

Capteurs GPS embarqués à coûts réduits et typologie de systèmes d'élevage en Asie du Sud-Est

BLANCHARD M. (1), VALLS-FOX H. (2), DUONG H. V. (3), CESARO J. D. (4), LI-ON S. (5), PHONPHOEM A. (5), JANSANG A. (5), JAIKAEAO C. (5), SRIPIBOON S. (6), SANGMALEE A. (6), MENASSOL J. B. (7), DE GARINE-WICHATISKY M. (8)

(1) CIRAD, UMR SELMET, Hanoi, Vietnam.

SELMET, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France.
NIAS, dP ASEA, Hanoi, Vietnam.

(2) CIRAD, UMR SELMET, Dakar, Sénégal.

SELMET, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France.
ISRA/LNERV, dP PPZS, Dakar Hann, Sénégal.

(3) Faculty of Resources management, Thai Nguyen University of Agriculture and Forestry, Thai Nguyen, Vietnam

(4) CIRAD, UMR SELMET, Saint Louis, Sénégal.

SELMET, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France.
ISRA/CRA, dP PPZS, 46024 Saint Louis, Sénégal.

(5) Intelligent Wireless Network Group, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thaïlande.

(6) Faculty of Veterinary Medicine, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

(7) Institut Agro, UMR SELMET, F-34060 Montpellier, France.

SELMET, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France.

(8) CIRAD, UMR ASTRE, 10900 Bangkok, Thailand.

ASTRE, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Montpellier, France.

Faculty of Veterinary Medicine, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

RESUME

La mobilité du bétail joue un rôle central dans le fonctionnement des agroécosystèmes, mais peut participer à leur dégradation. Evaluer l'impact de la mobilité des animaux sur la durabilité des agroécosystèmes nécessite de disposer d'outils et de méthodes de terrain accessibles permettant d'appréhender cette mobilité pour la diversité des systèmes d'élevage. Des typologies décrivant la diversité des systèmes d'élevage d'Asie du Sud-Est ont été réalisées à partir de méthodes classiques (enquêtes sur la mobilité, cartographie mentales des paysages, enquête sur les pratiques d'affouragement). Nous proposons de construire des typologies des systèmes d'élevage comparables en mobilisant un système embarqué équipé d'un capteur GPS adapté aux milieux pastoraux tropicaux. En 2018, nous avons testé cette méthode sur des bovins de deux sites contrastés d'Asie du Sud-Est (Salakpra, nord Thaïlande et Quài Nua, nord-ouest Vietnam). La typologie proposée est basée sur deux indicateurs quantitatifs : La distribution d'utilisation couplée à une carte d'occupation des sols permet de décrire la probabilité d'utilisation d'un habitat par un animal pendant une période donnée. La distance à la ferme (ou à un site de parcage nocturne) permet de quantifier les pratiques de conduite au pâturage. La méthode proposée de mobiliser les données GPS pour établir une typologie des systèmes d'élevage semble adaptée à différents contextes agrosylvopastoraux d'Asie du Sud-Est et permet de construire des typologies des systèmes d'élevage comparables à celles préétablies. L'utilisation de capteurs embarqués pourrait également soutenir la gestion territoriale du cheptel par les acteurs locaux afin de limiter les conflits d'usage et d'améliorer la gestion des ressources naturelles pastorales et non pastorales.

Categorizing livestock systems in South-East Asia using low-cost GPS trackers

BLANCHARD M. (1), VALLS-FOX H. (2), DUONG H. V. (3), CESARO J. D. (4), LI-ON S. (5), PHONPHOEM A. (5), JANSANG A. (5), JAIKAEAO C. (5), SRIPIBOON S. (6), SANGMALEE A. (6), MENASSOL J. B. (7), DE GARINE-WICHATISKY M. (8)

SUMMARY

Livestock mobility plays a key role in the upkeep of agroecosystems; however, mismanagement may lead to ecosystem degradation. Cost effective field technologies and methods are needed to characterize the diversity of livestock systems and assess the impact of livestock management on the sustainability of agroecosystems. Typologies describing the diversity of livestock farming systems in Southeast Asia have been produced using conventional methods (field surveys on mobility, farmers' mental maps of landscapes, and analysis of feeding practices). We propose a method to build comparable typologies of livestock systems based on data collected by low-cost GPS trackers designed for the rugged conditions of tropical rangelands. In 2018, the trackers were tested on cattle in two contrasting locations in South-East Asia (Salakpra, northern Thailand and Quài Nua, northwest Vietnam). The typology is based on two quantitative indicators: The utilization distribution obtained from the GPS data combined with land use maps provides an estimation of an animal's probability of using different habitats during a given time period. Distance to the farm or an overnight corral serve as a proxy of herding practices. The proposed method and indicators used to establish a typology of grazing practices appear to be adapted to different livestock systems in South-East Asia and makes it possible to build comparable to those already established. This typology is a first step to introduce the use of GPS technology to support livestock management by local stakeholders to reduce conflicts over access to land and improve the management of pastoral and non-pastoral natural resources.

INTRODUCTION

La mobilité du bétail est au cœur d'enjeux de conservation des ressources, de gestion de la santé humaine et animale, et de la sécurité alimentaire, particulièrement en Asie du Sud-Est (Devendra, 2002). Elle joue un rôle central pour le fonctionnement des agroécosystèmes (recyclage, fertilité des sols, entretien des paysages, gestion de la biodiversité, ...). Cependant, en l'absence d'indicateurs quantitatifs permettant de décrire la mobilité, son rôle est souvent minoré, voire ignoré.

Afin d'évaluer l'impact de la mobilité des animaux sur la durabilité des agroécosystèmes, il est nécessaire de concevoir des outils et des méthodes de terrain peu coûteux, accessibles, et adaptés aux conditions des systèmes d'élevage. Plusieurs travaux présentent le développement de systèmes embarqués dotés de GPS (Knight *et al.*, 2018; Mazhar *et al.*, 2015) moins coûteux que les systèmes actuellement disponibles commercialement, cependant ces études se limitent souvent à la description des performances techniques des capteurs et n'ont pas donné lieu à l'émergence de capteurs embarqués à bas coût et modulables pour les besoins d'activités de recherche en milieu tropical.

Le GPS répond à deux questions fondamentales : Où se trouve l'animal ? Et quand ? La principale valeur ajoutée du suivi GPS est la compréhension multi-échelle des déplacements depuis la prise alimentaire pour coder des comportements (Homburger *et al.*, 2014) jusqu'à l'utilisation saisonnière des pâturages (Valls-Fox *et al.*, 2018). En raison, des limites imposées par les batteries, il est nécessaire d'arbitrer entre la durée de l'étude et la fréquence d'échantillonnage. Les méthodes d'analyse de la mobilité développée en écologie telles que l'estimation de domaines vitaux par des distributions d'utilisation (Benhamou, 2011) ou de sélection d'habitat (Manly, 2002) permettent de tenir compte des biais d'échantillonnage et de tester explicitement des hypothèses sur l'utilisation de ressources en fonction de leur disponibilité spatiale.

La diversité des systèmes d'élevage est généralement appréhendée par enquête sur les pratiques et la construction de typologies. Ainsi, en Asie du Sud-Est, Duong (2019) décrit 3 types d'élevages à travers une enquête sur les pratiques de gestion des troupeaux dans deux zones contrastées du Vietnam et de Thaïlande. Il identifie des élevages extensifs dont les animaux pâturent librement toute l'année, des élevages semi-pastoraux avec des animaux sous la surveillance d'un berger en journée et parqués la nuit, et des élevages « zéro pâturage » dont les animaux stabulés et nourris à l'auge sont conduits au pâturage seulement sur les bords des chemins. A partir d'une analyse de cartes mentales construites avec les bergers décrivant la mobilité de leurs animaux sur le territoire, Svahn (2018) propose une typologie des systèmes d'élevage au Vietnam selon deux types. Les élevages sylvopastoraux privilégient l'accès aux forêts et pâturages d'altitude qui s'organisent autour d'un réseau de cabanes et de villages d'altitude. Les élevages agropastoraux de vallée ajustent la mobilité selon les contraintes du calendrier agricole, selon l'accessibilité à la vaine pâture sur les rizières, et sur les cultures pluviales de piémonts. La mobilité est fortement contrainte par la nécessité d'éviter les dégâts sur les cultures pérennes en plein essor. Enfin, une typologie des systèmes d'élevage construite à partir d'une analyse des pratiques d'affouragement des animaux conduit à une typologie comparable sur la même zone au Vietnam selon une autre méthode (analyse en composante principale, classification ascendante hiérarchique ; Blanchard *et al.*, 2020). Les élevages extensifs font pâture leurs animaux sous forêt toute l'année et distribuent de l'herbe en complément en saison sèche. Les élevages semi-intensifs conduisent leurs animaux en vaine pâture sur les champs et au pâturage sous le contrôle d'un berger et distribuent de l'herbe et des aliments toute l'année. Enfin, les élevages en voie d'intensification ont

des animaux affouragés à l'auge et conduits peu de temps au pâturage journalier.

Dans cette communication, nous testons l'hypothèse qu'une approche générique à partir de données GPS permet d'établir une typologie comparable des systèmes d'élevage basée sur deux indicateurs quantitatifs : (i) la distribution d'utilisation (Benhamou, 2011) qui permet d'estimer le temps passé par les animaux dans chaque habitat; (ii) la distance à la ferme ou à un enclos de parcage nocturne qui permet de décrire la conduite journalière du troupeau au pâturage.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. SITES D'ETUDE

Deux sites contrastés en Asie du Sud-Est ont été choisis pour les connaissances disponibles sur la diversité des pratiques de leurs élevages et les projets de recherche en cours facilitant l'implémentation du test. Le site de Salakpra dans le nord de la Thaïlande (14°46' N 99°04' E) bénéficie d'un climat tropical humide (température moyenne annuelle de 28°C, précipitations annuelles moyennes de 1 145 mm). Ce site est situé sur les rives du lac de barrage de Sinakharin et en périphérie de la zone protégée Salakpra Wildlife Sanctuary. L'altitude moyenne est de 230 m. Le site de Quài Nura au nord-ouest du Vietnam (21°38' N ; 103°28' E) bénéficie d'un climat tropical humide de montagne (température moyenne annuelle de 22°C, précipitations annuelles moyennes de 1 627 mm). L'altitude moyenne des villages de vallée est de 600 m et alors que celle des zones de pâturage va jusqu'à 1 500 m.

1.2. SUIVIS GPS

Un système embarqué léger et compact (500g), résistant aux conditions des milieux pastoraux tropicaux (chaleur, humidité, choc, poussière) a été conçu réunissant un capteur de localisation (AdaFruit Ultimate GPS FeatherWing, précision constructeur <3m), un microcontrôleur (AdaFruit Feather 32u4) et un logger (Adalogger FeatherWing) dans un boîtier fixé sur un collier (Phonphoem *et al.*, in prep.). La moitié des prototypes enregistraient une localisation toutes les 15 min, 24h/24h alors que l'autre moitié enregistraient un point toutes les 15 min la journée (6h-18h) et un point toute les heures la nuit (18h-6h).

Des éleveurs volontaires aux modes de conduite diversifiés ont été sélectionnés. 20 prototypes ont été déployés pour une durée de 1 mois sur des bovins (*Bos indicus*) femelles en juillet 2018 à Salakpra (Thaïlande), puis en octobre 2018 à Quài Nura (Vietnam). Afin de vérifier la reproductibilité des trajets obtenus, 2-3 vaches adultes ont été équipées par élevage. Le taux de succès des acquisitions et la durée du fonctionnement des capteurs ont été très variables (Fig. 1). En Thaïlande, 7 trajets (4 fermes, durée moyenne de 21 jours) ont été conservés. Un animal resté à l'étable a été exclu de l'analyse. Au Vietnam, 15 trajets (8 fermes, durée moyenne de 25 jours).

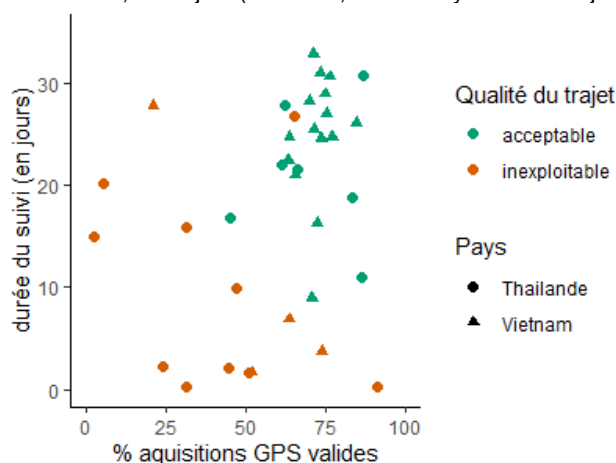


Figure 1 : Durée du suivi et pourcentage d'acquisitions valides, 4 capteurs perdus ne sont pas représentés.

Afin de calculer le nombre de nuits passées à l'étable pendant la durée du suivi, nous avons considéré qu'un animal avait passé toute la nuit à l'étable lorsque la distance moyenne à la ferme la nuit était inférieure à 40m, en raison de l'imprécision du GPS lorsque les animaux sont dans un bâtiment.

1.3. OCCUPATION DU SOL

Une classification non supervisée a été effectuée à partir d'images Sentinel-2 (Thaïlande 19-02-2017, Vietnam 03-03-2018) d'une résolution de 10mx10m. Pour chaque site, une typologie d'occupation du sol a été réalisée avec 7 classes selon la spécificité des paysages locaux (Cesaro, 2016). Au Vietnam, l'occupation du sol se compose de forêt dense, forêt ouverte, savane arborée, jachère, cultures pluviales d'altitude, cultures de bas-fond dont rizière irriguée (Fig. 2). En Thaïlande, on retrouve les mêmes classes avec en plus la catégorie d'eau de surface pour le lac. L'occupation du sol des zones de culture change avec une plus grande proportion de cultures pluviales et de jachère et des espaces agro-forestiers (verger) de bas-fonds. Ces 7 classes peuvent être regroupées en 3 catégories pour permettre une comparaison entre sites : Forêts, Pâturages (savanes, jachères, sols nus) et Cultures (pluviales, rizières, vergers). Les zones de cultures (pluviales, bas-fond) sont aussi des espaces de pâturages avec la vaine pâture en post-récolte (Castella *et al.*, 2005).

1.4. DISTRIBUTION D'UTILISATION

La distribution d'utilisation décrit la probabilité d'utilisation de l'espace par un animal pendant une période donnée (Benhamou, 2011). Pour l'estimer, la densité d'utilisation a été calculée pour chaque pixel de la carte de végétation à partir des localisations GPS successives avec la fonction BRB (Biased Brownian Bridges) du package adehabitatHR v.0.4.18 du logiciel R (Calenge, 2015). La distribution d'utilisation permet d'estimer le temps « actif » passé dans chaque catégorie d'habitat. En effet, les périodes de « repos » (<10m entre deux localisations successives) et le temps passé à l'étable (<20m du bâtiment) ont été exclus du calcul. La distribution d'utilisation cumulée d'une vache de la ferme B au Vietnam est cartographiée (Fig. 2).

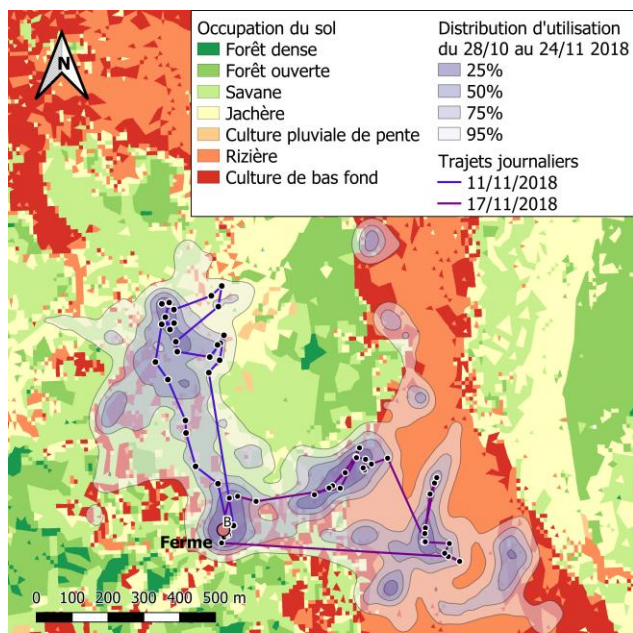


Figure 2 : Distribution d'utilisation d'une vache de la ferme B. Les contours de la distribution d'utilisation délimitent le pourcentage de temps cumulé depuis les 25% les plus utilisés jusqu'à 95%, qui délimite le domaine vital.

Le pourcentage de temps passé à l'intérieur des enveloppes permet de distinguer le gradient d'utilisation depuis les zones très utilisées du cœur du domaine vital (25% des localisations) jusqu'à la bordure du domaine vital (95% des localisations).

2. RESULTATS

2.1. DISTRIBUTION D'UTILISATION DES HABITATS

La distribution d'utilisation des habitats sur le temps actif (déplacement et alimentation) de chaque animal équipé d'un GPS a permis d'effectuer une classification manuelle des types d'élevages (Fig. 3 et 4). On distingue des troupeaux à dominante *pastorale* qui s'alimentent principalement sur des pâturages (60%-90%), les troupeaux à dominante *agropastorale* qui passent au moins 30% à 60% de leurs temps dans des zones de cultures, et les troupeaux (*agro*)*sylvopastoraux* qui passent plus de 15% de leur temps dans les zones forestières. Les 3 catégories coexistent au sein d'un même village au Vietnam tandis que les zones d'élevage semblent bien distinctes des zones de cultures sur le site de Thaïlande.

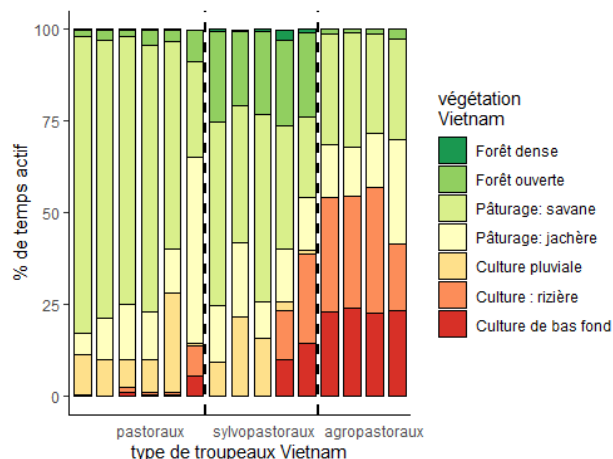


Figure 3 : Distribution d'utilisation des différents types d'habitats par animal (barres verticale) au Vietnam. La classification est indiquée sous l'axe des abscisses.

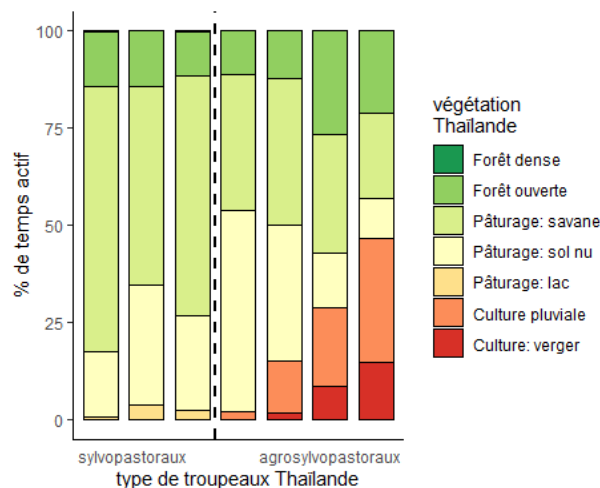


Figure 4 : Distribution d'utilisation des différents types d'habitats par animal (barres verticale) en Thaïlande.

2.2. CONDUITE DES TROUPEAUX

Au Vietnam (Fig. 5), les animaux des troupeaux *pastoraux* sont en libre pâture et passent seulement 3% à 15% (moyenne : 8%) de leurs nuits à l'étable. En revanche, les animaux des troupeaux *agropastoraux* et *sylvopastoraux* rentrent à l'étable de 56% à 93% des nuits (moyenne : 74%). En Thaïlande (Fig. 6), on distingue deux sous-sites ayant une conduite des animaux contrastée. Les troupeaux *pastoraux*, en libre pâture et sans enclos nocturne, qui sont situés à plus de 3km de la route et des cultures. Par contraste, les animaux des troupeaux *agrosylvopastoraux* sont parqués toutes les nuits (100%) dans de grands enclos extérieurs situés à proximité des habitations et des champs.

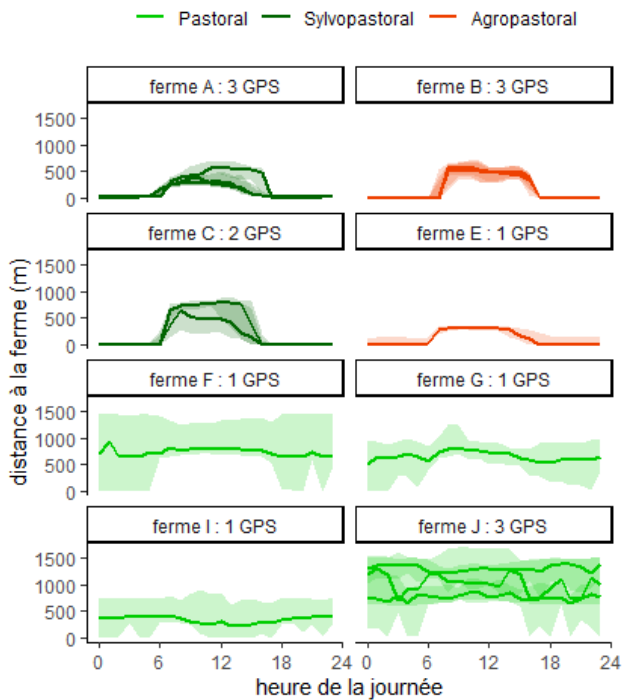


Figure 5: Distance à la ferme en fonction de l'heure au Vietnam. Les lignes en traits plein indique la distance médiane, les zones grisées vont des quantiles 25% à 75%.

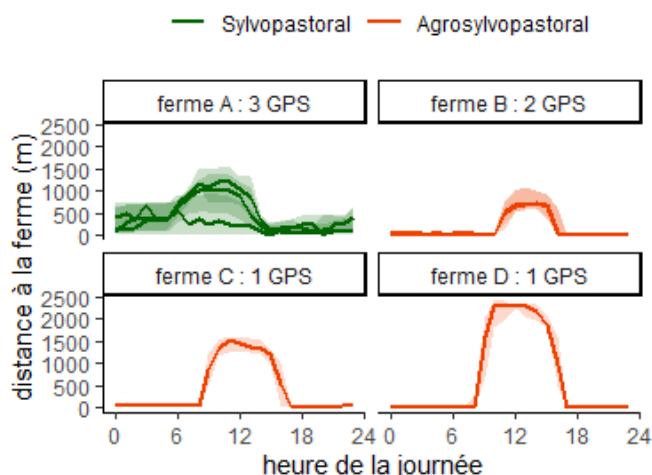


Figure 6: Distance à la ferme en fonction de l'heure en Thaïlande. Les lignes en traits plein indique la distance médiane, les zones grisées vont des quantiles 25% à 75%.

3. DISCUSSION

3.1. TYPOLOGIE PAR DISTRIBUTION D'UTILISATION

La typologie des systèmes d'élevages construite à partir de la distribution d'utilisation des habitats permet de distinguer trois types d'élevage : les élevages pastoraux, les élevages agropastoraux et les élevages (agro)sylvopastoraux selon la part du temps actif (déplacement et alimentation) passé sur les pâturages, les zones de cultures et les zones forestières. Cette typologie reflète une utilisation de l'espace propre à la saison d'automne-hiver où les cultures récoltées permettent la vaine pâture par les animaux sur les parcelles cultivées, sans risque de dommage sur les cultures. Les éleveurs sont alors moins contraints pour la conduite de leurs animaux. Il est intéressant de noter que malgré l'ouverture de la vaine pâture, certains éleveurs maintiennent leurs animaux dans les zones de pâturages. Il serait intéressant de suivre l'évolution de l'utilisation des habitats par les différents type d'élevage au

cours des différentes saisons, particulièrement pendant les périodes de culture. La forêt pourrait être utilisée comme espace de retraite de façon plus marquée à cette saison comme l'ont montré Valls-Fox *et al.* (2018) en périphérie de forêt protégée en Afrique Australe.

3.2. CROISEMENT AVEC LES TYPOLOGIES ISSUES D'ENQUÊTES

L'analyse des données GPS (distribution d'utilisation des habitats et distance à la ferme) confirme la grande diversité des types d'élevage et de stratégies de conduite des animaux sur les territoires étudiés. La méthode proposée permet d'identifier les mêmes types de systèmes d'élevages (Duong, 2019 ; Svahn, 2018 ; Blanchard *et al.*, 2020) : des élevages agropastoraux dans les vallées où les animaux rentrent quotidiennement à l'étable et passent plus de temps parqués, en partie affouragé à l'auge ; des élevages (agro)sylvopastoraux dont les animaux sont conduits au pâturage sur les bas-fonds et sur les pentes sous la surveillance d'un berger et sont stabulés à l'étable la nuit et affouragés à l'auge ; et des élevages pastoraux dont les animaux sont laissés libres sur les pentes des montagnes pâturant sous forêt toute l'année.

L'indicateur de distance à la ferme en fonction de l'heure permet de faire ressortir les pratiques de parage des animaux et d'identifier les types d'élevages pastoraux au Vietnam et sylvopastoraux en Thaïlande, de la même manière que Duong (2019) l'a réalisé par enquête sur les pratiques de gestion des troupeaux. Cet indicateur permet cependant de disposer de connaissance plus fine sur la mobilité des animaux que ce qui est accessible par enquête. L'analyse de la distance parcourue par les animaux et de la durée des activités suggèrent ainsi que les dépenses énergétiques des élevages sylvopastoraux et agro(sylvo)pastoraux seraient plus important que pour les élevages pastoraux.

L'alimentation du bétail est un élément clef des stratégies de conduite du bétail par les éleveurs sur un territoire donné. En fonction de la disponibilité saisonnière en fourrage, et des droits d'accès à des zones pastorales, collectives ou privées, les éleveurs adoptent des pratiques qui impactent profondément les mouvements du bétail. Ainsi, le suivi fin par GPS des animaux ne renseigne pas simplement la position des animaux dans le temps et l'espace, mais révèle les stratégies de conduite des éleveurs. L'utilisation de GPS permet de s'affranchir d'un suivi de troupeau par un observateur à pied et de répliquer, en simultané ou en séquentiel, l'observation d'un parcours journalier. Le GPS est complémentaire aux approches qualitatives telles que la cartographie participative et les enquêtes d'éleveurs. Tandis que l'analyse des trajets permet de décrire finement les patrons, les approches qualitatives décrivent les pratiques sous-jacentes. Les connaissances issues des analyses de données GPS, relativement peu coûteuses, peuvent accompagner l'amélioration de la conduite des élevages, notamment en optimisant l'accès aux pâturages collectifs, tout en réduisant les impacts environnementaux et sanitaires des élevages.

CONCLUSION

La mobilisation de données GPS à travers deux indicateurs (distribution d'utilisation des habitats et distance à la ferme) permet d'établir des typologies de systèmes d'élevage comparables à celles préétablies. Une connaissance fine de l'utilisation des habitats par le bétail au cours du temps permet de revisiter les pratiques d'élevage en fournissant un support de discussion aux acteurs du territoire (éleveurs, agriculteurs, administration, encadrement agricole, services de santé...), complémentaire aux approches participatives de cartographie. Les trajets GPS permettent d'approfondir l'analyse des pratiques d'élevage en mettant en évidence les compromis éventuels associés à certains modes de conduite. Enfin, l'utilisation généralisée de smartphones par les éleveurs et par

les services de l'élevage représente une opportunité pour la démocratisation de suivis en temps réels des troupeaux, favorable à une gestion territoriale du cheptel permettant de limiter les conflits d'usage et d'améliorer la gestion des ressources naturelles pastorales et non pastorales. L'accès à distance et en temps réel de la localisation des animaux est particulièrement intéressant dans les régions montagneuses, isolées où il est difficile et coûteux de se déplacer.

Le projet pilote Cat-Track a été financé par une bourse SEAOHUN, le projet ACTAE/TAG (AFD) ainsi que le projet TICA/Health interface (CIRAD- KU).

Ce projet a été effectué dans le cadre des dispositifs de Recherche et d'Enseignement en Partenariat GREASE "Management of Emerging Risks in Southeast Asia" et ASEA "Agroecology in South-East Asia".

Benhamou S., 2011. PloS one, 6(1), e14592.
Blanchard M., Huyen L.T.T., Ngoc T.T.B., Quang N.H., Smith R.W., Ives S.W., 2020. Animal Production Science (soumis).
Calenge, C. 2015. The Comprehensive R Archive Network.
Castella J.C., Trung T.N., Boissau S., 2005. Ecol. Soc. 10 (1): 27.
Cesaro J.D., 2016. 426 p. Thèse de doctorat , : Université Paris Ouest Nanterre La Défense.
Devendra C., 2002. Agric. Syst. 71, 179-186.
Duong H.V, 2019. SEAHOUN report. 52p.
Homburger H., Schneider M.K., Hilfiker S., Lüscher A., 2014. PloS one, 9, e114522.
Knight C.W., Bailey D.W., Faulkner D., 2018. Rangel. Ecol. Manag. 71, 506–508.
Manly B.F.J., 2002. Springer.
Mazhar S., Gul J., Mueen F., Hussain M., 2015. IEEE SENSORS.
Phonphoem A., Li-on S., Valls-Fox H., Jaikaeo C., Jansang A., Kitisriworapan S., Menassol J.B., Duong H.V., Sripiboon S., Sangmalee A., Cesaro J.D., Blanchard M., de Garine-Wichatitsky M. (In prep.).
Svahn C., 2018. Montpellier SupAgro report. 65p.
Valls-Fox H., Chamailé-Jammes S., de Garine-Wichatitsky M., Perrotton A., Courbin N., Miguel E., Guerbois C., Caron A., Loveridge A.J., Stapelkamp B., Muzamba M., Fritz H., 2018. Animal Conservation 21 (5), 365-375.