



La revue francophone sur les fourrages et les prairies

The French Journal on Grasslands and Forages

Cet article de la revue **Fourrages**,
est édité par l'Association Francophone pour les Prairies et les
Fourrages

Pour toute recherche dans la base de données
et pour vous abonner :

www.afpf-asso.fr



AFPF - Maison Nationale des Eleveurs - 149 rue de Bercy - 75595 Paris Cedex 12
Tel. : +33.(0)1.40.04.52.00 - Mail : contact@afpf-asso.fr

Association Francophone pour les Prairies et les Fourrages

L'internet des objets appliqué aux fourrages, à la conduite des prairies et à la surveillance des animaux

C. Allain¹, J. Pavie², D. Gautier³, P. Pierre⁴

RESUME

Les objets connectés ont fait massivement leur entrée dans les élevages depuis une dizaine d'années. S'ils sont plutôt destinés aux élevages intensifs en bâtiments pour détecter les chaleurs, les mises-bas ou les troubles sanitaires, une offre orientée vers le pilotage des prairies, des productions fourragères ou des systèmes pastoraux commence à émerger. Les technologies les plus développées ciblent logiquement depuis quelques années l'estimation des quantités et de la qualité des biomasses disponibles sur les surfaces fourragères. Mais les possibilités de monitoring des animaux à l'extérieur (localisation, trajectoires, comportement de pâturage, ...) et l'apparition d'objets connectés dans les pâtures, permettent aujourd'hui le développement d'un panel de possibilités pour surveiller et protéger le troupeau à l'extérieur, optimiser la gestion du pâturage ou répondre à des demandes de traçabilité des consommateurs. Cependant, pour être réellement adoptés par les éleveurs, ces offres dispersées doivent gagner en interopérabilité et être intégrées dans des outils d'aide à la décision (OAD) plus complets et généraux.

SUMMARY

The Internet of Things applied to forages, grassland management and animal monitoring

Connected objects have made their way into livestock production on a massive scale over the last ten years. Although they are mainly used in intensive livestock production to detect heat, calving or health problems, a range of products aimed at managing meadows, forage production or pastoral systems is beginning to emerge. The most developed technologies have logically targeted the estimation of the quantity and quality of biomass available on forage surfaces for several years. But the possibilities of monitoring animals outside (location, trajectories, grazing behavior, ...) and the appearance of connected objects in pastures, now allow the development of a range of possibilities to monitor and protect the herd outside, optimize the management of grazing or meet the demands of traceability of consumers. However, to be truly adopted by farmers, these dispersed offers must become more interoperable and be integrated into more complete and general decision support tools (DST).

Les objets connectés, associés à l'internet des objets (Internet of Things ou IoT) se sont énormément développés ces dix dernières années, entraînant avec eux des progrès considérables dans les domaines des capteurs et du traitement des données. On estime aujourd'hui à environ 25 milliards le nombre d'objets connectés dans le monde, avec un accroissement de plus de 20% chaque année (Strategy Analytics, 2019). Si les marchés les plus ciblés sont aujourd'hui plutôt orientés vers des usages pour les particuliers (domotique, voitures connectées, téléviseurs, ...), l'arrivée du réseau 5G, orienté vers l'IoT, va certainement accroître le déploiement des objets connectés dans de multiples domaines d'application, notamment dans l'industrie et l'agriculture 4.0.

Pour autant, les objets connectés ont déjà fait leur entrée dans les élevages. Plusieurs synthèses existent

sur ce thème et pour les différentes espèces d'élevage (Vranken et Berkman, 2017, Favardin *et al.*, 2020a). Selon une enquête réalisée en France (Allain *et al.*, 2015), environ 70 % des éleveurs laitiers sont équipés d'au moins un type d'outils connectés. Les capteurs embarqués comme les détecteurs de chaleurs ou de vélages (29 %), ou les systèmes de monitoring de la traite comme les compteurs à lait, les conductimètres ou les analyseurs de lait (26 %) sont ceux qui rencontrent le plus de succès. 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 essentielle et/ou chronophage qu'il réalisait déjà (Favardin *et al.*, 2020b).

Cependant, de nombreux autres outils se développent, avec pour objectif de surveiller l'état sanitaire des animaux, leurs comportements, leur

AUTEURS

1 : INSTITUT DE L'ELEVAGE, Monvoisin, 35650 Le Rheu – clement.allain@idele.fr

2 : INSTITUT DE L'ELEVAGE, Route d'Epinau sur Odon, 14310 Villers-Bocage

3 : CIIRPO, Le Mourier, 87800 Saint-Priest-Ligoure

4 : INSTITUT DE L'ELEVAGE, 42 Rue Georges Morel, 49070 Beaucozézé

MOTS-CLES : Internet des objets ; conduite des prairies ; monitoring des animaux ; colliers connectés ; outil d'aide à la décision

KEY-WORDS: Internet of things; grassland management; animal monitoring; connected collars; decision support tool

REFERENCE DE L'ARTICLE : Allain C., Pavie J., Gautier D., Pierre P., (2021). « L'Internet des objets appliqué aux fourrages, à la conduite des prairies et à la surveillance des animaux », *Fourrages* 247, 1-9

croissance ou encore leur état de stress (Veissier *et al.*, 2019). C'est par exemple le cas des accéléromètres pour détecter si un animal est debout, couché, en mouvement ou encore en train de manger ou de ruminer. Ces données sont interprétées pour identifier un animal en chaleur ou malade. Des travaux sur des dispositifs d'imagerie 2D ou 3D, couplés à une analyse d'image pour mesurer l'état d'engraissement ou la morphologie d'un animal, détecter des agressions, identifier des lésions ont aussi été menés (Fischer *et al.*, 2015 ; Le Cozler *et al.*, 2019 ; Lee *et al.*, 2016).

Pour les systèmes d'élevage à base d'herbe et pour les productions fourragères d'une manière générale, les offres sont moins nombreuses. Cela peut s'expliquer, entre autres, par l'intérêt plus faible des entrepreneurs et des entreprises technologiques pour ces marchés minoritaires, avec souvent une moindre connectivité et des éleveurs minimisant les dépenses en capital (Shalloo *et al.*, 2018).

Pourtant, les besoins et la demande existent. Cet article se concentre sur les technologies de précision dans les systèmes basés sur le pâturage et la culture fourragère où l'objectif est de synchroniser la demande alimentaire des animaux avec les ressources disponibles afin que la consommation d'herbe et de fourrages soient maximisés. Au-delà de l'optimisation de la ressource alimentaire, les besoins de surveillance et de protection du troupeau, de facilitation de la vie de l'éleveur ou encore de réponse aux nouvelles demandes sociétales seront aussi abordés.

1. Gérer les surfaces fourragères

1.1. Estimer les biomasses disponibles

La mesure précise de la quantité d'herbe ou de fourrages disponibles est l'un des domaines les plus ciblés par le développement d'objets connectés.

Parmi les exemples de technologies de mesure au champ, citons les herbomètres connectés qui automatisent la collecte des données nécessaires pour suivre la biomasse d'herbe disponible (French *et al.*, 2015). La mesure est généralement générée par des capteurs ultra / micro-soniques qui mesurent la hauteur de la plaque posée sur la canopée (Moeckel *et al.*, 2017). Étant donné l'importance de la mesure dans la gestion des pâturages, les herbomètres peuvent offrir des avantages significatifs pour des investissements relativement modestes. Lorsqu'ils sont combinés avec une localisation GPS et une connectivité Bluetooth ou Wifi en lien avec une application ou un serveur, cela permet potentiellement de nouvelles fonctionnalités cartographiques. C'est par exemple le cas du dispositif GrassHopper®.

Des matériels de mesure par ultrasons ont été développés pour être installés sur des véhicules, quad ou voiture, comme le système PastureMeter® de C-Dax par exemple. Cette possibilité offre comme avantage de

pouvoir parcourir des surfaces importantes. Mais, alors qu'un herbomètre prend en compte la densité de l'herbe, puisque le plateau vient appuyer sur le couvert, cette approche mesurant la hauteur est moins sensible à la densité et donc moins précise pour estimer la biomasse (Shalloo *et al.*, 2018).

Comparativement aux dispositifs précédents, l'analyse spectrale, principalement embarquée dans un drone ou un satellite permet d'alléger la charge de travail des éleveurs puisque la mesure est réalisée de façon totalement automatisée. Déjà utilisée depuis plusieurs années pour prédire les rendements des cultures comme le blé (Laguette *et al.*, 1997) à partir de l'indice de végétation (NDVI), elle est aussi appliquée aux cultures fourragères comme le maïs (Joshi *et al.*, 2019).

Pour la biomasse prairiale, les défis auxquels sont confrontées les approches spectrales concernent principalement l'hétérogénéité des espèces prairiales, la variation des stades de croissance des prairies ainsi que la proportion de matière sénescence dans la canopée (Moeckel *et al.*, 2017). De plus, la plupart des études se sont concentrées sur la mesure de la biomasse des pâturages dans les savanes tropicales *via* la télédétection par satellite avec moins d'attention sur les pâturages tempérés (Moeckel *et al.*, 2017). Des études récentes basées sur les satellites Sentinel 1 et 2 ont cependant montré des résultats intéressants pour estimer la biomasse prairiale. Une étude sur les pâturages irlandais a révélé que la biomasse pouvait être prédite avec un R^2 allant jusqu'à 0,75 (Ali *et al.*, 2017). Cela a été confirmé par des travaux menés dans le cadre du projet Herdect, avec cependant des écarts types résiduels encore élevés, entre 2 et 5 cm pour prédire la hauteur d'herbe, selon les parcelles et les technologies utilisées (Dusseux, 2019).

1.2. Estimer la qualité des fourrages

L'analyse multi-spectrale (terrestre ou distante), que ce soit par drone, satellite ou même par outil portable, semble aussi une approche intéressante pour l'estimation de la qualité des fourrages et constituerait une alternative rapide et efficace aux évaluations en laboratoire (Sibanda *et al.*, 2016).

Si à l'heure actuelle, les offres disponibles sur le marché à partir des images satellitaires concernent surtout la prédiction de la date de récolte basée sur la teneur en matière sèche à partir d'analyse spectrale (SATElite Maïs® de KWS), des outils portables (AgriNIR®) ou embarqués sur les ensileuses (HarvestLab® de John Deere), basés sur les spectres proches infrarouges (NIR) promettent l'analyse de la composition en amidon, protéines, ADF, NDF des fourrages conservés comme l'ensilage de maïs ou d'herbe. Lorsqu'ils sont embarqués (Figure 1), ces outils promettent de visualiser et de géolocaliser le rendement, et la qualité du fourrage récolté. Au niveau de la précision, Hart *et al.*, (2020) ont trouvé des erreurs de prédiction (après correction) de 2,4 à 7,7%, selon les

paramètres, pour estimer la composition d'ensilage d'herbe à partir du dispositif HarvestLab®. Ces informations offrent des possibilités intéressantes pour adapter la date de récolte également en fonction de la composition et de la digestibilité.



FIGURE 1 : Données récoltées par le dispositif HarvestLab® embarqué dans une ensileuse. Rendement (à gauche) et taux de sucre (à droite).

Figure 1 : Data collected by the HarvestLab® device mounted on a forage harvester. Yield (on the left) and sugar content (on the right).

1.3. Localiser les animaux et monitorer leur comportement au pâturage

Les accéléromètres sont des capteurs couramment utilisés sur les vaches pour la détection des chaleurs. Positionnés sur le cou, les oreilles ou les pattes, ils peuvent aussi donner des informations sur le niveau d'activité général, la position debout/couché ou encore le comportement alimentaire ou de rumination (Bikker *et al.*, 2014 ; Borchers *et al.*, 2016).

Les signaux enregistrés par les accéléromètres sont assez caractéristiques du comportement au pâturage. Le niveau d'accélération sur les trois axes est élevé, le type de mouvement réalisé par l'animal est périodique et il a la tête orientée vers le bas (Riaboff, 2020, figure 2). Ainsi, plusieurs études ont montré que le traitement du signal renvoyé par l'accéléromètre permet d'estimer le temps de pâturage quotidien avec des erreurs de prédiction autour de 5% à la fois sur des vaches (Delagarde et Lamberton, 2015) ou sur des petits ruminants (Grisot *et al.*, 2018). La plupart des capteurs disponibles pour mesurer le comportement de pâturage utilisent un accéléromètre autour du cou, comme le FeedLive® de Medria ou le MooMonitor+® de DairyMaster. Un autre dispositif, le RumiWatch® de Hoch GmbH utilise un capteur de pression dans un licol pour détecter les mouvements de la mâchoire (Zehner *et al.*, 2017). Il permet aussi d'estimer précisément les temps de pâturage et de rumination.

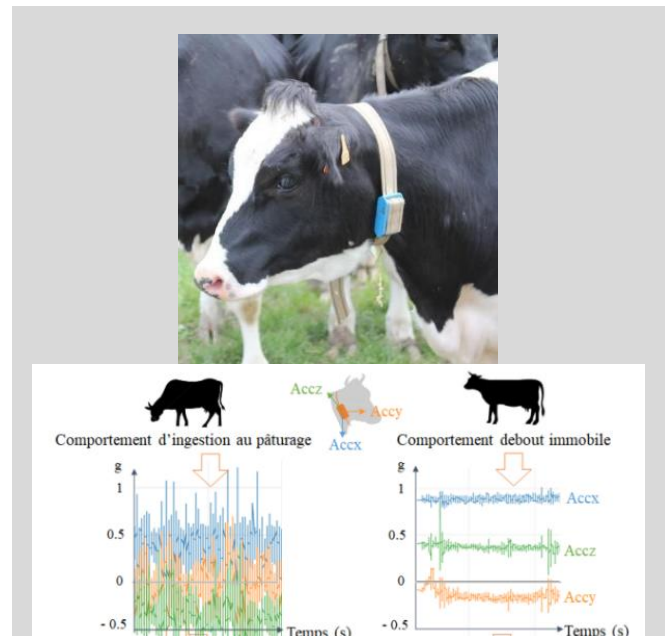


FIGURE 2 : Collier accéléromètre (en bas) et niveau d'accélération enregistré sur les 3 axes d'un accéléromètre dans deux situations au pâturage (Riaboff, 2020, en haut)

Figure 2 : Accelerometer collar (bottom) and acceleration level recorded on the 3 axes of an accelerometer in two grazing situations.

Combiner le comportement des animaux au pâturage avec leur localisation, pourrait permettre de mieux comprendre comment un animal interagit avec son environnement, les variations au sein de la parcelle et son impact sur les performances animales. Riaboff *et al.* (2020) ont par exemple mis en évidence la corrélation entre la valeur alimentaire des espèces prairiales et le temps passé par les animaux à les pâturer. Des liens ont aussi été établis entre l'augmentation de la durée de pâturage et la quantité de biomasse disponible dans les

parcelles (Manning *et al.*, 2017). Ces informations pourraient être intégrées à terme dans des outils d'aide à la décision pour adapter l'offre aux besoins et changer les animaux de paddocks au meilleur moment.

Par ailleurs, la localisation des animaux offre d'autres possibilités, comme celle de pouvoir suivre automatiquement le déplacement des animaux dans les paddocks. Cela offre à terme la perspective d'automatiser les calendriers de pâturage. La figure 3 ci-dessous montre la possibilité d'identifier précisément le paddock pâturé par les vaches laitières, à partir des coordonnées GPS des animaux équipés et donc de connaître précisément leur temps de présence dans chacune des parcelles (Allain *et al.*, 2020).



FIGURE 3 : Géolocalisation des vaches au pâturage sur la ferme expérimentale de Derval. Chaque point représente la localisation d'une vache toutes les 11 minutes. Une couleur par paddock et par jour (Allain *et al.*, 2020)

Figure 3 : Geolocation of grazing cows on the Derval experimental farm.

2. Faciliter la vie des éleveurs

2.1. Géolocalisation des animaux

Depuis le milieu des années 2000, a émergé le concept de « pastoralisme de précision » (Australie, Amérique du sud), où des systèmes intégrés de capteurs remplacent les bergers (Meuret, 2013). Dans la plupart des situations, ces dispositifs sont basés sur l'utilisation de systèmes GPS embarqués sur toute ou partie des animaux du troupeau et répondent aux besoins de surveillance et de gardiennage des troupeaux dans les espaces extensifs. En effet, dans ces systèmes d'élevage, les éleveurs peuvent passer beaucoup de temps à chercher leurs animaux dans des paysages chaotiques ou arborés avec une faible visibilité. Dans le cadre du projet Clochète, plusieurs témoignages d'éleveurs ont montré l'intérêt des colliers GPS pour localiser précisément le troupeau, les chiens de protection ou encore identifier des problèmes de casse de clôtures

générant une fuite des animaux (Guinamard *et al.*, 2018).

Quelques capteurs sont désormais commercialisés pour les éleveurs de bétail comme le collier GPS Digitanimal® (figure 3) ou le dispositif e-Pasto®. Ces deux outils comprennent à la fois des colliers GPS et accéléromètre embarqués sur les animaux, et une application permettant de suivre en temps réel la géolocalisation des animaux. L'historique des localisations permet aussi de voir les dynamiques de déplacement en lien avec la disponibilité des fourrages sur les parcours pastoraux. Enfin, ces outils alertent l'éleveur lorsque les animaux sont sortis d'une zone définie.

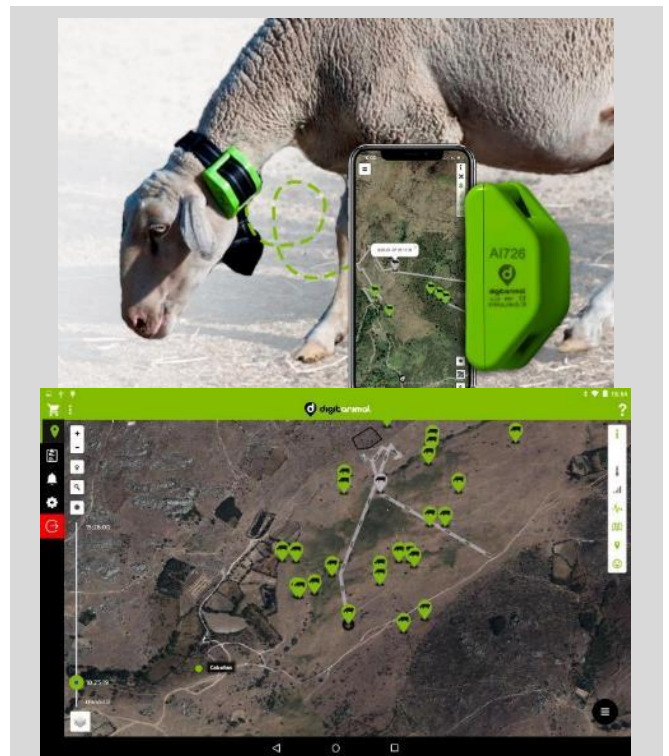


FIGURE 4 : Exemple de collier GPS permettant géolocaliser les animaux en temps réel (DigitAnimal®)

Figure 4 : Example of a GPS collar that allows the geolocation of animals in real time (DigitAnimal®)

2.2. Clôtures virtuelles

Les clôtures virtuelles reprennent un concept datant des années 1970 pour la surveillance des chiens de compagnie (Umstatter, 2011). L'objectif de ces clôtures est de remplacer les barrières physiques par des barrières virtuelles, renseignées par géolocalisation. Cela doit permettre de réduire l'investissement lié à la mise en place et l'entretien des clôtures, mais aussi de soulager l'éleveur dans cette activité chronophage.

Plusieurs types de procédés existent à ce jour, mais le plus courant est l'utilisation de collier intégrant un GPS, un amplificateur sonore et un système permettant

de délivrer un léger choc électrique (Figure 5). L'animal est informé de sa proximité avec la limite virtuelle, définie préalablement par l'émission d'un avertissement sonore d'abord, puis d'un stimulus électrique en cas de franchissement de la limite. Plusieurs solutions ont été développées à travers le monde (NoFence, Norvège (Brunberg *et al.*, 2015) ; eShepherd, Agersens, Australie (Lomax *et al.*, 2019); Boviguard, UK (Umstatter *et al.*, 2015)). La plupart ont été validées et testées pour des usages en système de pâturage statique ou sur des parcelles très étendues (Brunberg *et al.*, 2015; Umstatter *et al.*, 2015; McSweeney *et al.*, 2020). Si les travaux effectués sont prometteurs et permettent bien de maintenir la majorité du troupeau dans des limites virtuelles, des travaux complémentaires restent à réaliser pour limiter la fuite de certains animaux plus téméraires que les autres, pour évaluer l'impact des décharges électriques sur le bien-être animal, mais aussi pour valoriser cette technologie dans le cadre de pâturage plus intensif sur des petits paddocks. En effet, pour une utilisation en pâturage dynamique, avec des parcelles de petites tailles, l'utilisation de clôtures virtuelles pourrait permettre de limiter considérablement l'utilisation de clôtures physiques.



FIGURE 5 : Concept du dispositif de clôture virtuelle commercialisé par NoFence®

Figure 5 : Concept of the virtual fence device marketed by NoFence®

2.3. Autres objets connectés

D'autres objets connectés sont disponibles pour faciliter la surveillance des prairies et des fourrages conservés. Le dispositif Vigifence® de Pampaas permet par exemple de suivre le niveau de tension électrique dans la clôture et alerte l'éleveur en cas de rupture de celle-ci. Des abreuvoirs connectés permettent d'informer l'éleveur sur le niveau d'eau disponible dans les abreuvoirs situés dans les parcelles et envoient un rappel lorsqu'il est nécessaire de remplir à nouveau l'abreuvoir. Pour les productions fourragères, des outils de suivi de la température des fourrages alertent l'éleveur sur une élévation anormale de la température des fourrages conservés et permettent de limiter des risques d'incendie (dispositif HayTech®).

3. Répondre aux nouvelles demandes sociétales

3.1. Protection du troupeau contre la prédation

En 2019 en France, plus de 12 000 brebis ont été attaquées par des loups (DDT-Dreal Auvergne-Rhône-Alpes, 2019). Et ce chiffre deviendra de plus en plus important à mesure que la population de loups augmentera, engendrant des pertes financières et une charge mentale importante pour les éleveurs.

Pour lutter contre la prédation, plusieurs initiatives basées sur des objets connectés ont vu le jour ces dix dernières années. Certaines sont basées sur des colliers de garde radio-activés. Ces colliers électriques sont placés sur les loups et déclenchent des chocs électriques, des sons ou de la lumière lorsqu'ils s'approchent trop près d'un boîtier radio positionné près d'un enclos (Breck *et al.*, 2002; Schultz *et al.*, 2005; Salvatori et Mertens, 2012). Ces outils sont très efficaces, mais ont de nombreuses contraintes comme la durée de vie limitée de la batterie et surtout les efforts considérables déployés pour identifier et équiper les loups. Cette solution est aussi évidemment difficile à mettre en œuvre sur une population croissante et importante de loups comme celle qui se développe en Europe.



FIGURE 6 : Collier anti-loups Natural Solutions® émettant des ultrasons et de la lumière en cas d'agitation des animaux équipés

Figure 6 : Natural Solutions® anti-wolf collar emitting ultrasound and light in case of animal agitation

Récemment, un collier anti-loups provenant d’Australie et positionné sur les brebis est apparu sur le marché en France (Frédout, 2019). Ce dispositif (Natural Solutions®, figure 6), contient un accéléromètre qui active l’émission d’ultra-sons et de LED lorsqu’une attaque ou un affolement des animaux est détecté. Les premiers travaux réalisés dans le cadre d’un essai sur le terrain sont prometteurs et les troupeaux équipés semblent moins attaqués que les autres, bien que des essais sur la durée nécessitent d’être menés (Frédout, 2019). L’effet de ces colliers sur les chiens de berger ou de protection mérite aussi d’être évalué.

Il semblerait aussi possible d’équiper les chiens de protection de troupeau de colliers GPS pour mieux comprendre leurs réponses et leurs changements de comportement face à la prédation. Ces chiens, ont en effet, des cinétiques de déplacement très différentes de celles observées pour les brebis et des changements brutaux de comportements pourraient permettre d’alerter le berger (Fouilloux *et al.*, 2020). Ces travaux en sont encore à un stade préliminaire et doivent être approfondis.

3.2. Traçabilité du mode de production

Depuis quelques années, l’exigence des consommateurs vis-à-vis des produits d’origine animale a fortement augmenté. Au-delà de la provenance et de la qualité de ces produits, ils souhaitent qu’ils soient respectueux de l’environnement et du bien-être animal (Pruhl, 2019). En ce qui concerne les produits laitiers, le pâturage est incontournable aux yeux des consommateurs. Ils y voient non seulement un gage de bien-être, mais aussi d’autres atouts comme une alimentation naturelle ou une contribution à la biodiversité. Dès 2016, les premiers « laits de pâturage » sont apparus dans les rayons français. Pour qu’un lait puisse être qualifié de lait de pâturage, 95 % des vaches en lactation doivent avoir accès à au moins 10 ares/vache, au minimum pendant 120 j/an à raison de 6h/j (Rouyer, 2020). Actuellement, les contrôles reposent en grande partie sur des déclarations d’éleveurs (Agra, 2018). Pour gagner la confiance du consommateur, les protocoles de certification doivent être fiables et réalisés en continu. Pour cela, le recours aux nouvelles technologies peut permettre de réaliser des mesures objectives et en temps réel. Dans le cadre du projet européen CattleChain 4.0, des travaux ont permis de développer un algorithme de traçabilité des vaches laitières au pâturage, grâce à des capteurs GPS embarqués sur les animaux. Celui-ci permet de détecter automatiquement le bâtiment d’élevage à partir de l’analyse de la densité de points, la densité des animaux étant naturellement plus importante en bâtiment qu’à l’extérieur (Figure 7). A partir de là, il est possible d’estimer le temps passé par les vaches à l’extérieur du bâtiment, avec une erreur moyenne de prédiction de 44 min (Allain *et al.*, 2020).

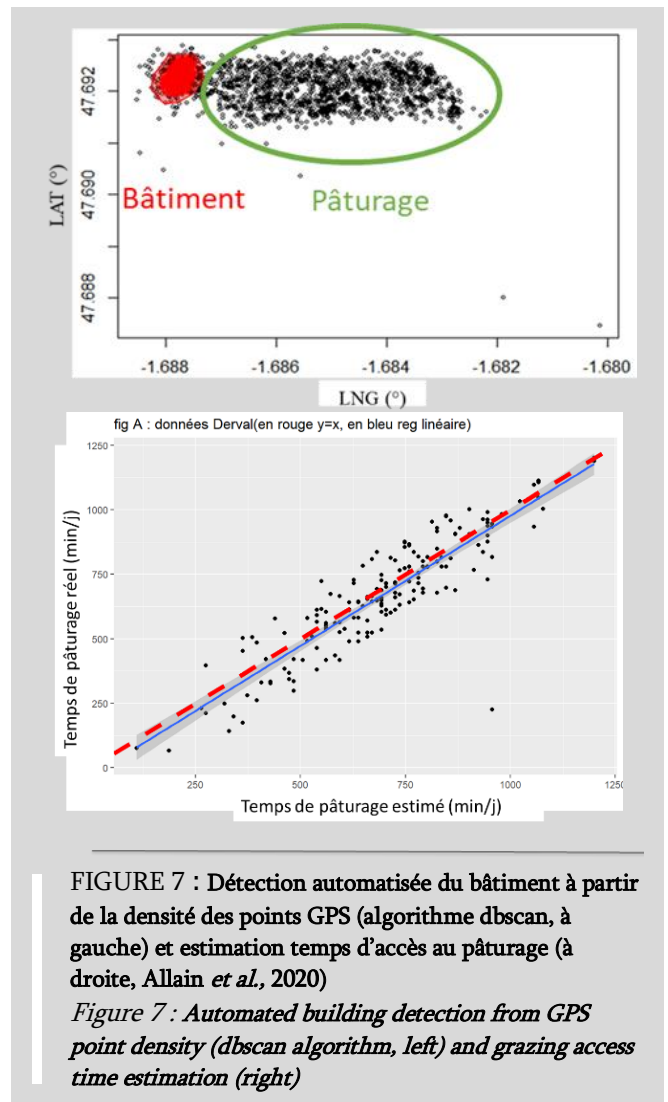


FIGURE 7 : Détection automatisée du bâtiment à partir de la densité des points GPS (algorithme dbscan, à gauche) et estimation temps d’accès au pâturage (à droite, Allain *et al.*, 2020)

Figure 7 : Automated building detection from GPS point density (dbscan algorithm, left) and grazing access time estimation (right)

4. Développer un OAD répondant aux besoins des éleveurs

4.1. Identifier les besoins des utilisateurs

Les facteurs d’adoption des objets connectés par les éleveurs sont assez bien décrits et connus. Les raisons avancées par les éleveurs pour justifier l’investissement en nouvelles technologies pour piloter leurs élevages sont en priorité pour l’amélioration du confort de travail et du gain en technicité (Allain *et al.*, 2015). En revanche, ceux qui ne souhaitent pas s’équiper, le justifient en général par un coût d’investissement trop élevé, un retour sur investissement trop faible ou l’absence de besoin. Pour les agriculteurs, il est difficile d’estimer avec précision les avantages économiques de la plupart des technologies avant leur adoption. L’une des rares études disponible concerne les producteurs laitiers néerlandais équipés de robots de traite ou de capteurs pour la détection des chaleurs, des vélages, ou des troubles de la santé. Elle révèle que les technologies n’ont pas fourni de retour économique perceptible (Steenefeld et

Hogeveen, 2015). Ils n'ont constaté aucune différence statistiquement significative de gain économique sur ces élevages avant et après l'installation de nouvelles technologies (capteurs, robots, ...). Les progrès technologiques réalisés depuis cette étude permettent cependant d'envisager des améliorations des performances de ces outils et des diminutions de coûts susceptibles d'améliorer les retours sur investissements (Steenefeld et Hogeveen, 2015). Il n'existe à notre connaissance pas d'études de ce type sur les technologies de gestion du pâturage ou des fourrages et cela devrait être un sujet de recherche à approfondir à l'avenir (Shalloo *et al.*, 2018).

De même, dans les systèmes extensifs et pâturant, le sujet de la rentabilité a été peu abordé. Et il y a dans ces systèmes d'élevage un risque que les technologies développées dans d'autres contextes (systèmes indoor et intensifs) soient commercialisées avec une utilité marginale et une efficacité réduite alors même que ces élevages ont des possibilités d'investissement plus faibles.

Par ailleurs, de nombreux outils disponibles sur le marché ne répondent pas à des besoins concrets pour les éleveurs, que ce soit en système d'élevage en bâtiment ou pâturant. Pour le développement futur de nouvelles offres, l'objectif serait de passer de la question « que vais-je faire de cette nouvelle information ? » (le « technology driven ») à « de quelles informations et avec quelle qualité, aurais-je besoin pour mieux décider tel aspect de la conduite ? » (le « decision driven ») (Faverdin *et al.*, 2020). Pour cela, les éleveurs doivent être impliqués dès les premières étapes de réflexion pour définir les besoins et l'ergonomie des outils.

Enfin, un des inconvénients de ces outils connectés souvent cité par les agriculteurs est le manque d'inter-opérabilité entre eux (Allain *et al.*, 2015). Une des pistes d'amélioration des offres existantes pourrait aussi être de mieux intégrer les mesures et les technologies dans un outil d'aide à la décision global et inter-opérable.

4.2. Vers un outil d'aide à la décision intégrant ces mesures ?

Pris indépendamment, les objets connectés cités précédemment n'ont que peu d'intérêt car ils sont soit trop limités (fourniture d'un seul service), soit inutiles s'ils ne sont pas combinés avec d'autres données. Pour être intéressantes pour les éleveurs, et qu'ils acceptent d'investir à termes dans ces solutions technologiques de pilotage des prairies et des fourrages, les données qu'elles produisent doivent être centralisées et valorisées dans un outil d'aide à la décision (OAD) plus global.

Il existe déjà quelques OAD disponibles pour les éleveurs pour la gestion du pâturage. La plupart sont basés sur la mise en relation de l'offre en herbe disponible et les besoins alimentaires des animaux pour gérer la rotation des parcelles pâturées, les fauches

éventuelles et la complémentation des animaux. Certains de ces OAD comme PaturePlan® (Delaby *et al.*, 2015) prennent aussi en compte le profil de croissance hebdomadaire pour anticiper l'utilisation de la ressource en herbe.

Des outils plus récents comme HappyGrass® (Webinaire HappyGrass 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=mp63Qo-nIVg>) proposent des services plus complets. Il contient d'une part, un bouquet d'applications dédié à la gestion de la prairie : la composition, la fertilisation, la récolte, la lutte contre les espèces indésirables, la reconnaissance des espèces, la gestion du stress thermique et bien sûr la récolte. D'autre part, il contient des services sur la gestion du pâturage et propose un calendrier de pâturage numérique, la possibilité de dessiner et organiser son parcellaire, le suivi de la croissance de l'herbe, l'organisation des rotations, etc. Les fonctionnalités de cette application sont détaillées dans un article de ces actes.

L'application PastureBase Ireland® (PBI) propose aussi des services de gestion du pâturage similaires à HappyGrass®. Mais en outre, PBI permet aux utilisateurs de partager leurs données de croissance d'herbe, les données agronomiques des parcelles ou les données météo et de les centraliser dans une base de données commune. Cette mutualisation permet le développement d'applications techniques ou scientifiques, comme des modèles de prédiction de la croissance de l'herbe (Shalloo *et al.*, 2018). En complément de ces services, PBI offre aussi la possibilité aux utilisateurs de partager leur expérience via un forum de discussion. Ce type de partage d'expérience est grandement facilité aujourd'hui par les outils du numérique et tout aussi important que des applications de gestion technique. Le groupe Facebook « Pâturage et Prairie » regroupe ainsi déjà 12 700 utilisateurs en France.

Si ces OAD disponibles aujourd'hui sur le marché sont pertinents techniquement et facilitent la vie des éleveurs, ils n'intègrent pas, ou peu, les données générées automatiquement par les objets connectés. En complément des mesures évoquées précédemment (biomasse disponible, comportement et localisation des animaux), citons d'autres données qui sont collectées automatiquement sur les parcelles pâturées (données des stations météo connectées, clôtures et abreuvoirs connectés) et sur le troupeau (nombre d'animaux présents, production et composition du lait, quantité de concentrés distribués individuellement, etc.). Un outil intégrant ces données en dynamique permettrait en complément de générer de nouveaux services comme un calendrier de pâturage automatisé, la prédiction de la croissance de l'herbe à quelques jours, des informations sur la qualité et l'appétence des parcelles, mais aussi de nouveaux services comme l'objectivation de la traçabilité des animaux au pâturage ou la surveillance du troupeau. La figure 8 ci-dessous synthétise l'ensemble des mesures réalisées automatiquement sur les

parcelles pâturées et pouvant être valorisées dans un OAD intégré.

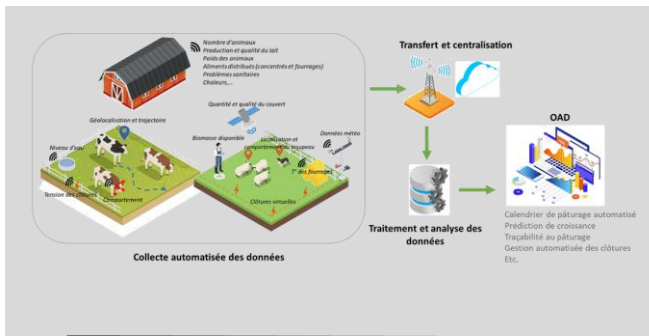


FIGURE 8 : Présentation de l'éco-système nécessaire au développement d'un OAD pour la gestion automatisée des prairies et des pâtures

Figure 8 : Presentation of the necessary eco-system for the development of an ADO for the automated management of grasslands and pastures

Conclusion

De nombreuses offres technologiques se développent, y compris pour les systèmes herbagers et pastoraux. Ce n'est qu'un début, car les progrès technologiques permettront sans aucun doute de diminuer les coûts et d'améliorer les performances de ces dispositifs. Néanmoins, il ne suffira pas de produire une masse de données toujours plus importante pour permettre une prise de décision plus efficace. Il est évident que pour être mieux adoptés par les éleveurs et plus rentables, les objets connectés devront être plus inter-opérables, mieux intégrés dans des OAD plus complets, mais aussi être développés en réponses à des besoins concrets identifiés par les éleveurs.

Enfin, les objets connectés et les données qu'ils génèrent permettront probablement des applications autres que pour le pilotage des élevages. La traçabilité et la réassurance des consommateurs par rapport aux conditions et aux pratiques d'élevages est déjà une réalité et se nourrira de ces informations.

Article accepté pour publication le 16 juillet 2021

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agra., (2018). « Pâturage minimum : des contrôles plus ou moins forts ». AGRA. Disponible sur : <http://www.agra.fr/paturage-minimum-des-contr-les-plus-ou-moins-fortsart448227-22.html?Itemid=235>

Ali I., Barret B., Cawkwell F., Green S., Dwyer E., Neumann M., (2017). Application of Repeat-Pass TerraSAR-X staring spotlight interferometric coherence to monitor pasture biophysical parameters: limitations and sensitivity analysis. Institute of Electrical and Electronics. *Engineers Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 10, 3225-3231.

Allain C., Quinton P., Philibert A., Cros P., Herman M., Cimino M., Frappat B., Larssonneur S., Lafont N., (2015). « La connectivité des élevages laitiers ». *Renc. Rech. Rum.*, 22, 403.

Allain C., Charpentier C., Philibert A., Lonis W., Fischer A., (2020). « Traçabilité des vaches laitières au pâturage grâce aux technologies de géolocalisation » *Renc. Rech. Rum.*, 25.

Breck s.w., Williamson r, niemeyer c., shivik j. A., (2002). "Non-lethal radio activated guard for deterring wolf depredation in Idaho: summary and call for research". *Proc. 20th Vertebr. Pest Conf.*, 22 (2002), pp. 223-226.

Bikker J.P., Van Laar H., Rump P., Doorenbos J., Van Meurs K., Griffioen G.M., Dijkstra J. (2014). "Technical note: evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity". *Journal of Dairy Science* 97, pp. 2974-2979.

Borchers M., Chang Y., Tsai I., Wadsworth B., Bewley J. (2016). "A validation of technologies monitoring dairy cow feeding, ruminating, and lying behaviors". *Journal of Dairy Science* 99, 7458-7466.

Brunberg, E. I., Bøe, K. E., & Sørheim, K. M. (2015). "Testing a new virtual fencing system on sheep". *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A—Animal Science*, 65(3-4), 168-175.

Delagarde R., Lamberton P., (2015). "Daily grazing time of dairy cows is recorded accurately using the Lifecorder Plus device". *Applied Animal Behaviour Science* 165, 25-32.

Delaby L., Duboc G., Cloet E., Martinot Y., (2015). "Pastur'Plan: a dynamic tool to support grazing management decision making in a rotational grazing system". *Grassland in Europe 20*, 200-202.

Faverdin P., Brossard L., Hostiou N., (2020a). "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 France Agricole, Paris, France, 157-175.

Faverdin P., Allain C., Guatteo R., Hostiou N., Veissier I. (2020b). *Elevage de précision : De nouvelles informations utiles pour la décision ?* Renc. Rech. Rum., 25.

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". *J. Dairy. Sci.* 98, 4465-4476.

Frédout M., (2019). "Étude des effets d'un nouveau système de protection des troupeaux : le collier anti-loup ». *Mémoire de fin d'études*. 32p.

French P., O'Brien B., Shalloo L., (2015). "Development and adoption of new technologies to increase the efficiency and sustainability of pasture-based systems". *Animal Production Science* 55, 931-935.

Fouilloux M.N., Demarquet F., Grisot P.G., (2020). « L'outil GPS pour mieux gérer les parcours et connaître l'activité des chiens de protection ». *Renc. Rech. Rum.*, 25.

Grisot P.G., Philibert A., Drouin E., Demarquet F., Flegar M., Aupiais A., (2018). « Evaluation de l'accéléromètre comme outil de caractérisation du comportement des ovins en milieu pastoral ». *Renc. Rech. Rum.*, 24, 279.

Guinamard C., Weyer M., Grisot P.G., Jouven M., (2018). "Un outil d'aide au gardiennage associant un GPS et un accéléromètre, qu'en disent les éleveurs ? ». *Renc. Rech. Rum.*, 24, 240.

Hart L., Huguenin-Elie O., Latsch R., Simmler M., Dubois S., & Umstatter C., (2020). "Comparison of Spectral Reflectance-Based Smart Farming Tools and a Conventional Approach to Determine Herbage Mass and Grass Quality on Farm". *Remote Sensing*, 12(19), 3256.

Joshi V. R., Thorp K. R., Coulter J. A., Johnson G. A., Porter P. M., Strock J. S., Garcia Y Garcia A., (2019). « Improving site-specific maize yield estimation by integrating satellite multispectral data into a crop model". *Agronomy*, 9(11), 719.

Laguette, S., Vidal, A., Vossen, P., (1997). « Télé-détection et estimation des rendements en blé en Europe ». Archives ouvertes.

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". *Comput. Electron. Agric.*, 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.

Lomax S., Colusso P., Gargulio J., & Clark C., (2019). "Determining learning and behavioural response to a virtual fence for dairy cows". *Animals*, 9, 429.

Manning J., Cronin G., González L., Hall E., Merchant A., & Ingram L., (2017). "The behavioural responses of beef cattle (*Bos taurus*) to declining pasture

- availability and the use of GNSS technology to determine grazing preference'. *Agriculture*, 7(5), 45.
- Mcsweeney D., O'Brien B., Coughlan N. E., Ferard A., Ivanov S., Halton P., & Umstatter C., (2020). "Virtual fencing without visual cues: Design, difficulties of implementation, and associated dairy cow behaviour". *Computers and Electronics in Agriculture*, 176, 105613.
- Meuret M., Tichit M., Hostiou N., (2013). "Élevage et pâturage «de précision»: l'animal sous surveillance électronique ». *Courrier de l'environnement de l'INRA n°63*, août 2013. 13-24.
- Moeckel T., Safari H., Reddersen B., Fricke T., Wachendorf M., (2017). "Fusion of ultrasonic and spectral sensor data for improving the estimation of biomass in grasslands with heterogeneous sward structure". *Remote Sensing* 9, 1–14.
- Pruhl C., (2019). « Pâturage, jusqu'où nous poussera le consommateur ? » *Réussir Lait*. Disponible sur <https://www.reussir.fr/lait/paturage-jusquou-nous-poussera-le-consommateur>
- Riaboff L., (2020). « Mise en place d'une méthodologie pour l'analyse de données GPS et accéléromètres afin d'améliorer la gestion du pâturage en élevage de bovins laitiers ». *Doctoral dissertation*, Université du Maine.
- Rouyer B., (2020). « Attentes sociétales et démarches de segmentation dans la filière laitière » *CNIEL (document interne)*. 6p.
- Schultz R.N., Jonas K.W., Skuldt L.H., Wydeven A.P., (2005). « Experimental use of dog-training shock collars to deter depredation by gray wolves" *Wildl. Soc. Bull.*, 33 (2005), pp. 142-148
- Salvatori V., Mertens A., (2012). "Damage prevention methods in Europe: experiences from LIFE nature projects Hystrix", 23 (2012), pp. 73-79
- 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.
- Sibanda M., Mutanga O., Rouget M., (2016). « Comparing the spectral settings of the new generation broad and narrow band sensors in estimating biomass of native grasses grown under different management practices". *GIScience and Remote Sensing* 53, 614–633.
- Steenveeld W., Hogeveen H., (2015). "Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management". *J. Dairy. Sci.*, 98, 709-717.
- Umstatter C., (2011). "The evolution of virtual fences: a review". *Computers and Electronics in Agriculture*, 75, 10-22.
- Umstatter C., Morgan-Davies J., Waterhouse C., (2015). "Cattle responses to a type of virtual fence". *Rangeland Ecology & Management*, 68(1), 100-107.
- Vranken E., Berckmans D., (2017). "Precision livestock farming for pigs". *Anim. Front.*, 7, 32-37.
- 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 Prod. Anim.*, 32, 281-290.
- Zehner N., Umstatter C., Niederhauser J.J., Schick M., (2017). "System specification and validation of a noseband pressure sensor for measurement of ruminating and eating behavior in stable-fed cows". *Computers and Electronics in Agriculture* 136, 31–41.