

CLOChÈTE - Caractérisation du Comportement et Localisation des Ovins et des Caprins grâce aux Technologies Embarquées : aide à la conduite des troupeaux et à la valorisation des surfaces pastorales

Grisot P.-G.¹, Llarra A.², Philibert A.³, Guinamard C.¹, Menassol J.-B.⁴, Flégar M.⁵, Jouven M.⁴

¹ Institut de l'Élevage, F-04100 Manosque

² Univ. Bordeaux, ESTIA Institute of Technology, F-64210 Bidart

³ Institut de l'Élevage, F-74012 Paris

⁴ L'Institut Agro, Montpellier SupAgro, F-34000 Montpellier

⁵ Aguila Technologies, F-64210 Bidart

Correspondance : Pierre-guillaume.grisot@idele.fr

Résumé

Le projet CLOChÈTE avait pour objectif de définir, avec les potentiels utilisateurs, éleveurs et bergers, les cahiers des charges fonctionnel et technique d'un outil d'aide au pilotage des troupeaux de petits ruminants sur surfaces pastorales à l'aide de capteurs embarqués, GPS (Global Positioning System) et accéléromètre. Tout d'abord, les besoins auxquels les GPS et les accéléromètres peuvent répondre en localisant et caractérisant le comportement de leurs animaux, ont été définis avec les utilisateurs. Puis des algorithmes de prévision des comportements des ovins et caprins sur prairies et surfaces pastorales ont été développés. Pour les ovins, la fréquence de paramétrage de l'outil a été déterminée pour optimiser la précision et sobriété numérique et énergétique puis les animaux d'intérêt à équiper identifiés dans un troupeau pour représenter ses déplacements. Enfin, ces résultats ont été confrontés aux utilisateurs finaux, éleveurs et bergers, pour la rédaction des cahiers des charges fonctionnel et technique du futur outil.

Mots-clés : GPS, accéléromètre, comportement animal, réseau social, pastoralisme, ovins, caprins, besoin des éleveurs

Abstract: CLOChète - characterizing and locating goats and sheep thanks to on-board technologies: support to flock management and use of rangelands

The objective of the CLOChÈTE project was to define, with future users, farmers and shepherds, the functional and technical specifications of a tool to support management of small ruminant flocks on rangeland areas using on-board sensors, GPS and accelerometers. Firstly, we defined, with the users, the needs that GPS and accelerometers can meet by locating and characterizing the behavior of their animals. We developed algorithms for predicting the behavior of sheep and goats on grasslands and rangelands. For sheep, we determined the frequency of parameterization of the tool to optimize precision and numerical and energy sobriety, then we identified the animals of interest to equip in a flock to represent its movements. Finally, we compared these results with the final users, farmers and shepherds, in order to write the functional and technical specifications of the future tool.

Keywords: GPS, accelerometer, animal behavior, social network, pastoralism, sheep, goats, farmers' needs

Introduction

Dans les zones pastorales, le maintien des activités d'élevage extensif est vital, car elles remplissent d'importantes fonctions environnementales, économiques et sociales (Nozière-Petit *et al.*, 2021). La valorisation des surfaces pastorales par le pâturage joue un rôle agro-écologique essentiel via – entre autres - l'amélioration de l'autonomie alimentaire des troupeaux, la fourniture de produits de qualité et l'entretien de la qualité environnementale des milieux (maintien de la biodiversité, lutte contre les incendies, etc.). Comme pour les autres formes d'élevage, et peut-être plus compte tenu de la pénibilité que peut représenter le gardiennage des troupeaux, l'amélioration de la charge et des conditions de travail sont des enjeux majeurs pour assurer la durabilité sociale des exploitations pastorales (Fagon et Hostiou, 2015). Ces enjeux « travail » constituent les principales motivations pour l'adoption de nouvelles technologies par les éleveurs (Hostiou *et al.*, 2014).

L'arrivée de nouvelles technologies dans le secteur de l'élevage est une opportunité à prendre en compte pour repenser les métiers d'éleveurs et de bergers, et leur donner un nouvel attrait. Ainsi, l'utilisation de capteurs embarqués au sein de troupeaux de petits ruminants en zone pastorale peut présenter un intérêt pour la localisation des animaux et la caractérisation de leurs activités a posteriori et/ou en temps réel. Couplées à des outils d'aide à la décision, ces informations peuvent être utilisées pour la création de systèmes d'information ou d'alertes, permettant la localisation des animaux suite à une perturbation (attaque de prédateurs, conditions climatiques, vols), pour la caractérisation de l'utilisation et de la gestion du couvert végétal de la zone pâturée (utile pour la gestion du pâturage mais aussi les mesures agro-environnementales ou encore les cahiers des charges de démarches qualités), ou encore pour la limitation des risques épizootiques (liés en particulier aux mélanges de troupeaux) (Bocquier *et al.*, 2014).

Dans ce contexte, le projet CLOChÈTE avait pour objectif de définir, avec les potentiels utilisateurs, les cahiers de charges fonctionnel et technique d'un outil d'aide au pilotage des troupeaux de petits ruminants sur surfaces pastorales à l'aide de capteurs embarqués : GPS et accéléromètre. Pour cela, le projet s'est déroulé en 3 grandes étapes :

- Définition des besoins des potentiels utilisateurs et des technologies permettant d'y répondre
- Évaluation des technologies et développement des modèles de traitement des données
- Définition des spécifications fonctionnelles et techniques d'un outil d'aide à la conduite des troupeaux et à la valorisation des surfaces pastorales

La réalisation du projet a reposé sur un partenariat entre l'Institut de l'Élevage, l'Institut Agro Montpellier SupAgro, la ferme expérimentale de Carmejane, le Cerpam, la Chambre régionale d'agriculture d'Occitanie, la Chambre d'agriculture des Pyrénées Atlantiques, l'ESTIA et l'entreprise Aquila Technologies.

1. Définition des besoins des potentiels utilisateurs et des technologies permettant d'y répondre

1.1 Définition des besoins et attentes des éleveurs et bergers sur l'utilisation de technologies embarquées

Le développement d'outils innovants en élevage est un processus dont l'enjeu principal repose sur l'acceptabilité par les utilisateurs finaux. Cette acceptabilité de nouveaux outils est fortement facilitée par l'intégration des utilisateurs à leur élaboration et repose sur le triptyque efficacité / coût / praticité des outils (Barcenilla et Bastien, 2009). Elle suppose de placer l'éleveur au centre du processus de conception considérant qu'il représente une source indispensable de connaissances sur (i) le contexte d'utilisation, (ii) les tâches à réaliser et (iii) la manière dont il va interagir avec le système.

Le projet s'est appuyé sur un dispositif participatif permettant de créer une relation privilégiée entre les différents membres de l'équipe de projet, apte à prendre en compte les avis des utilisateurs finaux et à

faire des propositions opératoires alternatives, en lien avec les éleveurs (Béguin et Cerf, 2004). Cette collaboration assurait aux différents participants du projet (concepteurs, personnel des stations expérimentales, conseillers et éleveurs parties prenantes) un apprentissage mutuel pour une meilleure compréhension des contraintes et des enjeux de chacun vis-à-vis du développement d'un tel outil. Afin de définir les besoins des potentiels utilisateurs, dans trois territoires pastoraux contrastés, des éleveurs ont été sollicités pour recueillir leurs attentes et leurs besoins sur la mise à disposition d'outils d'aide à la conduite des troupeaux sur surfaces pastorales en préalable à la définition des spécifications fonctionnelles et techniques d'un outil d'aide à l'utilisation des surfaces pastorales.

1.1.1 Méthodes de travail utilisées

Le travail s'est basé sur une série d'enquêtes semi directives en élevages, réalisées dans les trois zones d'études concernées par le projet : élevages ovins viande dans les Alpes de Haute Provence et Var, élevages caprins dans l'Aude et élevages ovins lait dans les Pyrénées Atlantiques. Au total, 24 élevages, recrutés et pré-informés de la démarche par les partenaires terrain (CA 64, CERPAM et CRA Occitanie) ont été enquêtés. Ils ont été amenés à dresser un état des lieux de leurs pratiques d'utilisation des surfaces pastorales au travers de la description de leur activité actuelle de gestion des animaux au pâturage, lister les avantages et les difficultés auxquelles ils sont confrontés, formuler les solutions qu'ils envisageaient pour améliorer les situations critiques. Dans la seconde partie de l'enquête, ces éleveurs et bergers ont été interrogés sur leur connaissance « a priori » des outils proposés dans le projet : le GPS et l'accéléromètre. Après une présentation des deux capteurs, ils ont été amenés à discuter des freins et des motivations à l'adoption de tels capteurs dans leur exploitation.

Les résultats de ces entretiens ont été par la suite été validés par les éleveurs lors d'une première série de groupes de travail. Ces groupes étaient animés de manière à accorder le plus de temps possible à l'expression des éleveurs et recueillir leur avis et leur ressenti.

1.1.2 Résultats obtenus

Les enquêtes et la première série de groupes de travail ont permis d'identifier que des capteurs embarqués sur les animaux par le biais de colliers associant GPS et accéléromètre pouvaient rendre divers services à l'élevage pastoral et répondre à des besoins concrets. Les contextes régionaux, caractérisés en particulier par les modes de conduite des troupeaux (en particulier présence ou non de gardiennage) induisent cependant des intérêts et des attentes différents. Les principaux besoins identifiés sont présentés par la suite.

1.1.2.1 Un GPS pour ...

- **Localiser les animaux...**

Que ce soit dans des parcs de grande taille ou en lâcher dirigé, retrouver les animaux en absence de visibilité, forte pluie, brouillard, relief accidenté, zones embroussaillées ou boisées, peut s'avérer difficile. De même en gardiennage, la conduite du troupeau est bien plus difficile dans ces cas de figure et mobilise des savoirs spécifiques tels que la garde à l'oreille grâce aux clochettes. L'ensemble des éleveurs rencontrés y a été confronté sur tout ou partie du troupeau. Ainsi, pouvoir localiser à distance les animaux équipés grâce au GPS correspond à un besoin majeur des éleveurs et éviterait notamment de la perte de temps, du stress et des risques pour les animaux.

- **Alerter en cas de franchissement de limites...**

Champs cultivés, vignes, habitations, routes, zones propices aux mélanges de troupeaux ou dangereuses (tiques, falaises, prédateurs) ... sont autant de lieux où les éleveurs ne souhaitent pas voir leurs animaux. Délimiter des zones à risque pour pouvoir intervenir et déplacer les animaux est également apparu intéressant aux éleveurs. Pouvoir structurer l'espace en créant des limites et pouvoir être alerté si les animaux les franchissent est la seconde fonction qui pourrait répondre à un besoin de la plupart des éleveurs de chacune des zones.

- **Mieux gérer le pâturage...**

Les positions envoyées par le GPS à intervalles réguliers peuvent permettre de visualiser sur une carte le circuit de pâturage des animaux. La mise en mémoire de tous les circuits journaliers contribuera ainsi à repérer l'ensemble des zones où les animaux ont été présents. Pour les éleveurs qui ne gardent pas, cette fonction constitue un vrai plus car elle leur permet de pouvoir mieux gérer leurs parcours. Pour les éleveurs qui gardent, ce tracé présente toutefois moins d'intérêt ; étant avec leurs animaux, ils connaissent leurs circuits. Un enregistrement automatique de la position des animaux au fil des jours pourrait être utilisé pour remplir plus facilement le carnet de pâturage.

1.1.2.2 L'accéléromètre pour ...

- **Connaitre les activités des animaux**

Activité motrice, pâturage, repos ... ces comportements peuvent être discriminés par l'accéléromètre en utilisant des algorithmes de traitements de l'information. En complément du tracé GPS, les données de l'accéléromètre permettront d'identifier les zones où les animaux ont mangé, se sont reposés, etc. L'intérêt exprimé pour cette fonction d'aide à la gestion pastorale est peu exprimé par les éleveurs, en particulier ceux qui pratiquent la garde.

- **Alerter en cas de mouvements anormaux.**

Suite à une attaque du troupeau ou à un autre événement perturbateur, un comportement de fuite ou "anormal" pourrait être détecté par l'accéléromètre et générer une alerte localisée grâce au GPS. L'intérêt des éleveurs pour cette fonction est assez mitigé et dépend du contexte. En zone de forte pression de prédation, les éleveurs craignent de recevoir de nombreuses alertes, génératrices de stress et de ne pas pouvoir intervenir à temps de toute façon.

1.2 Quels capteurs utiliser pour caractériser le comportement ?

À partir des besoins exprimés par les éleveurs et bergers, et de l'expertise mobilisée sur le fonctionnement des systèmes d'élevages concernés, différentes solutions techniques ont été inventoriées et évaluées afin d'identifier leurs avantages et inconvénients par rapport aux différentes situations d'utilisation formulées par les usagers potentiels.

1.2.1 Méthode de travail utilisée

La littérature scientifique montre que les capteurs inertiels le plus couramment utilisés pour la récolte des données nécessaires à l'identification des comportements d'animaux d'élevage ruminants sont les accéléromètres (Fogarty *et al.*, 2018). Les centrales inertielles (IMUs), qui embarquent généralement trois types de capteurs inertiels (accéléromètre, gyromètre et magnétomètre), sont en revanche très peu employées. Les IMUs pourraient permettre d'identifier plus précisément les comportements mais, en même temps, le nombre élevé de données à traiter risque de complexifier les algorithmes qui vont les analyser pour identifier les comportements associés. L'objectif était donc de déterminer s'il y a un avantage palpable en combinant les données issues des différents capteurs inertiels présents dans une IMU au lieu d'exploiter seulement les informations fournies par un accéléromètre.

Dans cette optique, des tests ont été conduits tout d'abord sur l'identification de trois mouvements humains simples : « debout », « marcher » et « courir ». Pour ce faire, en plus d'utiliser les trois capteurs inertiels embarqués dans l'IMU employée (NGIMU, x-io Technologies Ltd.), accéléromètre (A), gyromètre (G) et magnétomètre (M), les angles d'Euler (E) ont également été calculés. Les données obtenues ont été découpées en fenêtres de temps, puis les valeurs caractéristiques permettant de différencier les trois mouvements ont été extraites. Ensuite, 15 types de réseaux de neurones artificiels (ANNs), qui correspondent avec chaque capteur inertiel ou combinaison possible de capteurs inertiels de l'IMU, ont été implémentés. La Figure 1 schématise les différentes étapes de la méthodologie appliquée.

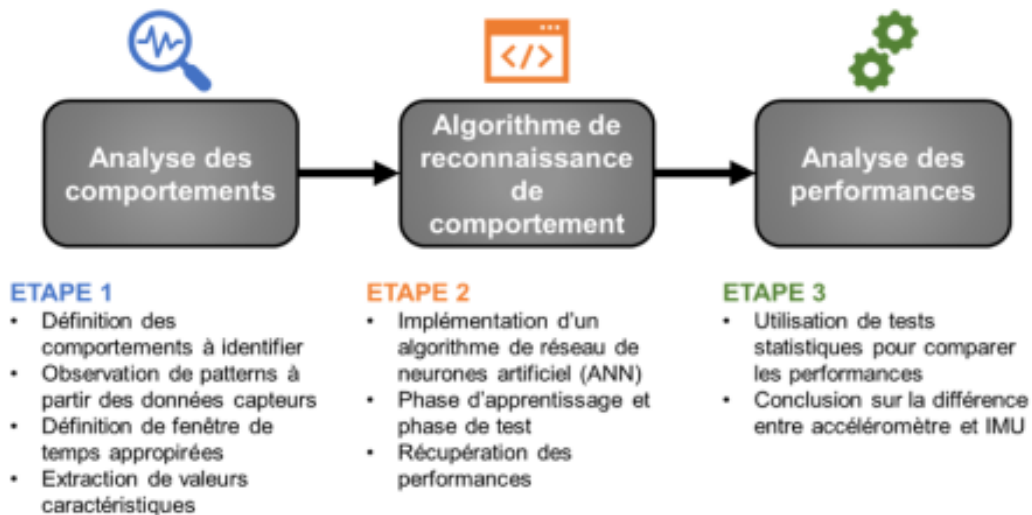


Figure 1 : Méthodologie générale appliquée.

1.2.2 Résultats obtenus

Les performances de chaque ANN ont été évaluées en termes de précision, exactitude, rappel et score F1. Concernant la précision moyenne (identification des 3 comportements sous étude), le Tableau 1 présente les résultats obtenus sur 20 essais. La combinaison « accéléromètre et gyromètre (AG) » offre les meilleurs résultats (0,987), suivie par l'ensemble « accéléromètre et angles d'Euler (AE) » (0,986). La combinaison « accéléromètre, gyromètre et Euler (AGE) » donne la 3ème meilleure précision (0,986), et la 4ème en est obtenue avec la combinaison de tous les capteurs (AGME) (0,985). Enfin, l'accéléromètre (A) offre la 5ème meilleure précision (0,985), passant de cette manière devant toutes les autres combinaisons de capteurs inertiels restantes.

Tableau 1 : Précision moyenne pour différentes combinaisons de capteurs inertiels.

Configuration	A	G	M	E		
Précision moyenne	0,9849	0,9805	0,9517	0,9762		
Configuration	AG	AM	AE	GM	GE	ME
Précision moyenne	0,9869	0,9824	0,9863	0,9769	0,9775	0,9714
Configuration	AGM	AME	GME	AGE		
Précision moyenne	0,9822	0,9848	0,9720	0,9858		
Configuration	AGME					
Précision moyenne	0,9854					

Le Tableau 2 indique l'existence ou non d'une différence significative de précision par rapport à la reconnaissance des trois comportements sous étude. Majoritairement, il n'y a pas de différence significative entre les précisions offertes par chaque capteur (ou combinaison de capteurs) et l'accéléromètre pour l'identification des comportements « debout », « marcher » et « courir ».

Tableau 2 : Différence significative de précision entre l'accéléromètre et les autres capteurs et combinaisons de capteurs.

	A / G	A / M	A / E	A / AG	A / AM	A / AE	A / GM	A / GE	A / ME	A / AGM	A / AGE	A / GME	A / AME	A / AGME
Debout	N	O	N	O	N	N	O	O	N	O	O	O	N	N
Marche	O	O	O	N	N	N	O	O	O	N	N	O	N	N
Course	N	O	O	N	N	N	O	O	O	N	N	O	N	N
Moyenne	N	O	N	N	N	N	N	N	O	N	N	O	N	N

N : Non, O : Oui

En conclusion, pour la reconnaissance de certains mouvements humains élémentaires, une technologie basée sur l'IMU n'apporte pas de résultats significativement différents de ceux obtenus avec un accéléromètre. Pour les comportements « debout », « marcher » ou « courir », des résultats similaires pourraient être obtenus avec les petits ruminants, montrant l'intérêt de l'accéléromètre dans ces cas particuliers. Ainsi, les centrales inertielles seraient plutôt utiles pour l'identification de comportements beaucoup plus complexes, comme manger ou ruminer, combinés avec d'autres mouvements. Ces hypothèses restent à être validées par les travaux menés dans le cadre de l'étude du comportement des ovins et caprins.

2. Evaluation des technologies et modélisation sur sites expérimentaux

2.1 L'accéléromètre pour caractériser le comportement des animaux

L'objectif était d'évaluer et de calibrer les accéléromètres comme outil de mesure du comportement (position et activités) des animaux et de développer des algorithmes de traitements des données permettant de prédire le comportement.

2.1.1 Méthodes de travail utilisées

Des observations directes du comportement d'animaux au pâturage ont été couplées à l'acquisition de données par des accéléromètres embarqués, pour l'ensemble des comportements cibles. Les comportements cibles étaient les suivants : « couché dort », « couché immobile », « couché rumine », « debout immobile », « debout rumine », « marche », « court », « mange végétation basse », « mange végétation haute ». Les animaux observés étaient équipés de balises e-Pasto (Cf. Figure2) paramétrées par Aguila technologie pour pouvoir mesurer et stocker l'accélération statique et dynamique, selon trois axes et en fonction du temps. La fréquence d'enregistrement choisie pour les manipulations était de 25 Hz, permettant ainsi d'obtenir une précision suffisante tout en limitant la taille du fichier de données.

En juin 2020, des brebis sur la ferme expérimentale de Carmejane (Région Sud) ont été suivies alors qu'elles pâturaient des prairies (3 jours) puis des parcours (3 jours). En juillet de la même année, des chèvres ont été suivies dans l'élevage de M. Bibbeau (Occitanie) alors qu'elles pâturaient des prairies et parcours (3 jours). Trois brebis ou 4 chèvres (différentes chaque jour) étaient équipées simultanément et chaque individu était suivi par un observateur qui enregistrerait en continu son comportement.

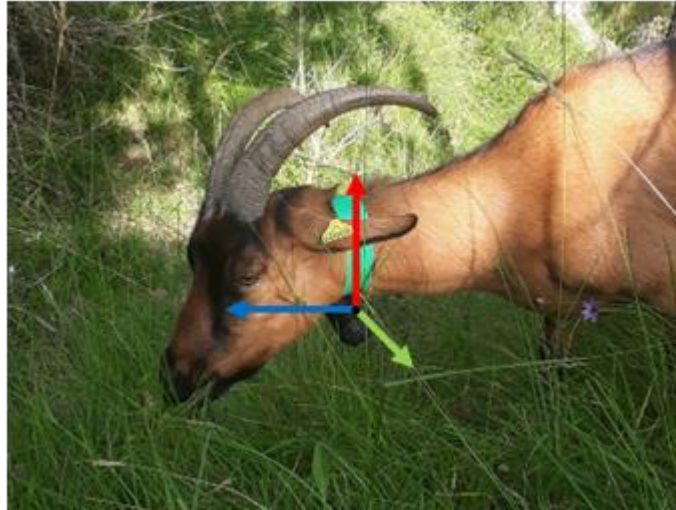


Figure 2 : Représentation des axes du collier e-Pasto (photographie prise lors des observations en caprins)

Les données acquises par les accéléromètres ont été traitées avec un algorithme basé sur la méthode Random Forest (Breiman, 2001). Ensuite, l'algorithme de Viterbi (Forney, 1973, Riaboff *et al.*, 2020) a été appliqué pour lisser les prévisions et corriger une partie des incohérences. Pour les essais sur ovins, pour lesquels le projet disposait d'une large gamme de comportements, la spécificité du modèle et l'impact de la signature animale ont été testés dans le but de vérifier que le modèle pouvait être utilisé sur des animaux n'ayant pas servi à son calibrage.

2.1.2 Résultats obtenus

Le taux global de bonnes prévisions en ovins est de 0,81 (Tableau 3) si les 9 comportements cibles sont considérés. Les comportements les mieux discriminés sont « *mange végétation basse* » (0,95) et « *couché dort* » (0,90). Les comportements les moins bien discriminés sont « *mange végétation haute* » (0,42) et « *court* » (0,03). En regroupant les comportements selon les besoins exprimés par les éleveurs lors des groupes de travail et en y ajoutant la rumination, les taux de bonnes prévisions augmentent, passant par exemple à 0,87 dans l'ensemble pour quatre comportements (« immobile », « rumine », « mange » et « se déplace »).

Pour les caprins, le taux global de bonnes prévisions (Tableau 3) est plus faible que celui des ovins (0,57). Toutefois, en regroupant les comportements en cinq catégories correspondant aux besoins exprimés par les éleveurs, « immobile », « rumine », « mange », « marche » et « court », en plus de la rumination, le taux global de bonnes prévisions s'élève à 0,73. Les comportements les mieux prévus sont « *immobile* » (0,84) et « *mange* » (0,82). Les comportements les moins bien prévus sont « *court* » (0,43), et « *marche* » (0,46).

Après l'utilisation de l'algorithme de Viterbi, le taux global de bonnes prévisions augmente légèrement, passant à 0,86 (pour 9 comportements) voire à 0,91 (pour 4 comportements) en ovins et à 0,72 (pour 9 comportements) voire à 0,84 (pour les 5 comportements regroupés) en caprins.

Pour le test de spécificité du modèle, le modèle développé sans l'algorithme de Viterbi a été utilisé. En ovins, les taux de prévision des comportements regroupés en 4 classes sont encourageants avec, en moyenne, 0,74 comportements bien prévus mais une variabilité forte entre individus (0,44 à 0,87 de bonnes prévisions dans l'ensemble).

Tableau 3 : Taux de bonnes prévisions des comportements ovins et caprins, par les algorithmes développés à partir de la méthode Random Forest

Comportement	Taux de bonnes prévisions Ovins	Taux de bonnes prévisions Caprins
Comportements détaillés	0,81	0,57
Couché dort	0,90	0,49
Couché immobile	0,51	0,78
Couché rumine	0,78	0,49
Debout immobile	0,63	0,53
Debout rumine	0,64	0,26
Mange végétation basse	0,95	0,60
Mange végétation haute	0,42	0,56
Marche	0,61	0,46
Court	0,03	0,43
Comportements regroupés	0,87	0,73
Immobile	0,84	0,84
Mange	0,96	0,82
Rumine	0,71	0,48
Marche	-	0,46
Court	-	0,43
Se déplace	0,60	-

Les travaux présentés précédemment ont donc permis de construire des modèles de prévision en utilisant la méthode de Random Forest et l'algorithme de Viterbi. Ces modèles permettent de discriminer avec une bonne fiabilité 4 comportements pour les ovins (taux de bonnes prévisions : 0,91) et 5 comportements pour les caprins (taux de bonnes prévisions : 0,84) lorsqu'ils sont réutilisés sur les animaux qui ont été suivis pour construire les modèles. En utilisant le modèle sur d'autres individus ovins, les taux de bonnes prédictions diminuent tout en restant acceptables, mais avec des variations fortes suivant les individus.

2.2 Valorisation des données GPS : quels paramétrages pour les éleveurs ?

Il s'agissait ici d'évaluer le paramétrage optimum des enregistrements pour les petits ruminants, avant d'envisager la possibilité de valoriser l'ensemble des données issues des différentes technologies de capteurs croisant les enregistrements pour un traitement combiné des données de localisation et comportement.

2.2.1 Méthode de travail utilisée

Sur la ferme expérimentale de Carmejane, une vingtaine de brebis du troupeau qui utilisait alors des parcours boisés a été équipé de colliers GPS. Les colliers enregistraient un point GPS toutes les 30 secondes. Les positions GPS ont été traitées sur une journée-type et listées par ordre chronologique. Puis des décimations ont été réalisées pour évaluer la quantité d'information perdue en considérant un échantillonnage complet pour 1 mesure toutes les 30 secondes, et en réduisant la fréquence par la prise

travaux ont été conduits aux domaines expérimentaux du Merle (Région Sud, 2018 – 55 animaux impliqués) et de La Fage (Région Occitanie, 2019 – 20 animaux impliqués).

Afin de satisfaire au premier point, un outil numérique a été mis au point, capable d'enregistrer les proximités interindividuelles pour chaque individu équipé, conciliant une longue autonomie (de l'ordre du mois) avec une fréquence d'acquisition des données satisfaisantes (env. 5 minutes). Concernant le deuxième point, le dispositif électronique d'acquisition du réseau social des proximités interindividuelles a été complété par un protocole d'observation du comportement des animaux en conditions de pâturage libre et lors de tests comportementaux. Ces tests comportementaux visaient à déterminer la tendance individuelle à l'initiation et au leadership des déplacements mais également la tendance individuelle à explorer de nouvelles zones de pâturage ainsi qu'à disposer d'un accès privilégié à une ressource alimentaire présentant une capacité d'accès et des quantités limitantes. L'intérêt de répliquer ces travaux entre les deux domaines expérimentaux était de vérifier la puissance de nos conclusions en comparant ces résultats entre deux situations d'élevages différentes (race, conduite d'élevage, ...).

2.3.2 Résultats obtenus

Sur la base des observations comportementales, des individus représentatifs des mouvements du troupeau ont pu être identifiés. Ainsi les individus leaders et initiateurs des mouvements de déplacements sont les individus les plus centraux du réseau social des proximités interindividuelles.

D'un point de vue pratique, cela signifie que l'observation des individus en tête des déplacements du troupeau et/ou initiant le déplacement du troupeau à la suite d'une période d'inactivité (chôme par exemple), permet d'identifier les individus à équiper via l'outil de suivi des localisations et de détermination du comportement développé au sein du projet CLOChèTE. Ces résultats font l'objet d'une vidéo¹ de vulgarisation en motion design.

3. Un outil final avec 3 paramétrages de base pour répondre aux besoins en restant simple d'utilisation

Parallèlement à l'avancée des travaux sur l'évaluation de l'accéléromètre comme outil de caractérisation du comportement, les groupes constitués lors de la définition des besoins ont de nouveau été mobilisés sur la base des potentialités des capteurs et des perspectives de valorisations de données qui ressortent des essais. L'objectif était de valider les orientations techniques retenues et de vérifier qu'elles étaient bien en phase avec les attentes et les besoins des éleveurs.

3.1 Caractérisation précise des besoins techniques des éleveurs

3.1.1 Méthodes de travail utilisées

Deux séries de groupes de travail avec les éleveurs des trois zones d'étude ont été organisées à l'automne 2018 puis en hiver 2019-2020 pour valider les travaux réalisés autour des technologies. Les groupes de travail menés en 2018 avaient pour objectif de présenter aux éleveurs les résultats de l'évaluation des accéléromètres comme outil de caractérisation du comportement, de vérifier leurs besoins en terme de finesse de comportement à différencier et enfin de leur présenter des applications pratiques et des sorties visuelles de données élaborées par l'outil. La méthodologie appliquée lors de la troisième série de groupes de travail (2019-2020) était basée sur les « Story Boards », afin d'obtenir le maximum d'informations de la part des éleveurs et de retours critiques sur les trois modes proposés, permettant par la suite la réalisation du Cahier des Charges Technique.

¹ <https://vimeo.com/561497620>

3.1.2 Résultats obtenus

3.1.2.1 La priorisation des informations attendues avec l'accéléromètre

Lors des tests, dix comportements ont été retenus avec pour objectif de pouvoir les discriminer avec l'accéléromètre. Pour les éleveurs, certains comportements peuvent être regroupés. Les niveaux de finesse concernant la position au repos ou le type de végétation consommée ne sont pas nécessaires. Les éleveurs ovins retiennent les comportements « immobile », « mange » et « se déplace » alors que les éleveurs caprins retiennent « immobile », « mange », « marche » et « court ». A noter que, pour les techniciens pastoraux, la distinction des comportements « Pâture » (herbe) et « Mange haut + Mange broussailles » serait intéressante pour mieux appréhender la part des parcours dans l'alimentation des animaux ainsi que la rumination, pour mieux connaître le comportement journalier du troupeau.

Concernant les alertes « course liée à une attaque », les facteurs déclenchants de la course sont tellement variés qu'il paraît difficile pour les éleveurs de baser une alerte « loup » sur ce seul aspect (risque de fausses alertes trop nombreuses). Il faudrait pouvoir corrélérer le déclenchement de la course avec d'autres indicateurs. En conclusion, les éleveurs estiment le risque de manque de spécificité est trop important et ne sont pas demandeurs de ce type d'alerte.

3.1.2.2 L'intérêt porté au traitement combiné des données accéléromètre et GPS

Des traitements de données de localisation et de comportement ont été présentés, représentant sur une même interface, ces deux informations. Ces représentations ont été jugées intéressantes par les éleveurs caprins comme aide à la gestion des zones pastorales. Les éleveurs ovins conduisant leurs troupeaux en gardiennage se sont montrés un peu moins séduits, estimant déjà connaître cette information.

3.1.2.3 L'outil et ses différents paramétrages

Pour la dernière série de groupes de travail, trois modes de fonctionnement de l'outil ont été présentés, impliquant des fréquences d'acquisitions d'information différentes et donc des autonomies du matériel et des niveaux de précisions différents :

- Scénario 1 - Mode « Localisation » : Transmission de la position de l'animal toutes les 4 heures
- Scénario 2 - Mode « Intermédiaire » : Transmission de la position de l'animal toutes les 30 minutes et transmission des données d'accéléromètre toutes les 30 minutes et caractérisation des comportements en fin de journée.
- Scénario 3 - Mode « Complet » : transmission de la position de l'animal toutes les 5 minutes, transmission des données d'accéléromètre toutes les 5 minutes et caractérisation des comportements en fin de journée, et alerte si sortie de limite.

Concernant les trois modes de fonctionnement présentés, leurs fonctionnalités ont été comprises ainsi que la logique de paramétrage entre information permises et autonomie souhaitée.

Dans les trois groupes, les acteurs présents voient assez peu d'utilité au mode « localisation », pour les éleveurs présents, un point toutes les 4 heures est une fréquence trop faible pour leurs pratiques. Concernant les fonctionnalités, l'alerte « sortie de limite », ou « approche de zone dangereuse », est importante pour les éleveurs présents. Concernant la connaissance du comportement des animaux, comme lors des précédents groupes de travail, c'est dans l'Aude qu'elle a semblé la plus intéressante, pour la gestion journalière des animaux (savoir s'ils ont ruminé et combien de temps avant de les rentrer pour la traite du soir pour adapter si nécessaire la conduite le lendemain) et pour la gestion pastorale (mieux savoir où mangent les animaux et où ils ne passent pas pour adapter si besoin la conduite afin d'améliorer la valorisation des surfaces pastorales).

Les trois séries de groupes de travail ont ainsi permis d'avoir un retour de la part des potentiels utilisateurs notamment en termes de fonctionnalités. Ces retours ont été pris en compte pour la rédaction des deux livrables du projet que sont le cahier des charges fonctionnel et le cahier des charges technique de l'outil.

3.2 Définition des spécifications fonctionnelles et techniques de l'outil

L'objectif était de déterminer précisément les spécifications fonctionnelles (besoins initiaux, fonctionnalités globales de l'outil, ...) et de définir les spécifications techniques (fréquence d'acquisition des capteurs, précision nécessaire, consommation énergétique du système embarqué, ...) d'un outil d'aide à la conduite du pâturage des petits ruminants en systèmes pastoraux, en s'appuyant notamment sur :

- L'analyse des résultats obtenus lors des phases d'expérimentation ;
- L'analyse des contraintes de conception liées à ce type d'outil ;
- La mise en relation de l'ensemble de ces résultats et analyses avec les besoins et avis des éleveurs

3.2.1 Méthode de travail utilisée

À partir des résultats issus des groupes de travail organisés avec les éleveurs en 2018, une méthodologie combinant différentes approches de la conception de systèmes a été appliquée pour l'identification des spécifications fonctionnelles de l'outil CLOChèTE (Plateaux *et al.*, 2010). La première étape a consisté à l'analyse du besoin exprimé par les éleveurs, pour passer ensuite à la définition des utilisations du système qui permettent de mettre en évidence les interactions de l'utilisateur avec le système à concevoir. Ces cas d'utilisation ont été décrits en employant les « Use Case Diagram » (UCD) du langage UML (Unified Modelling Language), accompagnés par des listes de scénarii décrivant les actions liées à chaque UCD. Les utilisations du système étant définies, il suffit par la suite de déterminer les fonctions que doit remplir l'outil afin de satisfaire le besoin. Dans ce contexte, la méthode de l'analyse fonctionnelle a été appliquée. Ainsi, en premier lieu, tous les éléments de l'environnement avec lesquels le système interagit ont été identifiés, pour les relier après par des fonctions de service (principales et de contrainte). Une fois les fonctions de service identifiées, leur caractérisation est nécessaire, et cela pour chaque phase de vie du système. À la fin de cette étape, une première version du cahier des charges fonctionnel (CdCF) a été rédigée.

Le cahier des charges technique (CdCT) de l'outil a été réalisé à partir du CdCF. Pour cela, les cas d'utilisation et les fonctions du système décrites dans ce dernier ont été présentés aux éleveurs lors des groupes de travail organisés en 2019-2020, sous la forme de « Story Boards » décrivant les trois modes de fonctionnement cités précédemment. Les « Story Boards » sont un outil qui fait partie des méthodes agiles, permettant de condenser sous forme graphique un nombre important d'informations indispensables à l'illustration des utilisations du système (Goevert *et al.*, 2019). L'application de cette procédure avait pour objectifs de faciliter la compréhension des cas d'utilisation du système par les éleveurs, et d'obtenir les informations techniques nécessaires à la caractérisation des fonctions présentées dans le CdCF pour aboutir enfin au CdCT.

3.2.2 Résultats obtenus

Le CdCF réunit les cas d'utilisation et l'ensemble de fonctions de l'outil d'aide à la conduite des troupeaux sur surfaces pastorales, tout en répondant aux besoins exprimés par les éleveurs. Pour sa part, le CdCT présente l'infrastructure complète du système CLOChèTE pour ses deux fonctionnalités principales (localisation des animaux et caractérisation de leur comportement), une description détaillée de l'architecture des différents éléments constituant et sous-systèmes principaux (mécatronique et informatique) et, enfin, les spécifications techniques détaillées de l'outil porté par les animaux, de l'application utilisateur et du serveur distant, en incluant toutes les fonctions principales et contraintes.

Les cahiers des charges fonctionnel et technique de l'outil sont disponibles sur le site internet de l'Idéle (<http://clochete.idele.fr>). Un article est également consultable : <https://idele.fr/clochete/publications/detail>.

Conclusion

Le projet CLOChÈTE avait pour objectif de définir les spécifications fonctionnelles et techniques d'un outil d'aide à la conduite des troupeaux sur surface pastorales grâce à des capteurs embarqués, GPS et accéléromètres. La consultation des utilisateurs finaux a confirmé le fort intérêt pour la localisation permise par le GPS ainsi qu'un potentiel intéressant suivant les éleveurs pour la caractérisation du comportement avec les accéléromètres.

Suite aux suivis expérimentaux réalisés sur prairies et sur parcours, pour les comportements « immobile », « rumine », « mange », et « se déplace » en ovin et « immobile », « rumine », « mange », « marche » et « court » en caprins, les taux de bonnes prévisions des algorithmes développés sont respectivement de 0,91 pour les ovins et de 0,84 pour les caprins. Les suivis GPS réalisés ont permis de définir 1 point toutes les 5 minutes comme fréquence optimum d'acquisition des données permettant de connaître l'utilisation du territoire par les animaux tout en économisant de l'énergie et des données. Enfin, l'indentification de la structure sociale du troupeau a permis de définir que les individus leaders et initiateurs des mouvements de déplacements sont les individus les plus centraux et donc les individus à équiper en priorité.

Enfin, la confrontation de ces résultats à l'avis des utilisateurs finaux ainsi que la présentation de différents paramétrages de l'outil a permis la rédaction du cahier des charges fonctionnelles et du cahier des charges techniques de ce futur outil.

Les taux de bonne prédiction des algorithmes développés sont très prometteurs mais s'appliquent pour les animaux ayant servi de support à l'étude. Il serait aujourd'hui intéressant de tester les algorithmes développés sur des animaux différents, de troupeaux différents, afin de valider leur utilisation à plus large échelle. Les résultats concernant la fréquence de paramétrage du matériel et la définition des animaux d'intérêt à équiper ont été définis pour l'espèce ovine et demanderaient des travaux complémentaires pour être confirmés ou adaptés pour l'espèce caprine.

Les cahiers des charges fonctionnels et techniques qui ont été rédigés sont aujourd'hui réutilisables par des fabricants, à minima pour les fonctionnalités liées au capteur GPS dans l'attente d'algorithmes de prévision du comportement validés pour une utilisation à large échelle.

Références bibliographiques

- Barcenilla J., Bastien J.M.C., 2009. L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ? *Le travail humain*. Vol. 72, p.311-331. DOI 10.3917/th.724.0311
- Béguin P., Cerf M., 2004. Formes et enjeux de l'analyse de l'activité pour la conception des systèmes de travail. *Activités, revue électronique*. Vol. 1, n°1.
- Bocquier F., Debus N., Lurette A., Maton C., Viudes G., Moulin C.H., Jouven M., 2014. Elevage de précision en systèmes d'élevage peu intensifiés. *INRA Prod Anim* 27 : 101-112
- Breiman L., 2001. Random Forests. *Machine Learning* 45, 5-32.
- Fagon J., Hostiou N., 2015. L'utilisation de nouvelles technologies en élevage : quels équilibres pour le travail des éleveurs ? 4ème Rencontres nationales travail en élevage – 5 et 6 novembre 2015.
- Fogarty E.S., Swain D.L., Cronin G., Trotter M., 2018. Autonomous on-animal sensors in sheep research: A systematic review. *Comput. Electron. Agric.* Vol. 150, p.245-256. DOI 10.1016/j.compag.2018.04.017
- Forney, G.D., 1973. The Viterbi algorithm. *Proc. IEEE* 61, 268–278.
- Goevert K., Brombeiss M., Lindemann U., 2019. Integration of mechatronic product development methods in an agile development area. *Research into Design for a Connected World, Smart Innovation, Systems and Technologies*, Vol 135. Springer. DOI 10.1007/978-981-13-5977-4_10

Hostiou N., Allain C., Chauvat S., Turlot A., Pineau C., Fagon J., 2014. L'élevage de précision : quelles conséquences pour le travail des éleveurs ? INRA Prod Anim 27 : 113-122

Nozières-Petit M.O., Launay F., Etienne L., Moulin C.H., 2021. Les grands traits de l'élevage pastoral aujourd'hui en France. Fourrages 245, 3-11

Plateaux R., Penas O., Choley J.Y., M'henni F., Rivière A., 2010. Integrated design methodology of a mechatronic system. Méc. Ind. Vol. 11, p.401-406. DOI 10.1051/meca/2010052

Riaboff L., Poggi S., Madouasse A., Couvreur S., Aubin S., Bédère N., Goumand E., Chauvin A., Plantier G., 2020. Development of a methodological framework for a robust prediction of the main behaviours of dairy cows using a combination of machine learning algorithms on accelerometer data. 169. 10.1016/j.compag.2019.105179.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)