

Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du

**MASTER INTERNATIONAL « SCIENCES ET TECHNOLOGIE
DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION
ET DE L'ENVIRONNEMENT »
Parcours SYSTEMES D'ÉLEVAGES**

**Comptage de bovins à partir d'images acquises par drone
au point d'abreuvement**



Serge NABÉNÉZA

Année universitaire 2021-2022

Membres du jury :

Rapporteur extérieur : Émile Faye, Chercheur CIRAD

Rapporteur formation : Magali Jouven, Professeur Institut Agro Montpellier

Rapporteur entreprise : Simon Taugourdeau, Chercheur CIRAD

Enseignants référents : Charles-Henri Moulin, Professeur Institut Agro Montpellier

Jean-Baptiste Ménassol, Maître de conférence, Institut Agro Montpellier

RÉSUMÉ

Dans le nord du Sénégal, où les contraintes climatiques sont importantes, l'activité agricole essentielle est l'élevage d'animaux de rente, principalement des bovins conduits de façon extensive. Sur cette zone, les effectifs d'animaux ne sont qu'estimés, principalement sur la base des campagnes de vaccinations des animaux. Cela peut être problématique pour la mise en place de politiques d'appui, adaptées au secteur de l'élevage, et de l'évaluation de leur impact sur l'environnement et l'économie du pays. Ceci justifie la présente étude qui propose une première méthode de comptage des individus par captation d'images par UAV. Le point d'ancrage méthodologique de cette étude vise à tirer profit des grands épisodes de rassemblements de bovins à l'occasion de la saison sèche autour des forages présents dans la zone du Ferlo. Les points d'abreuvement constituent à cette occasion une opportunité d'un bon niveau d'échantillonnage des effectifs totaux. Notre zone d'étude est l'abreuvoir de Widou Thiengoly situé dans la zone sylvopastorale autour duquel les animaux ont été photographiés avec un capteur RGB haute résolution embarqué sur un drone, afin de pouvoir recenser le cheptel local autour de ce point d'eau. Le comptage manuel des bovins sur les images étant laborieux, un logiciel de type apprentissage automatique de segmentation et de comptage est évalué pour dénombrer les bovins de façon automatisée après une première phase d'apprentissage. Nos résultats indiquent qu'un grand nombre d'animaux n'apparaissent pas sur les images acquises par voie aérienne, que la construction d'un modèle de classification et de comptage de bovins doit se faire avec une méthodologie efficace pour être fiable et qu'il est important de connaître les pratiques d'abreuvements des éleveurs. Tous ces indicateurs déterminés préalablement seront nécessaires pour l'estimation du cheptel bovin local. Les méthodologies utilisées et les résultats obtenus font l'objet de discussions au sein du présent manuscrit.

Mots clés : Recensement, bovins, contraintes d'abreuvements, point d'eau, images RGB, drone, apprentissage automatique.

ABSTRACT

Cattle counting from images taken by a drone at a watering point

In northern Senegal, where climatic constraints are significant, the main agricultural activity is the breeding of livestock, mainly cattle driven extensively. In this area, animal numbers are only estimated, mainly on the basis of animal vaccination campaigns. This can be problematic for the establishment of support policies, adapted to the livestock sector, and the assessment of its impact on the environment and the economy of the country. This justifies the present study which proposes a first method of counting individuals by UAV image capture. The methodological anchor point of this study aims to take advantage of the large episodes of cattle gatherings during the dry season around the boreholes present in the Ferlo area. The watering points are on this occasion an opportunity for a good level of sampling of the total numbers. Our study area is the drinking trough of Widou Thiengoly located in the silvopastoral area around where the animals were photographed with a high-resolution RGB sensor on board a drone, in order to be able to identify the local livestock around this water point. As the manual counting of cattle on the images is laborious, machine learning software for segmentation and counting is evaluated to count cattle automatically after a first learning phase. Our results indicate that a large number of animals do not appear on the images acquired by air, that the construction of a model of classification and counting of cattle must be done with an efficient methodology to be reliable and that it is important to know the watering practices of breeders. All these previously determined indicators will be necessary for the estimation of the local cattle head number. The methodologies used and the results obtained are the subject of discussions within this manuscript.

Key words

Census, cattle, watering constraints, water point, RGB images, drone, Machine Learning.

REMERCIEMENTS

Je remercie Simon TAUGOURDEAU et Paulo SALGADO pour m'avoir accueilli au sein du dP PPZS et à l'ISRA à Dakar (SENEGAL), ainsi que pour leurs conseils, et pour la mobilisation des moyens humains et matériels pour le bon déroulement de ce stage.

Un grand merci à Mane NAHE DIOUF, directrice du LNERV pour m'avoir permis de profiter des locaux de l'ISRA, afin de rendre mon séjour agréable.

Je tiens à remercier également mes tuteurs pédagogiques Charles-Henri MOULIN et Jean-Baptiste MENASSOL pour leurs soutiens et leurs encadrements pour la réalisation de ce rapport.

Mes remerciements à Fatima, Anaïs, Gassama, Mariama, Haftay, Cofélas, et Arthur, pour m'avoir intégré chaleureusement dans l'équipe du PPZS à Dakar.

Merci à Pierre et à Giovanni, pour la relecture de mon rapport.

Ma gratitude à Alexandre ICKOWICZ, Sylvain PERRET, et à Guillaume DUTEURTRE pour m'avoir permis de suivre cette formation de Master3A à l'Institut Agro de Montpellier.

Merci aux personnes que je n'ai pas cité, qui ont contribué à la réalisation de mon parcours de formation, dans de bonnes conditions, durant ces deux dernières années.

Ce stage m'a permis de découvrir pour la première fois cette partie de l'Afrique de l'Ouest et surtout le nord du SENEGAL comme la zone sylvo-pastorale du Ferlo. Je retiens surtout la gentillesse des hommes, des femmes et des enfants pour leurs accueils chez eux, ou sur le terrain.

AVANT-PROPOS

Pour valider la deuxième année du Master 3A (Master International « Sciences et Technologies de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'environnement » dispensé à l'Institut Agro de Montpellier, chaque étudiant doit effectuer, pendant le second semestre, un stage professionnel de fin d'études. Ce stage, d'une durée de 5 à 6 mois, doit nous permettre de développer nos capacités à répondre à des objectifs posés, à nous intégrer dans un projet, à s'approprier une mission, à mettre en applications les connaissances et les compétences acquises durant l'année de M2, mais aussi d'en développer de nouvelles. Il nous permettra de nous insérer dans un environnement professionnel nouveau et parfois dans des contextes géographiques complètement dépay sant.

J'ai choisi de suivre pour ma deuxième année de Master 3A, le parcours SYSTEL (Systèmes d'Élevage), qui permet d'acquérir les connaissances biologiques, techniques et socio-économiques sur l'élevage dans différentes conditions, qui vont de l'élevage intensif dans des filières intégrées à l'élevage pastoral mobile.

Pour mon stage, j'ai choisi un sujet qui traite de l'apport et de l'aide d'outils numériques pour dénombrer des bovins. Ce stage est proposé par le CIRAD au sein de l'UMR SELMET. Le terrain d'étude se situe au Sénégal et je suis accueilli dans les locaux de l'ISRA via le Dispositif Partenarial PPZS. Cette UMR est impliquée dans de nombreux projets de recherche dans les pays en voie de développement sur l'étude des systèmes d'élevages familiaux à base de ruminants dans des systèmes pastoraux ou agropastoraux, avec un objectif global de transition agro-écologique de production.

SIGLES ET ACRONYMES

ACM	Analyse des Correspondances Multiples
CFA	Communauté Financière Africaine
CIRAD	Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement.
CNN	Convolutional Neural Network
CSE	Centre de Suivi Écologique
GPS	Global Positioning System
IA	Intelligence Artificielle
ISRA	Institut Sénégalais de Recherche Agronomique.
NISDEL	Nouvelle Initiative Sectorielle pour le Développement de l'Élevage
PIB	Produit Intérieur Brut
PPZS	Pole Pastoralisme et Zones Sèches
RGB	Red Green Blue
SCR	Système de Coordonnées de Référence
SELMET	Systèmes d'Élevages Méditerranéens et Tropicaux
SIG	Système d'Information Géographique
SYSTEL	Systèmes d'Élevage
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCAD	Université Cheikh Anta Diop
ULM	Aéronef Ultra Léger Motorisé
UMR	Unité Mixte de Recherche

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
I. CONTEXTE.....	3
1. Le Sénégal.....	3
A. Administratif.....	3
B. Le climat.....	4
C. Les ressources hydriques.....	5
D. Le secteur agricole.....	5
2. L'élevage de ruminants au Sénégal.....	6
A. Le cheptel et les systèmes d'élevage au Sénégal.....	6
B. La zone sylvo-pastorale du Ferlo.....	8
C. L'hydraulique pastorale.....	8
D. Les Peulhs de la région Ferlo.....	12
E. La transhumance.....	14
3. Les méthodes de comptages des animaux.....	15
A. Les méthodes de dénombrement direct.....	16
B. Les méthodes de dénombrement indirect.....	16
C. Les drones.....	17
D. Analyses automatiques des images.....	18
II. MATERIELS ET MÉTHODES.....	20
1. Recensement exhaustif des campements.....	22
2. L'enquête sur les pratiques d'abreuvement.....	24
3. Relation entre le nombre d'animaux comptés sur les images et le nombre réel d'animaux présents....	25
4. Construction d'un modèle de classification des bovins à partir des images « drone ».....	27
A. Traitement des images avec Fiji de Image J.....	27
B. Construction d'un modèle de classification de reconnaissance des bovins.....	28
C. Comptage des entités.....	30
D. Contrôle de performance du modèle de classification.....	31
5. Estimation de la taille du cheptel bovin s'abreuvant à partir du forage de Widou.....	32
III. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	34
1. Relation entre le nombre d'animaux comptés sur les images et le nombre réel d'animaux présents....	34
A. Résultats.....	34
B. Discussion :.....	36

2.	Contrôle des performances du modèle de classification	37
A.	Résultats	37
B.	Discussion :	39
3.	Les pratiques d'abreuvements	40
A.	Résultats	40
B.	Discussion	45
4.	Estimation finale du nombre de bovin local	46
A.	Résultats	46
B.	Résultats	47
5.	Discussion générales et perspectives	47
CONCLUSION.....		50

INTRODUCTION

Au Sénégal, comme pour la plupart des pays africains, le nombre d'animaux domestiques (bovins, ovins, caprins,...) ne cesse d'augmenter grâce aux avancées sanitaires et vétérinaires, à la mise à disposition de zones pastorales, et à la création de points d'eau (Carrière, 1996) (Richard *et al.*, 2019).

Une grande partie du territoire, située dans la zone sahélienne ne se prête pas aux cultures car les sols sont peu fertiles et subissent de fortes sécheresses (Kane, 2005) (Sy, 2010). L'élevage pastoral extensif est la seule activité agricole capable de tirer parti de ces conditions difficiles, comme la faible disponibilité fourragère et la faible ressource en eau en saison sèche (Hiernaux *et al.*, 2018).

L'élevage joue un rôle important aussi bien pour la sécurité alimentaire, dans la mesure où il contribue à l'emploi et aux revenus en milieu rural et assure l'accès à des aliments d'origine animale produits localement. C'est l'un des secteurs économiques qui présente le plus d'opportunités pour les populations pauvres des régions arides et semi arides (Duteurtre et Faye, 2003). La possession de ce capital sur pieds joue un rôle d'épargne, d'assurance et est le premier filet de sécurité en cas de mauvaises récoltes pour les agriculteurs (Lhoste, 2004). Au Sénégal, près de 350 000 ménages tirent l'essentiel de leurs revenus de ce secteur, soit près de 30% des ménages en milieu rural.

Cependant, les éleveurs ne souhaitent pas divulguer le nombre exact de leurs animaux, afin de minimiser les taxes liées aux activités de l'élevage ([Elevage et fiscalité, 2005](#)). Malgré la sédentarisation de beaucoup d'éleveurs dans les zones pastorales et autour des forages (Touré et Arpaillage, 1987) (Carrière, 1996), les pratiques de la transhumance locale et transfrontalière pour la recherche des ressources fourragères, perdurent toujours lors de la saison sèche, ce qui compliquerait la mise en œuvre d'un recensement, car les troupeaux restent très mobiles et les surfaces exploitées par les animaux sont étendues, avec une densité estimée à 25 bovins par km² sur tout le territoire (Cesaro *et al.*, 2010). Les recensements estimatifs des animaux se font essentiellement sur la base des animaux vaccinés lors des campagnes d'immunisation des animaux contre les nombreuses maladies (Péripneumonie Contagieuse Bovine, Dermatose Nodulaire Contagieuse Bovine,...) qui sévissent dans ces régions (Lefèvre et Diallo, 1990) (Lancelot *et al.*, 2011).

Un des enjeux est de pouvoir estimer l'effectif du cheptel de façon plus précise, pour adapter les politiques d'appui et mieux estimer les impacts de l'élevage sur l'environnement et sur l'économie.

Les méthodes traditionnelles de comptage total ou par échantillon d'animaux, par voie aérienne (avion léger, hélicoptère) et terrestre sont trop chères et trop laborieuses pour être utilisées de façon régulière (Whitehouse *et al.*, 2001) (Ouédraogo *et al.*, 2009). Une solution est de profiter des rassemblements des troupeaux bovins aux points d'eau (forages, puits...) pour essayer de dénombrer les animaux à l'échelle locale (Lhoste, 1977).

Dans ce contexte, les véhicules aériens sans pilotes (UAV) comme les drones légers (<800g) semblent être un outil intéressant pour la prise d'images afin d'identifier et de compter les animaux (Linchant *et al.*, 2014) (Linchant *et al.*, 2017) (Nago *et al.*, 2021). Ils sont faciles

à déployer, moins onéreux et assurent une meilleure sécurité.

Sur les images « drones », le comptage manuel est possible mais est très laborieux, car nécessitant beaucoup de temps. Avec les avancées récentes de l'intelligence artificielle, des logiciels d'analyses d'images par apprentissage (Gonzalez *et al.*, 2016) (Eskandari *et al.*, 2020) (Miele *et al.*, 2021) permet à un programme informatique d'analyser un grand nombre de données et de décider quelles sont les informations les plus pertinentes. Le modèle construit, s'il s'avère concluant, permettra d'automatiser la reconnaissance, la classification et le comptage d'animaux à partir des images aériennes.

L'objectif de l'étude présentée ici est de tester une démarche mobilisant des images acquises par un drone et le comptage automatique des bovins sur ces images pour estimer la population de bovins présents à une période donnée sur l'aire de desserte d'un forage dans la zone sylvopastorale du Ferlo.

Le test de cette démarche soulève plusieurs questions :

- Le nombre d'animaux comptés sur les images acquises par drone correspond-il au nombre d'animaux présents sur le lieu d'abreuvement ?
- Quelle est la performance du comptage automatique avec un algorithme de segmentation d'image par rapport au comptage visuel considéré comme la référence ?
- Comment estimer le nombre de bovins présents sur l'aire du forage à partir du nombre d'animaux comptés au point d'abreuvement ?

I. CONTEXTE

1. Le Sénégal

A. Administratif

Le Sénégal (Figure 1) couvre une superficie de 196 722 km² et se situe sur la pointe extrême occidentale du continent africain entre 12,5° et 16,5° de latitude nord et 12° et 17° de longitude ouest. Le pays est bordé à l'ouest par 700 km de côtes sur l'océan Atlantique. Le relief du pays est plat. Il est traversé par le fleuve Sénégal, long d'environ 1 600 km qui constitue la frontière avec la Mauritanie dans le nord et par le fleuve Gambie dans le sud. Les États limitrophes du nord au sud sont : la Mauritanie, le Mali, la Guinée, la Guinée Bissau. Enclavée dans la partie sud, la Gambie a une ouverture sur l'océan.

Le pays est peuplé de 16 740 000 habitants (recensement de 2020) soit 85 habitants par km², et la ville de Dakar est la capitale.



Figure 1 : Le Sénégal (Wikipédia.org)

Le régime alimentaire de base est composé de céréales (riz, mil, sorgho), de légumes et de poissons. A ces aliments s'ajoutent l'arachide et le niébé (haricot). Cependant, on assiste depuis quelques années à un changement dans les modes de consommation des produits d'origine animale. Dans les zones urbaines, on assiste à une demande croissante en viande et en lait (lait caillé et beurre), soutenue par la croissance des revenus et des nouvelles attentes socioculturelles. Les activités de la filière viande sont principalement tournées vers l'approvisionnement de Dakar. Cependant, la part du poisson dans la consommation de protéines animales des sénégalais reste largement supérieure à 75 %.

B. Le climat

Le Sénégal connaît quelques variations climatiques selon les régions, mais en général, le climat sénégalais est doux. La température à l'ouest du pays, qui est bordé par l'océan Atlantique, est plus fraîche que dans les autres endroits. Un climat continental, c'est-à-dire aux journées chaudes et aux nuits fraîches, se rencontre au centre et au sud du Sénégal. Dans le nord et à l'est, c'est plutôt le climat tropical sec qui domine. D'une manière générale, il y a deux saisons (Figure 2). Une saison sèche qui s'étend de novembre à mai et une saison des pluies (hivernage) de juin à octobre. Dans le sud du pays, la saison des pluies dure plus longtemps.

- La saison sèche dure du mois de novembre à mai. Durant cette période, les températures avoisinent les 26°C.
- La saison des pluies (hivernage), entre juin et octobre, apporte chaleur et pluie. Le thermomètre grimpe à 30°C et les pluies font leur apparition. Les précipitations ne durent pas très longtemps.

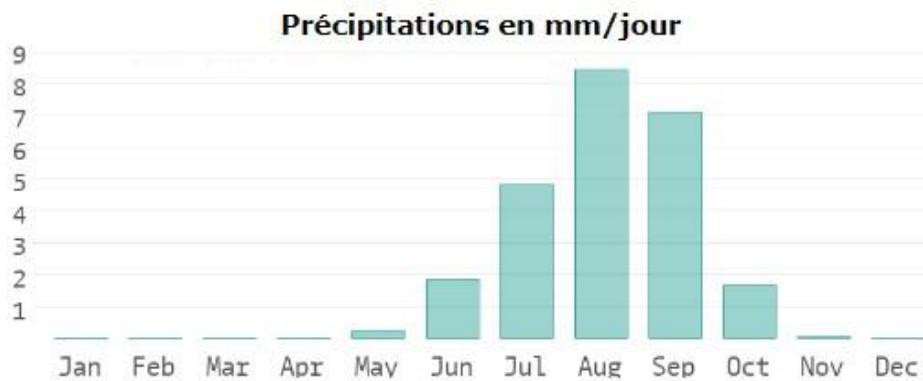


Figure 2 : La pluviométrie moyenne au Sénégal ([Données mondiales, 2021](#))

Cependant l'élément majeur du climat est la grande variabilité spatiale des précipitations qui fluctuent en moyenne entre plus de 1000 mm au sud et moins de 300 mm au nord (Ndong, 1995). On constate depuis les années 1940, une translation des isohyètes assez marquées du nord au sud avec des périodes de sécheresses périodiques, conséquence des effets du changement climatique (Noblet *et al.*, 2018).

La répartition spatiale des précipitations permet de diviser le pays en deux grandes régions climatiques (figure 3) de part et d'autre de l'isohyète 500 mm :

- La région sahélienne au nord de cet isohyète comprend deux régimes pluviométriques, le régime nord sahélien avec une pluviométrie inférieure à 300 mm et le régime sud sahélien avec une pluviométrie comprise entre 300 et 500 mm ;
- La région soudanienne au sud de l'isohyète 500 mm comprend les régimes nord soudanien entre 500 et 1000 mm et sud soudanien, au-delà de 1000 mm.

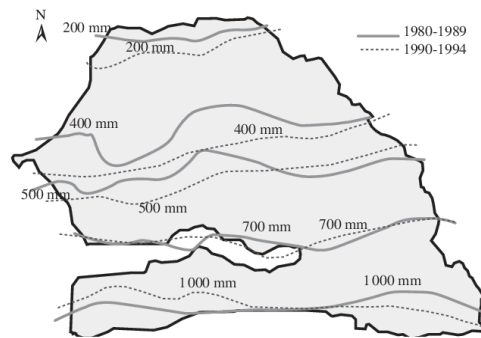


Figure 3 : La translation des isohyètes au Sénégal (Heaulme, 2009)

C. Les ressources hydriques

Le Sénégal dispose de ressources en eau relativement abondantes en moyenne dans tout le pays, mais il existe de fortes variations régionales et saisonnières. Il y a quatre fleuves principaux (Sénégal, Saloum, Casamance et Gambie) et de nombreuses petites rivières pérennes et lacs qui constituent également des ressources importantes.

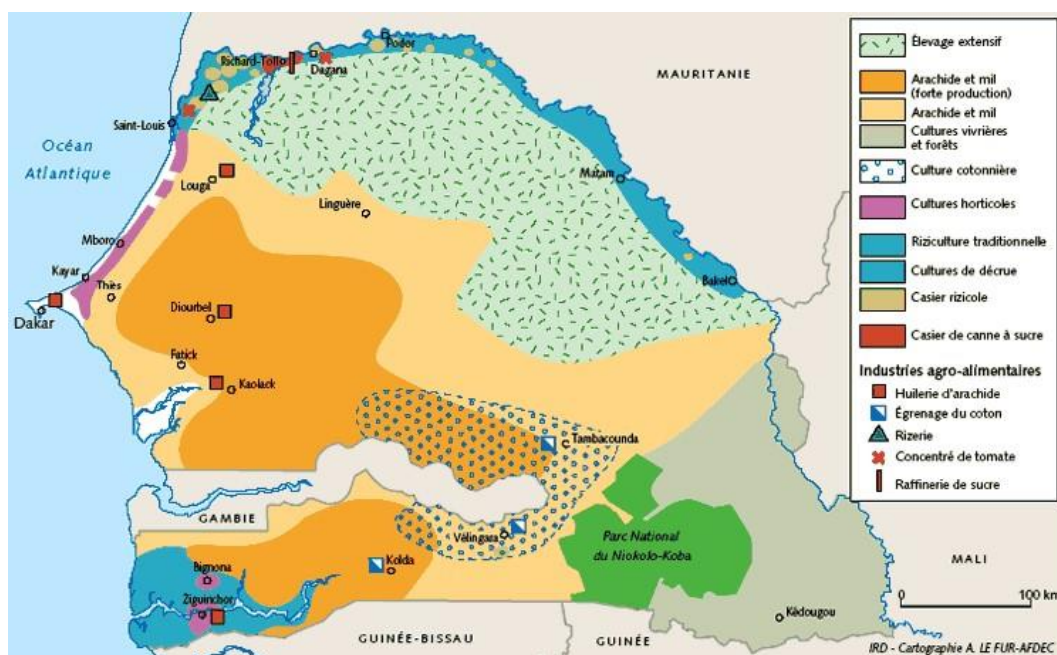
Les eaux souterraines en grands nombres, fournissent une grande partie de l'approvisionnement en eau du pays sous forme de forages et de puits. Elles ont toujours été une composante essentielle du potentiel en eau du Sénégal, pendant la période sèche, mais leur surexploitation est un problème croissant dans certaines régions. En effet, beaucoup de puits et de forages ne sont plus exploitables par atrophisation de la nappe phréatique ou par augmentation de la salinité.

D. Le secteur agricole

Le secteur agricole sénégalais se caractérise par une grande diversité de production. Les populations rurales ont adopté un grand nombre de plantes cultivées et ont appris à élever de nombreuses espèces animales. Le cheptel est très important. Sur la côte maritime longue de 700 km, c'est plutôt le secteur de la pêche qui s'est développé.

Le secteur de l'agriculture occupe plus de 60% de la population active ce qui en fait un des piliers de l'économie sénégalaise. Il a connu des changements importants durant ces cinquante dernières années. D'une agriculture à l'origine vivrière et familiale, elle a été fortement orientée sur les cultures de rente d'arachide et de coton (Figure 4). La filière arachide, longtemps le moteur de l'économie sénégalaise, traverse une crise importante (Freud *et al.*, 1997) (Noba *et al.*, 2014). La production augmente, dans les filières céréales (l'arachide, le niébé, le mil, le riz et le maïs), fruitières et maraichères, et manioc, qui ont su s'adapter pour répondre à la demande locale croissante.

La plupart des producteurs agricoles sont de petits exploitants qui cultivent la terre et pratiquent des assolements traditionnels, combinant cultures de rente (arachide coton) et cultures vivrières de subsistance (mil, sorgho, maïs), tout en possédant quelques animaux, en élevage extensif et, dans de plus rares cas, intensif.



Les principales races bovines sont le Zébu « Gobra » dans la partie sahélienne (Nord et centre du Sénégal), et le taurin « Ndama », sélectionné pour sa résistance à la trypanosomiase et à la piropalmonose, au sud et à l'est (zone soudano-sahélienne). Aux zones de transition entre le domaine des « Gobra » et celui de la race « Ndama » s'est développé un type génétique résultant du métissage entre ces deux races, le « Djakoré ».

Les races locales allaitantes bovines ont un potentiel boucher relativement bon et sont aussi utilisées pour la production laitière dont le potentiel est faible. Ce faible potentiel est dû au mode de conduite et de gestion traditionnelles des troupeaux (présence prolongée du veau sous la mère, peu d'utilisation de compléments) ainsi qu'aux ressources en eau limitées dans les zones d'élevage. Cette faible productivité se traduit par une offre en lait et produits laitiers insuffisante et très saisonnière. Le Sénégal est donc contraint d'importer une part importante de sa consommation en lait (environ 50 %) sous forme de poudre (Chatellier, 2020) (Dieye *et al.*, 2005) (Chatellier, 2020).

Selon la situation agro-écologique du pays, on peut distinguer trois systèmes d'élevages : un système pastoral localisé au nord dans la zone sylvopastorale, un système agropastoral dans le bassin arachidier, de la vallée du fleuve Sénégal au sud et sud-est du pays et un système périurbain localisé dans les Niayes (banlieue de Dakar).

- L'élevage pastoral, localisé au Nord où l'activité agricole est peu développée, voire inexistante du fait de la faible pluviométrie (< 400mm), se caractérise par la grande mobilité des éleveurs et de leurs troupeaux en saison sèche. Cet élevage concerne 32% des bovins et 35% des petits ruminants (ovins et caprins). Les animaux se nourrissent essentiellement des ressources fourragères herbacées et ligneuses naturelles présentes sur les parcours communautaires.
- Le système agro-pastoral s'est développé dans les zones où la pluviométrie et les conditions ont permis une activité agricole soutenue (bassin arachidier). Il concerne environ 67% des effectifs de bovins et 62% des petits ruminants. Dans ce système, l'amplitude des déplacements des troupeaux peut-être relativement faible à forte. Elle se fait dans les forêts claires de la Casamance, afin d'éloigner les animaux des zones de cultures ou dans la zone pastorale du Ferlo en saison des pluies
- Le système périurbain, développe un élevage semi-intensif, voire intensif, avec des effectifs de l'ordre de 1% des bovins et 3% des petits ruminants. Les animaux sont nourris avec des fourrages herbacés récoltés hors de la ville, des résidus de cultures comme les fanes d'arachides et complémentés par du tourteau d'arachide, de coton, et d'aliments concentrés industriels pour compenser la faible valeur alimentaire des fourrages distribués.

B. La zone sylvo-pastorale du Ferlo

Recouvrant l'essentiel de la frange sahélienne du Sénégal, la zone sylvo-pastorale qui s'étire sur quelques 60 000 km² sans reliefs (Figure 5), est couverte de steppes herbacées et de savanes arborées, et est marquée par un régime climatique sec (entre 200 et 400 mm/an en moyenne). C'est une zone où les conditions ne permettent pas l'agriculture sous pluie chaque année. Malgré les conditions climatiques difficiles, seule l'activité de l'élevage de ruminants est permise. L'élevage se fait de façon extensive et est dépendant de la très faible disponibilité fourragère et des points d'eau. Pendant la saison des pluies, les animaux peuvent s'abreuvent quotidiennement, grâce aux nombreuses mares temporaires qui se sont formées. Mais au début de la saison sèche, ces points d'eaux disparaissent, ce qui oblige les bergers à emmener leurs troupeaux aux abreuvoirs des forages et des puits.

Le couvert végétal est composé d'un tapis herbacé à dominante d'espèces annuelles (*Cenchrus biflorus*, *Schoenefeldia gracilis*, *Zornia glochidiata*, ...), couvrant de façon incomplète le sol, et d'une strate arbustive peu dense dominée par *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis*, *Acacia senegal*, ... (Valenza et Diallo, 1972).

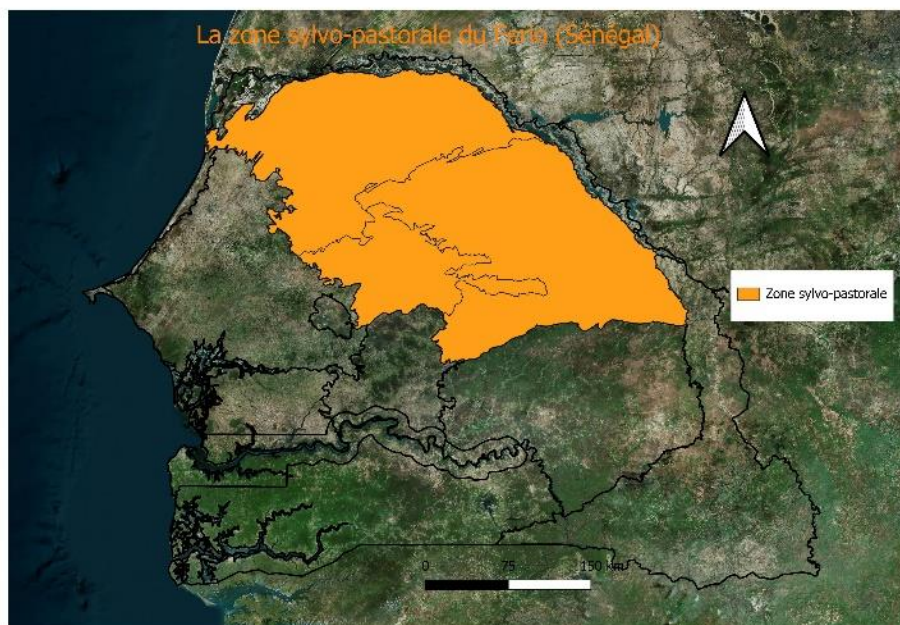


Figure 5 : La zone sylvo-pastorale du Ferlo (PPZS)

C. L'hydraulique pastorale

À partir des années 1950, avec pour objectif de développer et d'intensifier l'élevage au Sahel, a été mis en place une politique de multiplication des points d'eau et de modernisation de l'abreuvement pour permettre l'accès à l'eau dans les zones exploitées et non exploitées par l'élevage extensif (Touré et al., 2012).

Les éleveurs comptent, pendant la courte saison des pluies de juillet à septembre, profiter des nombreuses mares temporaires, remplies par les eaux de ruissellements. De plus cette eau est gratuite et permet de réduire les coûts liés à l'accès aux abreuvoirs des forages (Sy, 2009). Grâce au fond argileux de ces cuvettes, l'eau est retenue et fournit une quantité non négligeable pour les animaux domestiques. Afin de profiter pleinement des eaux de ruissellement, les éleveurs ont commencé à agrandir manuellement les mares (boulis traditionnels) afin d'augmenter leurs volumes de rétention (Touré *et al.*, 2019).

Ces pluies permettent aussi la régénération de la végétation, surtout de la strate herbacée primordiale pour l'alimentation des animaux. Les animaux profitent pendant cette période faste en ressources fourragères pour reprendre du poids et produire du lait.



Photo 1 : Cuvette argileuse (Nabénéza, 2022)

En saison sèche, l'herbe commence à se raréfier et les mares temporaires se dessèchent (Photo 1). Les seules sources d'eau disponibles sont souterraines et accessibles par des puits « traditionnels » creusés à moins de 30m de profondeur (Photo 2), quand le sol le permet (Baroin, 2003). L'eau est puisée grâce à une poulie, soit manuellement soit par traction animale pour être déversée dans un abreuvoir. La remontée de l'eau à l'aide d'une puisette est longue, laborieuse et peu efficace d'autant plus que le troupeau familial peut être important. Ces puits consolidés par des rondins de bois ne durent pas très longtemps car ils s'épuisent ou s'effondrent au bout de deux à trois ans.



Photo 2 : Puit traditionnel (<https://pubs.iied.org/>)

Afin de développer l'élevage et de le rendre plus productif, il a été décidé dans les années 1950 d'améliorer l'efficacité de l'abreuvement grâce à des installations hydrauliques modernes (Figure 6) et d'augmenter les surfaces pâturables en créant des points d'eau dans les zones jusqu'alors inexploitées. Trois types de puits furent construits, selon les caractéristiques de la nappe d'eau souterraine présente, ou des mares communautaires furent aménagées :

- Des puits cimentés, de moins de 30m, avec toujours le même mode d'extraction de l'eau à la poulie.
- Des stations de pompage motorisées (Photo 3), pour atteindre la nappe phréatique profonde de 200 à 600m. Nécessitant des moteurs thermiques au diesel pour l'aspiration de l'eau en profondeur et le stockage dans les châteaux d'eau. Ces stations sont distantes entre elles en moyenne de 20km et peuvent fournir un volume d'eau de 240 à 720m³ selon la saison (Thébaud, 1990).
- Des puits artésiens dont la caractéristique principale est la présence d'eau souterraine sous pression qui ne nécessite pas de station de pompage motorisé.
- La construction de mares communautaires, d'une capacité de 20 000 à 25 000 m³, nécessitant des engins de terrassements.

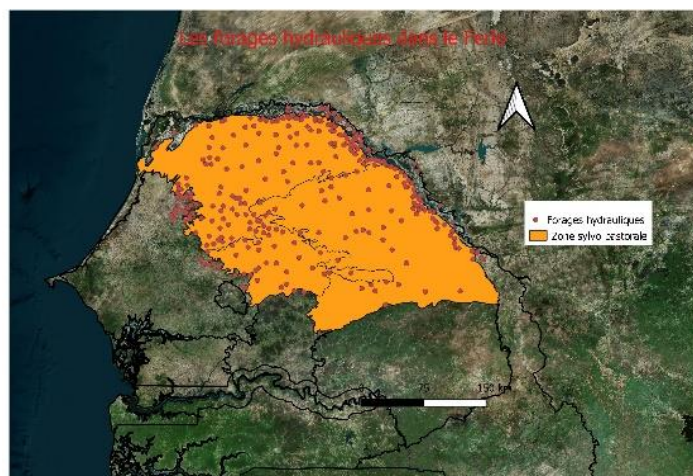


Figure 6 : Répartition spatiale des forages dans le Ferlo (PPZS, 2001)



Photo 3 : Forage de Widou Thiengoly (Nabénéza, 2022)

Avantages :

- Les puits cimentés, ont des diamètres d'ouvertures plus larges, et donc permettent la possibilité de mettre deux poulies, pour augmenter le débit d'extraction. La récupération de l'eau se fait par la force des bras ou par traction animale (Baroin, 2003) .
- Les stations de pompage et les puits artésiens ne nécessitent plus une extraction manuelle de l'eau. Ils permettent d'augmenter l'efficacité de l'abreuvement des animaux sans efforts du berger, car l'eau s'écoule en permanence au niveau des abreuvoirs.
- Sur demande des éleveurs au responsable du forage de Widou, cette eau peut être acheminée dans un rayon de plus de 10 km aux campements via une tuyauterie en pvc et un robinet. Ces installations ont un cout d'installation conséquent qui ne peut pas être supporté par tous les campements. La présence de ces robinets à proximité des campements, facilite le quotidien des familles, car elles peuvent s'affranchir du temps mis pour la récupération de l'eau au forage pour les familles et les animaux. De plus, les bergers n'ont plus l'obligation de passer à l'abreuvoir du forage pour étancher la soif des bovins.
- Ces installations ont permis d'exploiter de nouvelles zones de pâturages qui à la base n'étaient pas valorisées car la ressource en eau n'était pas accessible (Thébaud, 1990).
- La ressource en eau étant accessible durant toute l'année, les éleveurs nomades se sont sédentarisés en partie. Une multitude de campements se sont implantés autour de ces points d'eau (Touré *et al.*, 2019).
- Une conséquence de l'installation de cette nouvelle population est la création de villages avec des commerces, des marchés, des dispensaires et des écoles pour la scolarisation des jeunes enfants.

- Les mares communautaires permettent de stocker de grands volumes d'eau en l'absence de nappe phréatique (Diop *et al.*, 2004).

Inconvénients :

- Les stations hydrauliques construites, les pouvoirs publics se sont ensuite désengagés sur les coûts d'entretiens et de fonctionnement des stations de pompages (carburants, réparations) et des puits artésiens (canalisations). Les éleveurs rechignent à prendre en charge ces coûts (Baroin, 2003) (Ancey *et al.*, 2008).

Selon les affirmations du gestionnaire du forage de Widou, les troupeaux des chefs de campements venant au forage, doivent payer 350 franc CFA (Communauté Financière Africaine) par bovin par mois. Pour les campements ayant un robinet, un technicien procède au relevé de la consommation d'eau mensuel grâce au compteur d'eau présent sur le circuit. Le mètre cube d'eau est facturé 250 franc CFA.

- L'eau étant plus accessible, il y a eu un afflux d'éleveurs avec leurs animaux dans les zones pastorales. Ce qui a entraîné la concentration d'animaux de différents troupeaux pouvant propager diverses maladies des bovins (Lancelot *et al.*, 2011).
- L'augmentation incontrôlée du nombre d'animaux a créé un déséquilibre écologique dans ces zones fragiles sahéliennes, dont les ressources herbacées dépendent de la pluviométrie et des aléas climatiques (Touré *et al.*, 2019).
- Une pluviométrie entre 300 et 900 mm/an et un sol peu perméable sont nécessaires pour assurer une efficacité de la mare artificielle.

D. Les Peulhs de la région Ferlo

Majoritairement présents dans cette partie du pays, les Peulhs nomades se sont sédentarisés suite aux aménagements hydrauliques. Ils vivent dans des maisons circulaires de briques, avec ou pas un petit jardin attenant, entourées de barrières ou d'une clôture formant une concession (Figure 7) appelée *galle*. Un campement est constitué d'une ou plusieurs concessions. À l'intérieur du campement, un ou plusieurs foyers d'une même lignée, cohabitent sous l'autorité du chef de campement (Moulin, 1993). Chaque foyer possède des animaux, bovins et/ou petits ruminants, des ânes et parfois des chevaux. Les animaux sont gérés collectivement au sein du campement. C'est le chef de campement ou un berger, qui est souvent un des membres de la famille (frère ou fils du chef) qui s'occupe du cheptel bovin. La tâche principale est d'emmener les animaux vers les zones à pâturer et à l'abreuvoir en saison sèche. La fréquence de passage à l'abreuvoir peut être quotidienne ou tous les deux jours.



Figure 7 : Concession traditionnelle en Afrique subsaharienne (RIM, 1989)

Du point de vue social, le Peulh veut un grand troupeau parce qu'il sera considéré et respecté. L'importance de son troupeau est à la mesure de son rang social (Grenier, 1960). Le critère principal de différenciation socioéconomique dans la zone sylvopastorale est la taille du cheptel bovin.

La vente des animaux se fait en petit nombre et concerne généralement les vieilles vaches, les vaches malades et les taureaux âgés. Le troupeau est utilisé mais pas exploité au sens occidental du terme. Ceci entraîne une augmentation des effectifs dans chaque troupeau. La principale race bovine présente dans cette région, ainsi que vu précédemment, est le Zébu « Gobra » (photo 4).



Photo 4 : Troupeau de Zébus «Gobra» (Nabénéza, 2022)

La gestion des petits ruminants est généralement à la charge des femmes. Quotidiennement, elles ont pour tâche de récupérer de l'eau au point d'eau dans des citernes de 1000 litres, ou dans des chambres à air, pour la famille du campement et les petits ruminants (ovins et caprins). Le transport de cette eau se fait avec des charrettes attelées à des ânes.

Elles collectent le bois de chauffe et s'occupent de la vente des produits de cueillette, notamment la gomme arabique, les jujubes. Elles traient les vaches pour faire du lait caillé et du beurre liquide, seuls moyens pour conserver ces produits fragiles dans cette zone chaude. La production est d'abord consommée par les membres familiaux du campement et l'excédent en saison des pluies est vendu au marché hebdomadaire du village le plus proche.

E. La transhumance

Les mouvements de transhumance (Figure 8) sont très complexes (Thébaud *et al.*, 2018) (Kardjadj *et al.*, 2019) (Jahel *et al.*, 2020). Elle se pratique dans le bassin arachidier au sud, au nord vers la vallée du fleuve Sénégal, ou vers l'est ou l'ouest du pays. Les troupeaux du nord et du centre peuvent descendre vers le Sud jusqu'aux terres cultivées du Saloum (région de Kaolack), voire jusqu'en Gambie, et vers le Sud-est, jusqu'à celles du Sénégal oriental (région de Tambacounda). Inversement, les grands troupeaux des paysans Sérères remontent pâturer dans la zone sylvo-pastorale pendant la saison des cultures.

Elle n'est pratiquée que par nécessité quand la ressource fourragère se met à manquer, en saison sèche chaude, qui est la période la plus critique pour la disponibilité de la ressource fourragère, mais aussi en saison sèche froide si la pluviométrie en saison des pluies n'a pas été satisfaisante. Le cheptel doit sa survie au fourrager aérien fourni par de nombreuses espèces de ligneux présentes sur les parcours communautaires (Bakhoum *et al.*, 2020).

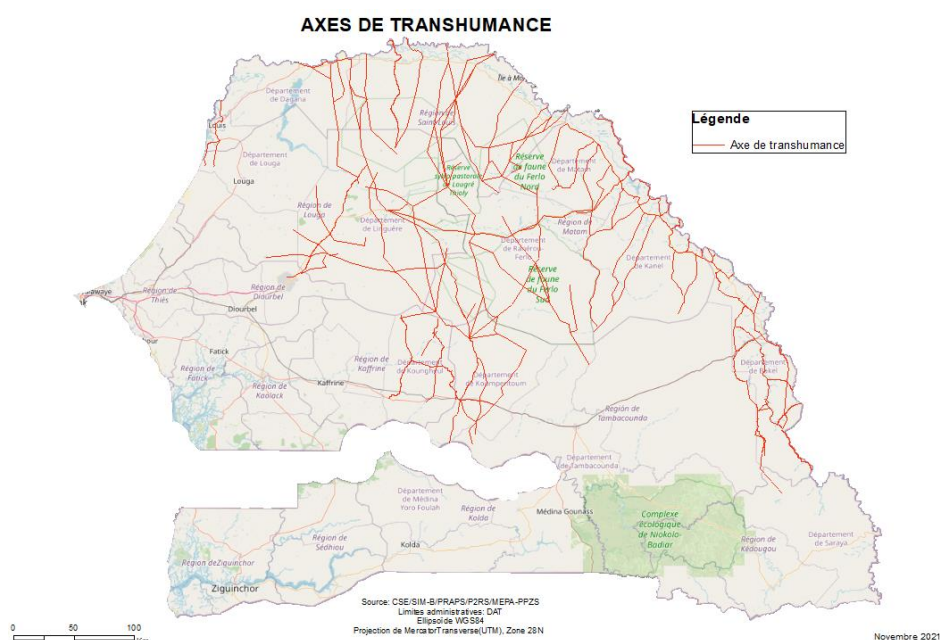


Figure 8 : Les mouvements de transhumance au Sénégal (PPZS, 2021)

Dans les zones propices à l'agriculture, l'arrivée des troupeaux transhumants en provenance du nord pendant la période de soudure annuelle, n'est pas sans conséquence. En effet, la cohabitation entre les agropastoraux et les éleveurs pastoraux transhumants est difficile et génère de nombreux conflits sur la disposition des zones pâturables (George *et al.*, 2022) (Schwarz *et al.*, 2022). Cependant, les agriculteurs acceptent que les animaux utilisent des résidus de cultures présentes sur les champs pendant la période de vaine pâture. Ainsi ils peuvent profiter des déjections laissées par les animaux, pour la régénération et l'enrichissement du sol en matière organique, profitable pour les cultures suivantes (Bah *et al.*, 2010).

De plus, la mobilité des troupeaux peut poser des problèmes sur le plan sanitaire (Macpherson, 1995) (Kardjadj *et al.*, 2019). Le déplacement des animaux favorise l'introduction et la propagation de nombreuses maladies. Il faut rajouter le fait que les troupeaux sont faiblement nourris pour les kilomètres parcourus, perdent de leur productivité, en lait comme en viande. Cependant, la transhumance du bétail en saison sèche, est incontournable pour permettre la survie des cheptels sahéliens en quête de ressources fourragères et le maintien de cette activité agricole qui fait vivre de nombreuses familles pauvres.

3. Les méthodes de comptages des animaux

Le comptage des animaux surtout de la faune sauvage a toujours été une préoccupation dans les grands parcs dédiés à la préservation des espèces animales (Whitehouse *et al.*, 2001) (Bouché *et al.*, 2004) (Ouédraogo *et al.*, 2009). Ce problème concerne aussi les animaux domestiques, surtout dans les pays en voie de développement et plus particulièrement en Afrique sub-saharienne, car en l'absence de moyens humains et financiers et vu la mobilité des troupeaux, les services de développement de l'élevage sont dans l'impossibilité d'identifier et de boucler les animaux.

L'évaluation des effectifs des populations des espèces sauvages est importante pour la conservation et la gestion de la biodiversité (Reed et Noss, 1990), ainsi que pour les animaux domestiques, car connaître leurs nombres permet d'adapter les politiques d'appui et de mieux estimer les impacts de l'élevage sur l'environnement et sur l'économie.

Différentes méthodes de comptage ont été testées pour dénombrer les animaux domestiques. Elles sont toutes inspirées des méthodes appliquées pour la faune sauvage. Cependant, le comportement des animaux domestiques, les pratiques d'élevage, les différents milieux naturels concernés engendrent des contraintes particulières qui nécessitent de considérer leur recensement comme un problème à part entière (Michel, 2000).

Avec l'avancée des nouvelles technologies, que ce soit pour les nouveaux outils d'acquisitions comme les véhicules aériens non embarqués (UAV) et les capteurs à hautes résolutions ou pour les différentes méthodes d'analyses des images pour la classification et le comptage automatique basés sur l'intelligence artificielle, de nouvelles pistes sont explorées pour rendre le comptage des animaux plus précis et moins onéreux.

Les techniques de dénombrement peuvent être directs et indirects, au sol (pédestre) ou aérien (Bouché *et al.*, 2004), exhaustifs ou par échantillonnage (Michel, 2002). Le tableau 1 présente les principaux avantages et inconvénients des comptages pédestres, aériens (avions légers, hélicoptères...) et avec les drones.

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des 3 méthodes d'inventaires (Jachmann, 1991)
(Whitehouse et al., 2001) (Linchant et al., 2017)

Inventaires pédestres	Inventaires aériens	Drones
Coûts élevés	Coûts élevés	Coût faible
Logistique élevée	Logistique élevée	Logistique faible
Comptage imprécis	Comptage imprécis	Comptage imprécis
Effets opérateurs élevés	Effets opérateurs faibles	Effets opérateurs faibles
Surface de couverture petite	Surface de couverture grande	Surface de couverture petite
Risques prédateurs sauvages	Risques accidents élevés	Risques accidents faibles
Dérangement des animaux	Dérangement des animaux	Dérangement des animaux
Repérage facile des animaux au sol	Repérage difficile des animaux au sol	Repérage difficile des animaux au sol

A. Les méthodes de dénombrement direct

Le comptage exhaustif de tous les animaux sur une surface donnée (Ouédraogo et al., 2009) est précis et fiable, applicable pour un comptage au sol pour des petites surfaces, et par voie aérienne quand l'aire de comptage est plus grande. Il doit se faire en une seule fois, pour éviter les doubles comptages car les animaux sont mobiles. Par voie aérienne, le risque de sous-estimation des effectifs est élevé car les animaux peuvent être cachés par les bâtiments d'élevage ou par la végétation environnante.

Le comptage par échantillonnage d'une surface sert à estimer l'effectif total des animaux dans une zone plus large (Nortons Griffiths, 1978). Il est applicable pour un comptage au sol ou aérien et le comptage des animaux est exhaustif dans la zone. Le choix des types d'unités échantillonnées est déterminant pour la précision voulue, mais le résultat est cependant moins précis qu'avec un recensement exhaustif. Les types d'unités sont des quadras (rectangles ou carrés) ou des blocs (polygones) ou des bandes de comptages (strips, transects).

Le comptage par échantillonnage d'une ligne (line transect) choisie aléatoirement, consiste à compter les animaux observés par voie pédestre (Buckland et al., 2004), en notant la distance entre l'animal et l'observateur et l'angle observé entre l'animal et la ligne de marche. Cette technique sert à estimer la largeur réelle couverte par l'observateur, le nombre d'animaux rencontrés, et leurs densités.

B. Les méthodes de dénombrement indirect (Michel, 2002)

Pour les animaux sauvages, farouches ou cachés par un milieu fermé, des *indices de présences* (traces, fèces, carcasses, nids...) peuvent être dénombrés pour être reliés à un effectif d'animaux par des ratios (nombre d'indices laissés par un animal). Pour les animaux

domestiques, ce principe a été utilisé avec des indices adaptés aux conditions d'élevage. La méthode peut être utile pour corriger des sous-estimations de comptages aériens pour les animaux cachés.

L'estimation à partir des concessions. Les animaux sont dénombrés à vue ou par enquêtes sur un échantillon représentatif de concessions (Bahili et Djaby, 1993). Puis on extrapole pour une estimation finale des animaux grâce aux dénombrements exhaustifs des concessions. L'avantage est que les concessions sont facilement repérables sur le terrain. L'inconvénient est qu'il est difficile de faire un comptage à vue des animaux lorsqu'ils sont regroupés, et que l'effectif donné par le chef de campement est largement et volontairement sous-estimé.

L'estimation à partir des toits est utilisé par comptages aériens des toits, pour estimer le nombre d'animaux cachés dans les habitations. On procède comme pour les concessions, par des enquêtes sur un échantillon représentatif d'habitations puis par une extrapolation pour une estimation des effectifs totaux.

L'estimation à partir des habitants permet d'établir un ratio du nombre d'animaux par éleveur et de le multiplier par le nombre d'éleveurs dans la population pour obtenir le nombre total d'animaux. L'inconvénient majeur est l'impossibilité de vérifier l'exactitude des informations données, surtout les effectifs, par les éleveurs enquêtés.

L'estimation à partir des animaux vendus consisterait alors à estimer le nombre total d'animaux dans une zone à partir du nombre d'animaux vendus ou abattus, de veaux non sevrés ou d'animaux vaccinés, puis à appliquer le ratio adéquat. Ces données sont souvent disponibles, comme les données des grandes campagnes de vaccination.

L'estimation à partir des points d'eau peut être utilisée pour dénombrer les animaux par leur densité dans la zone d'abreuvement, densité à évaluer par enquête ou par comptage du nombre d'animaux fréquentant le point d'eau (Lhoste, 1977), puis par extrapolation pour l'estimation de l'effectif total avec le nombre total des points d'eau. Les sources de biais sont importantes, comme ceux générés par le comptage des animaux au sol.

C. Les drones

Les véhicules aériens sans pilote ou drones ont suscité une attention considérable ces dernières années, pour pallier les nombreux inconvénients des recensements pédestres et aériens avec équipages (Tableau 1). Ils ont été employés pour réaliser de multiples tâches telles que la surveillance de l'environnement (Bossoukpe *et al.*, 2021) (Fassinou *et al.*, 2022) (Taugourdeau *et al.*, 2022) et le comptage ou la caractérisation des animaux sauvages (Vermeulen *et al.*, 2013) (Lhoest, 2015) (Nago *et al.*, 2021).

Ils peuvent être pilotés à distance, sont semi-autonomes ou autonomes. Les distances de vol peuvent être de plusieurs mètres à plusieurs kilomètres. Leurs voilures sont fixes (avion, aile volante...) ou tournantes (hélicoptère, quadrimoteurs...).

Selon leurs caractéristiques techniques, ils peuvent emporter différentes charges utiles pour effectuer des tâches spécifiques. Les capteurs embarqués sont multiples comme les appareils photos (RGB, infrarouge thermique, multi spectrales, lidar...) ou caméras.

Les avantages sont qu'ils ont un coût à l'achat abordable (moins de 1000 euros), une prise en mains très rapide, un déploiement sur le terrain facile et nécessitent un minimum de logistique. Ils ont des procédures de vols fiables, automatisables et répétables. Ne nécessitant pas de pilote et d'équipages embarqués, ils apportent plus de sécurité et par conséquent, on peut les déployer autant de fois que nécessaire.

Cependant le principal inconvénient des drones est la durée de vol limitée, liée à la quantité d'énergie d'emport limitée pour des motorisations thermiques ou électriques, rendant contraignantes leurs utilisations sur les grandes surfaces. De plus ces appareils sont inopérants si les conditions climatiques sont défavorables (pluies, neiges, vents...). La législation en vigueur sur l'utilisation des drones doit être scrupuleusement appliquée, pour éviter tout accident aérien, et au sol.

D. Analyses automatiques des images

Le comptage manuel à partir des images numériques étant très laborieux, car nécessitant du temps pour l'analyse et l'interprétation des données. Pour cela, on utilise de plus en plus des algorithmes basés sur l'intelligence artificielle pour la reconnaissance et la classification des objets (Rey, 2016) (Xu *et al.*, 2020) (Miele *et al.*, 2021).

Par définition, la classification d'image consiste à étiqueter les éléments constitutifs d'une image suivant une règle prédéfinie. Elle implique l'utilisation d'un algorithme qui attribue les étiquettes aux groupes de pixels ou aux vecteurs. La classification d'images est un processus de la vision par ordinateur. La vision par ordinateur (Figure 9) consiste à traiter ces images par un système d'IA (Intelligence Artificielle) pour en tirer parti. La classification d'image est la première étape dans ce processus.

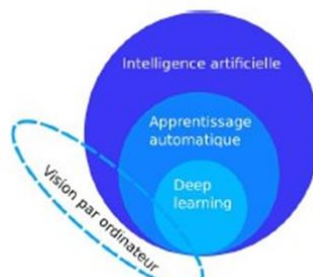


Figure 9 : Vision par ordinateur (Miele *et al.*, 2021)

Le Machine Learning est un ensemble de techniques donnant la capacité aux machines d'apprendre, contrairement à la programmation qui consiste en l'exécution de règles prédéterminées (Beaudesson *et al.*, 2016) (Hamylton *et al.*, 2020) (Eskandari *et al.*, 2020). Il

existe deux principaux types d'apprentissages en Machine Learning. L'apprentissage supervisé et non supervisé (Terletzky et Ramsey, 2016).

En apprentissage supervisé, l'algorithme est guidé avec des connaissances préalables de ce que devraient être les valeurs de sortie du modèle. Par conséquent, le modèle ajuste ses paramètres de façon à diminuer l'écart entre les résultats obtenus et les résultats attendus (Figure 10). En revanche, l'apprentissage non supervisé n'utilise pas de données étiquetées. Il est alors impossible à l'algorithme de calculer de façon certaine un score de réussite. Son objectif est donc de déduire les regroupements (méthodes par partitionnement ou regroupement hiérarchique) présents dans les données (Figure 11).

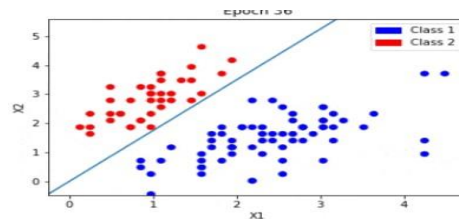


Figure 10 : Convergence d'un modèle - Apprentissage supervisé
(datascientest.com)

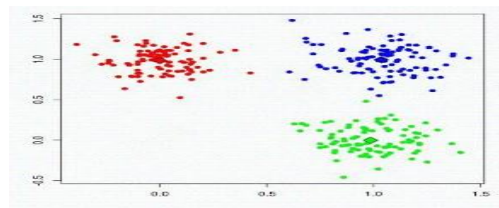


Figure 11 : Regroupement hiérarchique - Apprentissage non supervisé
(datascientest.com)

Le Deep Learning ou apprentissage profond : c'est une technique de Machine Learning reposant sur le modèle des réseaux de neurones (Figure 12) : des couches de neurones sont empilées pour apporter une plus grande complexité à l'établissement des règles sur la base de modèles linéaires et non-linéaires très complexes (Norouzzadeh *et al.*, 2018) (Tian *et al.*, 2019) (Duporge *et al.*, 2021). Cette méthode peut intégrer un grand nombre de données (big data) pour son apprentissage et nécessite des ressources informatiques puissantes.

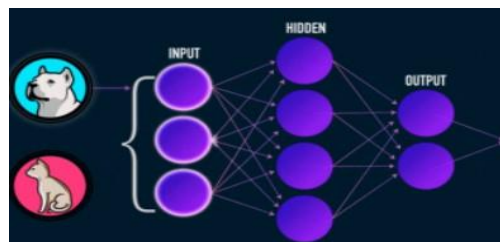


Figure 12 : Réseaux de neurones artificielles
(datascientest.com)

II. MATERIELS ET METHODES

Notre zone d'étude est l'unité pastorale de Widou Thiengoly (champ géographique) situé dans la commune de Téssékéré, qui fait partie de la « zone sylvo-pastorale des six forages » du Ferlo, au nord du Sénégal (Figure 13). Les campements (unités d'enquêtes) sont compris dans un rayon de 10km à partir du forage, soit une superficie de 314 km². Au-delà de cette distance, les campements utilisent préférentiellement les forages plus proches de leurs lieux d'implantations.

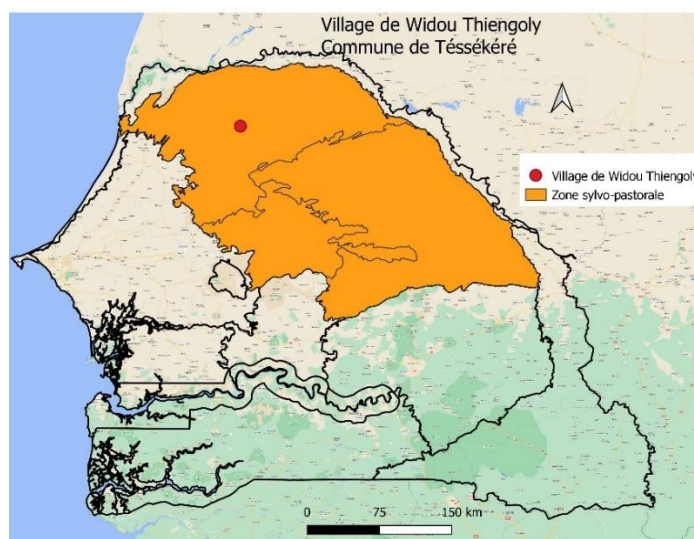


Figure 13 : Localisation du village de Widou (source PPZS) (Longitude 15.99, Latitude -15.33)

Pour ce travail, deux étapes (1 et 2) ont été programmées dans le but de répondre aux questions posées pour la réalisation de l'objectif principale. Une étape préliminaire a été effectuée en amont, par le recensement exhaustif des campements, réalisé par une équipe de l'ISRA.

L'étape 1 s'est déroulée pendant la troisième semaine mars 2022 et a servi à apporter des éléments de réponse à la question :

Comment estimer le nombre de bovins présents sur l'aire du forage à partir du nombre d'animaux comptés au point d'abreuvement ?

En effet, les bovins ont la capacité de supporter un jour maximum sans boire. Les bergers profitent de cette capacité physiologique, pour ne pas venir à l'abreuvoir du forage tous les jours. Donc les fréquences d'abreuvement peuvent varier selon les troupeaux, de 1 jours à 2 jours.

Pour les campements ayant un robinet d'eau fonctionnel à proximité, les bovins ne viennent plus au forage pour l'abreuvement.

Le but est de connaître le taux journalier de fréquentation des cheptels bovins au forage, sur

la période étudiée, ainsi que celui du taux de fréquentation des cheptels qui ne viennent plus au forage car utilisant les robinets d'eau. Pour cela, nous avons procédé à :

- Une enquête sur les pratiques d'abreuvement appliquées par les chefs de campement qui fréquentent le forage de Widou.

L'étape 2 s'est déroulée pendant la quatrième semaine d'avril 2022 et a servi à apporter les éléments de réponse aux questions :

Le nombre d'animaux comptés sur les images acquises par drone correspond-il au nombre d'animaux présents sur le lieu d'abreuvement ?

Cette étape nous a permis d'explorer la relation entre le nombre d'animaux présents sur les images drones et le nombre réel d'animaux présents sur le site d'abreuvement. Pour cela, nous avons procédé à :

- Un comptage manuel des animaux, au sol, entrant et sortant sur le site d'abreuvement toutes les 30 minutes, pendant 4 jours (lundi à jeudi de 7h00 à 12h00) et la même fréquence de prise de photos régulières du site d'abreuvement pour un comptage manuel sur le logiciel QGIS

Quelle est la performance du comptage automatique avec un algorithme de segmentation d'image par rapport au comptage visuel considéré comme la référence ?

Des acquisitions d'images drone ont été faites toutes les 30 minutes de 7h00 à 12h00 pendant une journée du site d'abreuvement des bovins. Ces images ont alimenté un logiciel d'analyses d'images de type Machine Learning de retour à Dakar. Les images nous ont permis de construire un modèle de classification pour un comptage automatique. Ces performances de réussite (classification) ont été évalué avec un jeu d'images n'ayant pas participé à la construction du modèle. Pour cela :

- Avec le logiciel QGIS, nous avons superposé les résultats de la segmentation avec l'image d'origine pour la vérification de la reconnaissance correcte ou pas des bovins.

La figure 14 représente la méthodologie générale de l'étude.

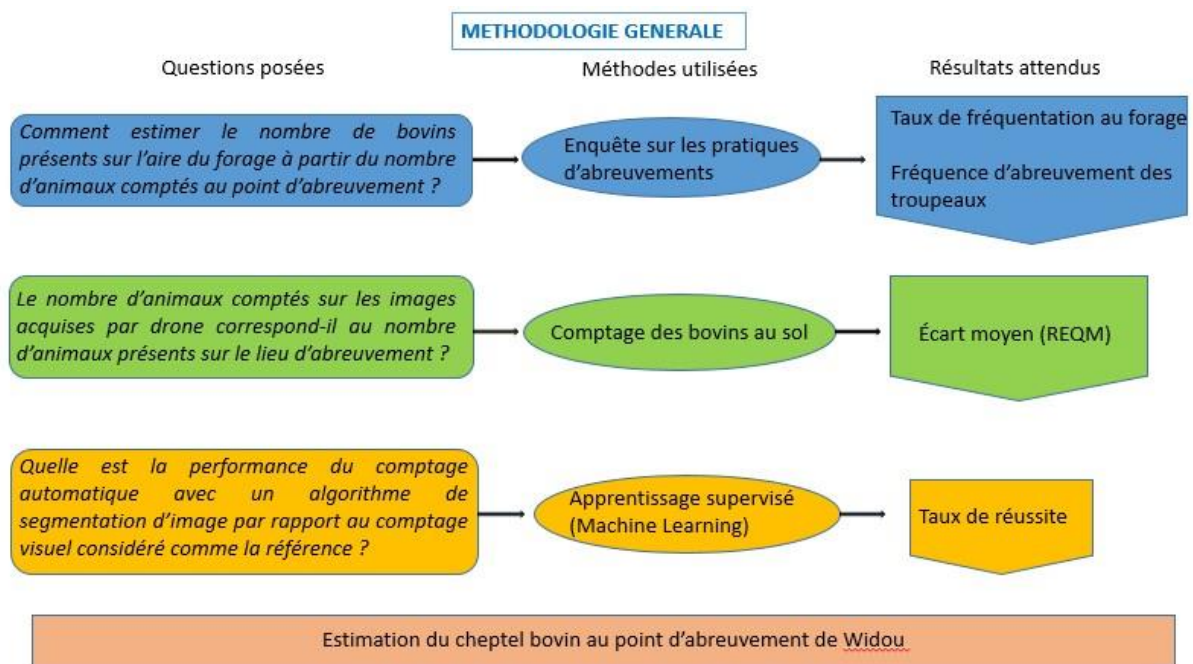


Figure 14 : Représentation graphique des différentes étapes de l'étude

1. Recensement exhaustif des campements

Le stage a démarré au mois de mars, mais préalablement au mois de février, un recensement exhaustif des campements a été réalisé par une équipe de 3 personnes parlant le peulh et ayant une bonne connaissance de la zone concernée. Ce recensement des campements a duré 4 jours. Sur la base de ce recensement, des campements seront sélectionnés pour les enquêtes sur les pratiques d'abreuvements.

Un questionnaire (annexe1) succinct a été élaboré sur l'application « [Kobo ToolBox](#) » pour l'enregistrement des réponses aux questions des chefs de campements. L'application sur le terrain fonctionne avec ou sans accès internet. Elle peut être déployée sur un ordinateur portable, ou sur une tablette ou smartphone avec l'application Android « Kobo Collect ». Pour ce recensement une tablette sous Android a été utilisée. Les données stockées sont récupérées après enquête, au format csv.

Les principales données récoltées sont :

- La position GPS
- Le nom du chef du campement
- Type de campement (sédentaire, temporaire)
- Le point d'eau utilisé (forage, robinet)
- Les espèces présentes au campements (bovins, petits ruminants)
- La taille du troupeau de bovins Petit <30. Moyen 30-80. Grand > 80

La prise de position GPS est faite en double avec un GPS de marque « Garmin », car l'application « Kobo Collect » peut avoir des problèmes pour enregistrer les coordonnées de position.

Préparation de la liste des campements à enquêter

À partir des données de recensements du mois de février, nous avons sélectionné les campements ayant les critères suivants :

- Dépendance principale du forage de Widou pour l'abreuvement (abreuvoir collectif et robinet) des animaux.
- Possession de bovins ou d'espèces différentes (bovins + petits ruminants).
- Implantés dans un rayon de 10 km autour du forage.

239 campements ont été identifiés dans la zone d'étude. 103 campements sont retenus et constitue notre population d'enquête, pour les pratiques d'abreuvements. Ils ont été sélectionnés sur les critères, qu'ils détiennent des bovins, qu'ils dépendent du forage de Widou (66 % des campements vont au forage pour l'abreuvement des bovins et 34% ont un accès à l'eau via des robinets raccordés au forage de Widou).

Grâce aux géo-référencements GPS, acquis sur place au forage de Widou et aux campements, nous avons spatialisés les campements afin de conserver celles qui se trouvaient dans la distance choisie grâce à un logiciel de système d'information géographique QGIS 3.22.1. Le SCR métrique pour le Sénégal est le 32628. L'outil « Tampon » a permis de tracer une cible de 5 et 10 km de rayon avec le point central le forage de Widou.

Une typologie en 5 catégories (C1, C2, C3, C4, C5) des campements sélectionnés a été constituée sur la base des modalités ci-dessous (Tableau 2). Un tirage aléatoire, avec le logiciel R (fonction : Subset) des catégories est fait pour constituer 5 séries de passage dans les campements. Le but est d'avoir un échantillonnage stratifié et les catégories constituent les strates. Dans chaque série, nous avons une répartition homogène des campements des 5 catégories (annexe 2).

L'objectif est d'enquêter un maximum de chefs de campements, mais notre temps de présence sur place étant limité à 4 jours, pour des questions de coûts liés aux activités de terrains (per diem du chauffeur/interprète, coûts du carburant...), il a été décidé d'enquêter les campements série par série, pour s'assurer d'une bonne répartition des différentes catégories pour notre échantillon d'enquête final.

Tableau 2 : Les critères de sélection des catégories.

Catégorie	Campement	Cat effectif	Point d'eau
C1	Permanent	Petit	Forage
C2	Permanent	Moyen	Forage
C3	Permanent	Grand	Forage
C4	Temporaire	Petit. Moyen. Grand	Forage
C5	Permanent	Petit. Moyen. Grand	Robinet

Les campements catégorisés et avec un ordre de passage par série, ont été spatialisés grâce à leurs coordonnées GPS dans le logiciel QGIS 3.22.1. Le projet QGIS a été transféré sur l'application « Qfield » installé sur un smartphone Android pour permettre d'atteindre le campement choisi (catégorie et série de passage) par navigation GPS sur le terrain.

2. L'enquête sur les pratiques d'abreuvement.

Un questionnaire sur papier, portant sur les pratiques d'abreuvements des bovins a été élaboré en amont (Annexe 3). La recherche des campements de chaque série s'est faite à partir de 7h30 à 12h30 et de 16h30 à 18h00. De 12h30 à 16h30, nous rentrons à notre hébergement pour déjeuner et attendre que les températures baissent pour la reprise des activités de terrain. Avant le début de l'enquête, l'interprète informe le chef de campement que les questions qu'on va lui poser ont pour but de mieux comprendre les pratiques d'abreuvements des campements qui fréquentent le forage de Widou. Chaque campement enquêté a été réalisé en présence du chef de campement, de l'enquêteur et de l'interprète.

Cependant pendant la semaine d'enquête, nous avons été confrontés à des difficultés sur le terrain. La recherche des campements a été laborieuse. Même avec les coordonnées GPS, atteindre la position des campements reste compliqué. Cette zone ne comporte pas de route, seulement des pistes sablonneuses non géo-référencées.

Aussi, nos itinéraires de routes étaient rendus difficiles, par la présence de barrières délimitant des parcelles de campements, vestiges d'un ancien projet de recherche (Miehe *et al.*, 2010).

L'autre difficulté rencontrée est l'absence du chef de campement car soit parti avec son cheptel au forage soit parti avec l'ensemble du campement en transhumance. En l'absence du chef de campement, il n'est souvent pas possible de faire les enquêtes, car les personnes présentes, refusent pour la plupart, par souci de respect de la hiérarchie sociale, de répondre aux questions à la place du chef de campement.

Afin de garder un objectif d'enquêter un maximum de chefs de campements, la décision a été prise de faire les enquêtes à l'abreuvoir tous les matins de 8h à 12h. Les après-midis de 16h à 18h ont été dédiés à la recherche des campements pour continuer les enquêtes. Au final se sont 44 enquêtes qui ont été réalisées, dont 35 réalisés au forages et 9 aux campements.

Les données récoltées ont été reportées dans un fichier Excel pour le traitement statistique, afin d'estimer la répartition des campements selon la fréquence d'abreuvement.

Pour mieux comprendre certaines pratiques d'abreuvements liés aux différentes fréquences de présence, les informations comme, la distance des campements au forage, l'effectif de bovin et la fréquence d'abreuvement seront catégorisés pour la réalisation du test

de Chi-2 avec le logiciel R. Ce test statistique de probabilité permet de vérifier les hypothèses posées. Si $p \leq 0.05$, l'hypothèse nulle, qui correspond à aucune relation entre les deux modalités (H_0 , H_1) testées, est rejetée.

L'ACM (Analyse des Correspondances Multiples) est généralement utilisée pour analyser des données d'enquête ou de sondage. L'ACM est une extension de l'analyse factorielle des correspondances pour résumer et visualiser un tableau de données contenant plus de deux variables catégorielles.

3. Relation entre le nombre d'animaux comptés sur les images et le nombre réel d'animaux présents

Le plafond maximal de vol du drone a été fixé à 200 mètres pour la prise d'images, en l'absence d'aéroports publics, privés ou militaires à proximité. Une photo a été prise régulièrement (30 minutes) centrée sur l'abreuvoir de Widou. Cependant même à cette altitude, une partie des animaux se retrouvent hors champs du capteur. En effet, la fauchée c'est-à-dire la surface du sol prise par le capteur embarqué dépend des caractéristiques techniques du capteur (Largeur du capteur et distance focale) et de la hauteur de la prise de vue. La surface de recouvrement pour notre capteur à cette altitude est de 6 hectares (200 m * 300 m) alors que la zone d'abreuvement est d'environ de 10 hectares. De plus, quand les températures commencent à augmenter les vaches vont se réfugier sous les arbres environnants. Par conséquent, un certain nombre d'animaux ne sont pas photographiés car hors champ du capteur ou tout simplement sous les arbres et donc non visibles pour un comptage. Le but de cette expérimentation est d'estimer l'écart moyen sur deux jours entre le nombre réel d'animaux présents sur le site et le nombre d'animaux présents sur les images.

Chaque jour, le responsable du forage ouvre les vannes d'eau à 9h00 pour alimenter l'abreuvoir de Widou et referme les vannes à 13h00. Cependant, pour éviter l'affluence des troupeaux entre 9h00 et 12h00, des bergers viennent vers 7h00 pour commencer à abreuver leurs animaux, avec l'eau restant de la veille dans l'abreuvoir. Nous avons constaté que les premiers départs définitifs des troupeaux de la zone d'abreuvement commencent à partir de 10h00 pour ceux qui sont arrivés entre 7h00 et 8h00. La seconde vague de départs commencent à partir de 12h00, pour les troupeaux qui sont arrivés à l'abreuvoir à partir de 9h00. En général, les troupeaux restent environ 3 heures sur la zone du forage et avec deux passages pour l'abreuvement. Le premier passage à l'abreuvoir se fait instinctivement par les bovins lors de leurs arrivés au forage. Pour le deuxième passage, en prévision du départ imminent du forage, les bergers poussent leurs troupeaux, qui se sont éloignés soit pour se mettre à l'ombre des arbres soit pour laisser l'abreuvoir disponible aux autres animaux, pour le dernier abreuvement.

Pendant 4 jours, quatre opérateurs ont compté le nombre d'animaux « entrant » et « sortant » dans la zone de l'abreuvoir de Widou de 7h à 12h30 avec une remise à zéro du compteur toutes les 30 minutes et par la prise d'une photo, par un cinquième opérateur. Chaque

opérateur avait une porte virtuelle d'entrée de la zone qui délimite le démarrage de l'opération lors de la traversée des animaux (Photo 5). Les opérations de comptages se sont faites avec une tablette Android munie d'une application de comptage numérique téléchargée préalablement.

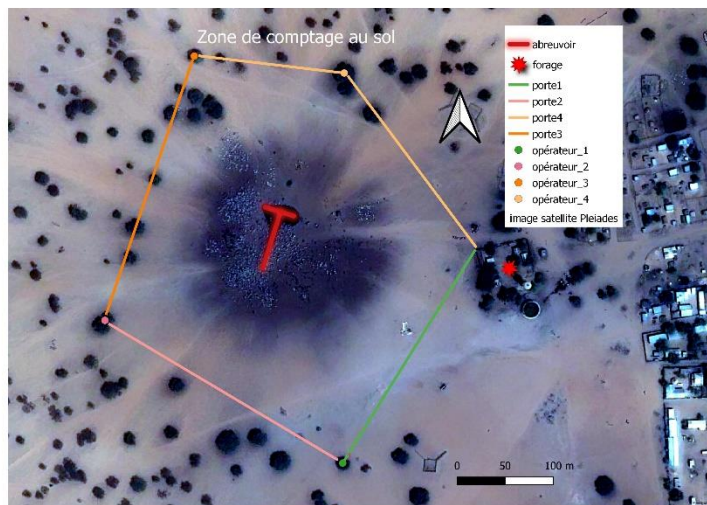


Photo 5 : La zone de comptage au sol (Satellite Pléiades, 2022)

De retour du terrain, les comptages des animaux entrants de chaque opérateur ont été récupérés et cumulés par période de 30 minutes dans un fichier Excel, pour chaque jour de comptage. Nous avons procédé de cette façon : les comptages des animaux entrants des 4 opérateurs ont été additionnés pour la période de 7h00 à 7h30. Puis ce chiffre a été additionné aux comptages des animaux entrants pour la période de 7h30 à 8h00 pour le cumul des résultats de comptage. Ce cumul des animaux entrants a été effectué jusqu'à la période 12h30. Pour le comptage des animaux sortants, la même méthode a été effectuée. En cumulant les comptages de chaque période jusqu'à 12h30, nous avons le nombre total d'animaux présent au forage pour les quatre jours de comptage : lundi, mardi, mercredi et jeudi.

À partir des images acquises toutes les 30 minutes, tous les bovins clairement identifiés sont labélisés avec le logiciel QGIS à partir d'une couche *shapefile* (Type de géométrie : point), avec un point pour le comptage manuel.

Pour expliquer les éventuelles écarts entre le comptage au sol et le comptage sur les images, le cumul des animaux entrants et sortants a été retranché pour chaque périodes avec les comptages sur deux jours moyennés (lundi et mardi).

Pour évaluer cet écart nous avons calculé l'erreur quadratique moyenne (REQM). Elle permet de calculer la racine carrée de la moyenne des erreurs au carré. Les résidus sont une mesure de la distance qui sépare les points de données de la droite $y=x$. REQM est une mesure de la dispersion de ces résidus.

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (x_{1,t} - x_{2,t})^2}{T}}.$$

X1,t : comptage au sol

T = nombre de comptage

X2,t : comptage sur image

4. Construction d'un modèle de classification des bovins à partir des images « drone »

L'acquisition des photos par drone s'est faite à l'abreuvoir du forage de Widou, lieu de concentration des animaux. Les acquisitions des images se sont faites toutes les deux heures à partir de 8h00 à la même altitude que le protocole précédant. Le chauffeur/interprète possède une licence de télé pilote et est autorisé par les autorités sénégalaises de l'aviation civile à effectuer ces opérations de vols dans la région sylvopastorale du Ferlo. Le drone de la marque Parrot Anafi ([Parrot Anafi, 2021](#)) est un quadrimoteur de moins de 400 grammes. Il est muni d'un capteur RGB à haute résolution de 16 mégapixels et son autonomie de vol est de 24 minutes. Les caractéristiques techniques de l'appareil et de son capteur sont dans l'annexe 4. Les images acquises sont stockées dans une carte mémoire présente dans le drone.

A. Traitement des images avec Fiji de Image J

[Fiji](#) est un package de traitement d'image du logiciel « Image J », regroupant de nombreux plugins qui facilitent l'analyse scientifique des images. Fiji est facile à installer et regroupe de nombreux plugins avec une documentation complète. Ce package présente la même interface que « Image J » mais avec un nombre de plugins plus élevé pour le traitement d'images.

« Trainable Weka Segmentation » est un plugin « Fiji » qui combine une collection d'algorithmes d'apprentissage automatique avec un ensemble de caractéristiques d'image sélectionnées pour produire des segmentations basées sur les informations contenues dans chaque pixel. La segmentation d'image est "le processus de partitionnement d'une image numérique en plusieurs segments". Il est généralement utilisé pour localiser des objets et des limites. Plus précisément, la segmentation d'image est le processus d'attribution d'une étiquette à chaque pixel d'une image de sorte que les pixels portant la même étiquette partagent des caractéristiques communes.

Cette méthode d'apprentissage automatique (Machine Learning) permet à un programme informatique d'analyser un grand nombre de données et de décider quelles sont les informations les plus pertinentes. Cette méthode d'analyse est très utile pour des bases de

données trop volumineuses pour être analysées visuellement. Ce plugin peut être entraîné pour apprendre à partir des entrées de l'utilisateur et effectuer plus tard la même tâche sur des données (de test) inconnues. Un apprentissage à deux classes est le minimum requis pour commencer l'apprentissage (Figure 15).

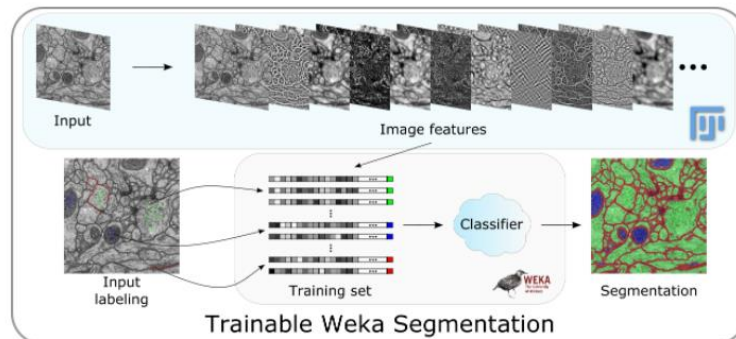


Figure 15 : Les processus de segmentation Weka (<https://imagej.net/Segmentation>)

B. Construction d'un modèle de classification de reconnaissance des bovins

Pour entraîner l'algorithme du plugin, nous avons utilisé une série d'images acquises par drone, pour des jours et heures différents, afin d'apporter une variabilité sur l'exposition à la lumière du jour. L'ordinateur utilisé est un portable avec un processeur I7 avec 16Go de mémoire de RAM.

Caractéristiques des images d'origines :

Taille : 4608*3456

Extension : JPG

Couleur : RGB

Poids : 4.5 Mo

Analyser les images brutes pose problème, car lors de l'étape de classification, le logiciel émet un message d'erreur sur l'insuffisance de mémoire pour le processus de classification. Des étapes de prétraitement avec « Img2go » et « Fiji » sont nécessaires afin d'alléger le poids du fichier image sans trop de perte de l'information. La compression consiste à réduire l'espace occupé par un fichier en enlevant certaines données redondantes. Il existe deux types de compression : les compressions non destructrices (TIFF, RAW, etc.) et les compressions destructrices (JPEG, etc.). Les premières conservent toutes les informations du fichier image mais gardent en contrepartie un poids énorme en octets. Les secondes éliminent des informations considérées comme non primordiales, leur poids est nettement plus faible.

Premier prétraitement avec « Imag2go »

On utilise un outil de compression d'images en ligne [Img2go](#) pour réduire le poids du fichier de 25% tout en conservant la résolution de l'image initiale. Après avoir *Uploader* les fichier images sur le site et préciser le niveau de compression, on clique sur *Démarrer* et l'outil effectue la tâche demandée. A la fin du traitement, les fichiers compressés sont automatiquement reversés sur votre ordinateur dans le dossier « Téléchargement ».

Deuxième prétraitement avec « Fiji »

L'image compressée est chargée dans l'outil d'analyses d'images « Fiji ». Le deuxième prétraitement consistera à transformer l'image couleur RGB en image en nuance de gris 8 bits. Tous les pixels auront une valeur comprise entre 0 et 255. La procédure est : *Image-Type-8 bits*.

Etape d'apprentissage

L'outil de classification est accessible via la console de « Fiji » à *Plugins-Segmentation-Trainable Weka Segmentation*. Cette étape consiste à renseigner l'algorithme sur les entités à classer pour la construction d'un modèle. Les entités sont labellisées manuellement grâce à différents outils de pointage (Rectangle, ellipse, polygone, ligne...). Un minimum de deux « class » (catégories) est obligatoire pour un apprentissage. On peut rajouter plusieurs classes, avec le bouton « Create new class ».

Pour notre étude, le paramétrage de classification reste à deux classes, avec une classe « bovins » et une classe « autres ». Pour ce choix à deux catégories d'entités, le modèle fera un apprentissage de « bovins » versus « autres » et proposera un modèle simple de reconnaissance de bovins (Photo 6). Trois photos ont servi pour l'apprentissage.

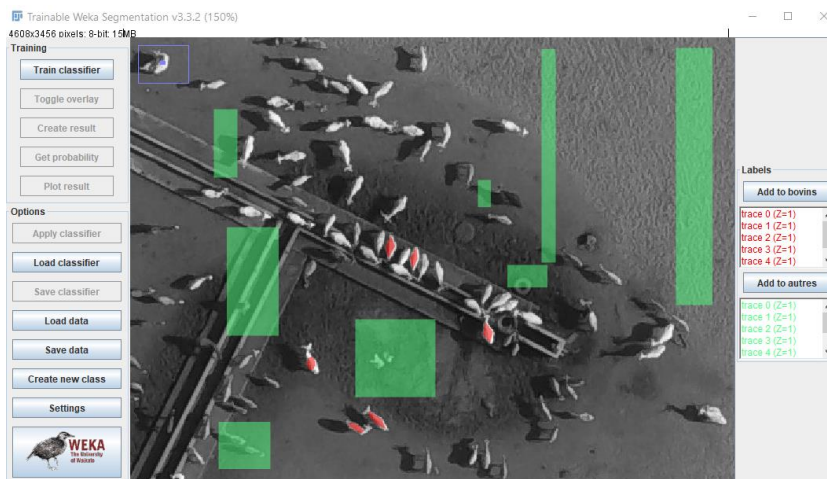


Photo 6 : Fenêtre d'apprentissage Weka (Logiciel Fiji)

Les bovins de toutes les couleurs ont été labélisés à raison de 10 bovins par image et renseignés dans la fenêtre « Labels » en cliquant sur *Add to bovins*. Toutes les autres entités : sols, charrettes, ânes, ombres des bovins, chiens, abris, arbres, chevaux, débris, bouses, abreuvoir, ... ont été sélectionnés avec le pointeur et labellisés pour la classe *Autres*.

Pour lancer l'apprentissage, on clique sur *Train classifier*. Cette étape est longue (environ 5 à 10 min) et dépend du nombre d'entités renseignées dans chaque classe, du nombre de pixels de l'image, de la méthode de classification utilisée et de la puissance du processeur de l'ordinateur. Si le résultat de la classification est jugé correct, c'est-à-dire que les bovins labélisés et non labélisés ont bien été reconnus, les données d'apprentissage sont sauvegardées. Un fichier de données avec pour extension *arff* est généré et enregistré.

Pour l'étape suivante, on ouvre l'image suivante et on charge le fichier *arff* de données précédentes. On recommence l'apprentissage en répétant les opérations ci-dessus. A la fin de l'apprentissage, le modèle de classification est sauvegardé avec le bouton *Save classifier*. Un fichier de classification avec pour extension *model* est généré et enregistré.

Application du modèle sur une image

Pour appliquer un modèle de classification sur des nouvelles images, il faut utiliser le plugin, *Trainable Weka Segmentation* de Fiji. On charge l'image à traiter et le modèle via *Load classifier*. Le démarrage de la classification se fait en cliquant sur *Create results*. Le résultat s'affiche sous la forme d'une image 8bits colorisée (Photo 7). Notre modèle est construit sur deux classes : « bovins » en rouge, versus « autres » en vert.



Photo 7 : Résultat de classification Weka (Logiciel Fiji)

C. Comptage des entités

Pour cette étape, Fiji possède un outil de comptage *Analyze Particules*. Cette commande compte et mesure des objets dans des images binaires ou seuillées. Les images binaires possèdent comme valeurs de pixels 0 (noir) et 1 (blanc). Ce plugin réalise une analyse en composantes connexes. En effet, chacun des pixels constitutifs des objets va se voir attribuer une étiquette. Deux fenêtres de résultats sont présentées. Une image de visualisation des objets identifiés (Photo 8) et une fenêtre présentant les détails des objets identifiés avec leurs surfaces (Photo 9).

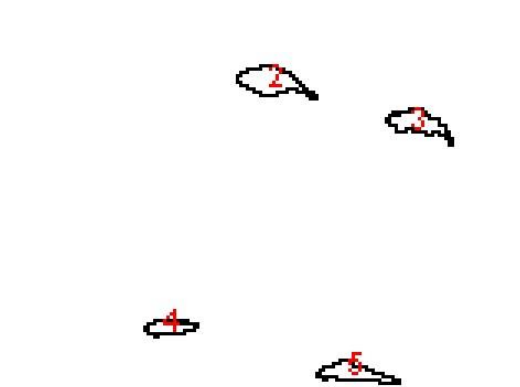


Photo 8 : Étiquettes des objets identifiés

Results		
File	Edit	Font
Results		
	Label	Area
1	Classified image.tif	126
2	Classified image.tif	123
3	Classified image.tif	92
4	Classified image.tif	51
5	Classified image.tif	83
6	Classified image.tif	102

Photo 9 : Détails des objets identifiés

Pour transformer une image codée sur 8, 12 ou 16 bits, on utilise les outils de transformation *Image- Adjust-Threshold*. Tout le problème de la binarisation réside dans le choix optimal du seuil de binarisation. En effet, au-delà de ce seuil, les pixels seront considérés comme étant du signal d'intérêt et auront pour valeur 1; en deçà, les pixels seront considérés comme appartenant au fond et prendront pour valeur 0.

Pour procéder au comptage, il faut utiliser l'outil *Analyze- Analyze Particules*. Deux filtres sont ajustables afin de sélectionner les objets à étudier:

- La taille: afin de sélectionner des objets dont la taille est comprise dans la fourchette de taille mentionnée (en dehors de cette fourchette, les objets seront ignorés). Nous utiliserons cette option qui est la plus pertinente pour les entités présentes sur les images.
- La circularité: afin de sélectionner les objets en fonction de leur forme (0: pas circulaire, 1: cercle parfait). Cette option n'a pas été retenue, car non appropriée pour les objets identifiés par le logiciel. Les bovins identifiés n'apparaissent pas comme des objets circulaires.

Le choix de la fourchette de taille des objets à sélectionner est importante, car elle va influencer si un objet identifié comme positif sera pris en compte dans le comptage automatique. Les pixels positifs de bruits de fond et les objets faux positifs peuvent être écartés en partie du comptage, par un choix judicieux de fourchette de taille lors du paramétrage.

D. Contrôle de performance du modèle de classification

Afin d'évaluer les performances du modèle de classification construit ci-dessus, une validation externe a été faite sur 11 images acquises à différents moments de la matinée de 7h00 à 12h00. Pour cette évaluation, nous avons procédé à différentes méthodes de comptage :

- Comptage manuel des bovins (adultes et jeunes).

- Comptage avec le modèle de classification.
- Comptage des « Faux-positifs », correspondant à tous les autres objets identifiés comme des bovins.
- Comptage des « Faux-négatifs », correspondant aux bovins non identifiés comme tels.

Les comptages des bovins, des « Faux positifs » et des « Faux négatifs » sont réalisés avec le logiciel QGIS 3.22 par superposition des images géo-référencées, RGB compressées, et des images de classification (Photo 7). Pour garantir une meilleure localisation des bovins sur l'image RGB, on crée une couche Shapefile avec géométrie « point ». Chaque bovin sera identifié et localisé par un point. On utilise le curseur d'opacité pour créer un effet de transparence entre les deux images (Photo 10).

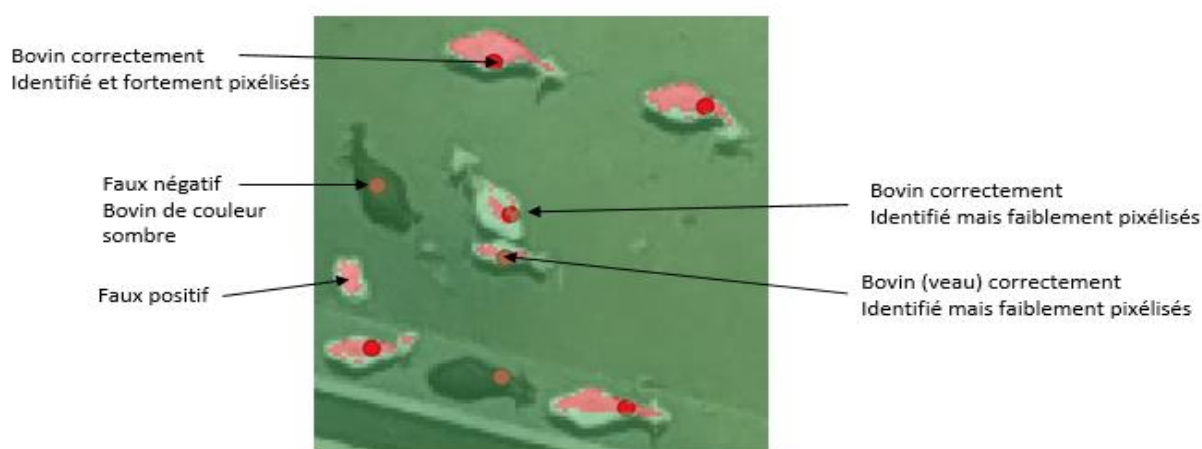


Photo 10 : Résultats de la superposition des images avec effets de transparence

5. Estimation de la taille du cheptel bovin s'abreuvant à partir du forage de Widou

Grâce aux informations collectées et analysées, nous aurons tous les indicateurs pour estimer le nombre du cheptel total de bovins dans la zone.

Formule générale : $N_{\text{total}} = N_{\text{forage}} + N_{\text{robinet}} = N_{\text{forage}} / \text{fréquentation forage}$

N total : Nombre d'animaux total dans la zone

N forage : Nombre d'animaux s'abreuvant au forage

N robinet : Nombre d'animaux s'abreuvant aux robinets

Fréquentation forage : Pourcentage des campements venant au forage.

Dans l'hypothèse que le modèle de classification construite pour cette étude soit performant pour la détection et le comptage des bovins sur les images acquises par drones, il sera utilisé pour leur dénombrement sur les photos utilisées dans le paragraphe II (3). Compte tenu des deux périodes de départ des troupeaux constatés sur place (10h00 et 12h00), nous prendrons les images acquises à 9h30 et à 11h30 pour le dénombrement de bovins sur deux jours pour le calcul du nombre moyen théorique de bovins présent par jour. Une correction sera effectuée pour palier au nombre d'animaux non présent sur les photos, en ajoutant le REQM estimé. En prenant 2 jours qui se suivent, on est certains d'avoir les troupeaux pratiquant les différentes fréquences d'abreuvement. La moyenne des animaux comptés sur les deux jours et le REQM, nous a donné le paramètre (Y). Dans le cas contraire, nous utiliserons le comptage manuel sur les images utilisées dans paragraphe II (3) avec le logiciel QGIS, pour avoir ce paramètre.

$$\text{Sur deux jours on a} \quad Y = N_{9h30} + N_{11h30} + \text{REQM}$$

N_{9h30} : Nombre de bovins comptés sur les images de 9h30

N_{11h30} : Nombres de bovins comptés sur les images de 11h30

Pour les troupeaux ayant une fréquence d'abreuvement de type « Non systématique », c'est-à-dire avec un choix de fréquentation au forage, tous les jours ou tous les deux jours, selon la perception du chef de campement sur la température de la soirée, la décision a été prise de considérer la fréquentation au forage pour ces campements, sur le mode « tous les deux jours ». Le fait que les températures étaient fraîches en soirée lors de l'étude, a conforté ce choix.

Pour le calcul de l'estimation du cheptel local présent à l'abreuvoir :

$$Y = X * f_{1j} + X * f_{2j} / 2$$

Y : le nombre moyen de bovin s'abreuvant au forage.

X : le nombre total de bovin s'abreuvant au forage ou N forage

f_{1j} : Pourcentage des campements venant au forage tous les jours

f_{2j} : Pourcentage des campements venant au forage tous les deux jours

Alors
$$X = 2 * Y / (2 * f_{1j} + f_{2j})$$

Pour l'estimation du cheptel total de bovin autour du forage de Widou dans un rayon de 10 km :

$$N_{\text{total}} = X / \text{fréquentation forage}$$

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Relation entre le nombre d'animaux comptés sur les images et le nombre réel d'animaux présents

A. Résultats

Au vu des résultats du tableau 3, on peut considérer que le lundi correspond à la fréquentation au forage des troupeaux venant tous les jours et le mardi s'ajoutent ceux qui viennent tous les deux jours. Bien que les comptages se soient déroulés sur 4 jours, nous analyserons les données de lundi et de mardi qui ont été préalablement cumulés et moyennés, car elles présentent les plus forts taux pour les fréquentations supposées (Tableau 4).

Tableau 3 : Nombre total d'animaux journaliers comptés au sol.

Jours	Total comptage sol
Lundi	590
Mardi	1446
Mercredi	412
Jeudi	1132

Tableau 4 : Moyenne des comptages du lundi et du mardi.

id	c_entrant_cumul	c_sortant_cumul	c_(entrant-sortant)	c_image_qgis
7_3	81	5	76	54
8	122	28	95	84
8_3	254	33	221	154
9	353	61	293	184
9_3	426	112	314	181
10	549	235	314	232
10_3	704	286	419	413
11	857	324	533	485
11_3	962	435	527	589
12	1018	463	556	395

id : Heure de fin du comptage

c_entrant_cumul : Comptage au sol des animaux « entrant » cumulés

c_sortant_cumul : Comptage au sol des animaux « sortant » cumulés

c_(entrant-sortant) : Comptage au sol des animaux (entrant-sortant) cumulés

c_image_qgis : Comptage manuel des animaux sur image

La figure 16 montre la relation entre le comptage réalisé au sol et le comptage manuel sur QGIS.

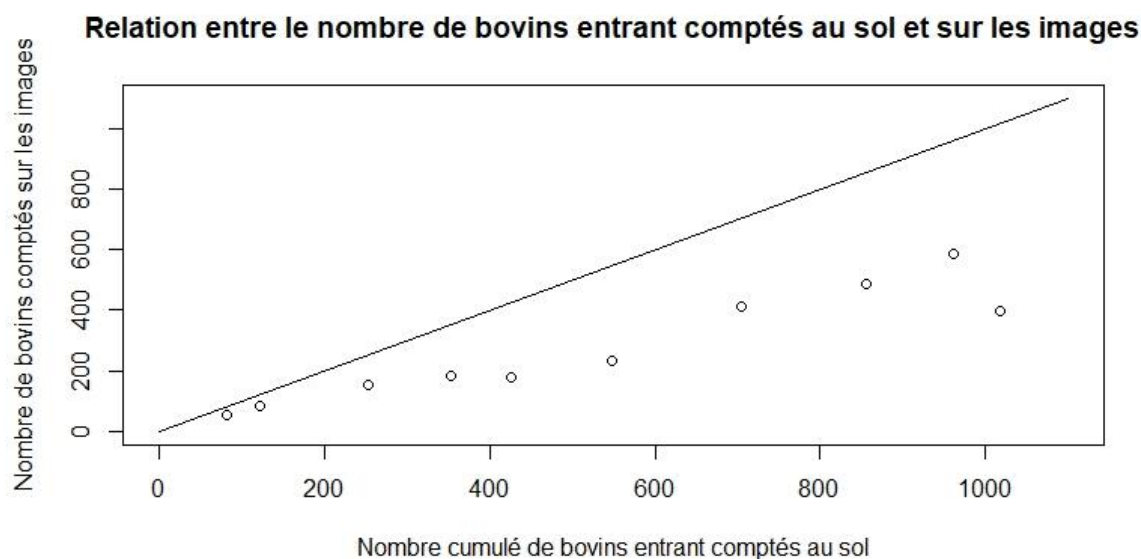


Figure 16 : Relation entre le nombre d'animaux "entrant" comptés au sol et sur les images

Tableau 5 : Statistiques du REQM

REQM	Min	Médiane	Moyenne	Max
308	27	268	255	623

Il y a manifestement un écart (effet de pente, les images sous-estiment) entre les animaux qui sont comptés manuellement sur les images et le nombre d'animaux réellement présents pendant chaque période de la journée. L'erreur moyenne quadratique est de 308 animaux non comptés sur l'ensemble de la période de comptage. Les résidus montrent une grande amplitude entre les valeurs Min et Max, soit 26 et 623 animaux.

Les animaux comptés comme « sortant » ont ensuite été retranchés du nombre des animaux comptés comme « entrant », afin d'expliquer en partie l'écart trouvé ci-dessus. Le figure 17 et le tableau 6 montrent les écarts de comptages qui sont réalisés au sol après soustraction du nombre d'animaux sortant de la zone de l'abreuvement et le comptage sur images.

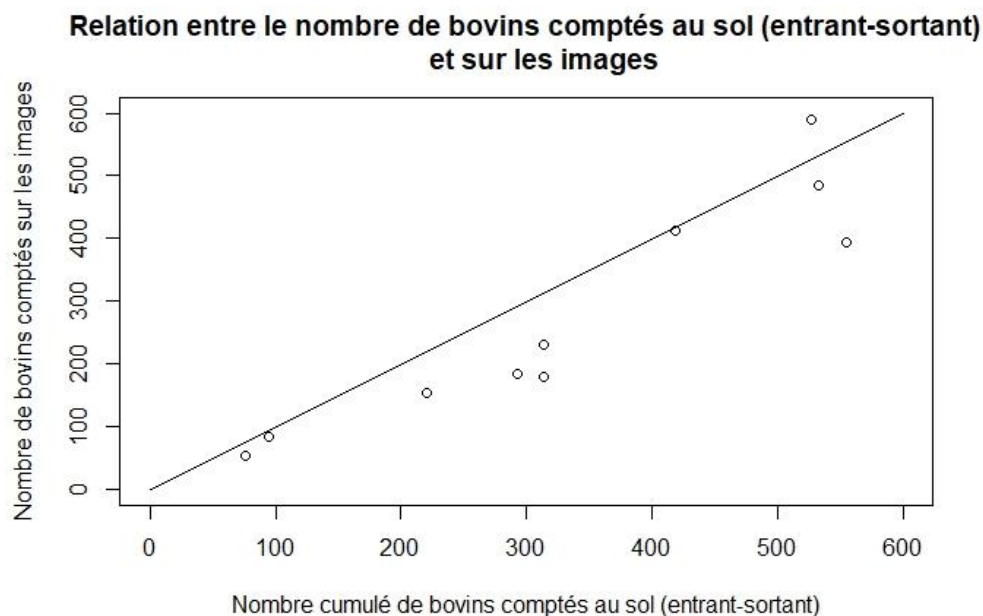


Figure 17 : Écart entre le nombre d'animaux " entrant-sortant" et le nombre d'animaux sur les images

Tableau 6 : Statistiques du REQM

REQM	Min	Médiane	Moyenne	Max
86	-62	57	57	160

B. Discussion :

En retranchant le nombre des animaux « sortant » aux « entrant », on réduit considérablement l'écart du nombre d'animaux entre les deux méthodes de comptage au sol et sur image. Les animaux, qui sortent de la zone d'abreuvement pour se mettre à l'abri du soleil sous les arbres, posent un réel problème pour l'utilisation des images acquises par drones. En effet, une grande quantité d'animaux sont sous les arbres et n'apparaissent pas sur les photos. Nous avons pu évaluer un écart moyen de 86 animaux sur les deux jours choisis.

Les bovins arrivent au forage la plupart du temps en file indienne, et sont plus facile à compter. Cependant, il n'est pas aisé de comptabiliser les animaux « sortant » car sur le terrain, les animaux sont en mouvement en permanence. Quand ils vont sous les arbres, c'est la plupart du temps le berger qui les éloignent de l'abreuvoir et c'est le troupeau regroupé qui se déplace. Il est impossible de les comptabiliser. De plus, ces animaux peuvent retourner plusieurs fois à l'abreuvoir ou sortir de la zone de comptage, ce qui rend difficile le dénombrement des animaux « sortant ». Un résidu est négatif, car les animaux « sortant » ont certainement été comptés plusieurs fois, car on se retrouve avec un nombre supérieur d'animaux « sortant » par rapport

au « entrant » (Résidu Min = -62). Le comptage visuel n'est pas la réalité, c'est aussi une estimation.

Les facteurs qui influencent la précision d'un comptage visuel d'animaux au sol sont nombreux. En effet, la taille du troupeau, la personne qui effectue le comptage, la forme du troupeau dans l'espace, la localisation du troupeau, la position du compteur par rapport au troupeau, le mouvement des animaux, le moment de la journée, l'utilisation d'un compteur à main (manuel ou numérique) sont des facteurs d'influence qui interviennent certainement. Pour des raisons de temps et de difficultés logistiques, nous n'avons pas procédé à l'évaluation de ces erreurs par des répétitions de comptage sur différents troupeaux d'effectifs connus.

2. Contrôle des performances du modèle de classification

A. Résultats

Le tableau 7 présente le résultat de la superposition des images drone et des images de classification, ainsi que le résultat de comptage automatique Fiji.

Tableau 7 : Résultats des comptages manuels et automatiques

Images	P7	P7,3	P8	P8,3	P9	P9,3	P10	P10,3	P11	P11,3	P12	Somme
Comptage manuel	40	45	59	110	131	139	125	150	98	175	20	1092
Comptage automatique	38	42	56	97	120	120	95	80	43	82	14	787
% comptage automatique	95	93	95	88	92	86	76	53	44	47	70	72
Bovins positifs non comptés	1	2	1	9	1	2	7	30	34	61	4	152
Faux-positifs	14	45	57	45	15	20	15	8	5	1	1	226
Faux-négatifs	1	1	2	4	10	17	23	40	21	32	2	153

Le taux de reconnaissance est de 787/1092 soit 72% et parmi les erreurs de classifications on identifie les « Faux-positifs » et les « Faux-négatifs » (Tableau 8).

Les « Faux-positifs » pour la plupart sont des ânes identifiés comme des bovins, mais faiblement pixélisés lors de la classification. C'est-à-dire que le nombre de pixels de couleur attribués pour une identification positive est faible, entre 20 et 40. Pour minimiser leurs intégrations dans le comptage automatique, on applique une fourchette de taille comprise entre [50-*infinity*] pour le paramétrage des objets comptés.

Les « Faux-négatifs » sont les bovins et veaux, essentiellement de couleurs sombres (marron et noir), qui ne sont pas identifiés.

Tableau 8 : Les erreurs de classifications

Erreurs	n	%
Faux-positifs	226	60
Faux-négatifs	153	40

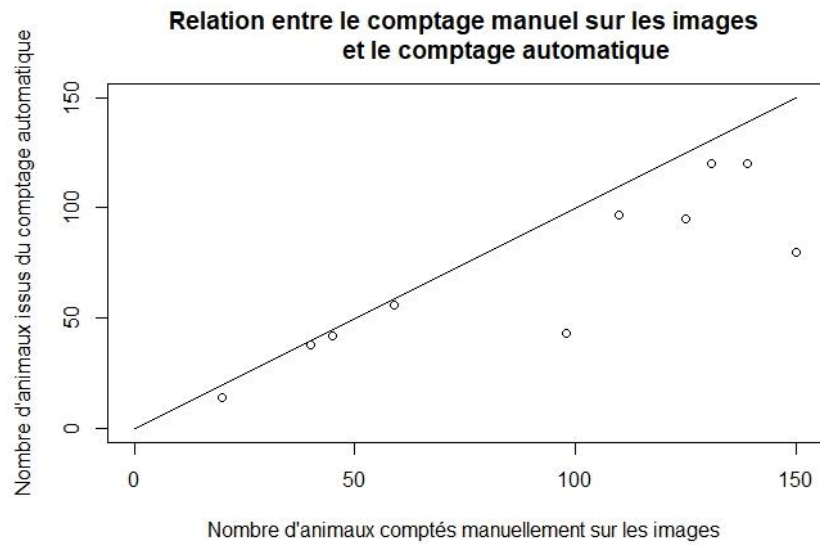


Figure 18 : Écart entre le comptage manuel et automatique

Tableau 9 : Statistiques du REQM

REQM	Min	Médiane	Moyenne	Max
41	2	13	28	93

L'exploration des données en deux périodes de la journée, 7h-10h (Figure 19) et 10h30-12 (Figure 20) montre les résultats suivant :

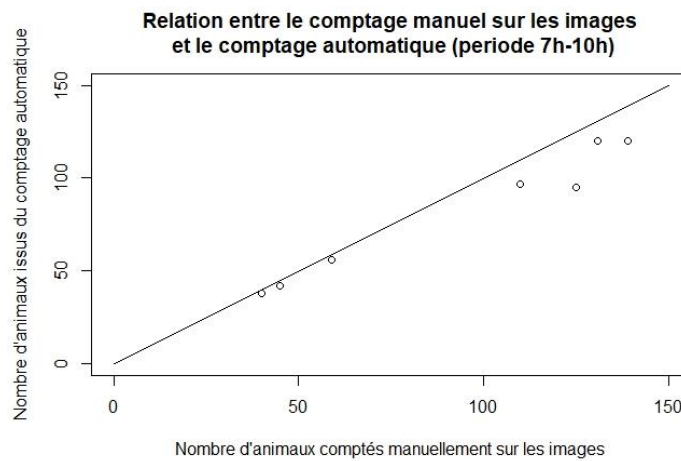


Figure 19 : Écart entre le comptage manuel et automatique (7h-10h)

Tableau 10 : Statistiques du REMQ

REMQ	Min	Médiane	Moyenne	Max
15	2	11	12	30

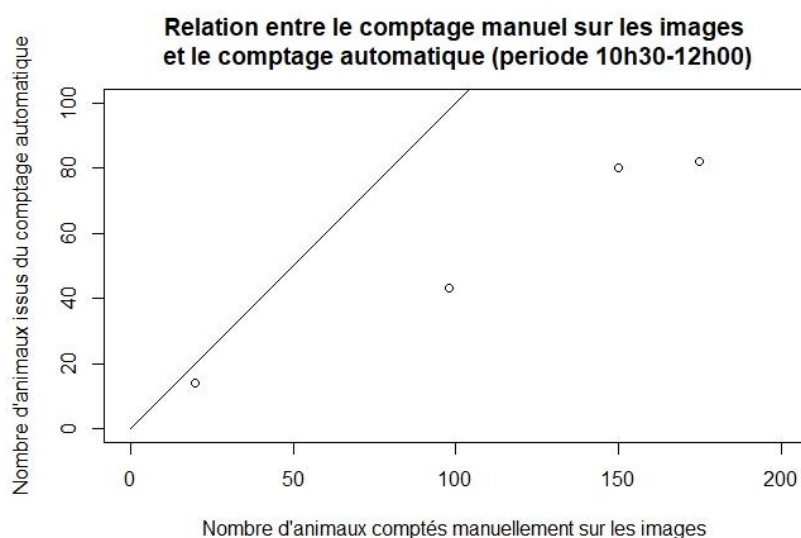


Figure 20 : Écart entre le comptage manuel et automatique (10h30-12h00)

Tableau 11 : Statistiques su REMQ

REMQ	Min	Médiane	Moyenne	Max
64	6	63	56	93

B. Discussion :

Les erreurs du comptage automatique sont attribuées pour la plupart aux veaux qui sont bien identifiés mais faiblement pixélisés comme « Positifs » mais dont la faible surface sort de la fourchette des surfaces paramétrées pour le comptage automatique. Si on abaisse cette fourchette de surface, on comptera aussi les « Faux-positifs » que sont les ânes.

Pour les bovins très regroupés lors de l'abreuvement ou au sein d'un troupeau, la classification se fait correctement. Mais les objets sont fusionnés car il n'y a pas suffisamment d'espace pour les individualiser. Lors du comptage automatique, un seul objet est identifié mais avec une surface élevée. Il faut donc procéder au dénombrement des vaches au sein de cet objet par division avec une surface moyenne d'une vache pixélisée, soit 50.

Globalement, le modèle n'a pu reconnaître que 72% des bovins (Tableau 7). La figure 18 montre l'écart entre le comptage manuel et automatique. Le comptage automatique a tendance à sous-estimer le nombre d'animaux présents et l'écart moyen est de 41 (Tableau 9).

Le modèle de classification testé, génère un nombre important de « Faux-positifs » et de « Faux-négatifs ». Il n'arrive pas à identifier les bovins avec des « robes » de couleurs plus sombres. L'espèce majoritaire est le zébu « Góbra » qui a une couleur de « robe » à tendance blanche.

Lors de l'étape d'apprentissage, les bovins labélisés sont de couleur blanche et l'apprentissage avec des bovins de couleurs plus sombres montrent une tendance à faire apparaître des confusions, c'est-à-dire des « Faux-négatifs » dans le résultat de classification.

La décision de construire le modèle avec 2 classes, afin de générer un modèle de classification plus simple semble montrer des difficultés devant l'hétérogénéité des intensités de gris dans une même classe. Pour rappel, le modèle ne contient que 30 bovins labélisés à partir de 3 images, ce qui est très peu pour un apprentissage robuste.

Nous constatons que pour la période horaire de 7h à 10h30, l'erreur quadratique moyenne est meilleure, avec une valeur de 15 (Tableau 10). Mais cette erreur augmente dans la deuxième période de la journée avec une valeur de 64 (tableau 11). Dans cette deuxième partie de la journée, le nombre d'animaux présents est aussi plus élevé.

Pour rappel, le jeu d'apprentissage est composé que de 3 photos et de 30 bovins ce qui est très insuffisant pour la construction d'un modèle de classification fiable, avec des images contenant une très grande hétérogénéité d'informations.

Différents prétraitements appliqués sur toutes les images, pourraient être testés afin de réduire la variabilité entre les photos comme, la luminosité, le contraste, afin de produire des images « standardisées ». L'autre piste est d'inclure la variabilité des expositions des images, mais il est fastidieux de connaître son étendue.

Cette différence de performance sur ces deux périodes suggère un manque de constance, de robustesse du modèle testé. Bien que le modèle arrive à reconnaître la plupart des bovins, il n'est pas du tout fiable par l'inconstance des performances sur des images prises sur différentes périodes de la journée. Ajouter à cela, la présence de faux-positifs qui pénalisent le comptage automatique des veaux identifiés et les bovins de couleur sombre qui ne sont pas reconnus.

Au vu de ces performances aléatoires, le modèle de classification automatique n'a pas été retenu pour le comptage des animaux. Le comptage manuel sur image avec le logiciel QGIS sera utilisé pour évaluer le cheptel bovin local dans un rayon de 10 km du forage de Widou, pendant la période de l'étude.

Le choix de construire un modèle de classification sur la base de deux classes n'est peut-être pas la bonne stratégie, car les entités (labélisées) renseignées sont très hétérogènes dans chaque classe.

3. Les pratiques d'abreuvements

A. Résultats

Le recensement exhaustif des campements et la sélection des campements à enquêter

La figure 21 nous donne un aperçu de la répartition spatiale des 239 campements identifiés autour du forage de Widou. La grande majorité des campements, soit 97% se sont implantés de façon permanente dans la zone, à proximité de forages. Les 3% restants sont installés de façon

temporaire et sont mobiles. 14% des campements n'ont pas de bovins, seulement des petits ruminants. Les 86% restants ont à la fois des bovins et des petits ruminants. La présence d'un robinet à proximité d'un campement est signalée par 38% des chefs de campement.

Les 103 campements sélectionnés, répondant aux critères de notre étude, pour enquête plus approfondie sur les pratiques d'abreuvements, sont identifiés géographiquement dans la figure 22. 66% fréquentent le site d'abreuvement du forage de Widou pour leurs troupeaux de bovins et 34% utilisent plutôt des robinets reliés au forage de Widou (Tableau 12). La répartition des campements selon la catégorie des effectifs déclarés par les chefs de campements, montre une tendance vers des troupeaux de bovins petits et moyens (38% et 49%). Les grands troupeaux sont plutôt minoritaires (Tableau 13).

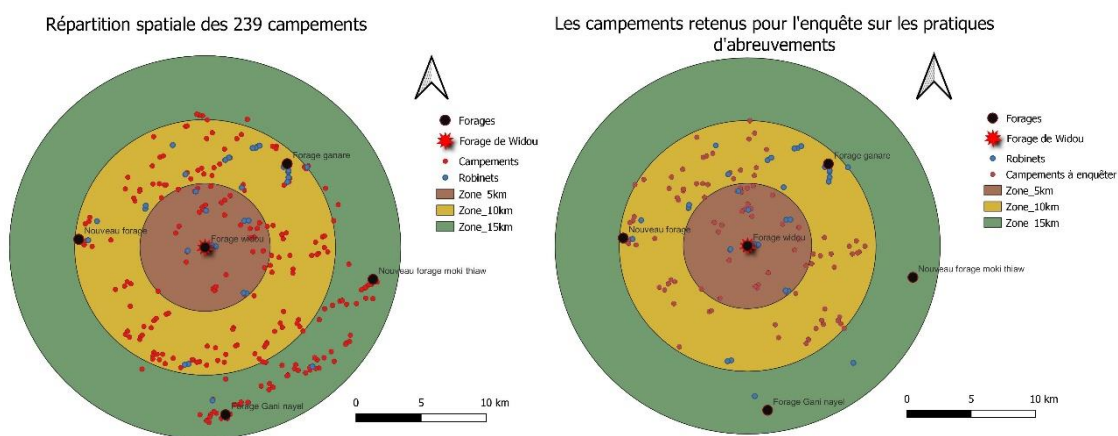


Figure 21 : Localisation des 239 campements

Figure 22 : Localisation des 103 campements

Tableau 12 : Répartition des 103 campements selon le type de point d'eau utilisé

Type de point d'eau	n	%
Forage	68	66
Robinet	35	34

Tableau 13 : Répartition des 103 campements selon leurs catégories d'effectifs de bovins

Catégorie d' effectif	n	%
Petit < 30	39	38
Moyen 30-80	50	49
Grand > 80	14	14

Les enquêtes sur les pratiques d'abreuvements

Au final, 48 enquêtes ont été réalisées et pour la plupart réalisées au forage. 4 enquêtes n'ont pas été retenues car ces campements sont localisés hors de la zone des 10km de l'étude. Nous avons un taux de sondage de 43% par rapport à notre population de 103 campements.

Les campements qui fréquentent le forage de Widou sont au nombre de 37. 7 ne viennent plus au forage car utilisent des robinets reliés au forage de Widou pour se fournir en eau.

La répartition spatiale de notre échantillon d'enquête est comparée aux 103 campements géo-localisés dans la zone d'étude (figure 23) et visuellement elle semble bien homogène.

L'analyse des résultats d'enquêtes sur les pratiques d'abreuvement montre des fréquentations journalières du forage, un jour sur deux et des pratiques « moins systématiques » (Tableau 14). Pour les fréquentations « moins systématiques », la décision de passage au forage est en relation avec la perception du chef de campement sur les températures nocturnes journalières. Si une température jugée « fraîche » est constatée pendant la nuit, le troupeau pourra attendre un jour sans eau avant de partir le jour suivant à l'abreuvoir du forage.

Tableau 14 : Fréquence de passage des 37 troupeaux au point d'eau

Fréquence au forage	N	%
Journalier (F_1)	16	43
Non systématique (F_1.5)	15	41
Un jour sur deux (F_2)	6	16

Notre échantillon de campements enquêtés montre que 16% profitent des robinets pour abreuver les bovins ce qui est inférieur au chiffre constaté lors du recensement exhaustif des campements (Tableau 13). Constat inverse pour le pourcentage de ces campements avec des catégories d'effectifs « Grand ». Ces écarts sont dus au fait que la plupart des enquêtes se sont déroulées au forage, ce qui a minimisé le nombre de campements disposant de robinets, avec des effectifs d'animaux catégorisés comme « Petit » et qui ne viennent plus au forage. Suite à ce constat, nous pouvons utiliser la fréquentation au forage de notre population (66%) pour notre estimation finale du cheptel de bovins.

Comparaison spatiale des campements enquêtés et des campements présents dans la zone d'étude

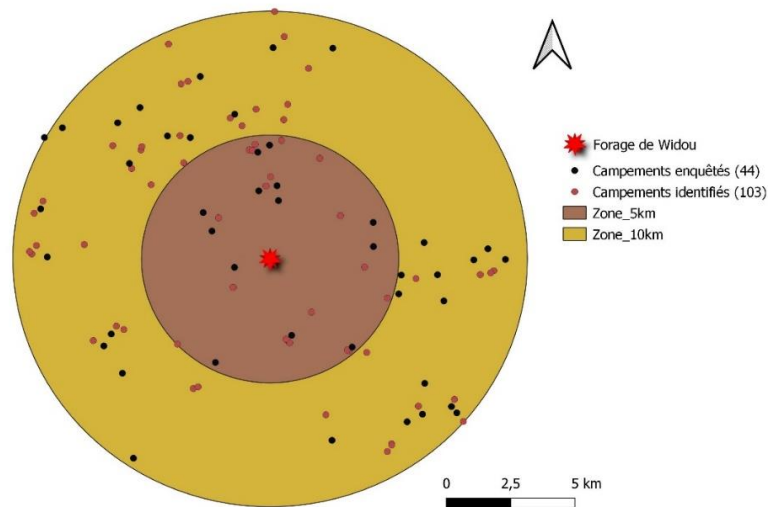


Figure 23 : Répartition spatiale des campements enquêtés

Tableau 15 : Répartition des 44 campements selon les catégories des effectifs de bovins

Catégorie d'effectif	n	%
Petit < 30	13	30
Moyen 30-80	20	45
Grand > 80	11	25

45% des campements enquêtés sont catégorisés comme ayant un effectif de bovins moyen.

Tableau 16 : Répartition des 44 campements selon la distance au forage de Widou

Catégorie des distances au forage	n	%
Dist_Petit ≤ 3 Km	6	14
Dist_Moyen >3 Km ≤ 6 Km	11	25
Dist_Grand > 6 Km	27	61

61% des campements sont situés à plus de 6 km du forage.

Grâce aux informations collectées, comme la taille du troupeau (Tableau 15) de bovins et la distance des campements au forage (Tableau 16), nous essayons de comprendre si les choix de fréquentation du forage sont aléatoires ou liés par une relation entre les variables taille du troupeau et ou la distance du campement.

Le test du CHI-2

Question 1 : Est-ce que les différentes fréquences de passage au forage sont liées à la taille du cheptel ?

Les hypothèses sont, pour un risque $\alpha=0.05$

H0= il n'y a pas de relation entre les fréquences de passage au forage et la taille du troupeau.

H1= les différentes fréquences de passage ont un lien avec la taille du troupeau.

Tableau 17 : Répartition des tailles des 37 troupeaux en fonction de la fréquentation au forage

Catégorie d'effectif	F_1	F_1.5 et F_2
Petit < 30	5	7
Moyen et Grand 30-80	11	14

La *p-value* est égale à 1. Sur la base des hypothèses posées, H0 ne peut pas être rejeté.

Question 2 : Es ce que la fréquence de passage des troupeaux au forage est liée à la distance des campements ?

Les hypothèses sont, pour un risque $\alpha=0.05$

H0 = Il n'y a pas de relation entre la fréquence de passage des troupeaux et la distance des campements.

H1 = La fréquence de passage des troupeaux a un lien avec la distance des campements.

Tableau 18 : Répartition des distances des 37 campements en fonction de la fréquentation au forage

Catégorie des distances au forage	F_1	F_1.5 et F_2
Dist Petit Moyen $\leq$ 6 Km	9	5
Dist Grand > 6 Km	7	16

La *p-value* est égale à 0.09. Sur la base des hypothèses posées, H0 ne peut pas être rejeté,

L'ACM

Le tableau des données utilisées pour l'exploration visuelle des variables catégorisées se trouve dans l'annexe 5. La figure 24 montre les relations entre les catégories des variables par projection sur les dimensions 1 et 2, avec 51% de la variance exprimée et celle de l'axe 3 est de 14%. Le choix est fait de s'arrêter à l'axe 3 pour l'interprétation des données.

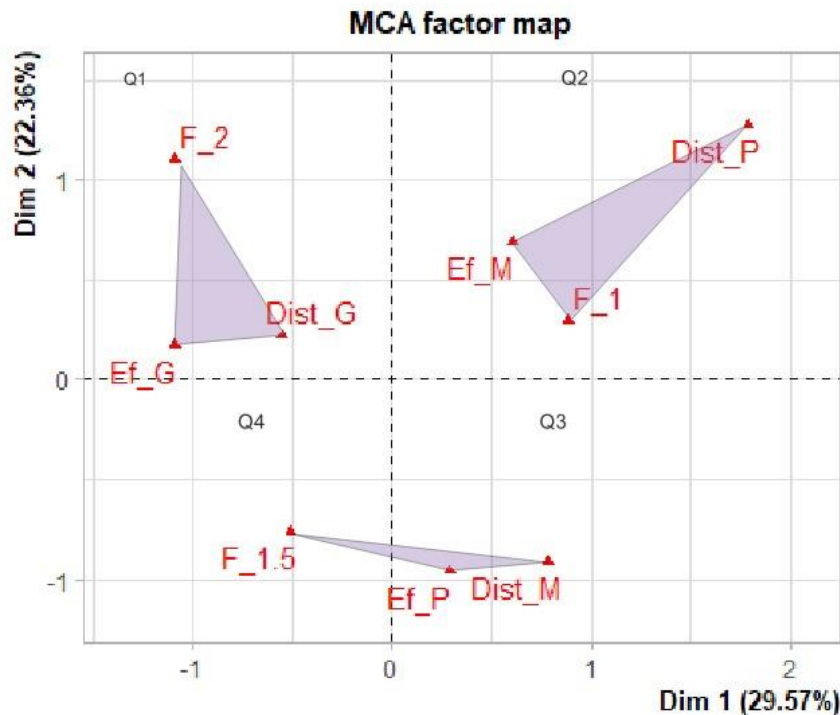


Figure 24 : Projection des catégories de variables

Les tests de CHI-2, ci-dessus, ont semblé montrer qu'il n'y a aucune relation entre la distance, la catégorie d'effectifs et la fréquence d'abreuvement, même si l'interprétation du test reste difficile du fait de la faible représentation de certaines catégories. Cependant, la projection des variables pour l'ACM montre que :

- La fréquentation journalière au forage semble liée à des effectifs de troupeaux moyens et une distance petite des campements au forage (Q2).
- La fréquentation un jour sur deux au forage semble liée à des effectifs de grands troupeaux et à une grande distance des campements au forage (Q1).
- La fréquentation non systématique semble liée à des effectifs petits et une distance moyenne des campements au forage (Q4 et Q3). Ces catégories sont négativement corrélées avec les autres.
- Les catégories qui sont éloignées de l'origine sont bien représentées par l'ACM.

B. Discussion

La décision d'attendre les chefs de campements au forage pour faire les interviews a grandement maximisé la proportion des campements qui emmènent leurs troupeaux au forage et a minimisé ceux qui ne viennent plus au forage car utilisant des robinets pour abreuver leurs animaux. Même si en fin d'après-midi, on a continué à rechercher les campements de la liste avec les données GPS, on a biaisé le taux de fréquentation au forage par excès. Mais grâce au

taux de fréquentation au forage connu de notre population, cela ne posera aucun problème pour le calcul de l'estimation finale du cheptel bovins. Finalement, connaissant ce paramètre, il n'était pas nécessaire de faire des enquêtes aux campements ne venant plus au forage.

Cette étude s'est déroulée sur 3 mois avec des fréquences de passages sur le terrain d'un mois (Février à avril). Les habitants de certains campements n'étaient plus présents dans la zone d'étude, car partis en transhumance.

Lors du recensement préliminaire des campements au mois de février, des campements n'ont pas été tous repérés et identifiés. Des oublis ont été constatés au forage.

Notre objectif de conservé les mêmes proportions de campements catégorisés et de constituer des séries de passage a été un échec, par la difficulté de repérer l'emplacement des campements.

Le risque d'incompréhension des questions posées et des réponses reçues, lors des enquêtes de terrain sont importants, d'autant plus qu'elles ont été réalisées avec un interprète.

4. Estimation finale du nombre de bovin local

A. Résultats

Grace aux informations collectées et analysées, nous avons tous les indicateurs pour estimer le nombre du cheptel total de bovin dans la zone.

Formule générale : $N_{\text{total}} = N_{\text{forage}} + N_{\text{robinets}}$

$$N_{\text{forage}} = X = 2 * Y / (2 * f1j + f2j)$$

Fréquence 1j : Pourcentage des troupeaux venant au forage tous les jours = **0.43**

Fréquence 2j : Pourcentage des troupeaux venant au forage tous les deux jours = $0.16+0.41 =$
0.57

Compte tenu du biais généré sur le taux fréquentation des campements sur notre échantillon d'enquêtes, nous utiliserons le taux de fréquentation au forage des 103 campements (Tableau 13), soit **0.66**.

Pour rappel, nous avons décidé de ne pas utiliser le modèle de classification et de comptage automatique pour dénombrer les bovins sur les images. Pour cela, nous utilisons le comptage manuel qui été effectué sur les images acquises par le drone (Tableau 4). À 9h30 et 11h30, le nombre de bovins comptés est de 181 et 589 bovins sur deux jours. Sachant que le nombre de bovin sous les arbres et hors champ photographique est en moyenne de 308 (REMQ), on rajoute ce chiffre pour avoir le nombre total de bovin présent au forage. Donc au final, nous avons une estimation du cheptel local bovin pendant la période de l'étude dans un rayon de 10 km à partir du forage de Widou de :

$$Y = 181+589+308 = 1078$$

En tenant compte des fréquences d'abreuvement :

$$X = 1508 \text{ bovins}$$

En tenant compte de la fréquentation au forage :

$$\mathbf{N \text{ total} = 2285 \text{ bovins}}$$

B. Résultats

Le résultat estimé de 2285 bovins pour le mois d'avril, date de prise des images, semble plausible, car cette région du Sénégal possède une densité de 2 à 12 bovins par km² (Cesaro *et al.*, 2010). Notre zone de comptage couvre une superficie de 314 km², ce qui fait une densité de 7 bovins par km². Cependant cette densité est variable dans l'année et nous étions au moment le plus creux de la saison. En effet, de nombreux campements ont quitté la région avec leurs troupeaux, pour transhumner dans les régions plus favorables en ressources fourragères pour les animaux. Ce qui laisse présager, au retour des troupeaux de transhumance, que cette densité soit bien plus importante.

5. Discussion générales et perspectives

L'acquisition des images à l'abreuvoir s'est déroulée au mois d'avril et nous avons constaté lors de la recherche des campements à enquêter que beaucoup étaient vides, car les habitants et les animaux étaient partis en transhumance. Ce qui laisse à penser que le plus grand nombre d'animaux présents à l'abreuvoir n'est pas dans cette période de l'année. Pour que la méthode d'estimation soit plus précise, il faudrait refaire les acquisitions d'images au retour des troupeaux de la transhumance, plus précisément à la fin de la saison des pluies quand les mares temporaires sont asséchées. C'est à ce moment-là que les contraintes d'abreuvements reprennent, et probablement on pourrait observer la plus forte densité d'animaux de la zone.

L'évaluation moyenne des bovins susceptibles de ne pas se retrouver sur les images, car hors champ du capteur et sous les arbres, permet d'appliquer une correction non négligeable sur le nombre d'animaux présents à un moment au point d'eau. Néanmoins, dans la perspective de reproduire cette méthode à d'autres point d'eau (puits, abreuvoirs, mares, fleuves, rivières...), il est essentiel d'évaluer le nombre d'animaux cachés ou hors champs photographique pour apporter une correction adéquate aux comptages sur les images.

Il serait aussi envisageable de photographier les animaux sur les grands marchés de ventes des animaux, lieux de grands rassemblements des animaux de toutes espèces. Et si l'intérêt était de dénombrer les ovins ou les caprins, des prises photographiques peuvent être prises aux campements quand les animaux sont regroupés dans leurs parcs clôturés. Ces prises de photos devront être effectuées dans un cadre réglementaire, soumis à autorisations pour les zones publics ou privées.

La répartition spatiale des 44 campements enquêtés semble bien équilibrée par rapport aux 103 campements répondant aux critères de notre étude. La fréquentation au forage est de 66% car beaucoup de campements ne viennent plus au forage, car disposant d'un robinet d'abreuvement. Ce qui est probablement une particularité de la zone de Widou, comme l'absence de puits traditionnels à proximité. Concernant les troupeaux ayant une fréquentation au forage de type « Non systématique », la décision a été prise de considérer qu'ils viennent tous à l'abreuvoir tous les deux jours, car les températures étaient plus fraîches en soirée lors de notre passage dans la région. La fréquentation « Non systématique » qui est de 41%, va influencer grandement le calcul final selon la décision de l'ajouter en fréquentation « un jour » ou « deux jours » à l'abreuvoir. Là encore, pour chaque nouvelle future zone d'estimation du cheptel bovins, la détermination des taux de fréquentations aux différents points d'eau, ainsi que les fréquences d'abreuvements doivent être évaluées par enquêtes auprès des chefs de campements. Les enquêtes doivent être réalisées aux campements afin de prendre en compte toute la variabilité des pratiques d'abreuvements, soit sur l'ensemble des campements présents dans la zone ou par échantillonnage, mais dans tous les cas il faut minimiser les biais. Lors de l'étape préliminaire de l'étude, un recensement exhaustif des campements a été fait avec un guide local. Il s'est avéré que tous n'ont pas été trouvés et identifiés. L'utilisation d'images satellites commandées de la zone d'étude, avant l'inventaire, aurait donné un aperçu visuel et la spatialisation de l'ensemble des campements présents dans la zone. Les campements temporaires et les troupeaux transhumants de passage sur le point d'abreuvement, sont une difficulté supplémentaire pour leurs intégrations dans le taux de fréquentation, car leurs présences de façon aléatoire dans la zone d'étude et leurs grandes mobilités créent une surestimation du nombre de bovins dans la zone, à différentes périodes de l'année.

L'étape d'apprentissage avec le logiciel « Fiji » a été réalisé avec des images qui ont subi un faible niveau de prétraitement, comme une légère compression des données et une transformation des couleurs en niveau de gris (8 bits). Au vu des différences de performance du modèle sur des images prises à différentes périodes de la journée et impactées par des expositions lumineuses différentes, il semblerait que d'autres prétraitements seraient utiles pour diminuer ce biais.

Nous n'avons pas utilisé le modèle construit de classification pour compter les animaux sur les images, car ses performances n'étaient pas satisfaisantes. Le logiciel open source utilisé présente des limites pour la classification des bovins ayant une grande hétérogénéité d'intensités de niveau de gris, après transformation des images RGB. Le choix d'un apprentissage à deux

classes ne correspond peut-être pas à la meilleure stratégie de classification pour le logiciel et l'algorithme utilisés, mais d'autres pistes de logiciels et d'algorithmes restent à explorer et à tester. Différents algorithmes tous issus de l'intelligence artificielle peuvent être testés afin d'avoir le meilleur modèle de reconnaissance des bovins pour un comptage automatique. Des algorithmes, de type Deep Learning réputés plus performants pour la classification d'images, comme le CNN (Convolutional Neural Network) « réseaux de neurones convolutifs » en français, ou Machine Learning par la méthode non supervisée.

Bien que chronophage, le comptage manuel des bovins, sur images acquises par drone avec un capteur à haute résolution et à une altitude de 200 mètres est tout à fait possible. Ce qui nous a permis d'estimer le cheptel bovin local, lors des grands rassemblements autour du point d'eau collectif, à partir des images drone. Mais un modèle plus fiable pourrait être utilisé, afin de s'abstenir d'un comptage manuel laborieux, sur un plus grand nombre d'images acquises autour de différents points d'abreuvement.

L'utilisation de capteurs avec des objectifs munis de prises de vue « grand angle » ou à 360° embarqués sur le drone, permettrait de couvrir une plus grande surface au sol et donc d'avoir davantage d'animaux sur les images acquises. Cependant, ces technologies présentent l'inconvénient de déformer considérablement les images.

La photogrammétrie, qui consiste à reconstruire une image à partir de plusieurs vues photographiques, serait aussi envisagée, pour le recouvrement de grande surface. Mais cette technique d'assemblage d'images n'est pas très appropriée pour les objets en mouvement, car elle génère des effets de trainées photographiques et de dédoublement pour les animaux sur les images. Elle n'apportera pas non plus de solution pour les animaux qui sont sous les arbres par forte chaleur, car les bovins resteront toujours cachés par la végétation environnante.

D'autres capteurs pourraient être utilisés comme des caméras de vidéosurveillance (Gogoi et Philip, 2015), des caméras thermiques (Ward *et al.*, 2016), multi spectrales (Hollings *et al.*, 2018) ou des caméras de captures d'images (Norouzzadeh *et al.*, 2018). Elles offrent des possibilités pour le dénombrement des animaux.

Les images satellites actuelles ne permettent pas (encore) de distinguer les bovins au sol. La meilleure résolution fournie de 30 cm par pixel reste insuffisante pour une reconnaissance manuelle fiable entre les bovins et les autres entités (ânes, chevaux...) qui sont présents sur la zone de l'abreuvoir de Widou. Mais la détection et le comptage d'animaux restent possible si l'espèce présente est unique et bien exposé, lors de la prise photographique par le satellite (Sbalzarini et Koumoutsakos, 2005).

Cependant, grâce aux comptages des animaux à partir des images hautes résolutions sur la plupart des grands rassemblements du cheptel bovin, des cartes de densités des animaux peuvent être générés sur les photos satellitaires pour évaluer leurs répartitions spatiales à l'échelle nationale.

CONCLUSION

L'utilisation des images RGB à haute résolution acquises par un drone, nous a permis d'estimer le cheptel local de Widou Thiengoly. En saison sèche, les contraintes d'abreuvements poussent les éleveurs à emmener leurs troupeaux au point d'eau le plus proche. C'est à ce moment-là, que la densité des bovins est la plus élevée et est l'opportunité pour faire des prises de vue. Cependant, nous avons pu constater que les pratiques d'abreuvements doivent être définies pour la zone concernée, car les fréquentations au point d'eau et les fréquences d'abreuvements peuvent varier.

Même si le comptage sur les images a été réalisé manuellement, il a été possible d'identifier et de compter les bovins, parmi les nombreux objets présents sur la zone. Néanmoins, le comptage automatique des bovins sur les images reste tout à fait réaliste au vu des nombreux articles scientifiques produits. Le choix d'un algorithme adéquat et un jeu de données d'images conséquent sont primordiaux pour un apprentissage efficace pour la construction d'un modèle de reconnaissance fiable.

Au final, déployer une flotte de drones serait envisageable car leur prise en main et leur utilisation sont faciles, et les coûts d'achats et d'entretiens sont raisonnables. Les prises d'images se feraient sur les principaux lieux d'abreuvements, comme les abreuvoirs des forages pendant la saison sèche, sur les rives des fleuves, aux heures de fortes présences des animaux. Il faudra tenir compte des taux de fréquentation des troupeaux locaux et du taux de recouvrement des animaux sur les images qui doivent changer si les milieux sont différents. Dans les régions du Sénégal où la végétation est plus dense et si la majorité des animaux sont cachés, cette méthode serait moins précise et devra être adaptée.

Références bibliographiques

Ancey V., Wane A., Müller A., André D., et Leclerc G. 2008. Payer l'eau au Ferlo Stratégies pastorales de gestion communautaire de l'eau : Autrepart, n° 46(2), 51-66.

Bah A., Touré I., Fourage C., Diop Gaye I., Leclerc G., Soumaré A., Ickowicz A., et Diop A.T. 2010. Un modèle multi-agents pour étudier les politiques d'affectation des terres et leurs impacts sur les dynamiques pastorales et territoriales au Ferlo (Sénégal). Cahiers Agricultures, 19(2), 118-126.

Bahili J. et Djaby B. 1993. L'enquête nationale sur les effectifs du cheptel au Burkina Faso. Stateco, 73.

Bakhoum A., Sarr O., Ngom D., Diatta S., et Ickowicz A. 2020. Usages des fourrages ligneux et pratiques pastorales dans la communauté rurale de Téssékéré, Ferlo, Nord Sénégal. Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux, 73(3), 191-198.

Baroin C. 2003. L'hydraulique pastorale, un bienfait pour les éleveurs du sahel? De Boeck Supérieur, (205), p. 205-224

Beaudesson P., Chartier M., et Michau F. 2016. Counting using thermal camera mounted on drone. Forêt-Entreprise, (227), p. 12-15.

Bossoukpe M., Ndiaye O., Diatta O., Diatta S., Audebert A., Couteron P., Leroux L., Diouf A.A., Dendoncker M., Faye E., et Taugourdeau S. 2021. Unmanned aerial vehicle for the assessment of woody and herbaceous phytomass in Sahelian savanna. Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux, 74(4), 199-205.

Bouché P., Lungren C.G., et Hien B. 2004. Recensement aérien total de la faune dans l'Ecosystème naturel Po-Nazinga-Sissili (PONASI). Burkina Faso. Programme CITES-MIKE, 85.

Buckland S.T., Anderson D.R., Burham K.P., Laake J.L., Borchers D.L., et Thomas L. 2004. Advanced distance sampling: estimating abundance of biological populations. OUPS Oxford.

Carrière M. 1996. Impact des systèmes d'élevages pastoraux sur l'environnement en Afrique et en Asie tropicale et sub-tropicale aride et sub-aride. CIRAD-EMVT, p 70.

Cesaro J.D., Magrin G., et Ninot O. 2010. Atlas de l'élevage au Sénégal. Commerces et territoires, Prodig, p. 36.

Chatellier V. 2020. La dépendance de l'Afrique de l'Ouest aux importations de produits laitiers. INRAE Productions. Animales, 33 (2), 125-140.

Dieye P.N., Broutin C., Ba Diao M., Duteurtre G., et Ly C. 2005. Synthèse bibliographique sur les filières laitières au Sénégal. Réseau de Recherche et d'Échanges sur les Politiques Laitières, p 47.

Diop A.T., Diaw O.T., Dieme I., Touré I., Sy O., et Diémé G. 2004. Mares de la zone sylvopastorale du Sénégal : tendances évolutives et rôle dans les stratégies de production des populations pastorales. Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux, 57(1-2), p 77.

Duporge I., Isupova O., Reece S., Macdonald D.W., et Wang T. 2021. Using very-high-resolution satellite imagery and deep learning to detect and count African elephants in heterogeneous landscapes. Remote Sensing in Ecology and Conservation, 7(3), p. 369-381.

Duteurtre G. et Faye F. 2003. « Élevage et pauvreté » Actes de l'atelier Cirad-recherche CIRAD, Montpellier, les 11 et 12 septembre 2003. CIRAD, Éditeurs scientifiques, p 300.

Eskandari R., Mahdianpari M., Mohammadimanesh F., Salehi B., Brisco B., et Homayouni S. 2020. Meta-analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery for Agro-environmental Monitoring Using Machine Learning and Statistical Models. Remote Sensing, 12(21), 3511.

Fassinou C., N'goran A., Diatta D., Ndiaye O., et Taugourdeau S. 2022. Impact of tree on the growth of the herbaceous layer of Sahelian savannah. A UAV based approach. Grassland Science in Europe, 27, 370-372.

Freud C., Freud E.H., Richard J., et Thenevik P. 1997. La crise de l'arachide au Sénégal: un bilan-diagnostic. Rapport de synthèses CIRAD, p 182.

George J., Adelaja A., Vaughan O., et Awokuse T. 2022. Explaining transhumance-related violence: Fulani Ethnic Militia in rural Nigeria. Journal of Rural Studies, 89, 275-286.

Gogoi M. et Philip S.R. 2015. Protection of crops from animals using intelligent surveillance system. Journal of Applied and Fundamental Sciences, 1(2), p 200.

Gonzalez L., Montes G., Puig E., Johnson S., Mengersen K., et Gaston K. 2016. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Artificial Intelligence Revolutionizing Wildlife Monitoring and Conservation. *Sensors*, 16(1), p 97.

Grenier P. 1960. Les Peul du Ferlo. Dans : *Les cahiers d'outre-mer*, 28-58.

Hamylton S.M., Morris R.H., Carvalho R.C., Roder N., Barlow P., Mills K., et Wang L. 2020. Evaluating techniques for mapping island vegetation from unmanned aerial vehicle (UAV) images: Pixel classification, visual interpretation and machine learning approaches. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 89, p 14.

Hiernaux P., Diawara M., et Assouma M. 2018. Au Sahel, maintenir l'élevage pastoral pour s'adapter au changement climatique. *Le Monde*. 2018, p 4.

Hollings T., Burgman M., van Andel M., Gilbert M., Robinson T., et Robinson A. 2018. How do you find the green sheep? A critical review of the use of remotely sensed imagery to detect and count animals. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(4), 881-892.

Jachmann H. 1991. Evaluation of four survey methods for estimating elephant densities. *African Journal of Ecology*, 29(3), 188-195.

Jahel C., Lenormand M., Seck I., Apolloni A., Toure I., Faye C., Sall B., Lo M., Diaw C.S., Lancelot R., et Coste C. 2020. Mapping livestock movements in Sahelian Africa. *Scientific Reports*, 10(1), 8339.

Kane A. 2005. Vulnérabilité climatique et ses conséquences sur les écoulements du Fleuve Sénégal. *Regional Hydrological Impacts of Climatic Change-Hydroclimatological Variability*, 146-157.

Kardjadj M., Diallo A., et Lancelot R., éd. 2019. *Transboundary Animal Diseases in Sahelian Africa and Connected Regions*. Springer, 3, p 23.

Lancelot R., Zundel E., et Ducrot C. 2011. Spécificités de la santé animale en régions chaudes : le cas des maladies infectieuses majeures en Afrique. *INRAE Productions Animales*, 24(1), 65-76.

Lefèvre P. et Diallo A. 1990. Peste des petits ruminants. *Rev Sci Tech*, 9(4), 935-950.

Lhoest S. 2015. Contribution au monitoring de populations d'hippopotame commun (*Hippopotamus amphibius* L.) par l'utilisation de la technologie drone (Parc National de la Garamba, République Démocratique du Congo). Rapport de Master, p 110.

Lhoste P. 1977. « Étude des conditions physiques, biologiques et humaines de la lutte contre l'aridité dans l'Oudalan ». Inventaire du cheptel. Rapport IEMVT, p 53.

Lhoste P. 2004. Les relations agriculture-élevage. Oléagineux, Corps gras, Lipides, 11(4-5), 253-255.

Linchant J., Lejeune P., et Vermeulen C. 2014. Les drones au secours de la grande faune menacée de RDC. Parcs et Réserves, 69(3), 5-13.

Linchant J., Lejeune P., et Vermeulen C. 2017. Les drones voleront ils au secours de la faune menacée de la RDC ? Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, (213), 153-159.

Macpherson C.N.L. 1995. The effect of transhumance on the epidemiology of animal diseases. Preventive Veterinary Medicine, 25(2), 213-224.

Michel J.-F. 2000. Les dénombrements d'animaux domestiques, une revue. Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux, 53(1), p 55.

Michel J.F. 2002. Mission d'appui au recensement général de l'agriculture et de l'élevage. Préparation de la méthodologie du recensement pilote de l'élevage. Rapport CIRAD-EMVT 11°02-046, p 25.

Miehe S., Jürgen K., Wehrden H., et Retzer V. 2010. Long-term degradation of Sahelian rangeland detected by 27 years of field study in Senegal. Journal of Applied Ecology, (47), 692-700.

Miele V., Dray S., et Gimenez O. 2021. Images, écologie et deep learning. Regards sur la biodiversité, Société Française d'Écologie et d'Évolution, p 16.

Moulin C.-H. 1993. Le concept de fonctionnement de troupeau : Diversité des pratiques et variabilité des performances animales dans un système agropastoral sahélien. Pratiques d'élevage extensif : Identifier, modéliser, évaluer. INRAE, (Études et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement), p 380.

Nago S.G.A., Gouwakinnou G., Kpatchia E.J., Sogbohossou E., Mitchozounon F., Ahouandjinou E., Gnele J., Kiatti B., Cornec M., Oumorou M., et Sinsin B. 2021. Utilisation de drone pour le suivi écologique de la faune dans un ranch au Nord Bénin. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 32, 291-302.

Ndong J.-B. 1995. L'évolution de la pluviométrie au Sénégal et les incidences de la sécheresse récente sur l'environnement / The evolution of rainfall in Senegal and the consequences of the recent drought on the environment. *Géocarrefour*, 70(3),193-198.

Noba K., Ngom A., Guèye M., Bassène C., Kane M., Diop I., Ndoye F., Mbaye M.S., Kane A., et Tidiane Ba A. 2014. L'arachide au Sénégal : état des lieux, contraintes et perspectives pour la relance de la filière. *OCL*, 21(2), D205.

Noblet M., Faye A., Seck A., Sadio M., et Bah A. 2018. Etat des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques pour les secteurs des ressources en eau, de l'agriculture et de la zone côtière. "Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne". *Climate Analytics*, p 80.

Norouzzadeh M.S., Nguyen A., Kosmala M., Swanson A., Palmer M.S., Packer C., et Clune J. 2018. Automatically identifying, counting, and describing wild animals in camera-trap images with deep learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(25). 5716-5725.

Nortons Griffiths M. 1978. Counting animals. *Serengeti Ecological Monitoring Programme, African Wildlife Leadership Foundation*, p 139.

Ouédraogo M., Delvingt W., Doucet J.-L., Vermeulen C., et Bouché P. 2009. Estimation des effectifs des populations d'éléphants par la méthode d'inventaire pédestre total au Ranch de Gibier de Nazinga (Burkina Faso). (45), p 10.

Reed F. et Noss. 1990. Indicators for Monitoring Biodiversity: a hierarchical approach. 4(4), 355-364.

Rey N. 2016. Combining UAV-imagery and machine learning for wildlife conservation. *Rapport de Master*, p 59.

Richard D., Alary V., Corniaux C., Duteurtre G., et Lhoste P. 2019. Dynamique des élevages pastoraux et agropastoraux en Afrique intertropicale. *éditions Quae*, p 268.

Sbalzarini I.F. et Koumoutsakos P. 2005. Feature point tracking and trajectory analysis for video imaging in cell biology. *Journal of Structural Biology*, 151(2), 182-195.

Schwarz M., Landmann T., Jusselme D., Zambrano E., Danzeglocke J., Siegert F., et Franke J. 2022. Assessing the Environmental Suitability for Transhumance in Support of Conflict Prevention in the Sahel. *Remote Sensing*, 14(5), p 1109.

Sy O. 2010. Aménagements Hydrauliques et Vulnérabilité de L'élevage Transhumant au Ferlo (Sénégal). *Sustentabilidade em Debate*, 1(2), p 45.

Sy O. 2009. Rôle de la mare dans la gestion des systèmes pastoraux sahéliens du Ferlo (Sénégal). *Cybergeographie : European Journal of Geography*, p 12.

Taugourdeau S., Diedhiou A., Fassinou C., Bossoukpe M., Diatta O., N'Goran A., Auderbert A., Ndiaye O., Diouf A.A., Tagesson T., Fensholt R., et Faye E. 2022. Estimating herbaceous aboveground biomass in Sahelian rangelands using Structure from Motion data collected on the ground and by UAV. *Ecology and Evolution*, 12(5), e8867.

Terletzky P.A. et Ramsey R.D. 2016. Comparison of Three Techniques to Identify and Count Individual Animals in Aerial Imagery. *Journal of Signal and Information Processing*, 07(03), 123-125

Thébaud B. 1990. Politiques d'hydraulique pastorale et gestion de l'espace au Sahel. *Cah Sci Hum*, 26(1-2), p. 19.

Thébaud B., Corniaux C., François A., et Powell A. 2018. Étude sur la transhumance au Sahel (2014-2017). Dix constats sur la mobilité du bétail en Afrique de l'ouest, Programme BRACED (UK-Aid), p 17.

Tian M., Guo H., Chen H., Wang Q., Long C., et Ma Y. 2019. Automated pig counting using deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, p 10.

Touré I., Diop A., Wane A., Cesaro J.D., et Niang I. 2012. Le ferlo des forages. *Atlas des évolutions des systèmes pastoraux au Sahel*, p 2.

Touré I., Yaro E., Ba M., et Ickowicz A. 2019. Quelle stratégie d'hydraulique pastorale pour un aménagement durable de l'espace et des ressources naturelles au Sahel ?, *Rapport Projet PRAPS, CIRAD*, p 8.

Touré O. et Arpaillange J. 1987. Peul du Ferlo. Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France 140(2), 154-158.

Valenza J. et Diallo A.K. 1972. Étude des pâturages naturels du Nord Sénégal. Maisons-Alfort, IEMVT, p 311.

Vermeulen C., Lejeune P., Lisein J., Sawadogo P., et Bouché P. 2013. Unmanned Aerial Survey of Elephants. PLoS ONE, 8(2), e54700.

Ward S., Hensler J., Alsalam B., et Gonzalez L.F. 2016. Autonomous UAVs wildlife detection using thermal imaging, predictive navigation and computer vision. IEEE Aerospace Conference, USA, p 8.

Whitehouse A.M., Hall-Martin A.J., et Knight M.H. 2001. A comparison of methods used to count the elephant population of the Addo Elephant National Park, South Africa. African Journal of Ecology, 39(2), 140-145.

Xu B., Wang W., Falzon G., Kwan P., Guo L., Sun Z., et Li C. 2020. Livestock classification and counting in quadcopter aerial images using Mask R-CNN. International Journal of Remote Sensing, 41(21), 8121-8142

Sites internet utilisés :

Elevage et fiscalité, 2005 : http://hubrural.org/IMG/pdf/redev_synthese_elevage_fiscalite.pdf

Données mondiales : <https://www.donneesmondiales.com/afrique/senegal/climat.php>

ANSD, 2019 : http://www.ansd.sn/ressources/ses/chapitres/10-SES-2019_Elevage.pdf

NISDEL, 2014 : <https://docplayer.fr/37938628-Nouvelle-initiative-sectorielle-pour-le-developpement-de-l-elevage-nisdel.html>

Kobo ToolBox : <https://www.kobotoolbox.org/>

Fiji : <https://imagej.net/software/fiji/>

Img2go: <https://www.img2go.com/fr>

Parrot Anafi, 2021 : https://www.parrot.com/assets/s3fs-public/2021-01/anafi_product_sheet_white_paper_0.pdf

Table des illustrations

Figure 1 : Le Sénégal.....	3
Figure 2 : La pluviométrie moyenne au Sénégal.....	4
Figure 3 : La translation des isohyètes au Sénégal.....	5
Figure 4 : L'espace agricole sénégalais	6
Figure 5 : La zone sylvo-pastorale du Ferlo	8
Figure 6 : Répartition spatiale des forages dans le Ferlo	10
Figure 7 : Concession traditionnelle en Afrique subsaharienne	13
Figure 8 : Les mouvements de transhumance au Sénégal	14
Figure 9 : Vision par ordinateur.....	18
Figure 10 : Convergence d'un modèle - Apprentissage supervisé	19
Figure 11 : Regroupement hiérarchique - Apprentissage non supervisé.....	19
Figure 12 : Réseaux de neurones artificielles	19
Figure 13 : Localisation du village de Widou.....	20
Figure 14 : Représentation graphique des différentes étapes de l'étude.....	22
Figure 15 : Les processus de segmentation Weka	28
Figure 16 : Relation entre le nombre d'animaux "entrant" comptés au sol et sur les images	35
Figure 17 : Écart entre le nombre d'animaux " entrant-sortant" et le nombre d'animaux sur les images.....	36
Figure 18 : Écart entre le comptage manuel et automatique	38
Figure 19 : Écart entre le comptage manuel et automatique (7h-10h).....	38
Figure 20 : Écart entre le comptage manuel et automatique (10h30-12h00).....	39
Figure 21 : Localisation des 239 campements Figure 22 : Localisation des 103 campements	41
Figure 23 : Répartition spatiale des campements enquêtés	43
Figure 24 : Projection des catégories de variables	45
Photo 1 : Cuvette argileuse	9
Photo 2 : Puit traditionnel.....	10
Photo 3 : Forage de Widou Thiengoly	11
Photo 4 : Troupeau de Zébus «Gobra».....	13
Photo 5 : La zone de comptage au sol.....	26
Photo 6 : Fenêtre d'apprentissage Weka	29
Photo 7 : Résultat de classification Weka	30
Photo 8 : Étiquettes des objets identifiés	31
Photo 9 : Détails des objets identifiés	31
Photo 10 : Résultats de la superposition des images avec effets de transparence	32
Tableau 1 : Avantages et inconvénients des 3 méthodes d'inventaires.....	16
Tableau 2 : Les critères de sélection des catégories.....	23
Tableau 3 : Nombre total d'animaux journaliers comptés au sol.....	34
Tableau 4 : Moyenne des comptages du lundi et du mardi.	34
Tableau 5 : Statistiques du REQM.....	35
Tableau 6 : Statistiques du REQM.....	36
Tableau 7 : Résultats des comptages manuels et automatiques	37
Tableau 8 : Les erreurs de classifications	37
Tableau 9 : Statistiques du REQM.....	38
Tableau 10 : Statistiques du REQM.....	38
Tableau 11 : Statistiques su REQM.....	39
Tableau 12 : Répartition des 103 campements selon le type de point d'eau utilisé.....	41
Tableau 13 : Répartition des 103 campements selon leurs catégories d'effectifs de bovins	41

<i>Tableau 14 : Fréquence de passage des 37 troupeaux au point d'eau</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 15 : Répartition des 44 campements selon les catégories des effectifs de bovins</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 16 : Répartition des 44 campements selon la distance au forage de Widou.....</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 17 : Répartition des tailles des 37 troupeaux en fonction de la fréquentation au forage</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 18 : Répartition des distances des 37 campements en fonction de la fréquentation au forage</i>	<i>44</i>

Annexe 1

FICHE DE RELEVER DE CAMPEMENT

N°: Date: / /

Auteur :

I- LOCALISATION DU CAMPEMENT

Longitude :

Latitude :

Topographie	Substrat
☐ dune, ☐ inter dune, ☐ replat, ☐ terrain plat,	☐ sableux ou <i>seeno</i>
☐ bas de pente, ☐ mi-pente ☐ haut de pente	☐ argilo-sableux ou <i>baljol</i>
☐ bas-fond ☐ butte de cuirasse	☐ gravillonnaire ou <i>niarga</i>
	☐ cuirassé ou <i>sangré</i>

II- IDENTIFICATION DU CAMPEMENT

1. Nom du campement :	
2. Village administratif de rattachement :	
3. Nom et prénom du chef du campement :	
4. Ethnie :	
5. Fraction :	
6. Nom du lieu-dit actuel :	
7. Durée d'installation dans le lieu-dit :	
8. Type de campement : ☐ <i>ruumaano</i> ☐ <i>seddaano</i> ☐ permanent	
9. Nombre de cours (galle) : Nombre de foyers (<i>hirandé</i> ou <i>foyré</i>) :	
10. Structure spatiale du campement : ☐ Groupée, ☐ Dispersée	
11. Motifs du choix du site du campement : ☐ Forage, ☐ Mare, ☐ Pâturages, ☐ Marché ☐ Liens familiaux, ☐ Zone agricole, ☐ Espaces ouverts, ☐ Autres	
12. Composition du troupeau : ☐ Bovins, ☐ Petit ruminants, ☐ Mixtes	
13. Taille des troupeaux	
Moyen ☐ Grand petits ruminants ☐ Petit bovins ☐ Petit ☐	Moyen ☐ Grand

- Activités hors élevage par quelqu'un du campement :

☐ agricoles ☐ non agricoles

- Votre troupeau transhume-t-il chaque année? ☐ oui ☐ non

- Tout le troupeau transhume ? ☐ oui ☐ non

Annexe 2

LISTES DES 103 CAMPEMENTS À ENQUÊTER, PAR SÉRIE

Coord_latitude	Coord_longitude	Lieu_dit	Chef_campement	Type_campe	Troupeau	Bovins	Point_deau	Nom_du_point_deau	Categorie	Serie
15,9400307	-15,2751608	Nguolka	Djibel Diallo	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S1
16,0070367	-15,2915632	Wouro cheikh bouke	Cheikh gueye	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Forage Widou	C1	S1
15,9483269	-15,2728529	Nguolka	Haddou Sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S1
15,986568	-15,276052	Mbelogne sirobe	Mamadou Ousmane Sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Forage Widou	C1	S1
15,9425601	-15,2472607	Nguolka diabi	Samba Bilal sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S1
16,0632548	-15,3151009	Bel el mourteki	Yoro malal Ka	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S1
16,0707698	-15,3279361	Wendou mourteki	Abdoulaye Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet forrage	Widou	C2	S1
15,996377	-15,41642	Widou	Mamadou Samba Ba	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S1
15,9944324	-15,4099736	Widou	Demba Galel Ba	Permanent	Mixtes	Grand(80)	forrage	Widou	C3	S1
15,9663325	-15,3867245	Ganeli Samborou	Fary Bilal Sow	Permanent	Mixtes	Grand(80)	forrage	Widou	C3	S1
15,9534476	-15,2277055	Nguolka	Nielly Sow	Permanent	Mixtes	Grand(80)	forrage	Widou	C3	S1
16,0119917	-15,4123682	Ganeli Samborou	Thilal Sene	Permanent	Mixtes	Grand(80)	forrage	Forage Widou	C3	S1
16,0147951	-15,4115547	Ganeli Samborou	Amadou Dia	Ruumaano	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage robinet	Forage Widou	C4	S1
15,9692215	-15,3848619	Ganeli Samborou	Oumar poulé	Ruumaano	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C4	S1
15,9986109	-15,4139088	Widou	Samba Galel Ba	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S1
15,9234672	-15,2864303	Nguolka	Djiby sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Borne fontaine widou	C5	S1
15,9075806	-15,3742449	Bel el Doulo	Hamidou Samba Ba	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Bel el Doulo	C5	S1
15,9343007	-15,2792412	Nguolka	Cheikh Aliou Sow	Permanent	Mixtes	Grand(80)	robinet	Borne fontaine widou	C5	S1
16,0038695	-15,3501445	Bel el Barodi	Diouro KA	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S2
15,9809571	-15,2823095	Wendou koeli	Ousmane Dieng	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Forage Widou	C1	S2
15,9375877	-15,2612083	Ngolka	Gallo Sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S2
15,9398746	-15,2631493	Ngolka	Djiby meltou sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S2
15,9935393	-15,2435536	Mbelogne sirobe	Samba Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Forage Widou	C2	S2
16,0385664	-15,3663145	Bel el barodi	Eliwali ka	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S2
15,9526359	-15,237748	Nguolka	Ousmane Diallo	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S2
15,9156432	-15,2505584	Nguolka	Abdou Ba	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S2
15,9520236	-15,3826705	Ganeli Samborou	Amadou Souffel	Permanent	Mixtes	Grand(80)	forrage	Widou	C3	S2
15,998962	-15,3965199	Widou	Amadou ka	Permanent	Mixtes	Grand(80)	forrage	Widou	C3	S2
15,937093	-15,2736832	Nguolka	Laye sow	Permanent	Mixtes	Grand(80)	forrage	Widou	C3	S2
16,0433597	-15,3843831	Bel el barodi	Saloum Ba	Permanent	Mixtes	Grand(80)	forrage	Widou	C3	S2
15,9906484	-15,3419672	Widou	Babeye Ka	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S2
16,0185484	-15,3331335	Fété patouki	Demba Ka	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S2
16,0483035	-15,3341401	Fété patouki	Sadio ka	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Robinet widou	C5	S2
15,9615601	-15,2992318	Wendou barodi	Cherif yoro Sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Widou	C5	S2
15,9879899	-15,2527095	Mbelogne sirobe	Dembaye dadel Dia	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Forage Widou	C1	S3
15,987839	-15,281382	Mbelogne kodiole	Arouna sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Forage Widou	C1	S3
16,0386835	-15,3617604	Bel el Barodi	Diouma Dia	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S3
15,9156331	-15,2437405	Nguolka	Aliou galel ba	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S3
15,96585	-15,3211974	Wendou barodi	Mamadou issagua Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S3
16,0839412	-15,3273779	Wendou mourteki	Seydou Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage robinet	Widou	C2	S3
15,9996863	-15,2730928	Mbelogne sirobe	Oumar sidi	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Forage Widou	C2	S3
15,997447	-15,2499076	Mbelogne sirobe	Samba doucourou sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Forage Widou	C2	S3
16,0355107	-15,3344593	Fété patouki	Samba Ndiala Ka	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Widou	C5	S3
15,9596076	-15,2939424	Wendou barodi	Mamadou modi	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Widou	C5	S3
15,925871	-15,2848149	Nguolka	Adarane Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Borne fontaine widou	C5	S3
16,0093004	-15,2802659	Wendou diabi	Eli Gaye	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Wendou diabi	C5	S3
15,9794434	-15,2863933	Wendou mbarodi	Dieiri Abdoulaye Sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Forage Widou	C1	S4
15,990723	-15,294673	Mbelogne sirobe	Imam Mouhamad Ousmane Sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Forage Widou	C1	S4
16,0303941	-15,3109868	Fête patouki	Abou Demba thilele	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S4
15,9631612	-15,3219648	Wendou barodi	Ibrahim Demba Sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S4
15,9886669	-15,2488894	Mbelogne sirobe	Yero Dia	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Forage Widou	C2	S4
15,9955134	-15,4155799	Widou	Cheikh Aliou Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S4
16,028762	-15,3603828	Bel el barodi	Galo Dia	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S4
16,034707	-15,3756407	Widou	Samba Dayel Ka	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S4
16,0500804	-15,3226427	Fété patouki	Amadou ka	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S4
15,9464296	-15,3569133	Bel el khotonde	Dadal Sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Widou	C5	S4
15,9263484	-15,2848449	Nguolka	Mamadou arouna sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Borne fontaine widou	C5	S4
16,0332812	-15,3354708	Fété patouki	Djibryl Dia	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S4
15,9368909	-15,3087622	Bel el bawabi	Amadou Ba	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S5
15,9424862	-15,2620551	Ngolka	Moussa nguelli	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S5
15,9816976	-15,2260591	Moki thiaw	Badara Dia	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S5
15,9502047	-15,2433902	Nguolka	Galo Dia	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S5
16,046508	-15,3418722	Fété patouki	Samba Ka	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage robinet	Forage Widou	C1	S5
16,0334857	-15,3759459	Widou	Birame Doulel Sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Widou	C1	S5
15,987955	-15,26823	Mbelogne sirobe	Cheikh Aliou sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage	Forage Widou	C1	S5
16,074816	-15,3238755	Wendou mourteki	Doulo Sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	forrage robinet	Widou	C1	S5
16,0379569	-15,3580713	Bel el barodi	Galo Hamet Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S5
16,0451002	-15,3434915	Fété patouki	Oumar Ka	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage robinet	Forage Widou	C2	S5
15,9344225	-15,2588543	Ngolka	Djiby Mamadou sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S5
15,9784009	-15,2659127	Mbelogne sirobe	Ahmet Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Forage Widou	C2	S5
16,0086726	-15,3477639	Bel el barodi	Mouktar Ka	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S5
16,035026	-15,3861689	Widou	Aliou Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage robinet	Widou	C2	S5
16,0720789	-15,3659346	Wendou mourteki	Galel Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage robinet	Widou	C2	S5
15,9644139	-15,3233239	Wendou barodi	Samba Egoudou Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S5
16,0103752	-15,4147686	Ganeli samborou	Dada Ka	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet forrage	Forage Widou	C2	S5
15,947066	-15,3551918	Bel el khotonde	Mouktar Ibra Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S5
15,9555119	-15,2324286	Nguolka	Bella Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S5
15,9561361	-15,2307551	Nguolka	Galo Ousmane Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S5
15,9080793	-15,2497792	Nguolka diabi	Samboura fatimata sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	forrage	Widou	C2	S5
16,0369551	-15,3249201	Fété patouki	Samba Sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Widou	C5	S5
16,0444964	-15,3240756	Fété patouki	Ousmane Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S5
15,9639538	-15,3932558	Ganeli Samborou	Amadou malele Ba	Permanent	Mixtes	Grand(80)	robinet	Widou	C5	S5
16,0109885	-15,2899898	Wendou diabi	Bacary Gueye	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Wendou Diaby	C5	S5
16,0422613	-15,3392229	Fété patouki	Hassane ka	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Robinet widou	C5	S5
16,0236549	-15,3288387	Fété patouki	Demba nayba	Permanent	Mixtes	Grand(80)	robinet	Widou	C5	S5
16,0085603	-15,2844702	Wendou diaby	Amil Ngaydi	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Wendou Diaby	C5	S5
16,0285385	-15,38013	Widou	Dioulde Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S5
15,9605818	-15,3009531	Wendou barodi	Oumar Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S5
15,9088718	-15,2541178	Nguolka	Samba dia	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	puit	Puit de ngolka	C5	S5
15,9833433	-15,3424667	Widou	Aly ka	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Widou	C5	S5
15,967963	-15,3821701	Ganeli Samborou	Harouna Deme	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Widou	C5	S5
16,0207914	-15,3722359	Widou	Oumar olel Ka	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S5
15,9251569	-15,2852915	Ngolka	Aldiouma sow	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Borne fontaine	C5	S5
16,0266981	-15,3793006	Widou	Sogui Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S5
15,9743418	-15,3140051	Wendou barodi	Amadou Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Borne fontaine widou	C5	S5
16,033477	-15,3635964	Fété patouki	Aly ka	Permanent	Mixtes	Grand(80)	robinet	Widou	C5	S5
16,0575633	-15,361367	Wendou mourteki	Goury Hogue Ba	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Robinet Widou	C5	S5
15,9626468	-15,3626988	Widou thiengoly	Bara Sally Ka	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Widou	C5	S5
16,0203067	-15,3305364	Fété patouki	Moydo Ka	Permanent	Mixtes	Petit(-30)	robinet	Widou	C5	S5
16,0584827	-15,3588639	Wendou mourteki	Thily houné Ba	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S5
15,9601072	-15,300363	Wendou barodi	Demba Samba Dala Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S5
16,0444964	-15,3240756	Fété patouki	Ousmane Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S5
15,9605818	-15,3009531	Wendou barodi	Oumar Sow	Permanent	Mixtes	Moyen(30-80)	robinet	Widou	C5	S5

Annexe 3

QUESTIONNAIRE D'ENQUETE SUR LES PRATIQUES ET RYTHMES D'ABREUVEMENT DES BOVINS

Nom du chef de campement :
Numéro index :

Prénom :

Numéro téléphone :

Le campement possède-t-il des bovins ?

Le campement dépend de quel forage ? de quel robinet ? Puit ?
Distance approximatif du point d'eau :

Es ce qu'il va chercher de l'eau pour les animaux ?
Pour quels animaux ?
Par quel moyen ?
Tous les jours ?
Combien fois par jour ?

Où les bovins s'abreuvent Ils ? Forage. Robinet. Puit.

Le nom du point d'eau principale :

Le nom du point d'eau secondaire si le point d'eau principale est en panne :

Les bovins vont au point d'eau tous les jours (1) ?

Tous les deux jours (2) ?

Ou 1 et 2 : (motifs de décision)

L'heure d'arrivée au point d'eau :

L'heure de départ du point d'eau :

Les bovins sont abreuvés le soir au campement ?

Es ce que la pratique d'abreuvement est la même saison sèche froide, saison sèche chaude, saison des pluies ?

Annexe 4

SPECIFICATIONS TECHNIQUES DU DRÔNE « PARROT ANAFI »

SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

DRONE

- Taille plié : 244x67x65mm
- Taille déplié : 175x240x65mm
- Poids : 320g
- Portée de transmission max. : 4km avec télécommande
- Temps de vol max. : 25 min
- Vitesse horizontale max. : 15m/s
- Vitesse verticale max. : 4m/s
- Résistance au vent max. : 50km/h
- Plafond pratique : 4500m au dessus du niveau de la mer
- Température de fonctionnement: -10°C à 40°C
- Systèmes de positionnement satellite : GPS & GLONASS

BATTERIE INTELLIGENTE

- Type : Lipo haute densité (2 cellules)
- Capacité de la batterie : 2700mAh
- Durée de vie de la batterie : 25 min
- Port de charge : USB-C
- Poids : 126g
- Voltage : 7.6V
- Puissance de charge max. : 24W

TÉLÉCOMMANDE

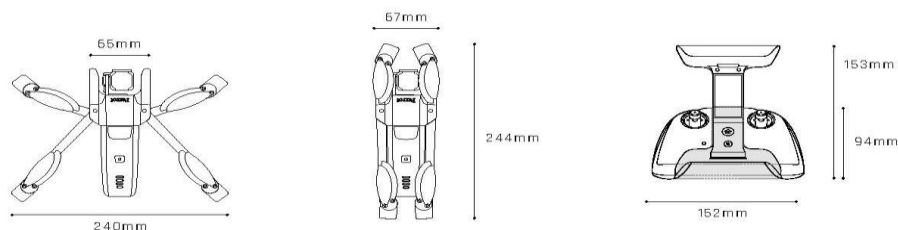
- Taille plié : 94x152x72mm
- Taille déplié : 153x152x116mm
- Poids : 386g
- Système de transmission : Wi-Fi 802.11a/b/g/n
- Fréquence de fonctionnement : 2.4 - 5.8 GHz
- Distance de transmission max. : 4km
- Résolution du retour vidéo : HD 720p
- Capacité de la batterie : 2500 mAh 3.6V
- Durée de vie de la batterie : 2h30 (Android) / 5h30 (iOS)
- Appareils mobiles compatibles: Taille d'écran jusqu'à 6"
- Ports USB: USB-C (Charge), USB-A (Connexion)

SYSTÈME D'IMAGES

- Capteur : 1/2.4" CMOS
- Lentille :
 - ASPH (images plus nettes)
 - Ouverture : f/2.4
 - Distance focale (Format 35mm équivalent) : 23-69mm (photo), 26-78mm (vidéo)
 - Profondeur de champ : 1.5m - ∞
- Vitesse d'obturation : obturation électronique 1 à 1/10000s
- Gamme ISO: 100-3200
- Résolution vidéo :
 - 4K Cinema 4096x2160 24fps
 - 4K UHD 3840x2160 24/25/30fps
 - FHD 1920x1080 24/25/30/48/50/60fps
- HFOV Vidéo : 69°
- Vitesse du flux vidéo max. : 100 Mbps
- Format vidéo : MP4 (H264)
- Zoom digital :
 - Sans perte : Jusqu'à 2.8x (FHD) & 1.4x (4K UHD)
 - Standard : Jusqu'à 3x (4K Cinema, 4K UHD, FHD)
- Résolution photo :
 - Wide : 21MP (5344x4016) / 4:3 / HFOV 84°
 - Rectilinéaire : 16MP (4608x3456) / 4:3 / HFOV 75.5°
- Formats photo : JPEG, DNG (RAW)
- HDR: 4K UHD vidéo

STABILISATION DE L'IMAGE

- Stabilisation:
 - Hybride 3-axes
 - Mécanique: Roulis/Tangage 2-axes
 - Electronique (EIS): Roulis/Lacet/Tangage 3-axes
- Plage d'orientation contrôlable: -90° à +90° (180° total)



CONTENU DU PACK

DRONE ANAFI / BATTERIE INTELLIGENTE / TÉLÉCOMMANDE / ÉTUI DE TRANSPORT / CARTE SD 16GB
CABLE USB-A VERS USB-C / 8 PALES D'ÉLICE ADDITIONNELLES / OUTIL DE MONTAGE

PARROT DRONES SAS - RCS PARIS 808 408 704
174 quai de Jemmapes 75010 Paris - FRANCE - WWW.PARROT.COM

Parrot and Parrot logo are trademarks or registered trademarks of Parrot SA, used under license therefrom.
Anafi and its logo are trademarks or registered trademarks of Parrot Drones SAS.

Parrot

EVERYDAY LIFE. ELEVATED

Annexe 5

TABLEAU DES DONNEES POUR L'ACM

Nom	Cat_Dist	Cat_Ef	Cat_Freq
Gallo Sow	Dist_G	Ef_G	F_1
Habdou Sow	Dist_G	Ef_M	F_1
Amadou Sof	Dist_G	Ef_M	F_1
Samba Sow	Dist_G	Ef_P	F_1
Diwao Ka	Dist_P	Ef_P	F_1
Eliwali Ka	Dist_M	Ef_M	F_1
Djibi Ba	Dist_G	Ef_M	F_1
Djibi Ka	Dist_P	Ef_M	F_1
Gallo Ka	Dist_M	Ef_M	F_1
Mamandou K	Dist_G	Ef_P	F_1
Moutar Sow	Dist_M	Ef_G	F_1
Samba Dialo	Dist_M	Ef_M	F_1
Mamadou is	Dist_P	Ef_M	F_1
Ousmane Di	Dist_M	Ef_P	F_1
Arouna sow	Dist_M	Ef_M	F_1
Cheikh Aliou	Dist_G	Ef_P	F_1
Ibrahima	Dist_G	Ef_G	F_1.5
Laye Sow	Dist_G	Ef_G	F_1.5
Djibi Meltou	Dist_G	Ef_M	F_1.5
Fari Billal So	Dist_G	Ef_G	F_1.5
Demba Galle	Dist_G	Ef_G	F_1.5
Doucouro So	Dist_G	Ef_G	F_1.5
Omar Sidi	Dist_M	Ef_P	F_1.5
Cheikh Guey	Dist_M	Ef_P	F_1.5
Dioulde Sow	Dist_G	Ef_P	F_1.5
Salif Ba	Dist_G	Ef_M	F_1.5
Moutadia	Dist_G	Ef_M	F_1.5
Samba Ba	Dist_M	Ef_P	F_1.5
Seikou Dia	Dist_M	Ef_P	F_1.5
Demba Ka	Dist_G	Ef_P	F_1.5
Yaya Samba	Dist_G	Ef_G	F_1.5
Thilal Sene	Dist_G	Ef_G	F_2
Samba Ka	Dist_G	Ef_P	F_2
Simbigne Sa	Dist_G	Ef_G	F_2
Amadou Ba	Dist_G	Ef_G	F_2
Gori Saw	Dist_G	Ef_M	F_2
Ahmet Sow	Dist_G	Ef_M	F_2

Cat_Dist : Catégories des campements selon leurs distances au forage

Cat_Ef : Catégories des campements selon leurs effectifs de bovins

Cat_Freq : Catégories des campements selon leurs fréquences d'abreuvement

Pour citer cet ouvrage : Nabénéza, Serge, 2022. Comptage de bovins à partir d'images acquises par drone au point d'abreuvement. Rapport de Master, Master International « Sciences et Technologie de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'Environnement » parcours Systèmes d'Elevages, L'institut agro Montpellier, p 50.

L'institut agro Montpellier, Institut national d'études supérieures agronomiques de Montpellier, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 02. <https://www.institut-agro-montpellier.fr/>