

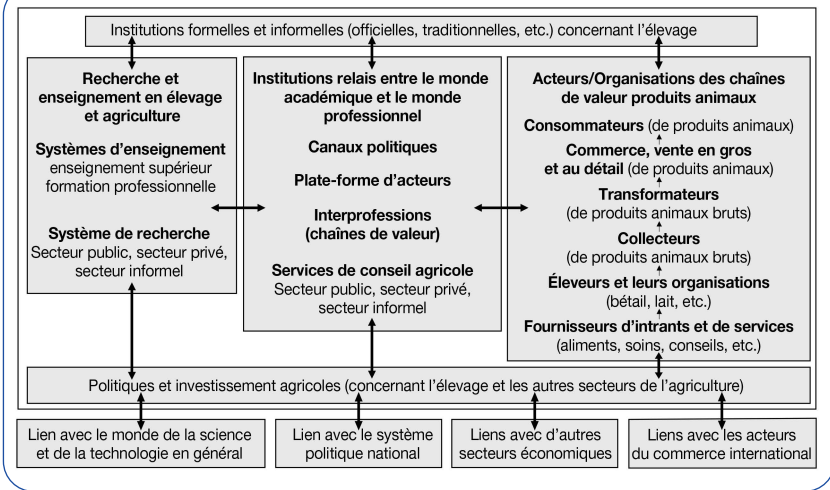
# Élevages au pâturage et développement durable des territoires méditerranéens et tropicaux

Connaissances récentes sur leurs atouts et faiblesses

Alexandre Ickowicz et Charles-Henri Moulin, coord.



**Figure 4.1. Schéma théorique d'un système d'innovation agricole à l'échelle d'un pays (adapté de Banque mondiale, 2006).**



## Des inventions pour mieux partager les connaissances et intégrer les processus naturels dans le pilotage des élevages au pâturage

**JEAN-BAPTISTE MÉNASSOL, DENIS BASTIANELLI, NATHALIE DEBUS, ELIEL GONZÁLEZ-GARCÍA, SAMANTHA BAZAN, THOMAS LE BOURGEOIS, VINCENT BLANFORT**

La transition agroécologique des systèmes d'élevage, en tournant le dos à la simplification ainsi qu'à l'artificialisation des pratiques et en s'appuyant sur des processus naturels plus complexes à gérer, nécessite d'intégrer un ensemble d'informations plus vaste que dans des modes de conduite conventionnels. Par conséquent, la transition agroécologique des systèmes d'élevage requiert la mise au point de dispositifs (appareillages, plates-formes, etc.) permettant aux praticiens d'être mieux informés pour appuyer la prise de décision. Cette partie présente des travaux sur des dispositifs inventés dans des laboratoires et des stations de recherche, qui n'avaient pas toutes *a priori* vocation à devenir une innovation. Ces travaux portent principalement sur les premières étapes du chemin partant de l'invention jusqu'à l'innovation, depuis la conception de prototypes et la définition de leur utilisation par les usagers finaux jusqu'à un produit fini parfois accompagné d'un dépôt de brevet.

## I Des idées d'inventions prometteuses

### *Un dispositif numérique dédié à la caractérisation des comportements sociaux des ovins pour faciliter la gestion des troupeaux*

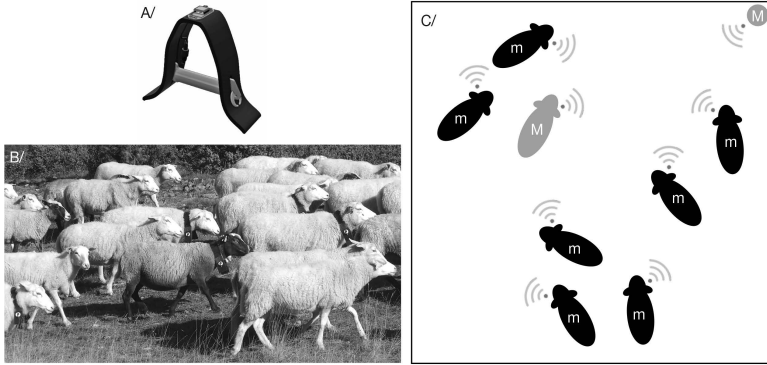
La compréhension du comportement des animaux d'élevage est un levier essentiel pour la mise en place de pratiques d'élevage durables, notamment pour l'élevage au pâturage où les animaux bénéficient d'une liberté de mouvement importante. Elle permet de nuancer le primat de l'objectif de production en tenant compte de cette dimension essentielle du bien-être des animaux dans l'adaptation des pratiques d'élevage. La plupart des animaux d'élevage ont un fort niveau de sociabilité : le groupe est l'unité d'expression des comportements individuels procédant notamment au choix du partenaire sexuel, à la coopération pour l'accès aux ressources ou encore aux apprentissages.

L'analyse de réseaux sociaux propose, au moyen de la construction de structures sociales complexes à partir d'interrelations entre individus, d'analyser comment les comportements individuels structurent le groupe et, en retour, comment le groupe influence les comportements individuels. Ces analyses, surtout menées chez les espèces sauvages, trouvent un intérêt particulier chez les espèces domestiques en permettant d'associer à ces deux entités (l'individu et le groupe) une tierce partie, le gestionnaire (éleveur, berger, etc.). L'analyse de réseaux sociaux peut ainsi constituer un outil au service d'un élevage de précision, permettant de coordonner les échelles individuelles et collectives. D'un point de vue de la transition vers des systèmes agricoles agroécologiques, cette méthodologie contribue notablement aux éléments du premier pôle en améliorant l'efficacité et la résilience des systèmes :

- **l'efficacité** en maximisant la prise d'informations et l'impact des interventions par le gestionnaire. Par exemple en étant capable d'inférer des états globaux du troupeau à partir de comportements observés chez quelques individus et inversement, ou en interprétant des structures de troupeau pour identifier des troubles actuels ou à venir sur des individus ciblés ;
- **la résilience** en favorisant une approche et des organisations sociales adaptées à l'environnement global du troupeau, dans ses composantes biotiques (incluant le ou les gestionnaires) et abiotiques. Il peut s'agir par exemple d'organisations du pâturage permettant une gestion intégrée du parasitisme, une adaptation face à la diminution de ressources ou l'augmentation de la pression de prédation.

Pour développer ce type d'outil, il est nécessaire d'acquérir une information permettant de construire de façon numérique les structures sociales complexes qui composent un troupeau. Dans notre cas, le processus de réflexion et développement vers l'invention a été motivé par l'absence de solutions existantes satisfaisantes face à nos conditions de suivis. Démarrés en 2016, ces développements itératifs entre phases de laboratoire et de terrain ont abouti à une solution fonctionnelle en 2019. L'outil numérique développé s'appuie sur un capteur radiofréquence (RF) permettant de mesurer les proximités interindividuelles (figure 4.2).

**Figure 4.2. Outil numérique de détermination du réseau social d'un troupeau par la mesure des proximités interindividuelles.**



(A) : rendu 3D du collier. Inspiré d'un collier à sonnailles traditionnel, la cloche est remplacée par un boîtier de batterie en PVC qui exerce un contrepoids permettant de maintenir le capteur dans son boîtier étanche en position haute (ici ouvert). (B) : photographie d'un troupeau (brebis Romane du domaine expérimental de La Fage, Aveyron). Certains individus sont équipés du capteur RF embarqué sur collier. (C) : représentation schématique de la solution embarquée. Les brebis sont équipées d'un capteur RF ou nœud mobile (m) tandis qu'un nœud de centralisation ou nœud maître (M) peut être embarqué sur un individu ou fixe en bord de parcelle. Ce dernier rythme les nœuds mobiles et stocke les acquisitions. Les proximités entre individus sont déduites de la qualité de communication RF établie entre paires de capteurs (inversement proportionnelle à la distance). Les cartes construites du réseau social du groupe sont analysées en fonction des attributs individuels et des événements environnementaux. Source : A) Théo Kriszt ; B) et C) Jean-Baptiste Ménassol.

Le développement de cet outil a été itératif. Les phases de développement *in silico* étaient prolongées par des phases de déploiement de terrain intermédiaires, sans animaux, puis de déploiements en élevage avec des durées de suivi croissantes. Le déploiement intermédiaire visait à tester les performances des parties matérielles (batterie, antennes, boîtiers...) et logicielles (programme de contrôle des nœuds mobiles et du nœud maître) du système embarqué en conditions simplifiées. Le déploiement en élevage, dans des environnements plus complexes, apportait un niveau de test plus approfondi notamment sur la durabilité des moyens d'embarquement des capteurs sur les animaux. Ces phases de déploiements combinées ont régulièrement contribué à la mise à jour matérielle et logicielle de l'outil pour s'approcher des objectifs de suivi visés. Elles ont également permis d'impliquer d'autres acteurs dans le processus de développement avec des ingénieurs et techniciens d'élevage mais également des éleveurs et bergers. Leurs apports ont été significatifs pour anticiper certains comportements des troupeaux évitant une mise en défaut du système ou encore pour valider les moyens d'embarquement et la configuration du dispositif à adopter en fonction du type de terrain. L'architecture finale de l'outil lui procure une grande adaptabilité par rapport aux contraintes de terrain en ce qui concerne l'acquisition, la transmission et le stockage des données, mais également en matière d'autonomie énergétique et de robustesse générale du dispositif embarqué.

Concernant les applications concrètes de la connaissance de la structure sociale d'un troupeau, nous avons pu mettre en place une méthode comportementale d'identification des individus les plus représentatifs des déplacements du troupeau. Cette méthode, développée dans le cadre du projet Clochète<sup>14</sup>, permet de raisonner le choix des individus à équiper de capteurs de géolocalisation et d'activité afin de maximiser l'efficacité des opérations de suivi de la mobilité et de l'utilisation des surfaces par les troupeaux pastoraux. D'un point de vue prospectif, cette méthode va également être mobilisée afin d'étudier l'adaptation des troupeaux face à une pression de prédation ou à la diminution des ressources alimentaires. Dans ces derniers cas, les résultats attendus sont la définition d'indicateurs comportementaux précoces d'altération du comportement social des individus (pouvant traduire un impact sur leur bien-être), justifiant des interventions ciblées de l'éleveur.

### ***La spectrophotométrie dans le proche infrarouge (Spir) pour faciliter la détermination de la valeur des fourrages et la gestion des déjections animales***

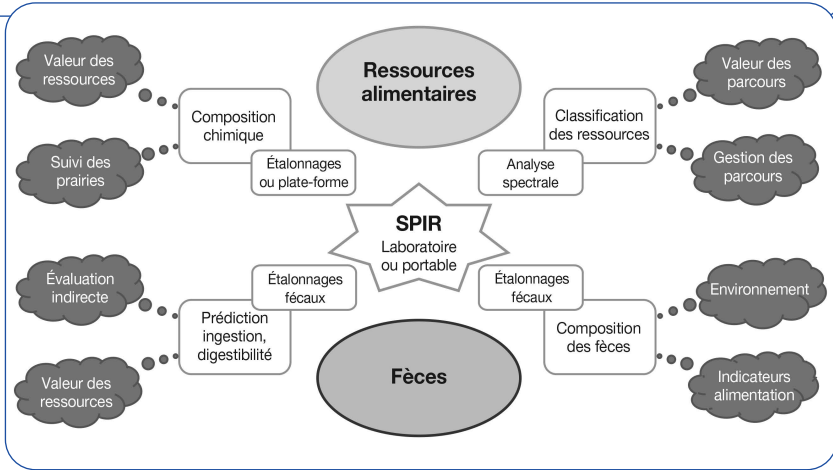
Dans le domaine de l'alimentation animale, les pratiques agroécologiques engendrent une diversification des ressources alimentaires, avec l'utilisation de plantes de couverture à double fin, et des modes d'exploitation moins standardisés des fourrages issus de prairies multispécifiques (Baumont *et al.*, 2008). À des fins de pilotage de l'exploitation ou de recherche sur les systèmes d'alimentation, il devient donc essentiel de caractériser des ressources fourragères hétérogènes, de manière plus fréquente, plus précise et plus réactive. L'utilisation des résultats pour la prise de décision n'est pas conciliable avec des délais d'analyses de plusieurs semaines.

La spectrométrie dans le proche infrarouge (Spir) est un outil classique pour l'analyse rapide et peu coûteuse des aliments et des fourrages. Les longueurs d'onde dans le proche infrarouge interagissent avec les liaisons entre les atomes des molécules organiques. L'absorption de la lumière est donc liée à la quantité de liaisons chimiques et à leurs interactions. La composition chimique des échantillons est alors estimée par simple mesure instantanée d'absorption de la lumière infrarouge. Disponible en routine dans les industries de l'alimentation animale, elle n'est pas encore présente à grande échelle dans les élevages, moins encore dans les élevages extensifs et dans les pays du Sud. Cependant, d'abord conçue pour la mesure de quelques paramètres analytiques spécifiques des aliments, ses usages peuvent aujourd'hui être étendus à l'analyse de la valeur des fourrages et des déjections animales, procurant des informations très utiles pour la mise en place et la gestion de systèmes d'élevage agroécologiques (Bastianelli *et al.*, 2018).

Récemment, de nouvelles approches basées sur la Spir ont été mises en place à la suite de demandes de la recherche ou des acteurs de terrain (figure 4.3).

14. <https://idele.fr/clochete/> et <https://vimeo.com/561497620>.

**Figure 4.3. Applications de la spectrophotométrie dans le proche infrarouge (Spir) pour la détermination de la valeur des fourrages et déjections animales.**



**La caractérisation de milieux complexes sur parcours méditerranéens.** La description d'un parcours par une liste des plantes présentes et leur valeur nutritive est inopérante pour la gestion du pâturage. À quoi peut servir, à un éleveur ou un gestionnaire d'espace pastoral, un simple tableau de composition chimique d'une centaine de « bouchées » possibles ? La Spir permet de proposer une classification de ressources alimentaires en classes fonctionnelles. Une simple prise de spectre des végétaux consommables permet de les assigner à un nombre limité de « classes fonctionnelles » et ainsi raisonner l'alimentation animale selon leurs complémentarités (aliments protéiques, de lest, etc.), indépendamment des espèces végétales présentes. L'approche, déjà utilisée dans des travaux de recherche (Azambuja *et al.*, 2020) peut être appliquée par des éleveurs ou des gestionnaires d'espaces naturels pour évaluer la valeur des parcours, les capacités de charge, voire les besoins de complémentation pour des catégories de ressources jugées déficientes dans certains milieux naturels.

**Une estimation indirecte de l'alimentation des animaux au pâturage à partir de l'analyse des fèces.** Les fèces donnent accès à diverses informations, depuis une simple mesure d'index alimentaires (azote, lignine) jusqu'à des prédictions de la digestibilité ou de l'ingestion, utiles pour le pilotage des systèmes d'alimentation du bétail, mais aussi de façon croissante pour des études environnementales sur la modélisation des flux biogéochimiques dans les pâturages (azote, matière organique et prédiction des GES) (Assouma *et al.*, 2018).

**La mise à disposition d'une plate-forme de prédiction « DoPredict » de la valeur des aliments.** Elle permet de prédire la composition et la valeur nutritive d'un échantillon,

à partir de données spectrales sans avoir besoin d'un recours à un étalonnage particulier. Le système compare le spectre à une base de référence et sélectionne les individus les plus proches pour établir un étalonnage « local ». On peut ainsi prédire la composition de végétaux moins fréquents ou de mélanges pour lesquels aucun étalonnage spécifique ne serait disponible. Cette plate-forme permet de centraliser l'opération de prédiction, en bénéficiant de bases de référence et d'algorithmes uniques, pour pouvoir décentraliser la prise de spectre et l'amener au plus près du terrain, sans avoir à transporter les échantillons eux-mêmes. Associée à des mesures par des spectromètres portables (Salgado *et al.*, 2013), cette stratégie permet une mutualisation des outils et une réactivité permettant aux éleveurs de bénéficier d'une réponse la plus rapide et la plus précise possible pour la caractérisation de leurs ressources.

Les limites de l'utilisation en élevage de la Spir restent le coût du matériel et la possibilité de mesures de terrain en direct, ce qui est de plus en plus réaliste avec les spectrophotomètres portables (Salgado *et al.*, 2013). Si les perspectives à court terme concernent davantage une utilisation par des techniciens d'élevage ou des structures d'encadrement (comme c'est le cas à la Réunion ou à Madagascar), l'utilisation directe par les éleveurs est envisageable avec la disponibilité d'appareils moins onéreux et leur mobilisation simultanée pour, par exemple, améliorer l'utilisation des ressources fourragères et la gestion des fèces dans les élevages.

## Des prototypes en cours d'adoption

### *Le détecteur électronique de chevauchement des brebis*

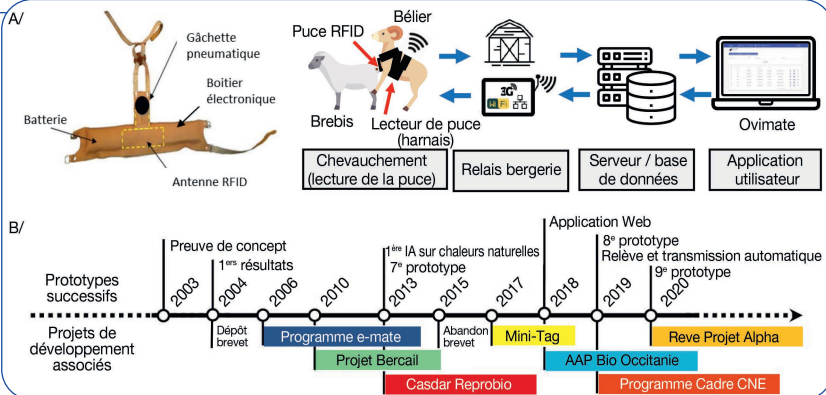
La saisonnalité de la reproduction chez les ovins est une contrainte forte en élevage. Même dans le cas de races peu saisonnées, comme la plupart des races méditerranéennes, le printemps – correspondant à la saison naturelle de repos sexuel – marque un ralentissement dans les activités de reproduction des animaux. Des programmes de traitements hormonaux ont donc été développés pour permettre une reproduction hors-saison. En accord avec les laiteries, les élevages producteurs de lait de brebis s'organisent, certains ayant recours à ces programmes hormonaux afin que l'ensemble du bassin laitier puisse produire du lait toute l'année, en particulier lors des périodes de forte demande. Un avantage indéniable de ces traitements est d'associer à un fort taux d'induction des cycles de reproduction des brebis, une forte synchronisation interindividuelle. Ils peuvent ainsi être associés à des inséminations, réalisées sur tout un troupeau et à un moment fixe. Cette pratique permet d'accéder au progrès permis par la génétique, simplifie le travail des éleveurs et limite les risques sanitaires en supprimant les échanges de béliers entre élevages. Cependant, le recours aux traitements hormonaux est aujourd'hui remis en question et déjà interdit dans les élevages biologiques, dont la part de marché est croissante. Les pratiques doivent donc évoluer afin de mieux répondre aux principes de l'agroécologie et à l'émergence de nouvelles questions éthiques en lien avec le bien-être animal et la santé publique.



Dans ce contexte, le détecteur électronique de chevauchement Ovimate a été développé comme solution alternative aux hormones en élevage ovin, tout en laissant la possibilité aux éleveurs de recourir à la pratique de l'insémination animale. Son principe de fonctionnement est basé sur le comportement naturel de reproduction chez les ovins (figure 4.4 A). Le mâle est équipé d'un harnais en cuir, embarquant un lecteur RFID (*Radio Frequency Identification*). Le chevauchement d'une femelle déclenche la lecture d'une puce RFID placée sur la queue de cette dernière. La date et l'heure du chevauchement sont ainsi compilées avec les identifiants des deux partenaires (Alhamada *et al.*, 2016). Une vidéo de présentation est disponible sur le site du réseau européen SheepNet<sup>15</sup>). Cet outil numérique inclut également un relais de proximité, placé dans la bergerie, permettant la récupération des données de chevauchements à distance et communiquant avec un serveur disposant d'une interface Web. L'application Ovimate permet :

- la centralisation, la visualisation et le post-traitement des données issues des harnais ;
- des échanges entre utilisateurs (chercheurs, centres d'insémination animale, éleveurs)
- et la configuration de l'ensemble du dispositif (figure 4.4 A).

**Figure 4.4. (A) : le détecteur électronique de chevauchement Ovimate. (B) : son historique de développement.**



IA : insémination artificielle.

D'un point de vue pratique, cet outil a vocation à être associé à la technique naturelle de « l'effet mâle ». Les mâles sont mis au contact des femelles après au moins deux mois de séparation, ce qui permet de déclencher naturellement les chaleurs en dehors de la saison naturelle. Ainsi, l'outil Ovimate permet de déterminer la cinétique d'apparition des chaleurs après un « effet mâle », en vue d'établir avec un haut niveau de précision le meilleur moment pour la réalisation des inséminations (Debus *et al.*, 2019). Ses principes

15. [www.sheepnet.network/fr](http://www.sheepnet.network/fr).



de conception offrent des opportunités d'utilisations complémentaires de l'outil dans le domaine de la gestion de la reproduction en élevage avec :

- la détermination de la motivation sexuelle des mâles selon un procédé précis et rapide (facteur 1 à 50 par rapport à la méthode actuelle ; Alhamada *et al.*, 2017a) ;
- l'utilisation comme méthode de diagnostic de gestation (Alhamada *et al.*, 2017b) ;
- et la création de calendriers des mises-bas.

Les travaux sur le détecteur électronique de chevauchement Ovimate ont montré qu'une condition essentielle de réussite des innovations associées à ces technologies tient à l'existence d'une infrastructure capable de soutenir ces déploiements, telle que le dispositif de soutien aux innovations INRAE Transfert, depuis l'optimisation des performances techniques des capteurs jusqu'à l'atteinte des objectifs de retour sur investissement. Dans le secteur agricole, la qualité de ces infrastructures reste toutefois hétérogène. Depuis l'invention d'un outil numérique jusqu'à son adoption par les utilisateurs finaux, le chemin de l'innovation technologique implique un ensemble d'acteurs, de compétences et d'intérêts différents. Le développement du détecteur a duré de nombreuses années (figure 4.4B). Ceci ne s'explique pas uniquement par le temps nécessaire pour l'optimisation des performances techniques de l'outil.

En effet, initialement, l'acceptabilité de la solution a été négativement impactée par les contraintes liées à sa mise en œuvre et son utilisation pratique, mais aussi par la perception des impacts liés à son adoption sur l'organisation du travail (Lurette *et al.*, 2016). De plus, l'engagement dans le projet des partenaires privés dépend d'un ensemble de facteurs difficilement prévisibles : évolution des attentes sociétales, changements législatifs, variation des politiques de sites (fermeture de la branche électronique de la première entreprise impliquée, importance donnée à l'élevage bio par les centres d'insémination artificielle) et des orientations budgétaires visant à répondre aux besoins des filières.

L'implication des utilisateurs finaux reste centrale dans la réussite de cette innovation, même si elle a été tardive dans le cycle de développement. Le recours à des enquêtes auprès des futurs utilisateurs et à la modélisation est également très important pour favoriser l'acceptabilité de la solution. Elle permet d'anticiper, via des simulations, l'impact de l'introduction de l'outil sur les différentes composantes du système d'élevage (biotechnique, économique, environnementale). Elle permet aussi :

- d'initier des réflexions avec les acteurs,
- de faire émerger les éventuels points de tension et d'identifier les besoins d'accompagnement,
- et de confronter différents acteurs des filières concernées.

L'élaboration conjointe de scénarios peut faire émerger des consensus et une appropriation facilitée des outils et de leurs modalités d'introduction.

### ***Une plate-forme d'autopesée des ovins au pâturage***

Le poids vif (PV) est une mesure utilisée pour le suivi fréquent de l'état corporel des animaux et pour la conduite du troupeau en général, par exemple pour piloter l'alimentation, évaluer les gains de poids, l'état de santé et la valeur bouchère ou pour établir des

calendriers d'abattage. En élevage hors sol avec des animaux enfermés, cette mesure est relativement simple, bien que chronophage et laborieuse. En revanche, la mesure et l'enregistrement du poids vif dans des conditions d'élevage au pâturage sont des tâches difficiles impliquant de contraindre les animaux, mais le poids vif reste un paramètre essentiel à suivre régulièrement. Pour surmonter cette difficulté et alimenter les recherches autour des capacités adaptatives des animaux dans des conditions contraignantes, un prototype de pesage automatisé pour les petits ruminants a été conçu et testé.

Pour ce faire, nous avons utilisé le concept d'autopésée automatique (de l'anglais *Walk-over-Weighing* qui signifie peser en marchant, WoW), combiné à l'identification électronique par radiofréquence. Le WoW a été conçu pour être léger, résistant, transportable et autonome en énergie (González-García *et al.*, 2018).

Le dispositif est composé d'un couloir léger, amovible, portable, équipé de deux barres de chargement (barres de pesée), d'un système de lecture et télétransmission des données de l'animal et d'une centrale d'énergie (panneau solaire et batterie ; figure 4.5). Le module S, situé à l'entrée du WoW, permet de faciliter le flux des animaux un par un et d'éviter ainsi l'agglutination de plusieurs animaux en même temps. Un circuit de passage volontaire et à sens unique est établi.

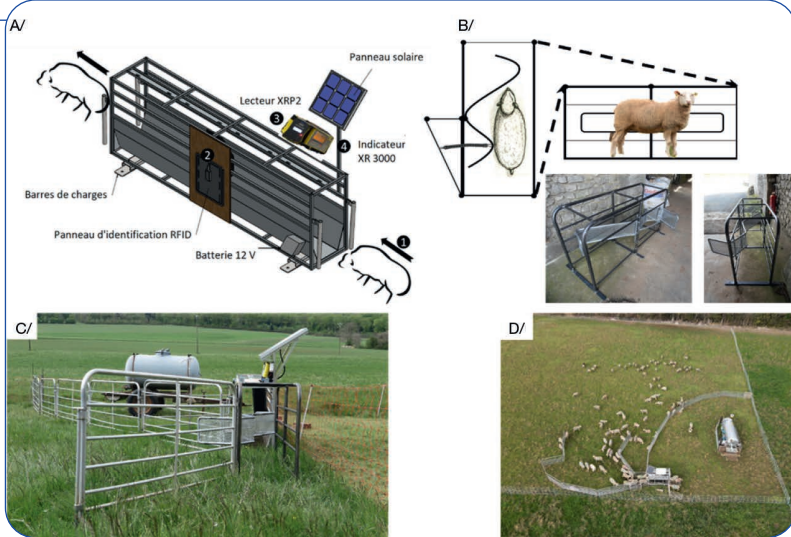
Les partenaires impliqués dans sa conception sont divers : INRAE et l'unité de recherche Selmet, porteuse du projet; le domaine expérimental INRAE de La Fage (France), unité expérimentale où les travaux se sont déroulés ; Maréchale Pesage, une société privée qui a fabriqué le prototype ; et l'institut d'Élevage (Idele) pour la diffusion chez les producteurs.

Une série d'étapes successives et complémentaires ont permis la calibration et l'évaluation du dispositif depuis fin 2015. Des éléments pratiques et théoriques autour de l'efficacité du système ont été validés dans une série d'expériences avec une gamme de situations d'élevage (à l'intérieur et à l'extérieur, intensives ou extensives, animaux de différentes catégories, de races laitières ou de viande). La phase d'adaptation (temps requis pour que les passages individuels soient volontaires), le nombre de visites quotidiennes ainsi que la proportion des enregistrements des PV biologiquement valides et interprétables ont été analysés à chaque fois. Des analyses statistiques poussées ont été nécessaires pour établir la précision, l'exactitude, la répétabilité et l'accord entre les enregistrements de PV avec le WoW et les mesures prises avec la bascule fixe ou statique (coefficient de corrélation de concordance de Lin, méthode Bland et Alman).

Les principaux résultats obtenus (González-García *et al.*, 2020b) ont permis de vérifier la précision de la pesée. Après élimination des valeurs aberrantes, on obtient une bonne concordance entre les deux méthodes (PV WoW et PV fixe) et de bons indicateurs de répétabilité, reproductibilité, précision, exactitude, accord, par rapport à la méthode dite « gold-standard » (bascule fixe ou statique). Dans l'ensemble des expériences développées jusqu'à maintenant, nous avons obtenu 65 % des lectures de PV WoW fiables (valides, utilisables) et validé l'effectivité du module S pour contrôler le flux. Le dressage et l'adaptation des animaux sont réussis en 2 à 3 semaines. Le passage volontaire permet de collecter 6 à 8 valeurs

de PV interprétables par animal et par jour. Le circuit « logique » est réussi et l'effectivité de la zone d'attraction est démontrée (rôle de l'eau, des sels minéraux, de l'ombre des arbres).

**Figure 4.5. Plate-forme d'autopesée.**



(A) : l'animal (1) traverse volontairement la plate-forme, attiré par une zone d'attraction située de l'autre côté (eau, sels minéraux, ombre des arbres) ; (2) au passage, l'antenne lit la boucle d'identification électronique (IDE) de l'animal (située sur l'oreille gauche) et envoie l'IDE de l'animal au lecteur ; (3) le lecteur enregistre l'IDE dans un fichier et l'envoie à l'indicateur ; (4) l'indicateur enregistre le poids vif de l'individu et la date et l'heure de pesée quand l'animal a quitté la plate-forme. L'opérateur télécharge les fichiers stockés (format CSV ou XLS) pour traitement et interprétation ultérieurs. (B) : dispositif de contrôle du flux des animaux (structure métallique en forme de S) placé à l'entrée de l'unité WoW. (C) et (D) : aperçus du dispositif installé dans différents systèmes de pâturage et conditions de terrain.

La pesée statique, technologie disponible à ce jour, nécessite une rétention des animaux concentrés et stressés. À l'inverse, le WoW permet la pesée des animaux de manière volontaire, fréquente et automatique sans intervention de l'opérateur. Un tel suivi automatique et continu du PV des animaux contribue ainsi au monitoring de l'état corporel du troupeau. C'est un outil d'aide à la décision pour l'éleveur et les conseillers permettant des ajustements de la conduite de l'alimentation. Enfin, le WoW a attiré l'attention des producteurs et a conforté nos dispositifs de recherches sur l'efficacité alimentaire et les capacités adaptatives sur le terrain.

### ***Wiktrop, un portail collaboratif Web dédié à la gestion des adventices des milieux cultivés et pâturés tropicaux et méditerranéens***

Dans les systèmes d'élevage mobilisant des surfaces pâturées ou récoltées, le développement des espèces adventices n'épargne aucune région du monde et représente un

enjeu pour la productivité et la pérennité des élevages au pâturage. En fonction de leur agressivité et de leur « in-appétibilité » pour le bétail, elles peuvent en effet dégrader la ressource en exerçant une compétition vis-à-vis des espèces fourragères jusqu'à les faire disparaître dans les situations extrêmes. Ces espèces peuvent également constituer une menace pour la biodiversité des milieux naturels en les colonisant. Enfin, certaines espèces peuvent se révéler toxiques, entraînant un risque pour la santé animale et humaine.

Les systèmes d'élevage au pâturage (et l'agriculture en général) sont à l'origine (volontaire ou involontaire) de nombreuses introductions et disséminations d'espèces plus ou moins envahissantes, mais en sont aussi l'une des principales victimes. Dans le cadre de la transition agroécologique et pour faire face aux changements globaux, disposer d'outils d'aide à la régulation de ces espèces constitue un enjeu de recherche et de développement pour mieux gérer la biodiversité des agroécosystèmes. La démarche requiert notamment de disposer et d'utiliser les nombreuses connaissances sur la biologie des espèces et leur comportement. La gestion de ces connaissances fait ainsi l'objet de visions renouvelées depuis une dizaine d'années, pour aller au-delà du transfert classique *top-down* d'informations techniques élaborées en « malherbologie » (science des « mauvaises herbes »). Dès les années 2010, la capitalisation et la diffusion de connaissances scientifiques ont bénéficié d'approches innovantes à partir de la démarche des données ouvertes (*open data*). La synthèse des connaissances devient stratégique et constitue un champ de recherche à part entière avec le développement de démarches issues des nouvelles technologies de l'information et de la communication comme le *text mining* et le *knowledge management system (KMS)* (Talib *et al.*, 2016 ; Girard *et al.*, 2017 dans Le Bourgeois *et al.*, 2019).

Wiktrop, pour *Weeds identification and knowledge in the tropical and mediterranean areas*, est un outil numérique directement issu de cette évolution technologique. Il se définit comme un portail collaboratif Web de partage et de diffusion des connaissances sur la gestion des adventices des milieux cultivés et pâturés tropicaux et méditerranéens (figure 4.6). Au-delà de sa fonction d'identification des espèces, il vise à développer un réseau multi-acteurs de chercheurs, agents de vulgarisation, enseignants, universitaires, citoyens et agriculteurs. L'objectif est de consolider les connaissances scientifiques et techniques existantes et de faciliter leur partage.

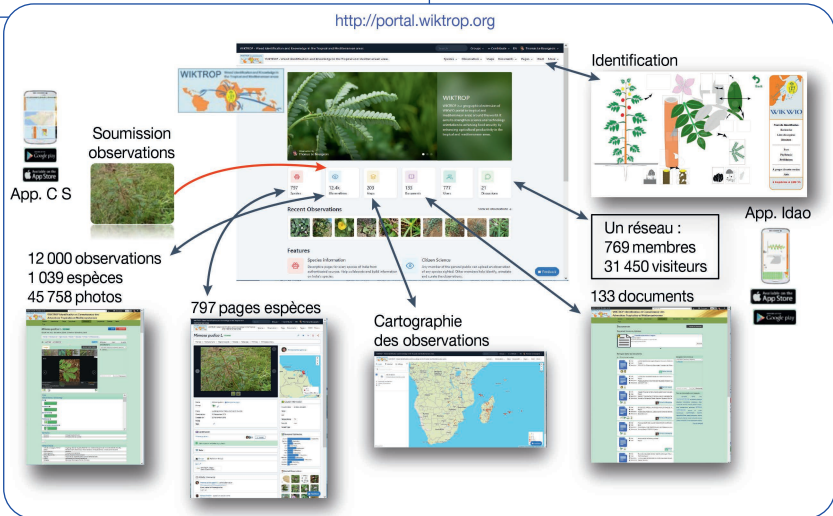
Ce portail s'inscrit donc dans une approche d'agriculture numérique participative où les acteurs sont appelés à contribuer au processus de partage des connaissances en postant des informations, des documents, des observations d'espèces et en discutant des problèmes et solutions avec d'autres acteurs du réseau. La philosophie de ce portail est de réunir l'expertise de la recherche, de la société civile, des technologies de l'information et du droit de l'environnement.

En 2014, sur la base de cette démarche horizontale, un premier portail collaboratif a été initié sur les adventices des cultures de l'océan Indien (Wikwio pour *Weeds identification and knowledge in Western Indian ocean*). Il a été développé par combinaison de plusieurs technologies préexistantes : l'*India Biodiversity Portal*<sup>16</sup> et l'Idao (identifica-

16. <https://indiabiodiversity.org/>

tion des plantes assistée par ordinateur) développée pour faciliter l'identification des plantes (Le Bourgeois *et al.*, 2008 ; 2019). Ce premier portail est devenu bilingue, puis a été associé à des applications mobiles pour la collecte d'observations de terrain et l'identification au champ. Des sessions de formation auprès de producteurs, agronomes, agents d'encadrement, enseignants, étudiants ont été accompagnées d'une enquête pour analyser les retours. Depuis 2017, le portail a été étendu à d'autres régions tropicales (Océanie, Afrique centrale et de l'Ouest, Guyane, Asie...) sous la nouvelle appellation Wiktrop. Sa gamme d'utilisation a été élargie en intégrant les écosystèmes pâturés et récoltés à partir d'un outil Idao sur les adventices et plantes à conflit d'intérêt des pâturages de Nouvelle-Calédonie (AdvenPaC ; Blanfort *et al.*, 2010).

**Figure 4.6. Portail collaboratif Wiktrop.**



Le portail (<http://portal.wiktrop.org>) est composé de : (i) un outil d'identification des plantes assistée par ordinateur (Idao) accessible aux non-botanistes ; (ii) une interface pour poster des observations et des demandes/confirmations d'identification sur photographies ; (iii) une base documentaire d'environ 800 espèces ; (iv) un système de cartographie des observations d'adventices ; (v) une interface d'échange par type de production agricole. Les fonctionnalités sont disponibles sur PC et smartphone (Wiktrop sur Google Play). Les connaissances, données, informations, médias et documents sont diffusés sur le portail sous licence Creative Commons (CC 2017).

L'intégration complète dans le portail des écosystèmes pâturés est encore en cours, mais le recul de quelques années d'utilisation dans les domaines des cultures a permis de tirer quelques enseignements. Si la majorité des utilisateurs de Wiktrop consultent le portail, la démarche de partage de données, d'informations ou de connaissances reste elle encore insuffisamment pratiquée, voire refusée particulièrement par les acteurs scientifiques et techniques. La qualité et

l'intérêt de ce portail reposent donc désormais sur une meilleure appropriation par les acteurs de cette dimension « partage », en faisant évoluer le mode d'utilisation et de contribution.

\*  
\*\*

Ces travaux de recherche soulignent l'originalité et les spécificités des inventions pour contribuer à la transition agroécologique en élevage pour :

- gérer les systèmes d'élevage avec moins d'intrants de synthèse ;
- obtenir régulièrement et rapidement des informations nécessaires à la gestion complexe des systèmes d'élevage agropastoraux méditerranéens et tropicaux ;
- et mieux utiliser et gérer les ressources fourragères disponibles et les couverts herbagers.

Ces inventions contribuent à l'émergence de systèmes d'élevage plus efficaces en favorisant la cocréation et le partage de connaissances.

Les innovations techniques que nous allons présenter dans la suite du chapitre mettent davantage l'accent sur le recyclage des biomasses et la diversification des ressources fourragères dans les processus de production, au cœur des recherches sur la transition agroécologique.

## **Des innovations techniques pour améliorer le recyclage et la diversification des ressources dans les systèmes d'élevage au pâturage**

**MÉLANIE BLANCHARD, OLLO SIB**

L'amélioration du bouclage des cycles des biomasses et des nutriments et la diversification des ressources issues des agroécosystèmes sont deux piliers de l'agroécologie, dans lesquels l'élevage des ruminants peut jouer un rôle déterminant. En effet, par leur capacité à consommer des aliments fibreux (par exemple de l'herbe et de la paille) et des sous-produits et déchets (par exemple des eaux grasses), les ruminants utilisent de la biomasse que les humains ne peuvent pas manger, augmentant ainsi l'efficacité d'utilisation des ressources naturelles. Toutefois, si de nombreux travaux conduits en station de recherche ont montré comment l'agroécologie permettrait de produire davantage tout en minimisant les externalités négatives (environnementales, sociales, économiques), les taux d'adoption de ces pratiques restent souvent limités et soulignent l'importance de mieux accompagner les acteurs dans l'adaptation de leurs pratiques à ce nouveau paradigme en fonction des caractéristiques locales de leur système d'élevage. C'est ce que cette partie du chapitre illustre à travers la présentation de deux études de cas, de la traque aux pratiques innovantes à la mesure des premiers impacts en s'appuyant sur des dispositifs de co-conception participatifs.

### **Les banques fourragères arbustives, une innovation prometteuse pour les systèmes agropastoraux laitiers en Afrique de l'Ouest**

Dans les systèmes agropastoraux d'Afrique de l'Ouest, la productivité laitière des vaches demeure faible et irrégulière en partie à cause de la faible couverture de leurs besoins nutritionnels pendant l'année. L'alimentation des vaches repose essentiellement sur la combinaison :