



**MODÉLISATION DES ZONES À RISQUE DE TRANSMISSION DES
TRYPANOSOMOSSES BOVINES DANS LA PLAINE PÉRÉ (ADAMAOUA,
CAMEROUN) À L'AIDE DE LA TÉLÉDÉTECTION ET DES SYSTÈMES
D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE (SIG)**

Prosper Innocent NDJEUTO TCHOULI

Université de Maroua, Cameroun

ndjeuto@gmail.com

&

Oumarou FARIKOU

Université de Garoua, Cameroun

&

Samuel ABAH

Mission spéciale d'éradication des glossines (MSEG-MINEPIA CAMEROUN)

&

Sylvain AOUDOU DOUA

Université de Maroua, Cameroun

&

Michel TCHOTSOUA

Université de Ngaoundéré, Cameroun

Résumé : L'endémicité des trypanosomes dans la plaine Péré, la principale zone à risque résiduelle à l'échelle de la région de l'Adamaoua au Cameroun y constitue un frein au développement de l'élevage bovin. Cet article évalue l'ampleur du risque de transmission de cette maladie aux bovins dans lesdits pâturages. La méthodologie adoptée repose sur une analyse multicritère de divers paramètres en relation avec la répartition des glossines et/ou des bovins. Les données utilisées proviennent soit des enquêtes de terrain, soit du traitement d'image sentinel 2 dont l'intégration sous SIG a abouti à l'évaluation de la vulnérabilité des élevages. Les travaux réalisés montrent non seulement que 18 % du territoire de la plaine Péré est constitué des zones de friction entre l'habitat des glossines et celle des bovins. Mais aussi que dans ces zones considérées à risque de transmission des trypanosomoses bovines, sont élevés environ 6 450 bovins sédentaires

Mot clés : Trypanosomoses bovines, glossine, modélisation, SIG et télédétection, plaine Péré.

MODELLING OF AREAS AT RISK OF TRANSMISSION OF BOVINE TRYPANOSOMIASIS IN THE PERE PLAIN (ADAMAOUA, CAMEROON) USING REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS)

Abstract : The endemicity of trypanosomes in the Péré plain, the main residual risk zone in the Adamaoua region of Cameroon, hampers the development of cattle farming. This article assesses the extent of the risk of transmission of this disease to cattle in the said pastures. The methodology adopted is based on a multicriteria analysis of various parameters relating to the distribution of tsetse flies and/or cattle. The data used came either from field surveys or from sentinel image processing², which was integrated into a GIS to assess the vulnerability of farms. The work carried out shows not only that 18% of the territory of the Péré plain is made up of areas of friction between the habitat of tsetse flies and that of cattle. But also that in these areas, considered to be at risk of transmission of bovine trypanosomiasis, around 6,450 sedentary cattle are reared. Finally, around 25% of sedentary animals, i.e. just over 6,450 cattle, are reared in areas potentially at risk of trypanosomosis transmission.

Key words: bovine trypanosomoses, tsetse fly, modelling, GIS and remote sensing, Péré plain.

Introduction

Les pâturages de la plaine Péré apparaissent selon les autorités en charge de l'élevage dans la région de l'Adamaoua comme les principaux foyers de transmission des TAA. Depuis plus de 2 décennies, L'union des Éleveurs du Faro et DEO, soutenue par la MSEG, le service spécialisé du MINEPIA en charge de la lutte contre les glossines et les TAA, essaie de traiter ces pâturages jadis abandonnés (Mamoudou et al., 2009) afin non seulement d'écartier les risques de ré invasion, mais aussi à d'alléger la charge pastorale sur les plateaux de Tignère et Ngaoundéré. Néanmoins, Les plaintes des éleveurs réintroduits dans la plaine Péré depuis le début des années 2000 (Mamoudou et al., 2009; Tanenbe et al., 2010), et l'usage important des trypanocides dans la plaine Péré (Abah et al., 2019; Kame-Ngasse et al., 2018; Ndjeuto Tchouli & Aoudou Doua, 2016) suscitent des interrogations sur l'endémicité et l'ampleur de la transmission des Trypanosomoses bovines dans ledit espace.

Dans la littérature, en plus de la transmission mécanique assurée par les stomoxes et les tabanidés, un peu plus de 7 espèces de glossines (*G. fuscipes congolense* ; *G. fuscipes fuscipes* ; *G. fusca* ; *G. morsitans. submorsitans* ; *G. palpalis. Palpalis* ; *G. tachinoides* *G. nashi*, *G.spp*) assurent la transmission biologiques de 4 principaux parasites (*Trypanosoma congolense Savannah Type*; *Trypanosoma congolense Forest type*, *Trypanosoma brucei*, *Trypanosoma vivax*, *Trypanosoma vivax* et *Trypanosoma grayi*) dans la plaine Péré.(Abah et al., 2019; Kame-Ngasse et al., 2018; Mamoudou, 2007; Mamoudou et al., 2008; Ngomtcho et al., 2017; Sevidzem et al., 2015; Sieumeni et al., 2019; Tanenbe et al., 2010).



Face aux contraintes budgétaires¹ et aux critiques écologistes (Boutrais, 1992 ; Deltour, 2004 ; MSEG, 2018), Il apparaît urgent de repenser les stratégies de lutte en les adaptant au contexte local. Fort heureusement, les progrès réalisés dans le domaine des Systèmes d'information géographiques (SIG), et de l'observation spatiale apportent des solutions pratiques au problème de ciblage des zones à risque afin de réduire les coûts de lutte et d'évaluer la vulnérabilité des élevages (De La Rocque et al., 2001; Tran, 2004). Cette étude pluridisciplinaire vise à modéliser les secteurs de friction entre l'habitat des glossines et les pâturages de la Plaine Péré en vue d'évaluer la vulnérabilité des élevages Bovins et de faciliter l'opérationnalisation des campagnes de lutte ciblée.

1. Cadre de l'étude

La plaine Péré (Figure1) très connue sous le nom « plaine Koutine » est située au nord-ouest de la région de l'Adamaoua au Cameroun, dans le département du Faro et Déo. Elle est comprise entre 7,25° et 8,10° de latitude Nord et entre 11,80° et 12,75° de longitude Est. Avec une superficie estimée à 4 378 km², elle couvre partiellement trois Communes : Tignère, Mayo Baléo et Kontcha. Elle est limitée au nord par la région du Nord Cameroun et à l'ouest par l'État fédéral du Nigeria. Sa limite intérieure, c'est-à-dire dans la région administrative de l'Adamaoua, est marquée par un important escarpement rocheux en forme d'arc de cercle légèrement aplati vers le sud-ouest - nord-est en passant par l'est. Suivant cette même direction, se dressent majestueusement au-dessus de la plaine, sur le plateau de Tignère, des hauts massifs principalement constitués de roches volcaniques (Humbel, 1966). Ces massifs sont entre autres : le Tchabbal Mbabo (2 460 m) et le Gandaba (1 960 m). Le climat ambiant est de type soudanien marqué par deux saisons : une saison sèche (Novembre -mars) et une saison des pluies (mars -octobre). Les précipitations moyenne annuelle avoisinent 1 500mm. Les températures quant-à elles sont de l'ordre de 24°C en moyenne. Le réseau hydrographique y est dense et la végétation caractéristique ici est la Savane (Ndjeuto Tchouli & Aoudou Doua, 2016).

Il s'agit d'une zone faiblement peuplée (environ 10 hbts/km²). La population y est cosmopolite. L'on y trouve les Péré, les Kontcha, les Nyem-Nyem, les Peuls (peuples autochtones) et des peuples allogènes venant de tout le pays, de la sous-région Afrique centrale et de l'Ouest. L'élevage des bovins y est en pleine extension depuis le début des années 2000 à côté de l'Agriculture qui y constitue la principale activité économique.

¹ Les financements publics accordés à la lutte contre sont par exemple passés de plus de 100 000 000/an à moins de 2 000 000/an entre 1994 et 2019 pour la division tsétsé Adamaoua (MSEG, 1996 et 2018). Cette baisse constante de financement limite aujourd'hui les actions de ce service spécialisé du Ministère de l'Élevage des Pêches et Industries Animales (MINEPIA) du Cameroun.

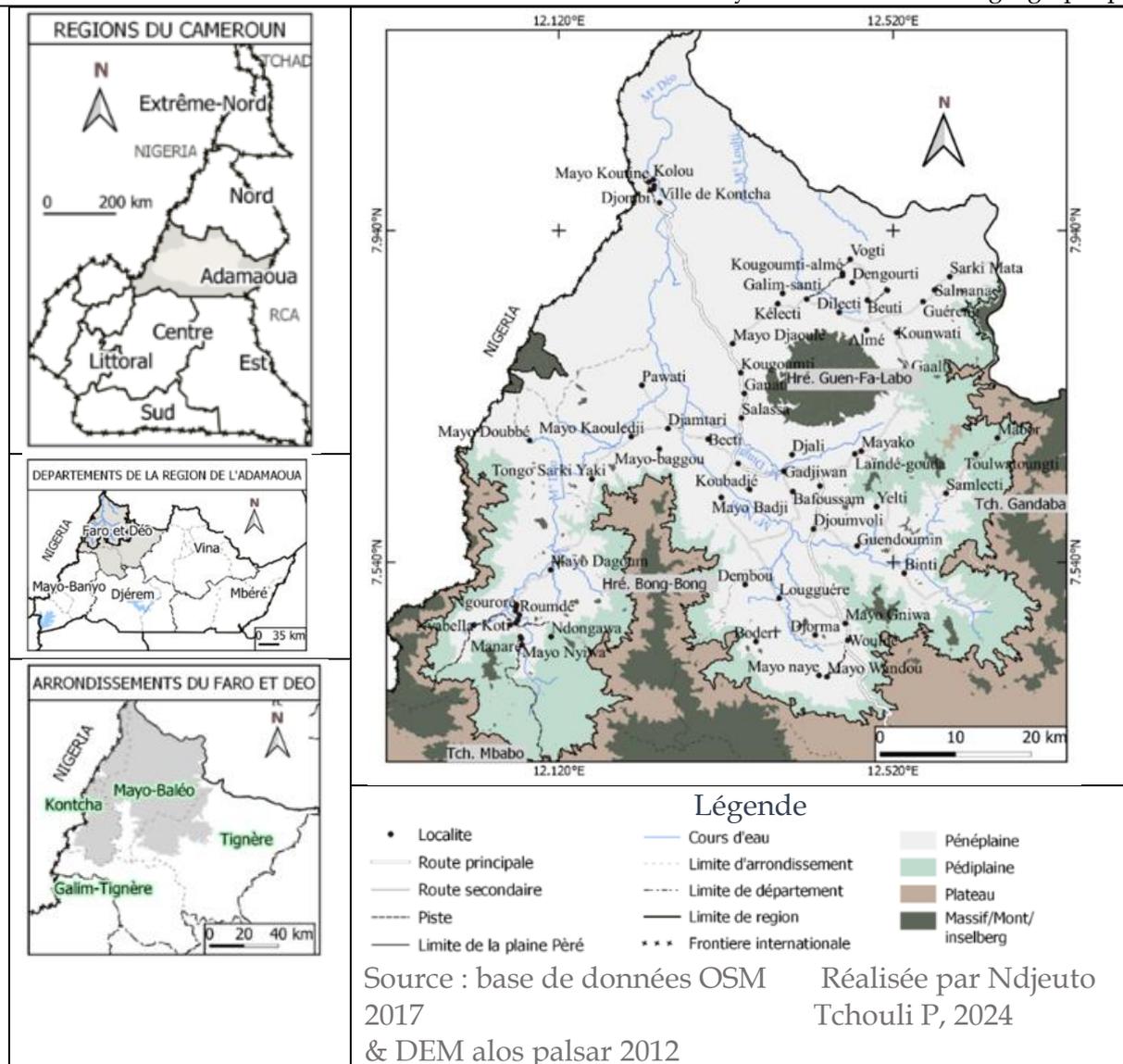


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

2. Méthodologie

Une étude non concluante visant à cibler les zones d'intervention prioritaires à l'aide de la télédétection avait déjà été menée en 1992 (De Wispelaere, 1994) cette tentative plutôt que de reposer presque exclusivement sur les travaux de télédétection utilise cette dernière comme une source d'information. Pour la réaliser, nombres de matériels et de logiciel ont été nécessaires.

2.1. Matériels et logiciels

Pour la réalisation de travaux divers matériels et logiciels ont été mobilisés :

- Différents types de pièges (pyramidale (45%, biconique (20%) et Vavoua (35%) ;



- Un GPS Garmin de marque ETrex 30 pour géo localiser les pièges et les campements et les parcs de vaccination et pour tracker les pistes empruntées par le bétail et les hommes ;
- Différentes fiches de collecte des données pour relever les données entomologiques (sur les glossines), parasitologues, socioéconomiques et pour caractériser la végétation et la faune ;
- Un double décamètre pour la délimiter des stations d'observation ;
- Une moto tout terrain pour sillonner la plaine Péré et collecter les données ;

Les principaux logiciels utilisés dans la cadre de ce travail sont :

- Qgis 3.16.2/Grass/saga/Orfeo Toolbox pour la télédétection, la géostatistique et la cartographie ;
- Fragstat pour le calcul des variables paysagères à partir de la carte d'occupation des sols ;
- Maxent 3.4.1. Pour la modélisation des gîtes potentiels des glossines ;
- Excel pour la saisie des données d'enquêtes et leur organisation.

2.2. Méthodes

Afin de modéliser la répartition des zones à risque de contact glossine/bovins dans la plaine Péré, trois principaux types de données ont été utilisés. Les données d'occurrence vectorielle, les données environnementales et enfin les données socio-économiques.

Les données d'occurrence vectorielle ont été récoltées entre 2015 et 2018 soit un total de 76 observations positives sur les 105 pièges posés dans le CZV de Dodéo, au nord-ouest de la plaine Péré. Les informations sur la localisation des pièges (Coordonnées géographique) et sur la diversité spécifique des glossines ont soigneusement été préparées dans un fichier Excel avant d'être intégré à la base de données géospatiales sous QGIS 3.16.2.

Les données environnementales quant à elles proviennent soit des enquêtes de terrain (caractérisation de la végétation), soit ont été extraites des images satellites Sentinelle 2b (Avril 2018) ou de ses dérivés (Carte d'occupation des sols) °à l'aide du logiciel Fragstats. En outre, les données topographiques (valeur des pentes et exposition des versants) proviennent du traitement des MNT Allos Palsar sous QGIS 3.16.2.

La carte d'occupation du sol a été réalisée par segmentation d'image sentinel 2b de 2018 télécharger sur earth explorer. Les traitements ont été effectués à l'aide des extensions Grass et orfeo toolbox, installées dans QGis 3.16.2. Les 8 différentes classes d'occupation du sol ressorties ont été définies en référence aux réalités des terrains. En plus du calcul de différents indice d'évaluation de la classification (séparabilité des classes, observation correctes, taux globale de classification), Un jeu de 192 observations de terrain a servi à la validation de ladite carte. Les types d'occupation

de sol ont par la suite été regroupés en quatre classes assez proches d'un point de vue biogéographiques pour faire face aux contraintes matériels et de temps liés aux calculs géostatistiques des variables paysagères.

Enfin les données socioéconomiques sur la réparation du cheptel bovin et/ou sur les installations humaines proviennent des enquêtes de terrain.

2.2.1. Préparation des entrées du modèle

La carte reclassée et rastérisée à une résolution spatiale de 10m a servi d'entrée pour le calcul en tout point de l'espace, des indices de caractérisation de l'environnement. Ces indices extraits à l'aide du logiciel Fragstat (version 4.2.1) ont été déterminés aussi bien à l'échelle de la classe que du paysage. Au niveau de la classe, les critères qui ont été considérés sont : les pourcentages d'occupation de chaque classe à l'hectare, les indices de forme du paysage de chaque classe et les indices de connectivité entre les différentes entités appartenant à la même classe.

Au niveau du paysage, ils englobent différents types de variables qui permettent d'évaluer à une échelle de voisinage de 100 m de côté de définir la forme d'une entité de paysage (LSI), la diversité des entités d'un paysage (PRD, SHDI, SHEI), l'isolement ou de la proximité entre les entités de même nature (PROX_MN et PROX_SD), la fragmentation du paysage (PD), la connectivité entre deux entités de même nature au sein d'un paysage (Connect) et le pourcentage d'occupation du sol d'un type d'occupation de sol. D'autres paramètres calculés sous le logiciel QGIS *with Grass* (Version 3.16.2) permettent de rendre compte de la position topographique (Pente) et l'incidence des rayons solaires sur la niche (exposition) et enfin la végétation (NDVI) plus ou moins luxuriante.

Afin de modéliser les niches potentielles de chacune des différentes espèces des glossines dans la plaine Péré, l'ensemble des données d'occurrence des mouches tsétsés a été réparti en 3 jeux de données représentant ici les trois principales espèces de glossine capturée pendant les enquêtes de terrain (*Glossina tachinoides*, *Glossina morsitans submorsitans*, *Glossina fusca congolensis*). Chaque jeu de données a par la suite été subdivisé en deux sous-groupes. Le premier servant à construire le modèle (75 % de l'échantillon) et le second servant à valider ce dernier (25 % de l'échantillon total). Les couches de prédictions de présence de chacune des trois sous-espèces ont par la suite été fusionnées pour produire la carte des habitats favorables aux glossines, toutes espèces confondues dans la plaine Péré.

2.2.2. Validation interne et externe du modèle de répartition des habitats potentiels des glossines

La validation a consisté en l'examen du pouvoir discriminant du modèle afin de juger de la conformité entre les prédictions et les données observées (Guisan & Zimmermann, 2000). À cet effet, l'aire sous la courbe (AUC : area under curve) et la courbe ROC (Receiver operating characteristic) ont été calculées et interprétées



(Fawcett, 2006 ; Hanley & Mcneil, 1982 ; Moukrim et *al.*, 2018). Pour évaluer la qualité du modèle produit, le seuillage² proposé par (Araújo et al., 2005), est celui qui a été utilisé.

2.2.3. Cartographie de la fréquentation de l'espace par les bovins.

La cartographie de la densité ou de la fréquentation de l'espace par les bovins a été réalisée grâce aux données de 59 parcs de vaccinations, repartis dans huit centres zootechniques dont les aires d'influence se chevauchent dans la plaine Péré. Les informations obtenues pour l'année 2019 ont été utilisées afin d'estimer la fréquentation du Cheptel bovin en tout point de l'espace par Krigeage ordinaire (Guis, 2007; Baillargeon, 2005). Cette démarche a été utilisée pour palier à l'insuffisance des données et à la difficulté liée à l'accès aux informations sur la taille du cheptel auprès des bergers.

2.2.4. Cartographie et évaluation des secteurs à risque dans la plaine Péré

La modélisation des zones potentielles à risque repose sur l'hypothèse selon laquelle les secteurs épidémiologiquement dangereux (SED) se situent à l'intersection entre l'habitat préférentiel de la glossine et de l'espace fréquenté par les bovins (Guerrini, 2009 ; Rogers, 2000). Six critères à poids égales ont été considérés : la Niche réalisée (glossine), les Gues/ point d'eau, Piste à bétail, Cours d'eau, la densité des bovins, Perception du risque qui est fonction des plaintes enregistrés au niveau de chaque CZV. La carte des Secteurs épidémiologiquement dangereux (SED), obtenue en moyennant ces différents critères sous SIG a par la suite été recodée en quatre classes d'intervalle égale ($SED < 0,25 =$ Zone à risque très faible voire nulle ; $0,25 < SED < 0,5 =$ zone à risque faible ; $0,5 < SED < 0,75 =$ zone à risque moyen ; $SED > 0,75 =$ Zone à risque élevé.). La somme par localisation des effectifs bovins projetés sur la carte des zones à risque a permis d'évaluer la vulnérabilité du cheptel bovin.

3. Résultats

3.1. Cartographie de l'occupation du sol

La segmentation d'image a permis d'obtenir une classification très satisfaisante (97.74% d'observation correcte, un indice Kappa de 0,87). À l'issue de cette classification, des corrections ont été apportées soit de manière automatique (fusion des entités) ou manuelles (réaffectation des entités), principalement pour les zones bâties pour lesquelles l'usage complémentaire des images très haute résolution étaient nécessaires) le résultat obtenu a été validé en projetant un jeu de 192 points de vérification pris sur le terrain ce qui a permis d'obtenir un taux de précision terrain de

² Selon Araújo et *al.*, 2005, un modèle est qualifié d'excellent si $AUC > 0,90$; de bon si $0,80 < AUC \leq 0,90$; d'acceptable si $0,70 < AUC \leq 0,80$; de mauvais si $0,60 < AUC \leq 0,70$; et enfin d'invalidé si $AUC \leq 0,60$.

81.04%. La carte d'occupation du sol obtenue à l'issue de ces travaux (figure 2) a par la suite été reclassée (figure3) avant de procéder aux calculs des indices paysagers.

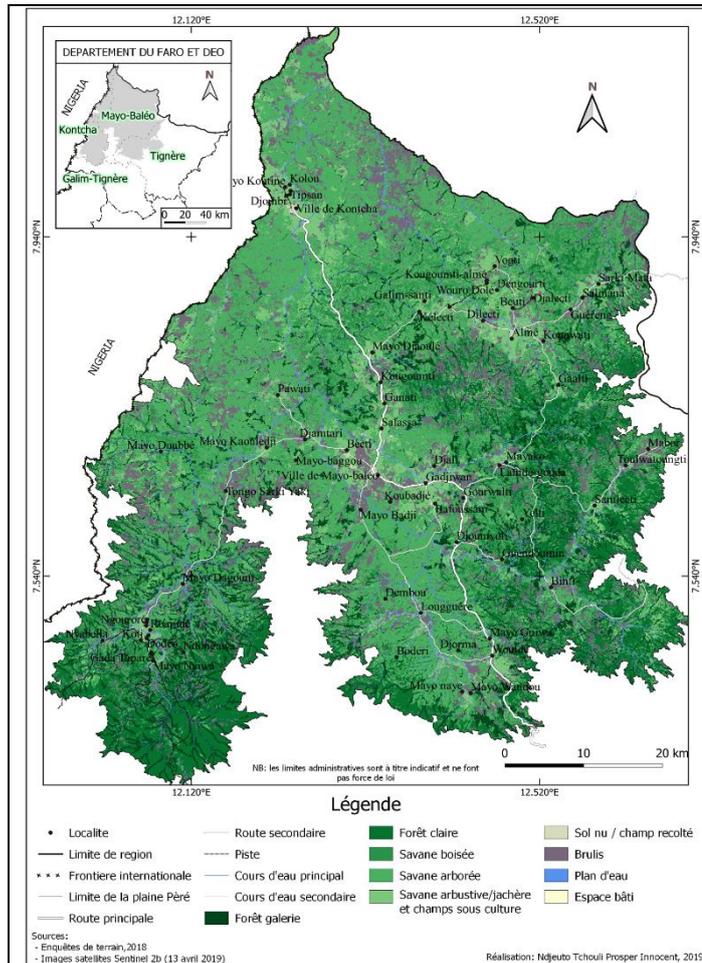


Figure 2. Occupation du sol dans la plaine Péré

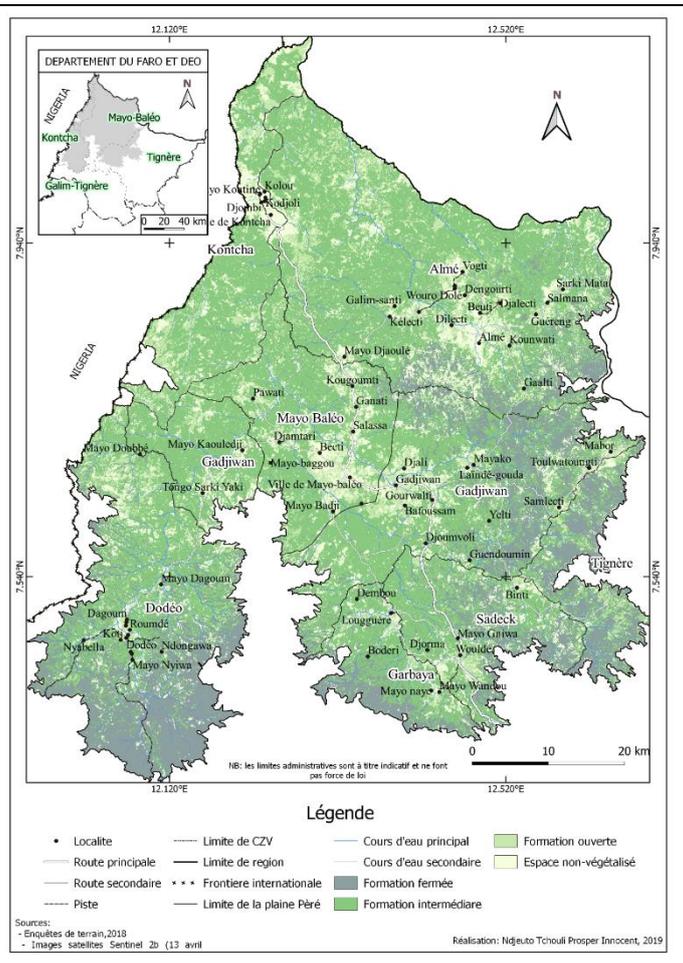


Figure 3. Occupation du sol obtenue après fusion thématique des classes

L'observation de l'occupation des sols montre la dominance de la végétation naturelle inégalement répartie dans la plaine. Elle se densifie au fur et à mesure que l'on s'éloigne des routes et des agglomérations. En général, la savane arborée en vert clair apparaît comme la formation dominante. Elle est observable sur presque toute l'étendue de la plaine.

Au Sud dans les CZV de Dodéo et Garbaya et à l'Est aux environs des localités de Mabor, Guendoumin, Samlecti, Toulwatounti et Yelti, dominent les forêts claires et les savanes boisées (Vert foncé). Au centre, aux environs des localités de Mayo Baléo et de Gadjiwan, au nord-est aux environs d'Almé, Dilecti, Vogti etc., tout comme au nord aux environs de Kontcha dominent les savanes arbustives, les jachères et les sols nus. Ces espaces correspondent aux principaux bassins de production agricole de la plaine Péré. Le tableau I donne de manière chiffrée les statistiques sur les classes d'occupation du sol dans la plaine Péré.



Tableau I. Pourcentage d'occupation des sols des différents types d'occupation des sols en 1999 et 2018

Type d'occupation du sol		2018	
		Surface (ha)	%
Formation fermée	Forêt-galerie	45 138,65	10.44
	Forêt claire	59 209,73	13.69
Formation intermédiaire	Savane boisée	43 987,08	10.17
	Savane arborée	169 139,42	39.12
Formation ouverte	Savane arbustive, jachère et champs sous culture	50 605,12	11.70
Espace non végétalisés	Sol nu, bâti et champs récoltés	1 566,92	0.36
	Brulis	61 786,97	14.29
	Plan d'eau	946.44	0.22
Total		432 380,33	100

Source : Traitement d'image

Il ressort que les savanes arborées sont le type de formation végétale dominant de la plaine, car elles couvrent environ 39 % de sa superficie. Les sols nus, bâtis et champs récoltés constituent le type d'occupation de sol le moins dominant (moins de 1 %).

3.2. Répartition des habitats favorables aux glossines dans la plaine Péré.

Les modèles de distribution géographique potentielle produit par Maxent pour les trois principaux types de vecteurs biologiques présents dans la plaine Péré se sont montrés très précis avec une aire sous la courbe (AUC) > 90 % pour chacun d'entre eux (Tableau II). En plus de confirmer la répartition actuelle connue de ces différentes espèces de glossines, ils ont permis de prédire de nouveaux secteurs où chacune de ces espèces pourrait être recherchée.

Tableau II. Validation des modèles produits en fonction des espèces de glossine

		G.t.	G.m.s	Gfc
Interne	Échantillon (75 %)	59	13	4
	AUC	0,98	0,97	0,98
Externe	Échantillon (25 %)	7	4	1
	AUC	0,96	0,95	0,99
Échantillon total		66	17	5

Il apparait que les modèles de distribution des vecteurs sont excellents avec des AUC respectivement de 98 %, 97 % et 98 % en interne pour les modèles produits pour *Glossina tachinoides* (G.t.), *Glossina morsitans submorsitans* (G.m.s) et *Glossina fusca congolensis* (G.f.c.).

Pour ce qui est de la validation externe, l'on note une légère baisse (2 %) de pourcentage d'AUC pour le modèle *Glossina morsitans submorsitans* et *Glossina tachinoides*) et une très faible hausse de (1 %) pour le modèle *Glossina fusca congolensis*.

La fusion des différents modèles obtenus sous Sig a permis d'obtenir la carte de répartition probable des glossines toutes espèces confondues dans la plaine Péré (Figure 4).

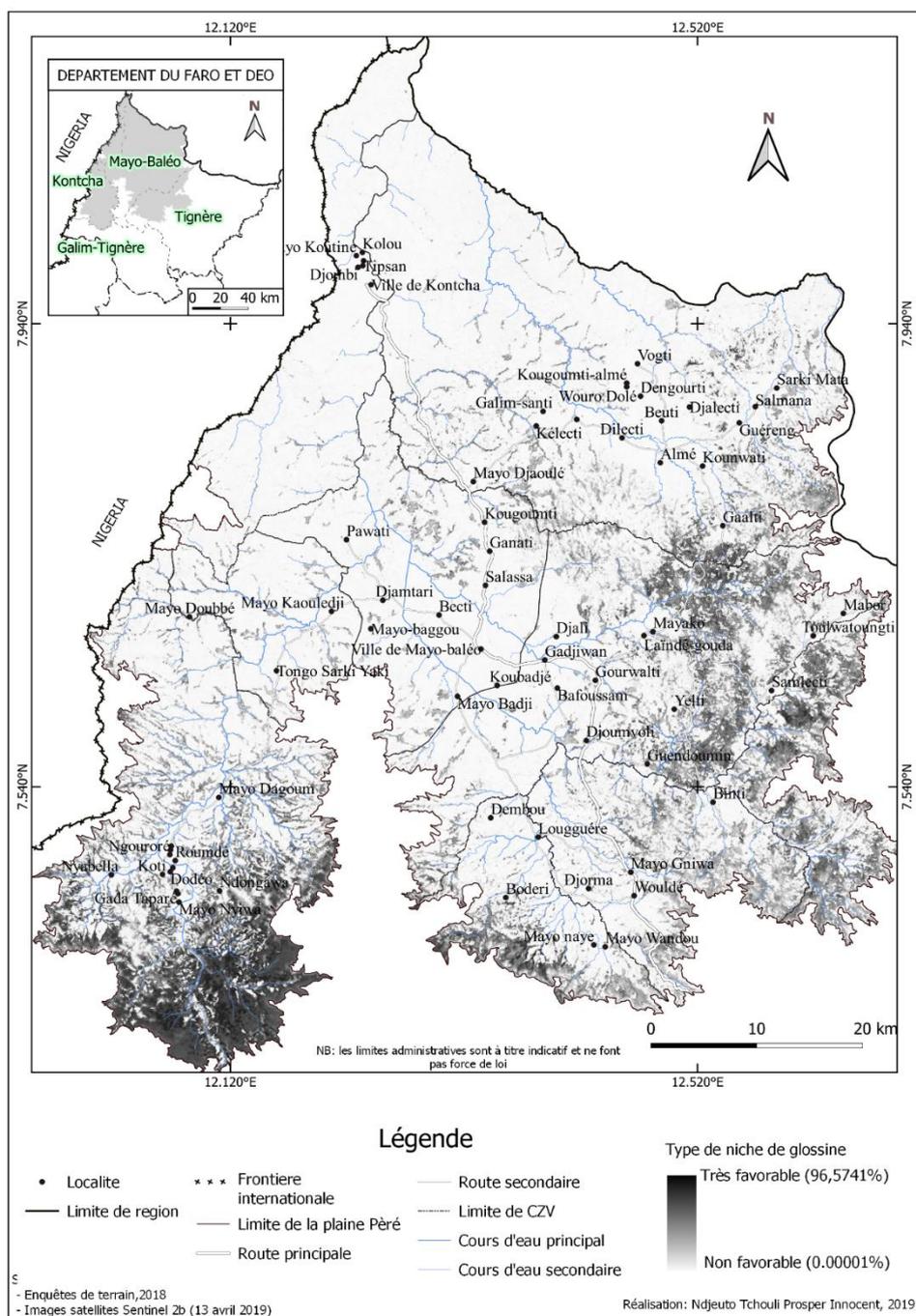


Figure 4. Niche favorable à la survie des glossines dans la plaine Péré



Il ressort que les niches potentielles des glossines toutes espèces confondues sont davantage réparties du sud-ouest vers le sud-est de la plaine Péré où la végétation boisée (photo 18) semble jouer un rôle important sur l'écologie des glossines.

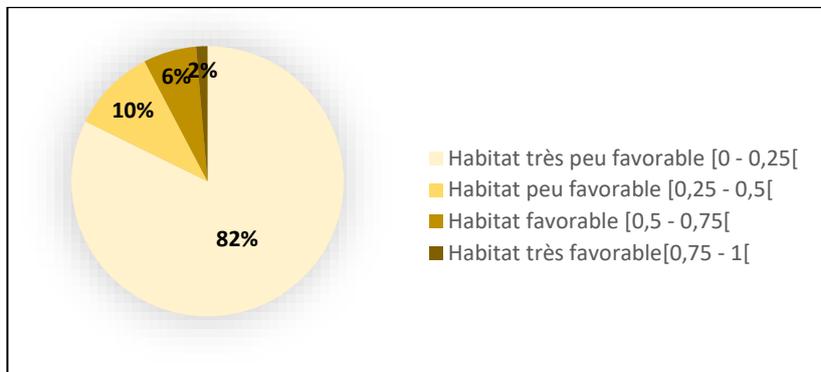


© Ndjeuto Tchouli Prosper I.
Coordonnées Gps : 7,37468°N ;
12,11664°E

Photo 1. Vue de dessus de l'habitat favorable à *Glossina fusca congolensis* au sud du CZV de Dodéo.

L'image présente la vue de dessus d'un paysage naturel. Bien que l'image ait été prise en fin de saison sèche (mars 2018), l'on remarque la présence d'une verdure luxuriante. Il s'agit des forêts claires qui se développent sur les piémonts du Tchabbal Mbabo. Cette végétation contribue à abaisser la température ce qui localement crée un microclimat forestier propice à la survie des glossines au sud du CZV de Dodéo.

Ce sont des secteurs de piémont, difficilement accessibles et recouverts d'arbres. Contrairement au centre et au nord de la plaine Péré, l'on observe très peu de niches. Ce qui se justifie par le fort impact de l'homme sur la savane. Ce sont d'ailleurs les principaux bassins de production agricole de la plaine Péré. La figure 8 donne les proportions de chaque type d'habitat de glossine dans la plaine Péré.



Ce que l'on retient ici est que les zones dans lesquelles les glossines peuvent se réfugier dans la plaine Péré ne sont pas très nombreuses. Elles ne couvrent que 18 %. Avec seulement 2 % où la probabilité de trouver des glossines est très élevée entre 75 % et 100 %.

Figure 5. Répartition des types d'habitat de glossine dans la plaine Péré

La figure 9 ci-dessous donne les proportions des zones favorables aux glossines par rapport à la superficie de chaque centre zootechnique et vétérinaire.

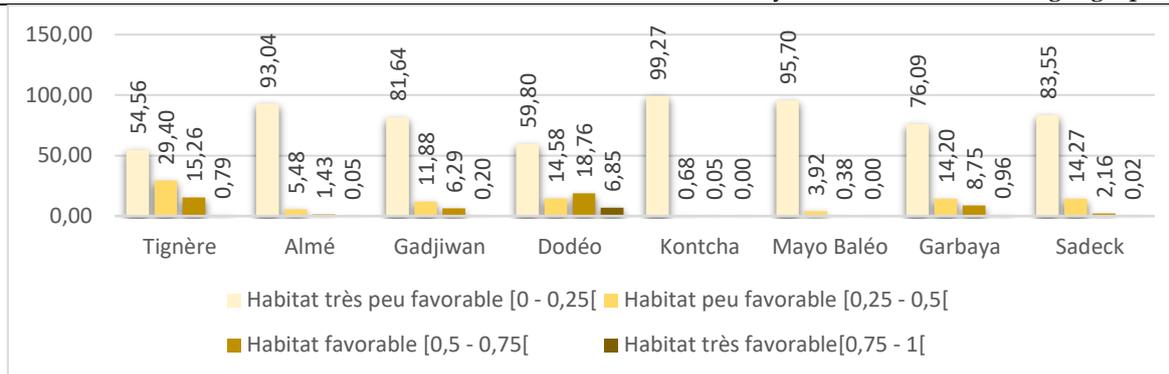
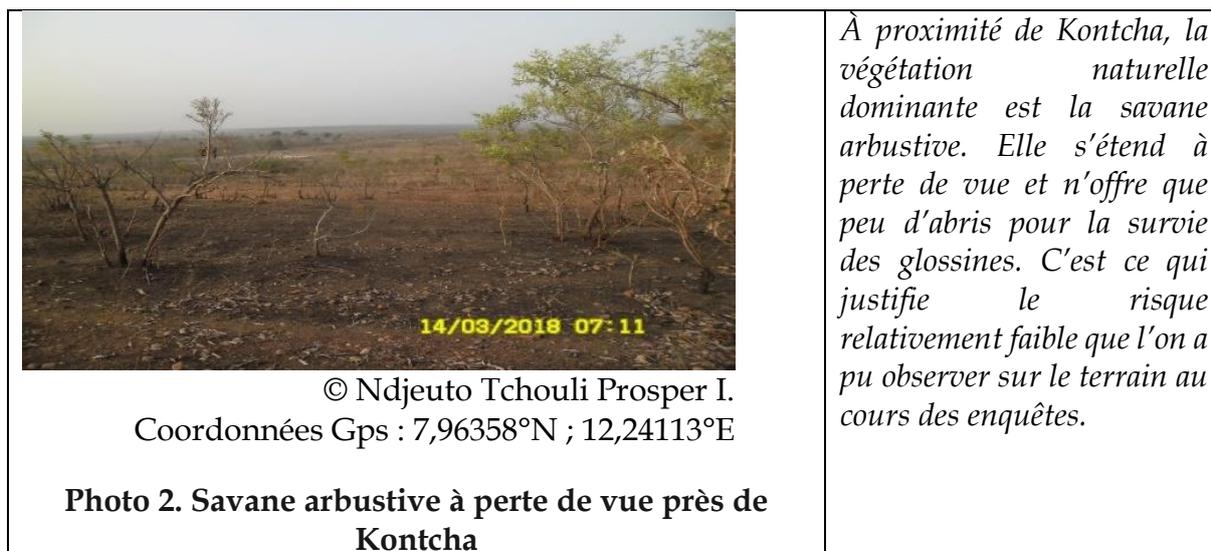


Figure 6. Proportions des zones favorables aux glossines par rapport à la superficie de chaque centre zootechnique et vétérinaire.

Dodéo est le CZV dans lequel la superficie des niches favorables aux glossines est la plus importante. Dans les CZV de Kontcha, d'Almé et de Mayo Baléo, les niches favorables sont moins nombreuses. Les CZV de Kontcha et Almé ne présentent qu'un faible risque par rapport aux autres CZV de la plaine. Cette situation se justifie en partie par le fait que la végétation naturelle y est moins dense et offre peu d'abris aux glossines (photo 2).



Pour terminer, signalons que la présence de nombreux îlots favorables à la survie des glossines rend plus difficile le contrôle vectoriel, car des populations isolées de glossines peuvent s'y développer et partant de là, ré envahir des secteurs considérés comme assainis. Nous pensons que c'est la situation qui prévaut autour du village Guendoumin où l'on a pu enregistrer les plaintes de certains éleveurs.

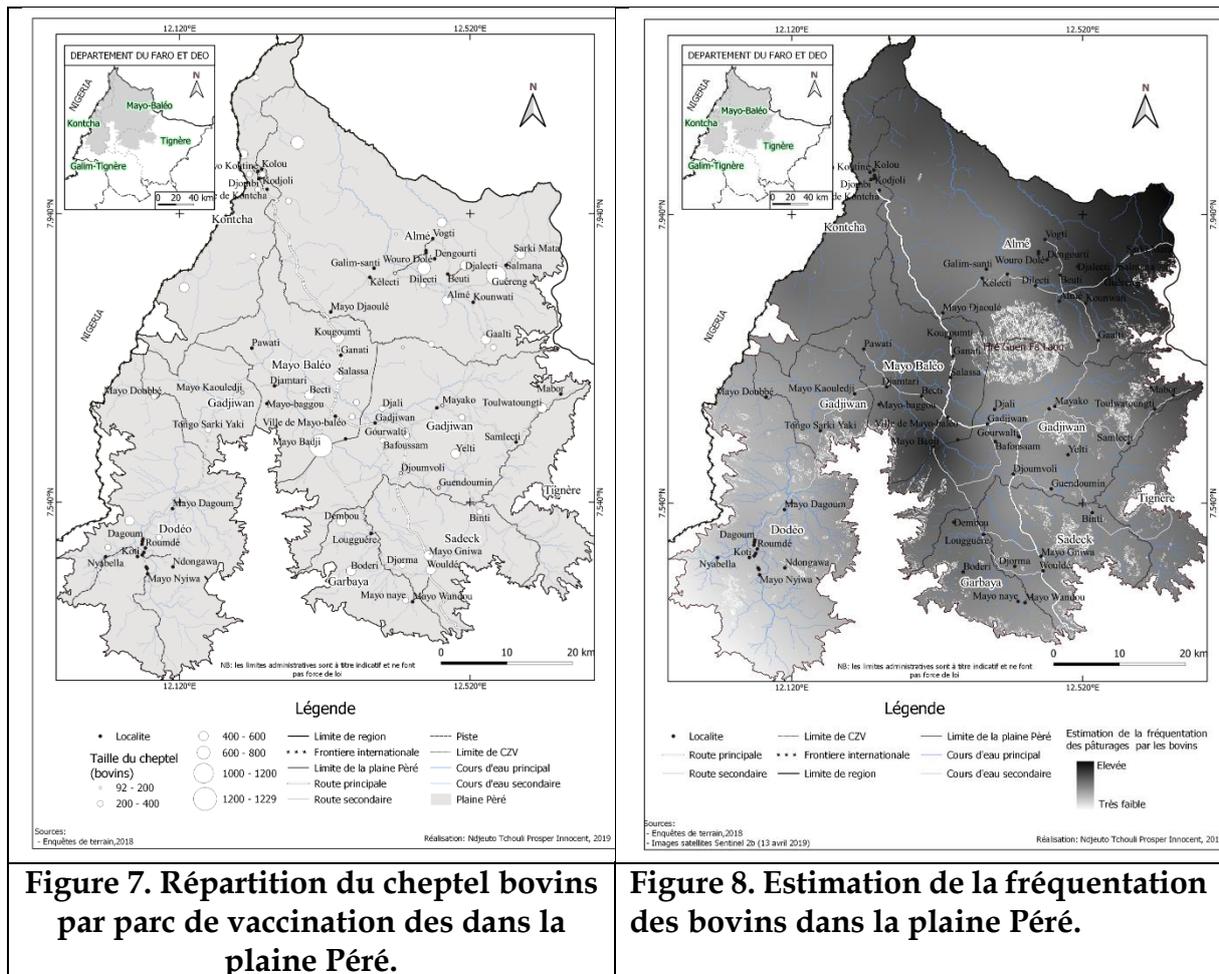
Quoi qu'il en soit, la seule présence d'habitat favorable pour la survie de la glossine ne suffit pas à rendre compte du risque de transmission des trypanosomoses bovines dans la plaine Péré. Il est indispensable d'apprécier également la répartition de l'hôte afin d'en identifier les zones de friction entre les espaces favorables et/ou



occupés par chacune de ces composantes du système pathogène de la TAA. C'est l'objet du paragraphe qui va suivre.

3.3. Modélisation de la fréquentation de l'espace par les bovins

Les estimations faites à partir des données de parcs de vaccination (figure 7) par le programme ont permis de dresser la carte de fréquentation de l'espace par les bovins (figure 8).



Le Nord, le centre et le sud-est de la carte correspondant aux zones fortement fréquentées par les bovins. Cette situation qui n'a rien d'étonnant trouve sa justification dans l'histoire de la lutte contre les vecteurs des trypanosomoses dans la plaine Péré. En effet les premières actions de lutte qui y ont débuté en 1996 ont permis l'installation des éleveurs dans la plaine aux alentours des villages : Wouldé (1998), Mayo Baleo et Almé et Kontcha (2006). Suivant l'axe Tignère Kontcha dans un premier temps et Gadjiwan Almé dans un second temps.

Jusqu'en 2012, Peu d'éleveurs s'y aventuraient dans le CZV de Dodéo. La quasi-totalité des petits élevages sédentaires y avait été décimée. Selon la population, la forte densité des glossines dans cette zone en fait un secteur à haut risque de transmission de trypanosomoses.

Au nord-est de la plaine Péré par contre le secteur de Sarkimata est occupé par un particulier qui y pratique également de l'élevage. L'accès des autres éleveurs y est contrôlé. La faible fréquentation dans les centres de Gadjiwan principalement autour des villages Gadjiwan, Djali et Mayako se justifie par le fait qu'il s'agit d'un des principaux bassins de production agricole dans la plaine. La situation est la même autour du village Wouldé dans le centre de Sadeck au sud de la carte. Néanmoins, pendant la saison sèche tous ces espaces sont parcourus par les bovins qui y consomment les résidus des récoltes, à l'exception de certains secteurs où les fortes pentes (plus de 25) constituent un risque (glissade des bovins) c'est ce qui justifie leur soustraction de la carte de fréquentation des espaces par les bovins.

3.4. Cartographie et évaluation des zones à risque trypanosomien dans la plaine Péré

La fusion de toutes ces entrées sous SIG accompagnée d'un seuillage des valeurs a permis de produire la carte de danger de transmission des trypanosomoses dans la plaine Péré. (Figure 9).

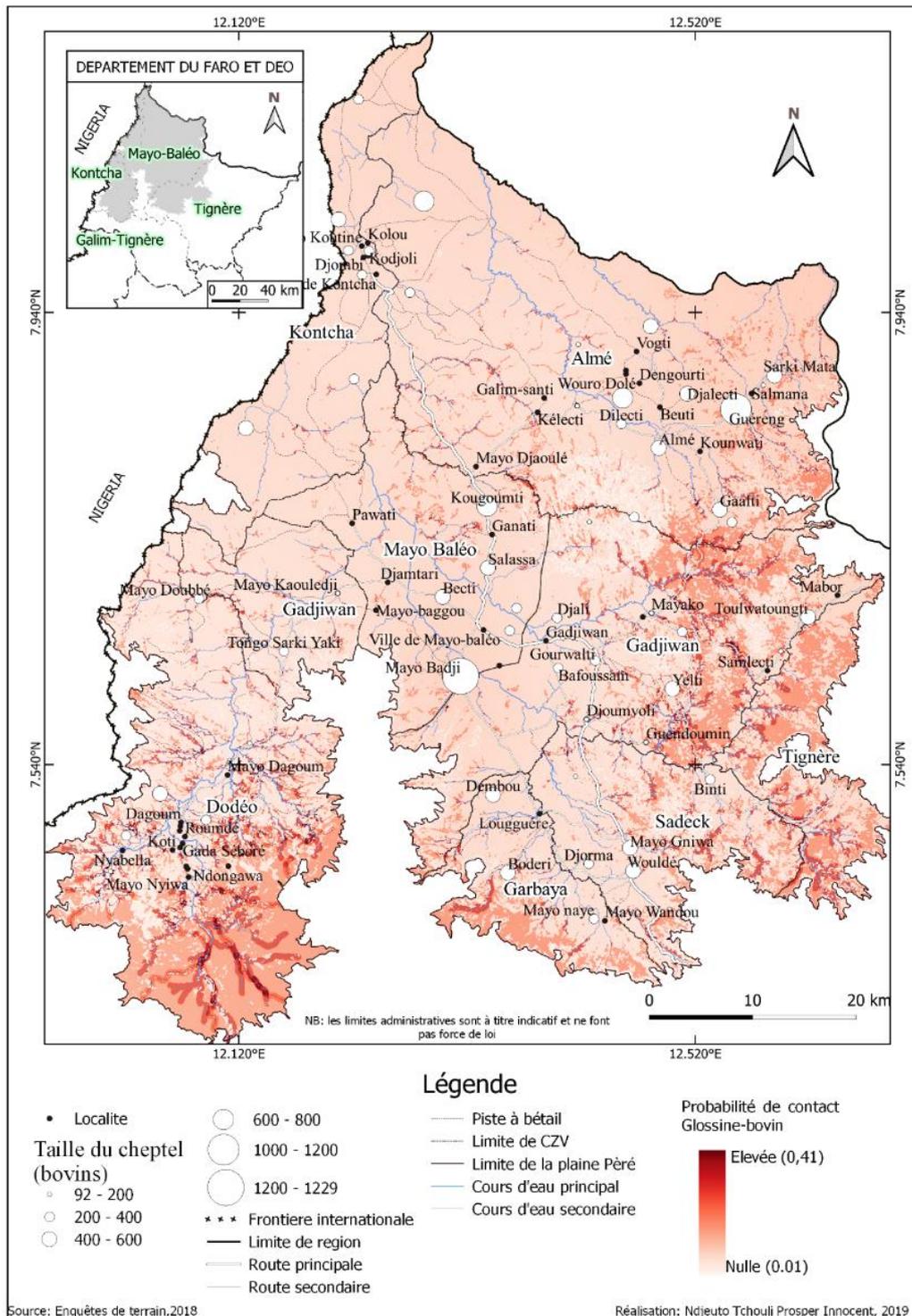


Figure 9. Répartition des aires de danger de transmission des trypanosomoses bovines par les glossines dans le Plaine Péré

Il ressort de cette modélisation que les principales zones à risque se localisent au sud du centre zootechnique et vétérinaire de Dodéo. Les centres de Sadeck, Gadjiwan, Garbaya et Tignère présentent un des risques moyens et enfin les CZV de Almé et Kontcha présentent de faibles risques de transmission.

Les estimations faites en sommant les effectifs d'animaux sédentaires sur la carte des zones à risque montrent qu'environ 25 % des animaux sédentaires soit un peu plus 6 450 bovins sont élevés dans des zones potentiellement à risques de transmission des trypanosomoses.

4. Discussion

Les glossines et les TAA semblent durablement installées dans la plaine Péré *En confrontant les observations de terrain avec les données issues de la littérature*, principalement en ce qui concerne l'écologie des glossines, Plusieurs facteurs, tant naturels qu'humains, justifient leur présence dans cet espace. Sur le plan naturel, l'on note que les précipitations (1 500 mm/an en moyenne), les températures (24 °C en moyenne), le réseau hydrographique dense, favorisent la survie des glossines. Par ailleurs, la présence d'une végétation boisée dense (forêt galerie (10 %), de forêt claire (13.69 %) de savane boisée (10 %) et de l'herbe offre abris et nourriture respectivement aux Glossines et aux bovins (Dargie, 2011).

Également, la présence de deux aires protégées (parc du Faro au nord de la plaine et parc national de Gasaga-Gumti au Nigéria à l'ouest de la plaine) favorise l'abondance et la circulation de la faune, potentiel réservoir des trypanosomoses animales. De ce fait, la présence d'élevage de bovin ne semble pas très déterminante pour la présence des glossines qui trouvent dans la nature la nourriture nécessaire (Ndjeuto Tchouli, 2022).

Sur le plan humain, l'élevage exclusif des races bovines trypano-sensibles par la population ainsi que certaines pratiques culturelles et pastorales, telles que la divagation des animaux, la mauvaise gestion et l'usage excessif des trypanocides, ainsi que la circulation mal contrôlée des bovins entre zones infestées et non infestées, exacerbent la vulnérabilité des élevages En outre, l'enclavement de la plaine Péré, le plus ou moins faible impact de l'homme sur le milieu et la faible synergie entre les acteurs impliqués dans la lutte contre les trypanosomes sont une contrainte à l'assainissement des pâturages. À ces contraintes, s'ajoutent la chasse sélective qui, du fait des croyances religieuses, favorise la prolifération des réservoirs naturels des trypanosomoses et la pratique des feux de brousse qui détruisent le matériel de lutte.

L'aire probable de répartition de *Glossina morsitans submorsitans* dans la plaine Péré est beaucoup plus grande. Elle couvre la quasi-totalité du CZV de Dodéo, de Garbaya de Sadek de Gadjiwan et une partie d'Almé. Malgré le fait qu'un petit nombre d'individus de cette espèce ait été capturé au cours des projections récentes, tout laisse à penser que cette espèce non anthropophile a été repoussée du fait de l'intensification des actions de lutte et des activités humaines. Au cours des prospections antérieures dans la plaine celle-ci était l'espèce la plus abondante (Kame-Ngasse et al., 2018; Mamoudou et al., 2006, 2008; Sevidzem et al., 2015; Sieumeni et al., 2019).

Ce travail présente également quelques limites tels que l'insuffisance des données. Sur le plan méthodologique, nous tenons à souligner que les données utilisées pour des travaux de télédétection ont une résolution spatiale de 10 m. De ce



fait, la caractérisation de l'environnement autour des pièges est plus ou moins grossière. C'est dire que certains détails n'ont pas été pris en considération. L'usage des images de meilleure résolution (image de Drone) par exemple pourrait permettre d'améliorer ces résultats.

Également l'absence de données climatiques à très grande échelle du fait de l'insuffisance et/ou du sous-équipement des stations météorologiques justifie du fait que ce paramètre n'ait pas été intégré dans la modélisation. Toutefois, d'autres paramètres tels que l'exposition, ou encore la biomasse ont permis de juguler en partie cette carence d'informations. Enfin, certains indicateurs de risque n'ont pas pu être déterminés faute de données et des équipements. Il s'agit par exemple de la capacité vectorielle³ ou la compétence vectorielle, ou encore du taux d'agressivité (glossine/bovins) qui constituent des indices de risque entomologique.

Quoiqu'il en soit, cette cartographie des risques corrobore les observations de terrain. Toutefois la plus-value de cette étude réside dans le fait que les zones présentant des niveaux de risque de transmission élevé dans ces centres sont connues et quantifiables. Ce qui peut non seulement favoriser la définition d'une stratégie adaptée de lutte, mais également permettre l'opérationnalisation des campagnes ciblées de lutte anti vectorielles.

L'autre atout majeur de cette étude est de permettre d'identifier à l'échelle de la plaine tous les secteurs potentiellement à risque afin d'y réaliser des prospections entomologiques et parasitologiques visant à déterminer le statut des élevages de la plaine et à réduire la confusion sur les facteurs de transmission.

Conclusion

En définitive, cette étude avait pour objectif modéliser les secteurs de friction entre l'habitat des glossines et les pâturages de la Plaine Péré en vue d'évaluer la vulnérabilité des élevages Bovins et de faciliter la mise en œuvre de campagnes de lutte ciblée. Il ressort que 18 % du territoire de la plaine Péré remplit les conditions minimales pour la survie des glossines. L'environnement dans les CZV de Kontcha (environ 1 %) et Almé environ (8 %) n'est pas très propice au développement des glossines contrairement à celui des centres zootechniques de Dodéo (40 %), de Garbaya (environ 25 %), de Gadjivan (environ 18 %) ou de Sadeck (environ 16 %). De même, à partir des travaux réalisés l'on estime qu'environ 25 % des animaux sédentaires soit un peu plus 6 450 bovins sont élevés dans des zones potentiellement à risques de transmission des trypanosomoses ce qui constitue un enjeu économique majeur et appelle à une action concertée entre les pouvoirs publics et les populations.

³ « Le nombre de piqûres potentiellement infectantes qu'un hôte infecté peut générer par l'intermédiaire de la population vectrice » (tran 2013 p.70).

Références bibliographiques

- Abah, Samuel, Alexandre Michel, Nloga Alexandre, Lame Younoussa, Abdoulmoumini Mamoudou, et Zoli André, 2019, « Abundance and Seasonal Distribution of Tsetse Flies (Glossina Species) In Three Divisions of Adamaoua Region, Cameroon », In *Journal of Agriculture and Veterinary Sciences* 12, doi: 10.9790/2380-1207021118, pp 11-18
- Araújo Miguel, Richard Pearson, Wilfried Thuiller, et Markus Erhard, 2005, « Validation of Species–Climate Impact Models under Climate Change », In *Global Change Biology* 11(9), doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.01000, pp 1504-1513.
- Baillargeon Sophie, 2005, *Le krigeage : revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations*, Laval, mémoire de de maître es sciences, Faculté des études Supérieures de l'Université Laval, 137p
- Boutrais Jean, 1992, « Zébus, mouches tsé-tsé et techniciens en Adamaoua camerounais », in *Les terrains du développement : approche pluridisciplinaire des économies du Sud*, Didactiques, Paris : ORSTOM, pp 235-52
- Dargie James, 2011, *Bulletin d'Information sur les Glossines et les Trypanosomoses*, Numéros 15786-16036. *Bulletin d'Information sur les Glossines et les Trypanosomoses (FAO)*, 178p.
- De La Rocque Stéphane, Jean-François Michel, Dominique Cuisance, Gérard De Wispelaere, Xavier Augusseau, Philippe Solano, Serge Guillobez, et Michel Arnaud, 2004, *Le risque trypanosomien: du satellite au microsatellite: une approche globale pour une décision locale*, Montpellier, CIRAD, 151 p.
- De Wispelaere Gaston, 1994, « Contribution of Satellite Remote Sensing to the Mapping of Land Use and of Potential Glossina Biotopes: Case Study of the Adamawa Plateaux in Cameroon ». *Étude FAO: Production et Sante Animales (FAO)*. pp 58-73
- Deltour Benjamin, 2004, *Proposition d'enquêtes transversales sur la trypanosomose du bétail en Amadaoua*. *Memoire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, France*, p199
- Fawcett Tom, 2006, « Introduction to ROC analysis ». In *Pattern Recognition Letters* 27, doi: 10.1016/j.patrec.2005.10.010, pp 861-874
- Guerrini Laure. 2009. *Le risque trypanosomien dans le bassin du Mouhoun au Burkina Faso : approches paysagères*. Montpellier : UPV, Thèse de doctorat : Géographie : Université Paul Valéry, 260 p.
- Guis Hélène, 2007, *Géomatique et épidémiologie: Caractérisation de paysages favorable à Culicoides imocola vecteur de la fièvre catarrhale ovine en Corse*, Thèse de docteur-ingénieur :Sciences de la vie et de la santé. Homme, environnement, santé Université de Franche-Comté, 392 p.



- Guisan Antoine et Niklaus Zimmermann, 2000, « Predictive Habitat Distribution Models in Ecology ». *Ecological Modelling* 135(2-3), doi: 10.1016/S0304-3800(00)00354-9, pp 147-186.
- Hanley James, et Barbara Mcneil, 1982, « The Meaning and Use of the Area Under a Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve ». In *Radiology* 143, doi: 10.1148/radiology.143.1.7063747, pp 29-36.
- Humbel, François-Xavier, 1966, « Contribution pédologique à l'étude géomorphologique de l'Adamaoua ». Yaoundé : ORSTOM 41.
- Kame-Ngasse, Ginette Irma, Flobert Njiokou, Tito Trésor Melachio-Tanekou, Oumarou Farikou, Gustave Simo, et Anne Geiger, 2018, « Prevalence of Symbionts and Trypanosome Infections in Tsetse Flies of Two Villages of the "Faro and Déo" Division of the Adamawa Region of Cameroon », In *BMC Microbiology* 18(Suppl 1):159, doi: 10.1186/s12866-018-1286-5.
- Mamoudou, Abdoulmoumini, 2007, « Trypanosomosis and Trypanocidal Drug Resistance on the Adamaoua Plateau in Cameroon ». Berlin, Thèse de doctorat, Freie Universität Berlin.
- Mamoudou, Abdoulmoumini, Zoli Pagnah André, Van den Bossche, Delespaux Vincent, Cuisance Dominique, et Geerts Sabine, 2009, « Half a Century of Tsetse and Animal Trypanosomosis Control on the Adamawa Plateau in Cameroon ». In *Revue d'élevage et de Médecine Vétérinaire Des Pays Tropicaux* 62(1), doi: 10.19182/remvt.31190, p 33-38.
- Mamoudou, Abdoulmoumini, Zoli Pagnah André, Hamadama, Abah Sammuël, Stanny Geerts, Peter-Henning Clausen, K. H. ZESSIN, M. Kyule, et P. Van Den Bossche, 2008, « Seasonal distribution and abundance of tsetse flies (*Glossina* spp.) in the Faro and Deo Division of the Adamaoua Plateau in Cameroon », In *Medical and veterinary entomology* 22(1), pp 32-36.
- Moukrim Said, Said Lahssini, Hicham Mharzi Alaoui, Nabil Rifai, Moutapha Arahou, et Laila Rhazi, 2018, « Modélisation de la distribution spatiale des espèces endémiques pour leur conservation : cas de l'argania spinosa (L.) Skeels », In *Revue d'Écologie* 73, pp 153-66.
- MSEG, 2018, Rapport annuel d'activités. Ngaoundéré: Mission Spéciale d'Éradication des Glossines.
- Ndjeuto Tchouli, Prosper Innocent, 2022, Analyse géographique des risques trypanosomiens dans la plaine Péré (région de l'Adamaoua au Cameroun), Ngaoundéré, Thèse de doctorat en géographie, Université de Ngaoundéré, 450 p.
- Ndjeuto Tchouli, Prosper Innocent, et Aoudou Doua Sylvain, 2016, « Spatialisation du risque de transmission de la trypanosomiase bovine dans la plaine de Dodéo: cas du bassin versant de Riga (Adamaoua - cameroun) » Edition CLE, pp 271-287.

- Ngomtcho Sen Claudine Henriette, Judith Sophie Weber, Ngo Bum Elisabeth, Thaddeus Terlumun Gbem, Sørge Kelm, et Mbunkah Daniel Achukwi, 2017, « Molecular screening of tsetse flies and cattle reveal different Trypanosoma species including *T. grayi* and *T. theileri* in northern Cameroon ». *Parasites & Vectors* 10(1), doi: 10.1186/s13071-017-2540-7, 631 p.
- Rogers, David, 2000, « Satellites, Space, Time and the African Trypanosomiasis », In *Advances in Parasitology*. Vol. 47, Remote Sensing and Geographical Information Systems in Epidemiology. Academic Press, p 129-71.
- Sevidzem Silas Lendzele, Mamoudou Abdoumoumin, Af Woudamyata, et Zoli Pagnah André, 2015, « Contribution to the knowledge of ecodiversity and density of tsetse (Glossinidae) and other biting flies (Tabanidae and Stomoxyinae) in the fly controlled-infested livestock/wild life interface of the Adamawa plateau-Cameroon ». *Journal of entomology and zoology studies* 3, p 329-333.
- Sieumeni Djonguep Andre, Kohagne Tongue Lisette, Abah Samuel, Fako Hendji Christian, Sevidzem Silas Lendzele, Mamoudou Abdoumoumini and Nukenine Elias Nchiwan, 2019, «Spatio-temporal Dynamics of Glossines, Tabanids and Stomoxyids in the Dodéo Plain, Adamawa, Cameroon», In *Asian Journal of Biological Sciences*, 12: pp 898-904.
- Tanenbe Christian., Hudu Gambo, Godlove Ambe Musongong, O. Boris, et Mbunkah Daniel Achukwi, 2010, « Prévalence de la trypanosomose bovine dans les départements du Faro et Déo, et de la Vina au Cameroun: bilan de vingt années de lutte contre les glossines ». In *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux* 63, pp 3-4.
- Tran Annelise, 2004, *Télédétection et épidémiologie : Modélisation de la dynamique de populations d'insectes et application au contrôle de maladies à transmission vectorielle.* Strasbourg, Thèse de doctorat : Sciences de la terre et de l'univers : Université Louis Pasteur, 199 p
- Tran Annelise, 2013, *Télédétection, analyse et modélisation spatiales appliquées à l'épidémiologie des maladies vectorielles*, Montpellier, Habilitation à diriger des recherches : Université Montpellier 2, 207 p.