniques. L'étude comparée d'adoption des détecteurs de chaleurs ou de la notation d'état corporel semble bien illustrer ce cadre théorique (Rutten *et al.*, 2018). L'apparition de nouveaux modes de commercialisation proposant un ensemble de services tarifés à l'animal (Bouquet Farmlife, Medria Solutions) et non plus un investissement dans une technologie peut permettre à des éleveurs de franchir le pas pour tester l'apport de ces outils et éventuellement d'y renoncer s'ils en évaluent le rapport coût/bénéfice des services défavorable. Il sera intéressant de voir si l'élevage, avec ces nouvelles techniques, évolue comme la société vers plus de paiements aux services et moins d'investissements.

2.5. DU « TECHNOLOGY DRIVEN » AU « DECISION DRIVEN » ?

La technologie offre des perspectives, mais il faudra du temps pour l'utiliser intelligemment. L'objectif serait de passer de la question « que vais-je faire de cette nouvelle information ? » à « de quelles informations et avec quelles qualités, aurais-je besoin pour mieux décider tel aspect de la conduite ? ». Cette approche est très rarement menée. Elle nécessite de beaucoup mieux comprendre la place de l'information dans la décision. C'est une question très complexe, mais il ne faut pas l'éluder pour améliorer durablement les choses. Une première option consiste à modéliser la qualité du système d'informations de l'éleveur pour essayer d'en voir les conséquences sur les performances. Cette approche a par exemple été testée sur la reproduction et a montré l'impact sur les performances du troupeau de la qualité de la détection des évènements de santé et du paramétrage spécificité-sensibilité de la détection (Brun-Lafleur *et al.*, 2010). Suivant le système d'élevage, les paramètres et les impacts diffèrent.

En analysant finement comment on prend une bonne décision, on peut revisiter la question de l'information, des capteurs et de leurs propriétés. Pour décider, il est essentiel de connaître les informations que l'on mobilise pour un diagnostic, comment on peut évaluer des décisions, quelle précision est nécessaire pour une information et, quand faut-il l'acquérir. L'utilisation des modèles dans des outils d'aide à la décision avait conduit à une réflexion fournie sur l'évaluation de ces outils et la nécessité d'associer très tôt les décideurs à la démarche (Prost *et al.* 2012). L'apport de ces nouvelles techniques dans l'aide à la décision joue un rôle très semblable à celui des modèles ou des systèmes experts. Prend-on une meilleure décision avec cette information ? Les performances sont-elles réellement améliorées ? Il conviendrait de revisiter l'évaluation des outils d'aide à la décision basée sur ces nouvelles techniques. Cela aiderait à mieux qualifier ces outils et à les faire évoluer vers de meilleurs services à l'éleveur.

3. INFORMATIONS ET CERTIFICATIONS : QUAND LE DECIDEUR N'EST PLUS FORCÉMENT L'ELEVEUR

Les données produites dans les élevages par tous les objets connectés et par les différents automates remontent maintenant la plupart du temps vers de gros serveurs ou « clouds » éloignés des élevages. L'éleveur bénéficie en général des informations ou des alertes issues du traitement des données des capteurs, mais plus rarement des données de base qui d'ailleurs souvent ne l'intéressent pas. A l'heure du big data, il est clair que ces données ne sont pas nécessairement perdues et peuvent trouver d'autres valorisations. La question de leur partage soulève un certain nombre de réticences. L'utilisation de ces données, qui pour la plupart ne relèvent pas du règlement général sur la protection des données (RGPD), est régie par des relations contractuelles. De fait, un certain nombre de propositions de chartes sont apparues depuis une dizaine d'années dans différents pays pour essayer de trouver des compromis acceptables entre les agriculteurs et les utilisateurs potentiels de leurs données. Une comparaison de ces différentes chartes a permis de voir qu'elles couvrent plus ou moins les différents volets : 1/ l'accessibilité et la lisibilité des données, 2/ la transparence de leur usage, 3/ la maîtrise de leur usage, 4/ la sécurité des données (Hirschy, 2019).

3.1. TRAÇABILITE DES PRODUITS : LA GARANTIE DES CAHIERS DES CHARGES ET DES RESULTATS

Actuellement, les données de diverses techniques sont utilisées « sur site », par exemple pour la gestion d'une ferme, d'une unité de transport ou d'un abattoir, et ne sont pas échangées entre les acteurs de la chaîne alimentaire. Ces données pourraient informer une entreprise de transport afin de savoir si un animal est apte au transport ou non. Elles pourraient également servir à compiler des informations sur le niveau de bien-être au cours de la vie d'un animal en intégrant les informations de la ferme, du transport et de l'abattage et ces informations pourraient être partagées avec les clients (transformateurs, détaillants) pour diversifier la commercialisation ou apporter des garanties au consommateur.

Les consommateurs/citoyens évoluent considérablement dans leur rapport aux produits de l'agriculture. Historiquement, la sécurité d'approvisionnement et des prix bas ont longtemps été les premiers critères d'après-guerre. La qualité et la sécurité sanitaire sont progressivement venues s'ajouter. Le but n'est plus seulement d'assurer une traçabilité au sein des filières pour retrouver rapidement l'origine d'un problème sanitaire. Les attentes se sont aujourd'hui complexifiées et diversifiées face à une perte de confiance dans les modes de production (environnement, condition animale, système de production) (Delanoue *et al.* 2018). Quand ils achètent ou consomment un produit, de plus en plus de consommateurs veulent savoir d'où

il vient, comment l'animal a été nourri, traité, transporté et abattu, comment et où le produit a été transformé, si sa production respecte l'environnement et s'il a de bonnes qualités nutritionnelles. La simple assimilation du produit avec la ferme et le producteur suffit souvent à établir la confiance.

Certaines filières intègrent déjà des plateformes de données ou des entrepôts pour leur gestion de la qualité et leurs systèmes de qualité (par exemple le groupe De Hoeve Innovatie (KDV) aux Pays-Bas). Certains utilisent la technologie de la « blockchain » pour relier un produit aux différents emplacements qu'il a traversés (la ferme, le transport et l'abattoir), ajoutant des informations à chaque étape tout en la sécurisant pour informer les consommateurs (Connecting Food, Carrefour...). Ces informations pourraient porter sur la certification environnementale, le respect d'un cahier des charges sur l'alimentation des animaux (avec pâturage minimum, sans OGM, sans pesticide, sans urée, avec oméga 3...), le respect du bien-être animal, etc. La figure 2 présente des exemples de segmentation de produits lait et viande et le potentiel d'utilisation des données issues des nouvelles techniques ou d'autres sources pour objectiver le respect du cahier des charges.

De tels échanges d'informations à l'intérieur des filières nécessitent des « business » modèles innovants, précisant qui peut faire quoi avec quelles données et assurant un partage équitable des coûts et bénéfices entre les acteurs des chaînes agro-alimentaires.

3.2. L'UTILISATION DES INFORMATIONS POUR DE NOUVELLES APPLICATIONS

« L'internet des objets » connectés ouvre la voie vers la réutilisation des informations acquises en élevage pour des utilisations qui demain pourront être hors des élevages. Des systèmes informatiques sophistiqués se développent pour organiser le courtage d'informations (« information broker ») entre les différents acteurs (Vermesan et Friess, 2013). Il n'est plus forcément question de créer des grandes bases de données qui rassembleraient toute l'information, mais de gérer des échanges d'informations en fonction des besoins et des applications. Il est important de rappeler que lorsque les données ne sont pas liées aux personnes et donc ne relèvent pas du cadre du RGPD, elles n'ont pas de notion de propriété. En dehors de ce cadre, seuls les systèmes d'information peuvent en avoir, mais leurs propriétaires peuvent vouloir partager ces informations sous forme contractuelle suivant l'objet de ce partage. Il peut y avoir différentes applications qui concernent l'élevage en offrant un nouveau service à partir des données collectées et avec l'accord de l'éleveur.

La sélection génétique nécessite de collecter beaucoup d'informations phénotypiques associées à l'information génétique des animaux. La remontée des données vers les centres de sélection permettrait de proposer de nouveaux index à partir de l'information génomique, comme en témoigne l'indexation génomique sur les risques d'acétonémie des vaches laitières actuellement disponible (Barbat-Leterrier et al. 2016). Des paramètres enregistrés en routine par des automatismes comme les robots de traite, tels que la vitesse de traite (Heringstad, 2014), les débits de matière utile (Fogh, 2012), le tempérament (sur la base du comportement pendant la traite et mesuré par le nombre de fois où les faisceaux trayeurs se décrochent (Rinell, 2013)), la conformation de la mamelle (basée sur les enregistrements des caméras et rayons lasers des robots (Fogh, 2012)) pourraient facilement être utilisés pour la sélection de caractères relatifs à l'aptitude des vaches laitières à la traite.

Il est possible de mieux valoriser les synergies possibles entre les données. Des applications pourraient collecter l'ensemble des données d'un élevage pour lui fournir une autre information à partir de ces données. C'est l'objectif par exemple de la

société Applifarm en France ou de JoinData aux Pays-Bas. Beaucoup de données issues du monitoring peuvent avoir surtout une valorisation instantanée. Or il existe un grand potentiel d'utilisation plus large de ces (grandes) bases de données, par exemple pour aider les vétérinaires à diagnostiquer les problèmes et à fournir des conseils aux producteurs. A titre expérimental pendant 18 mois, le décret n°2020-526 du 5 mai 2020 autorise la réalisation des actes vétérinaires par voie de télé médecine, domaine où ces IoT seraient particulièrement utiles et les passerelles entre logiciels métiers indispensables. Il est aussi possible de comparer une ferme avec d'autres fermes de la même région (Benchmarking). L'analyse de ces données sur des pas de temps plus longs peut fournir d'autres indicateurs à l'éleveur pour l'aider dans ses décisions (vision intégrée des données sur la santé, des choix de réformes et de reproduction, conduite individualisée en fonction des informations passées...). Les données générées par cet IoT peuvent permettre de revisiter les normes considérées comme physiologiques en prenant chaque animal comme son propre témoin. La notion de santé pourrait être investiguée en définissant un ensemble d'indicateurs à l'échelle de chaque individu. L'absence aujourd'hui de passerelles claires et simples entre les logiciels métiers des différents intervenants (par exemple l'éleveur et son vétérinaire) limitent la valorisation des données collectées.

L'approche « big data » des grandes masses de données en agriculture suscite beaucoup d'intérêt. Plusieurs projets en agriculture, mais aussi plus particulièrement en élevage, vont essayer de collecter et de traiter avec les nouvelles technologies d'intelligence artificielle les masses d'informations (« big data ») issues des nouvelles technologies dans ces secteurs (Morota et al., 2018). Ainsi, l'initiative « Farmbeats » de Microsoft propose des outils pour y parvenir (<https://www.microsoft.com/en-us/research/project/farmbeats-iot-agriculture/>). Mais il ne faut pas exclure que la combinaison des approches plus mécanistes de modélisation avec les apports du « big data » puisse encore améliorer l'utilisation de l'information pour la décision (Ellis et al. 2020). Les enjeux sont importants à l'échelle de filières ou de territoires pour anticiper les situations de marché, d'offre de ressources, les risques sanitaires... Par exemple pour les risques sanitaires, des algorithmes analysant en continu les durées de gestation des vaches auraient permis, en surveillance syndromique (Marceau et al., 2014), de détecter des anomalies dans le nord de la France en 2008 seulement 7 semaines après la première notification clinique de fièvre catarrhale ovine. Les données collectées en continu permettraient, à l'instar du fameux algorithme Google « Flu Trends », de détecter l'émergence d'un nouveau syndrome à l'échelle d'un territoire.

CONCLUSION

Les nouvelles techniques facilitent l'acquisition des informations et permettent l'accès à beaucoup de nouvelles informations en élevage. Certaines de ces techniques sont déjà très utilisées. Ce n'est que le début et nul doute que des applications intéressantes émergeront. Cependant, elles nécessitent encore un travail de surveillance important des outils pour fournir des informations fiables, activité qui ne relève pas des tâches classiques d'élevage. Beaucoup d'informations sont le fruit de développements technologiques avec une idée encore imprécise de leurs utilisations dans les processus de décision et de conduite d'élevage. Or il ne suffit pas de fournir des masses de données pour aider à la décision. Une information doit être pertinente (peu de fausses alertes) et l'éleveur doit savoir comment l'utiliser pour la conduite de l'élevage. Les applications les plus répandues actuellement répondent à ces critères. Avant de développer de nouvelles applications, il conviendrait de poser la question des informations dont l'éleveur a le plus besoin pour l'aider dans ses décisions. Par ailleurs, la masse de données générées peut trouver d'autres applications que la seule conduite

d'élevage et beaucoup d'opérateurs s'y intéressent. La traçabilité de la fourche à la fourchette est déjà une réalité et se nourrira de ces informations (ou l'imposera) ; cela nécessitera de trouver un équilibre entre le sentiment pour l'éleveur d'être surveillé et la possibilité de recréer du lien entre éleveurs et consommateurs.

Allain C., Chanvallon A., Clément P., Guatteo R., Bareille N., 2014. Elevage de précision : périmètre, applications et perspectives en élevage bovin. *Rencontres Recherches Ruminants* 21, 3-10.

Allain C., Trinderup M., Burke M., Rouzaut E., Sievert S., Schuiling E., Lassalas J., 2012. Computerized solutions for periodic checking of electronic milk meters. 38th ICAR Session, Cork.

Allain C., Quinton P., Philibert A., Cros P., Herman M., Cimino M., Frappat B., Larssonneur S., Lafont N., 2015. La connectivité des élevages laitier. *Rencontres Recherches Ruminants*. 22, 403.

Andre G., Berentsen P.B.M., Van Duinkerken G., Engel B., Lansink A., 2010. Economic potential of individual variation in milk yield response to concentrate intake of dairy cows. *Journal of Agricultural Science* 148, 263-276.

Astill J., Dara R.A., Fraser E.D.G., Roberts, B. Sharif, S., 2020. Smart poultry management: Smart sensors, big data, and the internet of things. *Computers and Electronics in Agriculture* 170, 105291.

Barbat-Leterrier A., Leclerc H., Philippe M., Fritz S., Daviere J.B., Guillaume F., De Bretagne T., Boichard D., 2016. GénoSanté : améliorer la santé productive des vaches laitières par la sélection génomique et la conduite d'élevage : une première étape avec l'acétonémie. *Rencontres Recherches Ruminants* 23, 153-156.

Bareille N., Videcoq L., Davière J.B., Johan M., Godin S., Leyrat-Bousquet E., Lemonnier J.P., Lamy J.M., Chanvallon A., 2014. Détection des troubles de santé des vaches laitières par la mesure de leur température ruminale. *Rencontres Recherches Ruminants* 21, 15-18.

Bekara M. E. A., & Bareille N., 2019. Quantification by simulation of the effect of herd management practices and cow fertility on the reproductive and economic performance of Holstein dairy herds. *Journal of dairy science* 102(10), 9435-9457.

Ben Abdelkrim A., Puillet L., Gomes P., Martin O., 2019. Lactation curve model with explicit representation of perturbations as a phenotyping tool for dairy livestock precision farming. *bioRxiv*, 661249.

Brun-Lafleur L., Rellier J.-P., Martin-Clouaire R., Faverdin P., 2010. Un simulateur de troupeau de vaches laitières avec modélisation du système d'information : application à la qualité de détection des chaleurs. *Rencontres Recherches Ruminants* 17, 257.

Codrea M.C., Hojsgaard S., Friggens N.C., 2011. Differential smoothing of time-series measurements to identify disturbances in performance and quantify animal response characteristics: An example using milk yield profiles in dairy cows. *Journal of Animal Science* 89, 3089-3098

Cutullic E., Delaby L., Edouard N., Faverdin P., 2013. Rôle de l'équilibre en azote dégradable et de l'alimentation protéique

individualisée sur l'efficacité d'utilisation de l'azote. *Rencontres Recherches Ruminants* 20, 53-56.

Delanoue E., Dockès A.C., Roguet C., Magdelaine P., 2018. Les évolutions possibles de la controverse autour de l'élevage dessinent cinq futurs contrastés : Une analyse prospective à l'horizon 2040. *Rencontres Recherches Ruminants* 18, 510-519.

De Rosnay J., 1975. Le macroscopie. Vers une vision globale. Le Seuil, Paris. 346pp.

Disenhaus C., Quiniou Y., Allain C., Courties R., Bareille N., 2016. Discrepancy between expected and actual benefits of automatic heat detectors in commercial herds. 67th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science 2016. Belfast.
http://www.eaap.org/Annual_Meeting/2016_belfast/S69_10_D_isenhaus.pdf

Duroy S., 2016. Indentification électronique, capteurs embarqués, communication sans fil : voie d'entrée dans l'élevage de précision. in: Chastant-Maillard S., Saint-Dizier M. (Eds.), Élevage de précision. Editions France Agricole, pp. 125-144.

Egger-Danner C., Cole J. B., Pryce J. E., Gengler N., Heringstad B., Bradley A., & Stock K. F., 2015. Invited review: overview of new traits and phenotyping strategies in dairy cattle with a focus on functional traits. *Animal* 9(2), 191-207.

Ellis J.L., Jacobs M., Dijkstra J., van Laar H., Cant J.P., Tulpan D., Ferguson N., 2020. Review: Synergy between mechanistic modelling and data-driven models for modern animal production systems in the era of big data. *Animal* 14, S223-S237.

Faverdin P., Brossard L., 2019. Efficience, agriculture de précision : de nouvelles approches environnementales ?, in: Espagnol S., Brame C., Jean-Yves, Dourmad J.Y. (Eds.), Pratiques d'élevage et environnement. Mesurer, évaluer, agir. Editions Quae, pp. 241-254.

Faverdin P., Brossard L., Hostiou N., 2020. Le numérique au service de l'élevage : vers un élevage plus durable ? In : Chriki S., Ellies M.P., Hocquette J.F. (Eds.), L'élevage pour l'agroécologie et l'alimentation durable. Editions La France Agricole, pp. 157-175.

Faverdin P., Fischer A., 2016. Monitoring du poids et de l'état corporel, in: Chastant-Maillard S., Saint-Dizier M. (Eds.), Élevage de précision. Editions France Agricole, pp. 125-144.

Faverdin P., Charrier A., Fischer A., 2017. Prediction of dry matter intake of lactating dairy cows with daily live weight and milk production measurements, 8th European Conference on Precision Livestock Farming (ECPLF), Nantes, pp. 35-44.

Fischer A., Luginbuhl T., Delattre L., Delouard J.M., Faverdin P., 2015. Rear shape in 3 dimensions summarized by principal component analysis is a good predictor of body condition score in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98, 4465-4476.

Fogh A., Lauritsen U., Aamand G.P., 2012. Use of data from electronic milk meters and perspectives in use of other objective measures. 38th ICAR annual meeting, Cork, Ireland.
http://www.icar.org/Cork_2012/Manuscripts/Published/Fogh.pdf

- González L., Kyriazakis I., Tedeschi L., 2018.** Review: Precision nutrition of ruminants: Approaches, challenges and potential gains. *Animal* 12(S2), S246-S261.
- Grodowski G., Sakowski T., Puppel K., Baars T., 2018.** Comparison of different applications of automatic herd control systems on dairy farms-a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98, 5181-5188.
- Herringstad, B., Bugten H.K., 2014.** Genetic evaluations based on data from automatic milking systems. In 39th ICAR annual meeting, Berlin Germany, http://www.icar.org/Documents/Berlin_2014/PPTs/Presented/Herringstad.pdf.
- Hirschy G., 2019.** Multipass. Episode "Panorama des chartes d'utilisation et de partage des données agricoles" <https://numerique.acta.asso.fr/multipass-5-charte/>
- Hogeveen H., Buma K.J. & Jorritsma R., 2013.** Use and interpretation of mastitis alerts by farmers. In: Proceedings of the 6th European conference on precision livestock farming. Berckmans D., Vandermeulen J. (Eds). Leuven, Belgique, 313-319.
- Hostiou N., Fagon J., Chauvat S., Turlot A., Kling-Eveillard F., Boivin X., Allain C., 2017.** Impact of precision livestock farming on work and human-animal interactions on dairy farms. A review. *Biotechnologie Agronomie Société Et Environnement* 21 (4), 268-275.
- IDATE, 2017.** fr.idate.org
- Idele Mag n°18, 2020.** <http://idele.fr/linstitut-de-lelevage/une-expertise-averee-diversifiee-et-performante/idele-mag/publication/idelesolr/recommends/idelemag-n-18-fevrier-2020.html>
- Laca E.A., 2009.** Precision livestock production: tools and concepts. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38,123-132.
- Le Cozler Y., Allain C., Caillot A., Delouard J.M., Delattre L., Luginbuhl T., Faverdin, P., 2019.** High-precision scanning system for complete 3D cow body shape imaging and analysis of morphological traits. *Computers and Electronics in Agriculture* 157, 447-453.
- Lee J., Jin L., Park D., Chung Y., 2016.** Automatic Recognition of Aggressive Behavior in Pigs Using a Kinect Depth Sensor. *Sensors* 16, 631.
- Lovarelli D., Bacenetti J., Guarino M., 2020.** A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production. *Journal of Cleaner Production* 262, 121409.
- Marceau A, Madouasse A, Lehébel A, van Schaik G, Veldhuis A, Van der Stede Y, Fourichon C., 2014.** Can routinely recorded reproductive events be used as indicators of disease emergence in dairy cattle? An evaluation of 5 indicators during the emergence of bluetongue virus in France in 2007 and 2008. *Journal of Dairy Science* 97, 6135-6150.
- Médale F., 2019.** Elevage sur mesure : des innovations au service de l'animal, de l'éleveur et du consommateur. INRAE. Plaqueette « Innovez avec l'INRA sur... ».
- Morota G., Ventura R.V., Silva F.F., Koyama M., Fernando S.C., 2018.** Big data analytics and precision animal agriculture symposium: Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture. *Journal of Animal Science* 96(4), 1540-1550.
- Mottram T., 2016.** Animal board invited review: precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection. *Animal* 10, 1575-1584.
- Noor A, Zhao YQ, Koubaa A., Wu, L.W., Khan R., Abdalla, F.Y.O., 2020.** Automated sheep facial expression classification using deep transfer learning. *Computers and Electronics in Agriculture* 175. 105528.
- Phocas F., Agabriel J., Dupont-Nivet M., Geurden I., Medale F., Mignon-Grasteau S., Gilbert H., Dourmad J.Y., 2014a.** Le phénotypage de l'efficacité alimentaire et de ses composantes, une nécessité pour accroître l'efficacité des productions animales. *INRA Productions Animales* 27, 235-247.
- Phocas F., Bobe J., Bodin L., Charley B., Dourmad J.Y., Friggens N.C., Hocquette J.F., Le Bail P.Y., Le Bihan-Duval E., Mormede P., Quere P., Schelcher F., 2014b.** Des animaux plus robustes : un enjeu majeur pour le développement durable des productions animales nécessitant l'essor du phénotypage fin et à haut débit. In : Phocas F. (Ed.) Phénotypage des animaux d'élevage. *INRA Productions Animales* 27, 181-194.
- Prost L., Cerf M., Jeuffroy M.H., 2012.** Lack of consideration for end-users during the design of agronomic models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32(2), 581-594.
- Rinell, E., 2013. A genetic analysis of traits recorded by automatic milking systems - the possibility for a new method to evaluate temperament of dairy cows. Thèse Master, Upsalla, 24p. http://stud.epsilon.slu.se/59677/rinell_e_130821.pdf
- Russell R.A., Bewley J.M., 2013.** Characterization of Kentucky dairy producer decision-making behavior. *Journal of Dairy Science* 96, 4751-4758.
- Rutten C.J., Steeneveld W., Lansink A., Hogeveen H., 2018.** Delaying investments in sensor technology: The rationality of dairy farmers' investment decisions illustrated within the framework of real options theory. *Journal of Dairy Science* 101, 7650-7660.
- Saint-Dizier M., & Chastant-Maillard S., 2018.** Potential of connected devices to optimize cattle reproduction. *Theriogenology* 112, 53-62.
- Shalloo L., O' Donovan M., Leso L. Werner J. Ruelle, E., Geoghegan A., Delaby L., O'Leary N., 2018.** Review: Grass-based dairy systems, data and precision technologies. *Animal* 12, S262-S271.
- Steeneveld W., & Hogeveen H. 2015.** Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 709-717.
- Timsit E., Assie S., Quiniou R., Seegers H., Bareille N., 2011.** Early detection of bovine respiratory disease in young bulls using reticulo-rumen temperature boluses. *Veterinary Journal* 190, 136-142.
- Veissier I., Kling-Eveillard F., Mialon M.M., Silberberg M., De Boyer Des Roches A., Terlouw C., Ledoux D., Meunier B., Hostiou N., 2019.** Élevage de précision et bien-être en élevage : la révolution numérique de l'agriculture permettra-t-elle de prendre en compte les besoins des animaux et des éleveurs ? *INRA Productions Animales* 32, 281-290.
- Vermesan O., Friess P., 2013.** Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems. River Publishers. 348 pp.

Vranken E., Berckmans D., 2017. Precision livestock farming for pigs. *Animal Frontiers* 7, 32-37.

Wagner N., Antoine V., Mialon M.-M., Lardy R., Silberberg M., Koko J., Veissier I., 2020. Machine learning to detect behavioural anomalies in dairy cows under subacute ruminal acidosis. *Computers and Electronics in Agriculture* 170, 105233.

Wathes C.M., Kristensen H.H., Aerts J.M., Berckmans D., 2008. Is precision livestock farming an engineer's daydream or

nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Computers and Electronics in Agriculture* 64, 2-10.

Wurtz K., Camerlink I., D'Eath R.B., Fernandez A.P., Norton T., Steibel J., Siegford J., 2019. Recording behaviour of indoor-housed farm animals automatically using machine vision technology: A systematic review. *Plos One* 2019, 14(12), e0226669.

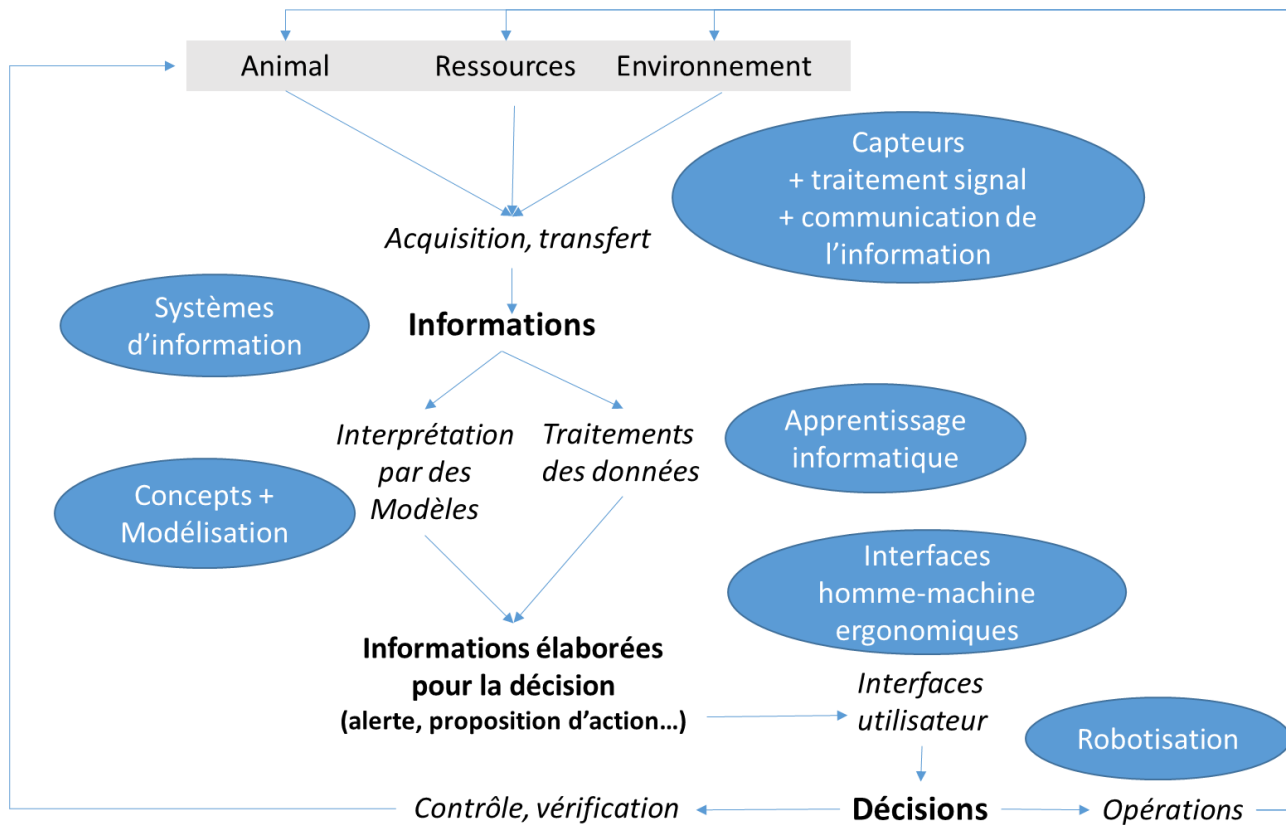


Figure 1 : Insertions des nouvelles techniques de l'information et de la communication (ovales bleus) dans les relations informations et décisions en élevages

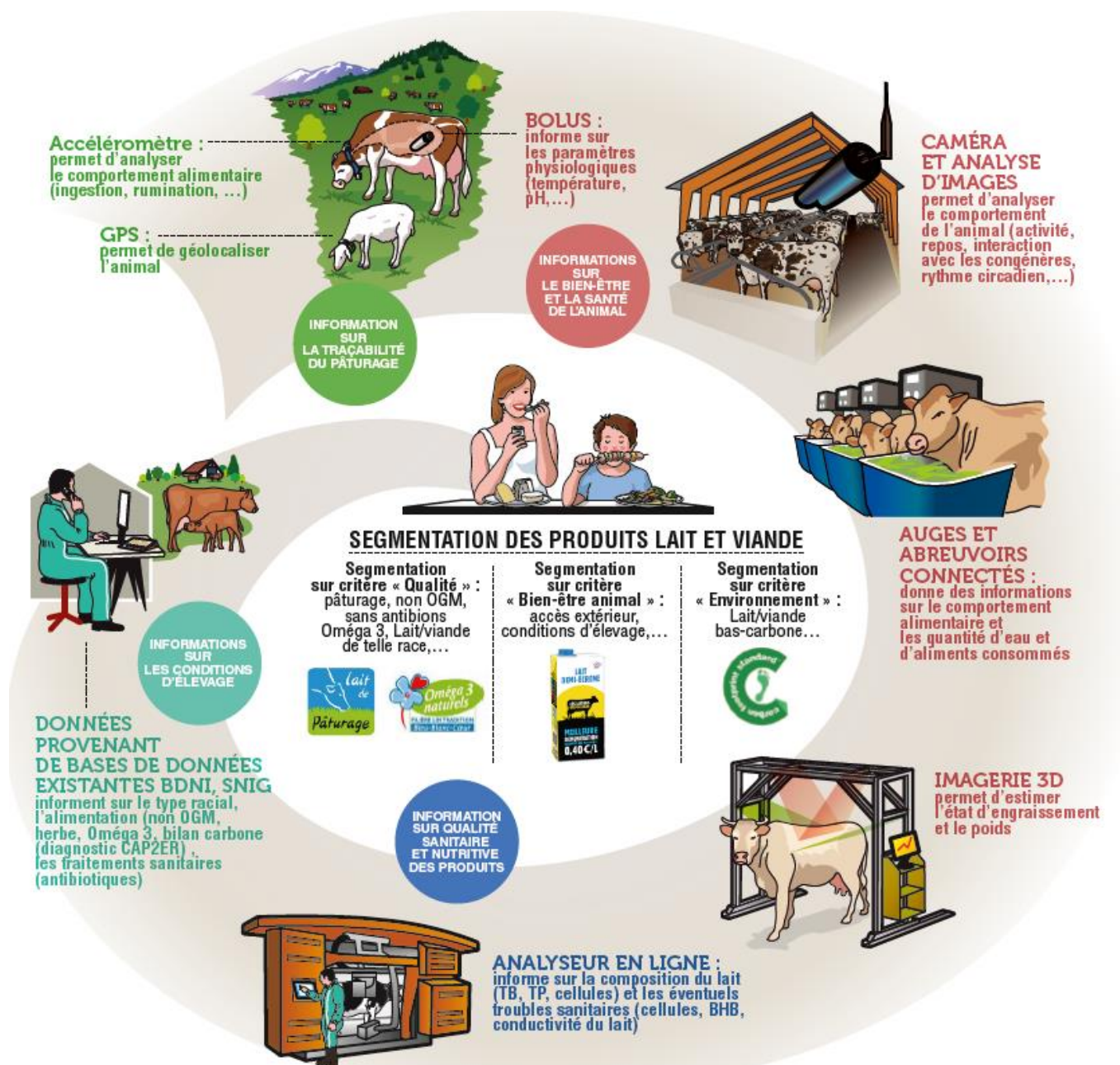


Figure 2 : Exemples de segmentations possibles des produits lait et viande et sources des données qui permettraient une objectivation du respect des cahiers des charges (source : idele mag n° 18)

Tableau 1 : Enquête sur les freins à l'adoption des nouvelles technologies de monitoring en élevage laitier (229 éleveurs laitiers du Kentucky, US, d'après Russel et Bewley, 2013)

Raison d'un faible taux d'adoption	%
1/ Pas familier avec les technologies disponibles	55
2/ Rapport coût/bénéfice inintéressant	42
3/ Trop d'informations fournies sans savoir ce que l'on peut en faire	36
4/ Pas assez de temps à passer avec ces technologies	31
5/ Intérêt économique non perçu	30
6/ Trop difficile ou trop compliqué à utiliser	29
7/ Support ou formation technique faible	28