

# Inventaires des chiroptères ouest-africains et nouvelles données au sein des genres *Rhinolophus* et *Hipposideros*

Kiliann Heinrich

Rapport de stage de Master 2 BEE – Parcours GeB



*Rhinolophus ziama* – © Blairoudeurs

Étude réalisée au sein de la Fédération Blairoudeurs sous la responsabilité de Marius Ruchon  
Tutorée par Jean Secondi (Université des Sciences d'Angers)

**2023/2024**

Dates de stage : 01/03/2024 au 31/08/2024

Date de soutenance : 03/09/2024

<b>Université d'Angers</b> <b>Faculté des Sciences</b> 2 boulevard de Lavoisier 49045 Angers Cedex	<b>Master 2</b> <b>Biodiversité Écologie-Évolution</b> Parcours GeB
Responsable du parcours de Master 2 <b>Alain Pagano</b>	 <b>Blairoudeurs</b>
<b>Kiliann Heinrich</b>	
Année Universitaire 2023/2024	Maître de stage <b>Marius Ruchon</b>
<b>Inventaires des chiroptères ouest-africains et nouvelles données au sein des genres <i>Rhinolophus</i> et <i>Hipposideros</i></b>	
<b>Résumé :</b> <p>L'état des connaissances des chiroptères ouest-africains présente d'importantes lacunes dues aux faibles inventaires notamment au sein des aires protégées, à forts enjeux de conservation. Les chauves-souris forment un taxon soumis à de nombreuses pressions anthropiques telles que la destruction d'habitats, le réchauffement climatique ou la chasse dans ces régions du monde ; elles ne font pourtant que rarement l'objet d'études poussées hors travaux épidémiologiques. Dans le cadre d'une étude itinérante au travers du Maroc, de la Mauritanie, du Sénégal et de la Guinée, des captures au filet japonais et enregistrements acoustiques au Teensy Records ont été réalisés dans un objectif d'apport de données naturalistes et d'amélioration des connaissances du taxon à plus grande échelle. Au total, 339 individus de 45 espèces ont été capturés au sein des 12 sites prospectés. L'étude a permis le doublement au minimum des richesses spécifiques connues sur 5 sites et la découverte de nouvelles espèces relativement rares sur 5 autres sites. La capture de 14 <i>Rhinolophus ziama</i> a permis la première caractérisation acoustique de cette espèce endémique classée en danger (UICN). Les données biométriques et acoustiques d'<i>Hipposideros ruber</i> ont montré une dissociation entre les individus sénégalais et guinéens. Un bilan acoustique des <i>Rhinolophus</i> et <i>Hipposideros</i> capturés a été effectué et un renforcement de capacités a été mené auprès des agents des aires protégées dans l'objectif d'y pérenniser l'étude des chiroptères par l'acoustique. Cette étude à plus large échelle au sein des aires protégées doit permettre de déterminer la diversité spécifique et d'évaluer l'état des populations pour mener à l'application de politiques de protection concrètes. L'intégration des résultats au sein de l'African Chiroptera Report permettra d'accroître les informations utiles aux futures études d'inventaires.</p>	
<b>Mots-clés :</b> Chauves-souris, Afrique de l'Ouest, Aires protégées, Rhinolophes, Phyllorhines.	
<b>Abstract :</b> <p>The state of knowledge of West African bats presents significant gaps due to low inventories, particularly within protected areas, with high conservation challenges. Bats form a taxon subject to numerous anthropogenic pressures such as habitat destruction, global warming or hunting in these regions of the world; However, they are rarely the subject of in-depth studies outside of epidemiological work. As part of a traveling study across Morocco, Mauritania, Senegal and Guinea, mist net captures and acoustic recordings with Teensy Records were made with the aim of providing naturalistic data and improvement of knowledge of the taxon on a larger scale. In total, 339 individuals of 45 species were captured within the 12 surveyed sites. The study allowed the minimum doubling of known specific richness on 5 sites and the discovery of new relatively rare species on 5 other sites. The capture of 14 <i>Rhinolophus ziama</i> allowed the first acoustic characterization of this endemic species classified as endangered (IUCN). Biometric and acoustic data from <i>Hipposideros ruber</i> showed a dissociation between Senegalese and Guinean individuals. An acoustic assessment of captured <i>Rhinolophus</i> and <i>Hipposideros</i> was carried out and capacity building was carried out with protected area agents with the aim of perpetuating the study of bats using acoustics. This larger-scale study within protected areas should make it possible to determine specific diversity and assess the state of populations to lead to the application of concrete protection policies. The integration of the results into the African Chiroptera Report will increase the information useful for future inventory studies.</p>	
<b>Keywords :</b> Bats, West Africa, Protected areas, Horseshoe bats, Old World leaf-nosed bats.	



### ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné (e) **Kiliann Heinrich**  
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une  
partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet,  
constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.  
En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour  
écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :

Cet engagement de non plagiat doit être inséré  
en première page de tous les rapports, dossiers, mémoires.



## Remerciements

Mes premiers remerciements sont tout naturellement adressés à mes camarades de mission mais avant tout amis, Marius, Thomas, Théo, Coco et Laure. Merci pour la réussite de cette nouvelle aventure en Afrique de l'Ouest. Une de plus au compteur des Blairoudeurs, certainement pas la dernière...



Une pensée pour notre petit Marcel qui a courageusement débuté sa vie de chiot par une expédition de 20 000 kilomètres à travers montagnes, déserts, savanes et forêts tropicales. Une deuxième pensée pour notre fidèle Mitsubishi "Pajenrot" qui ne nous aura pas lâché malgré l'état des routes, pistes et surtout les hors-pistes qu'on lui a rudement imposés.

Merci infiniment à nos partenaires financiers et techniques sans qui cette mission n'aurait jamais vu le jour, merci pour la confiance accordée aux jeunes engagés comme nous qui, je crois, sont capables de concevoir de grandes choses. Un merci tout particulier aux équipes de l'Office Français de la Biodiversité qui par delà l'appui financier nous ont permis de communiquer la mission sur de nombreux canaux de valorisation. Merci à la Fondation Biotope, la Région Nouvelle-Aquitaine et la Fondation AgroParisTech pour leur aide financière ayant rendu possible cette réussite en de nombreux aspects scientifiques et humains. Merci à Zeiss pour le prêt du précieux matériel optique d'étude, jumelles et monoculaire thermique.

Un immense merci à toutes les personnes, scientifiques, agents, conservateurs, directeurs et institutions publiques du territoire africain nous ayant si bien accueillis et ayant rendu possible cette initiative bénévole. Nous retiendrons de vous la rencontre humaine bien plus que l'expérience scientifique et j'espère sincèrement que l'on réussira à garder ce lien fort. À toutes les personnes qui nous ont épaulés : Nicolas Chenaal / Fabrice Cuzin / Mohamed Aourir / Zouhair Amhaouch (ANEF) / Mustafa (PNSM) / professeur Mokhtar / Nouma Watt / Ahmed (PNBA) / Zeine (PND) / Guorgi Diallo / Aloïs et Simon (RNCP) / Sarany Diedhiou (RNCP) / Pierre et sergent-chef Sagna (AMPNK) / Abdou Diouf, Loëssa et Mohamed (RNCB) / colonel Bocar Thiam (DPN) / Angelo, Assane et Ousman (PNNK) / Billo Diallo (PNHN) / Aboubacar Samoura (OGPRNF) / Sako, Guilavogui et Sagno (RNMZ). Merci à tous les agents des aires protégées pour ces moments privilégiés.

Merci à tous les intervenants de l'ombre de cette aventure, ceux qui ont généreusement contribué à la cagnotte en ligne mais aussi ceux qui nous ont gracieusement hébergés et préparé à manger pendant notre périple, et fait découvrir une hospitalité africaine inégalable.

Un dernier merci à Agnès, Claude, Pascal et Philippe sans qui cette phase de préparation de mission au bout du monde du Finistère n'aurait pas été la même.





## Sommaire

---

<b>Préambule.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>8</b>
1.1 Contexte général théorique.....	8
1.2 Cadre sur le territoire continental ouest-africain.....	10
1.3 État des connaissances lacunaire des chiroptères en Afrique de l'Ouest.....	12
1.4 Objectifs de l'étude.....	14
<b>2. Matériel et méthode.....</b>	<b>16</b>
2.1 Étendue géographique et caractère itinérant de l'étude.....	16
2.2 Détermination des sites d'étude.....	16
2.3 Méthodologie de récolte des données.....	17
2.3.1 Détermination des stations d'étude.....	17
2.3.2 Prise de mesures biométriques et acoustiques.....	18
2.4 Analyses des données.....	20
<b>3. Résultats.....</b>	<b>21</b>
3.1 Bilan des captures et quantification de l'apport de connaissances.....	21
3.2 Focus sur 2 taxons d'intérêt.....	23
3.2.1 Résultats pour le genre <i>Rhinolophus</i> .....	23
3.2.2 Résultats pour le genre <i>Hipposideros</i> .....	24
<b>4. Discussion.....</b>	<b>25</b>
4.1 Apport de connaissances conséquent pour les chiroptères ouest-africains.....	25
4.2 Caractérisation biométrique et acoustique pour 2 taxons à forts enjeux.....	26
4.3 Biais et pistes d'amélioration.....	28
4.4 Perspectives de l'étude et orientation pour les aires protégées.....	28
<b>Bibliographie.....</b>	<b>29</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>32</b>

## Liste des figures

---

**Figure 1 :** Modèle mondial de richesse en espèces de chauves-souris.

**Figure 2 :** Carte des biomes ouest-africains.

**Figure 3 :** Richesse spécifique prédite pour les chauves-souris africaines au grain d'1km<sup>2</sup>.

**Figure 4 :** Modèle d'endémisme prédit pour les chauves-souris africaines au grain d'1km<sup>2</sup>.

**Figure 5 :** Richesse spécifique en chauves-souris estimées (Choa 2).

**Figure 6 :** Richesse spécifique en chauves-souris.

**Figure 7 :** Sélection des 12 sites d'études des chiroptères.

**Figure 8 :** Installation d'un filet japonais de capture (©Laure Brioude) et démaillage des chiroptères.

**Figure 9 :** Indication des mesures biométriques et enregistrement au Teensy Recorders sur un *Hipposideros abae* (Parc National du Haut-Niger).

**Figure 10 :** Bilan des captures de chiroptères réalisées sur les 12 sites d'étude sélectionnés.

**Figure 11 :** Nombre d'espèces capturées et pourcentage de nouvelles espèces pour chaque site d'étude en comparaison avec la bibliographie.

**Figure 12 :** Fréquence du Maximum d'Énergie et Durée du signal de 8 espèces de *Rhinolophus* capturées.

**Figure 13 :** Photographie, enregistrement acoustique, longueur de l'AB selon le sexe et mesures de la FME des *Rhinolophus ziama* capturés.

**Figure 14 :** Fréquence du Maximum d'Énergie et Durée du signal de 4 espèces d'*Hipposideros* capturées.

**Figure 15 :** Longueur de l'Avant-Bras mesurée pour 2 espèces d'*Hipposideros*.

## Préambule

نحن نحب ما أذهلنا، ونحبي ما نحب

**Blairoudeurs** est une fédération d'associations naturalistes fondée en novembre 2020 à La Rochelle. Au travers de ses 5 antennes réparties sur les différents campus universitaires (La Rochelle, Paris, Chambéry, Nancy et Montpellier), l'association vise à recréer du lien entre la jeunesse et le monde vivant (associations naturalistes, institutions publiques, acteurs du territoire, etc.). Aujourd'hui, ce sont plus de 500 bénévoles qui s'engagent par la réalisation de projets interdisciplinaires et intergénérationnels concrets en faveur de la biodiversité. L'association est depuis 2024 membre des associations nationales France Nature Environnement (FNE) et co-fondatrice du chapitre français du Global Youth Biodiversity Network (GYBN France), représentant la voix de la jeunesse mondiale dans le cadre de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB).

La **Mission LAVIA** est une expédition itinérante, inédite, scientifique et humaine en Afrique de l'Ouest, menée par six jeunes français engagés pour la biodiversité. La mission, planifiée dans sa phase de terrain entre mai et août 2024, a pour objet d'étude et fil rouge les chiroptères (chauves-souris). L'intégralité de la partie terrain de cette expédition a été effectuée en véhicule 4x4 du 08 mai au 02 août 2024 en un aller-retour entre Plougonvelin (29217, France) et Sérédou (Guinée). Trois principaux objectifs sont visés au travers de cette opération. **1.** L'acquisition de données scientifiques (inventaires par captures au filet japonais, prises de mesures biométriques, prospection de gîtes, enregistrements acoustiques, échanges avec les locaux) très largement lacunaires sur ces chiroptères dans les nombreux biomes, parcs nationaux, réserves et villages qui constituent l'Afrique de l'Ouest (Maroc, Mauritanie, Sénégal et Guinée) avec la coopération des ONG et institutions locales. **2.** La large diffusion et vulgarisation des connaissances relatives à ce groupe d'espèces méconnu voire mystifié et l'échange de savoirs avec les populations locales. Ce travail est mené par lien fort avec les structures du territoire africain au travers du réseau de la francophonie et de la jeunesse (renforcement de capacités des aires protégées, participation des locaux aux méthodologies d'étude, organisation de conférences universitaires, etc.). **3.** La valorisation post-mission de cette expédition par la réalisation d'un film documentaire (réalisé par deux diplômés de l'Institut Français de Formation au Cinéma Animalier de Ménagoutte (IFFCAM)), d'une édition artistique relatant cette expérience naturaliste et humaine (créée par une étudiante de l'École Supérieure des Beaux-Arts de Montpellier), d'un rapport scientifique exposant les résultats de mission et de la très large diffusion des données rassemblées aux sphères scientifiques et publiques (base de données mondiale GBIF, agents des parcs, chiroptérologues, etc.).

La Mission LAVIA est une initiative bénévole. Sa réalisation est possible grâce à l'appui de plusieurs partenaires techniques et financiers : **Office Français de la Biodiversité (OFB), Fondation Biotope, Région Nouvelle-Aquitaine, Fondation AgroParisTech, Zeiss.**

Mon stage, de mars à août 2024, ne reflète que la partie de préparation et de terrain d'une mission se profilant depuis juillet 2023. Étant co-secrétaire général de la fédération Blairoudeurs et membre fondateur de la mission, cela fait maintenant plus d'un an que je m'applique aux côtés de l'équipe à l'imagination, la recherche de partenaires techniques et financiers, l'organisation scientifique et logistique, la valorisation et la concrétisation du projet dans son ensemble. Ce travail constitue la première étape d'une étroite coopération future avec les institutions du territoire ouest-africain.

## 1. Introduction

---

### 1.1 Contexte général théorique

Le consensus scientifique sur la grave crise que traverse la biodiversité depuis de nombreuses années met en évidence plusieurs conséquences de cet effondrement écologique. Au-delà de la dégradation des habitats et de l'érosion de la diversité génétique des populations, cette crise induit la disparition de certains taxons méconnus voire aujourd'hui encore inconnus. De nombreuses espèces s'éteignent avant même d'avoir été décrites, ce qui souligne l'importance cruciale d'apport de connaissances envers les taxons peu ou non étudiés pour la préservation de la biodiversité dans son ensemble.

Les chiroptères ("chiro-ptera" = "main-ailée") forment un ordre très abondant en nombre d'espèces au sein des mammifères avec plus de 1400 espèces et aux alentours de 18 familles recensées à l'échelle mondiale, soit  $\frac{1}{5}$  des mammifères (Burgin *et al.*, 2020). Caractérisés parmi les mammifères par un vol actif grâce à des doigts hypertrophiés et une fine membrane de peau nommée "patagium", ils étaient originellement séparés en deux sous-ordres dont l'ancêtre commun est apparu il y a 53 millions d'années : les microchiroptères et les mégachiroptères (Teeling, 2009). Les premiers se distinguent notamment par la forte dépendance aux ultrasons qu'ils émettent lorsque les deuxièmes utilisent préférentiellement leur vue pour se repérer et chasser. Cette classification est devenue obsolète et on parle aujourd'hui de yinpterochiroptera et yangochiroptera, ou de vespertilioniformes et ptéropodiformes sur la base de critères moléculaires et morphologiques en constante évolution. Le nombre de familles ne fait pas consensus au sein de la sphère scientifique, certains considérant par exemple les miniopteridae comme une famille lorsque d'autres parlent d'une sous-famille des vespertilionidae (miniopterinae). La taxonomie au sein des chiroptères est régulièrement sujette à de nombreuses modifications notamment au sein des régions du monde peu prospectées mais pas seulement. En France, de récentes analyses génétiques ont permis de décrire une nouvelle espèce endémique en 2023 partant d'une espèce cryptique : le Murin de Corse (*Myotis nustrale*) (Puechmaille *et al.*, 2023).

On retrouve les chauves-souris sur tous les continents, excepté aux extrémités des pôles, au sein d'une multitude d'habitats très diversifiés : forêts denses tropicales, forêts boréales, montagnes, savanes, milieux humides, déserts, milieux anthropisés, etc. (Altringham, 2011 ; Festa *et al.*, 2023). Elles trouvent refuge en ces habitats dans des gîtes arboricoles, cavernicoles ou anthropophiles selon les espèces. De tous les ordres des mammifères, aucun n'a conquis une telle diversité d'habitats ni n'occupe autant de niches écologiques différentes (Dietz & Kiefer, 2015). Cette hétérogénéité écologique induit une multiplicité de régimes alimentaires et une diversité morphologique parmi les plus importantes du règne animal, opposant par exemple la minuscule chauve-souris bourdon insectivore de 7 cm d'envergure (*Craseonycteris thonglongyai*) à l'immense renard volant des Philippines frugivore dépassant les 170 cm d'envergure (*Acerodon jubatus*). Certaines familles ou sous-familles extrêmement spécialistes ont même évolué jusqu'à développer des techniques de chasse leur permettant la piscivorie par des pattes hypertrophiées (Noctilionidae), l'hématophagie par déformation labiale (Desmodontinae) ou la nectarivorie par allongement de la langue (Glossophaginae). Globalement, les modèles de prédiction indiquent un nombre d'espèces

de chiroptères augmentant au fur et à mesure que l'on se rapproche de la ligne équatoriale du fait de conditions environnementales tropicales plus favorables à la diversité (Figure 1).

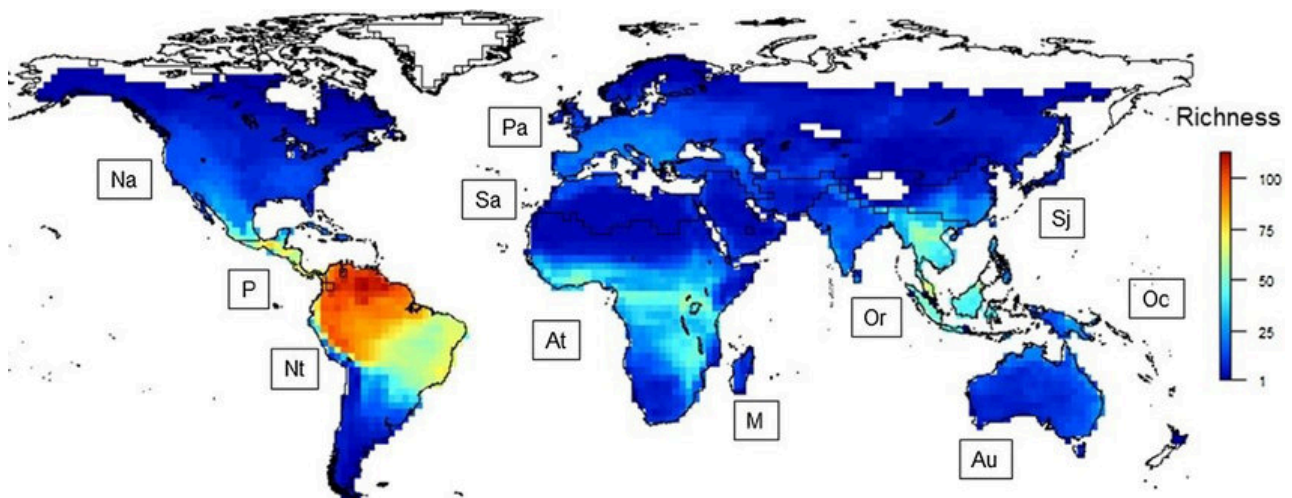


Figure 1 : Modèle mondial de richesse en espèces de chauves-souris. La légende correspond au nombre d'espèces de chauves-souris par cellule de grille 2° x 2°. Les lettres représentent les domaines zoogéographiques : Na = Néarctique, P = Panaméen, Nt = Néotropical, Pa = Paléarctique, Sa = Saharo-arabe, At = Afrotropical, M = Malgache, Or = Oriental, Au = Australien, Sj = sino-japonais, Oc = océanien (d'après Alves *et al.*, 2017).

Les chiroptères sont associés à de nombreux rôles écosystémiques clés notamment dans l'agriculture et la gestion forestière par la pollinisation des plantes d'importance économique, la régulation des ravageurs ou encore l'utilisation du guano comme engrais qu'ils suscitent (Boyles *et al.*, 2011 ; Geda & Balakrishnan, 2013 ; Ramirez *et al.*, 2022). Du fait de l'importante diversité de leurs niches écologiques, les chauves-souris sont utilisées comme bio-indicateurs d'habitats menacés par l'anthropisation tels que les zones humides, les forêts ou les milieux urbains (Russo *et al.*, 2021). Elles sont par ailleurs très souvent au centre d'études d'impacts de projets éoliens, photovoltaïques ou de déforestation.

Malgré les multiples intérêts qu'elles présentent d'un point de vue écosystémique et socio-écosystémique, les chauves-souris constituent l'un des taxons les plus méconnus au sein des mammifères et ce à l'échelle mondiale. Ce manque de connaissances est dû à la complexité et la modernité des techniques d'étude de ces animaux nocturnes volants. La capture au filet japonais a permis dans un premier temps d'accroître drastiquement l'efficacité des inventaires (Esberard & Bergallo, 2005) avant l'utilisation de la génétique pour parfaire l'identification en main. Par la suite, le développement récent des méthodologies acoustiques a révolutionné l'étude de ce taxon puisqu'elles permettent un inventaire bien plus exhaustif des communautés des chiroptères présentes dans un milieu et de leurs comportements (Barataud, 2012). Cette méthodologie n'en reste pas moins complexe car elle nécessite la première caractérisation des signaux acoustiques d'une espèce antérieure par sa capture et l'étude poussée de son utilisation de l'écholocation, dépendante de son comportement (signaux de déplacement, cris sociaux, buzz de chasse, etc.).

Du fait des nombreuses menaces pesant sur les chiroptères à l'échelle mondiale (artificialisation des terres, déforestation massive, utilisation de pesticides, etc.) et du manque de connaissances crucial à leur égard, les populations sont en déclin dans la majeure partie des régions du monde sans qu'on sache réellement les protéger (Mickleburgh *et al.* 2002 ; Racey & Entwistle, 2003 ; Frick *et al.*, 2020).



## 1.2 Cadre sur le territoire continental ouest-africain

L'Afrique de l'Ouest (dans cette étude : Maroc, Mauritanie, Sénégal, Guinée), du fait des nombreuses latitudes qu'elle couvre, présente l'un des gradients les plus marqués de variétés de biomes au monde, allant des zones côtières montagneuses méditerranéennes aux forêts tropicales humides, en passant par les savanes sèches et milieux désertiques (Figure 2). Cette richesse d'habitats induit une diversité biologique très importante bien que très hétérogène selon le biotope. Les forêts d'Afrique notamment guinéennes sont considérées comme des hotspots de biodiversité (Myers *et al.*, 2000 ; Olson *et al.*, 2001) par opposition au désert du Sahara, réputé extrêmement hostile à la présence de vie. La ligne équatoriale, par le climat qu'elle offre et les diversités de biomes qui la constituent, engendre de véritables hotspots pour les chauves-souris où une diversité exceptionnelle peut y être recensée (Herkt *et al.*, 2016).

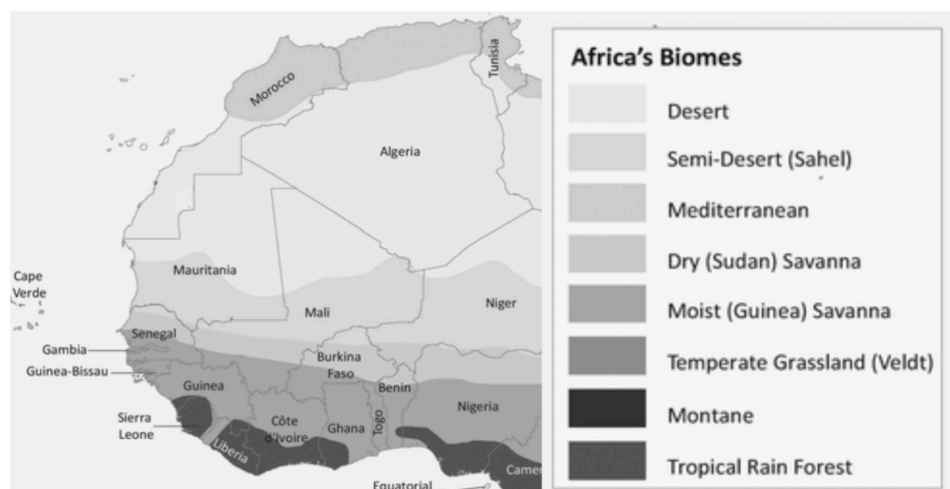


Figure 2 : Carte des biomes ouest-africains (d'après <https://na.unep.net/>, 2018).

Le nombre de familles, genres et espèces de chiroptères à l'échelle des quatre pays d'Afrique de l'Ouest étudiés ne fait pas consensus. En se basant sur l'African Chiroptera Report de 2023 (Van Cakenberghe & Seamark, 2023) on peut estimer qu'il existe moins d'une centaine d'espèces réparties en une dizaine de familles. Malgré les dissensus, la taxonomie actuelle les classe en 2 sous-ordres et 10 familles. Les pteropodiformes (ou yinpterochiroptères) regroupent les pteropodidae, les rhinolophidae, les hipposideridae, les megadermatidae et les rhinopomatidae. L'autre sous-ordre, les vespertilioniformes (ou yangochiroptères) regroupe les emballonuridae, les nycteridae, les miniopteridae, les molossidae et les vespertilionidae. L'intégralité de ces familles était auparavant comprise au sein des microchiroptères, hormis les pteropodidae, communément appelés "renards volants ou roussettes" et considérés comme étant des mégachiroptères. Ces derniers se caractérisent par un mode de vie crépusculaire, un régime intégralement frugivore, des yeux relativement grands utilisés pour chasser et se repérer dans l'espace et la présence d'une griffe supplémentaire utilisée pour grimper aux arbres et vivre en colonie de plusieurs milliers d'individus (ex. *Eidolon helvum*, *Rousettus aegyptiacus*). Par opposition, les autres familles regroupent des chauves-souris nocturnes utilisant préférentiellement l'écholocation pour se chasser et se repérer dans l'espace. Leur régime est moins diversifié qu'à l'échelle mondiale puisqu'on trouve en Afrique de l'Ouest une majorité de chauves-souris insectivores et frugivores. L'hibernation des chauves-souris est rare aux latitudes équatoriales contrairement à l'Europe où l'intégralité des chiroptères hibernent en se regroupant par dizaines, centaines voire milliers d'individus. La

diversité et l'endémisme des chauves-souris à l'échelle du continent ont été évalués et prédits par Herkt *et al.* (2016) en combinant des données d'occurrence géoréférencées associées à des variables environnementales (réseau hydrologique, topographie, etc.). Les cartes de chaleurs qui en résultent mettent en évidence la diversité plus importante aux basses latitudes et l'endémisme fort dans les habitats montagneux (Figure 3 ; Figure 4).

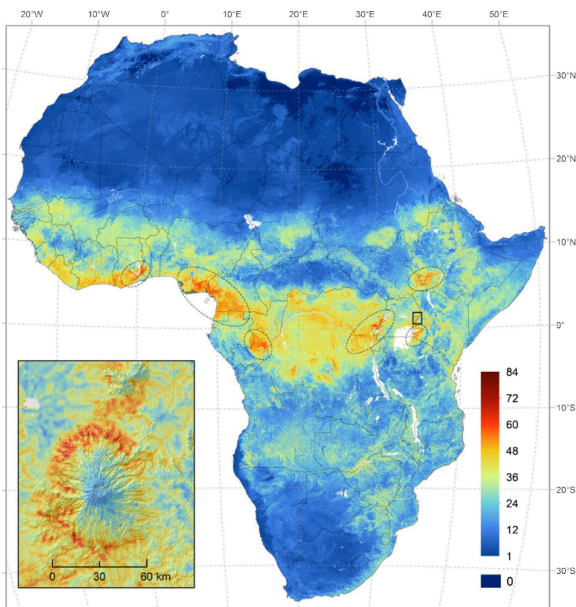


Figure 3 : Richesse spécifique prédite pour les chauves-souris africaines au grain d'1km<sup>2</sup> (sur open data internationales, Herkt *et al.*, 2016).

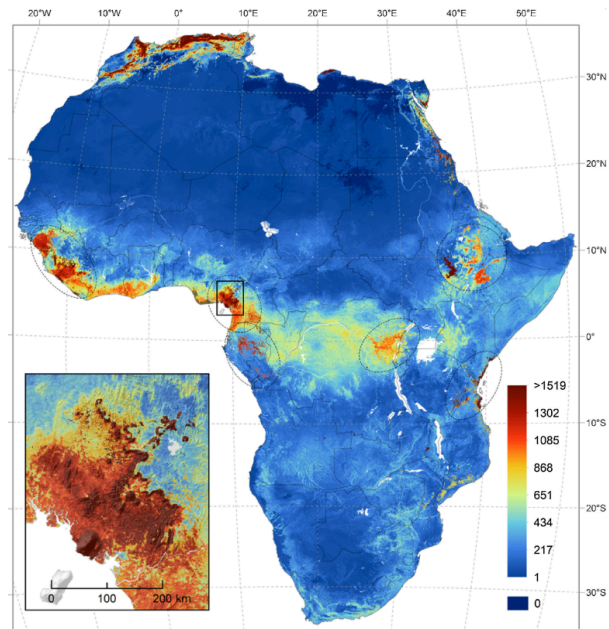


Figure 4 : Modèle d'endémisme prédit pour les chauves-souris africaines au grain d'1km<sup>2</sup> (sur open data internationales, Herkt *et al.*, 2016).

Les chauves-souris ouest-africaines sont soumises à diverses menaces liées à l'impact humain. La déforestation est l'un des facteurs principaux, détruisant notamment les gîtes arboricoles au profit de l'artificialisation des terres ou de la production de bois d'œuvre. La dégradation des forêts et la fragmentation des habitats mènent à un appauvrissement des potentielles zones de chasse et gîtes auxquels les chiroptères peuvent être très fidèles. Le réchauffement climatique quant à lui impacte directement les sols par désertification des zones humides et maraîchères, territoires de chasse privilégiés car riches en arthropodes et arbres fruitiers. Enfin, cette région du monde se caractérise par une place accordée à la chasse des chauves-souris, notamment des pteropodidae. Cette chasse est menée en vue de plusieurs objectifs à savoir l'éloignement des colonies se nourrissant dans les arbres fruitiers maraîchers, la consommation de viande de brousse voire l'utilisation des individus morts pour le maraboutage. Qui plus est, de nombreux locaux et enfants se rendent au sein des gîtes pour attraper les chauves-souris par curiosité. Ces dérangements présentent un réel risque sanitaire puisqu'ils mènent le plus souvent à des morsures, suivies de la mise à mort des individus.

L'évaluation lacunaire des populations de chauves-souris en Afrique de l'Ouest induit le faible nombre d'espèces classées sur la liste rouge UICN. Au sein des 4 pays visés par cette étude, bon nombre d'entre elles ont des données insuffisantes (DD) et seules 6 espèces sont inscrites sur la liste rouge à savoir : *Myotis nimbaensis* (CR)(Bakwo Fils *et al.*, 2022), *Hipposideros lamottei* (CR)(Monadjem & Cooper-Bohannon, 2020), *Rhinolophus guineensis* (EN)(Shapiro & Cooper-Bohannon, 2020), *Rhinolophus ziama* (EN)(Cooper-Bohannon & Monadjem, 2020), *Rhinolophus macclaudi* (EN)(Shapiro *et al.*, 2019), *Neoromicia roseveari* (EN)(Monadjem, 2017).

De plus, il n'existe à l'heure actuelle aucune mesure de protection propre aux chiroptères en Afrique de l'Ouest ; en Europe, les directives de l'accord EUROBATS de 1991 reconnaissent la nécessité de mesures de conservation sur toutes les populations et l'intégralité des chauves-souris obtiennent un statut de protection en France hexagonale. La classification difficile notamment au sein de la liste rouge UICN du fait du manque de connaissances et de recul sur l'état des populations mène à l'application complexe de politiques de protection des chiroptères ouest-africains.

### 1.3 État des connaissances lacunaire des chiroptères en Afrique de l'Ouest

Les chiroptères ouest-africains, à l'instar des micromammifères, présentent d'énormes lacunes en matière de connaissances et de préservation, par opposition aux grands mammifères beaucoup plus présents dans la littérature scientifique du fait des forts intérêts économiques et de conservation qu'ils apportent aux parcs et réserves. Malgré leur diversité et leur endémisme, la grande majorité des études portées sur ce taxon sont à visée épidémiologique. En effet, les chauve-souris sont considérées comme réservoirs à virus à fort potentiel zoonotique (Coronavirus, Lyssavirus, Filovirus, etc. (Leroy *et al.*, 2006)) susceptibles d'être transmis à l'humain du fait de la cohabitation dans de nombreuses villes et villages (Rodhain, 2014). Les études épidémiologiques sont pour la plupart menées par des laboratoires de recherche (ex. Institut Pasteur de Guinée). Elles mènent à l'intégration au sein des bases de données d'identification et de prélèvement de tissus ne présentant pas d'informations propres à l'écologie des individus capturés (ex. <https://database.ebo-sursy.eu/public-interface/>). Les études menées portent ainsi davantage sur les mécanismes génétiques d'immunité des chiroptères face aux virus qu'aux diversités spécifiques, écologiques voire fonctionnelles de ce taxon (Hassanin *et al.*, 2016). Outre les travaux épidémiologiques, les études génétiques sont également plus récurrentes puisqu'elles permettent d'éclaircir les nombreux dissensus taxonomiques. Par exemple, certaines espèces du genre *Hipposideros* ne sont aujourd'hui encore pas clairement distinguées et plusieurs complexes mènent à la création de groupes et sous-groupes taxonomiques tel que les *Hipposideros* du groupe "*bicolor*", sous-groupe "*ruber*" (Patterson *et al.*, 2020).

Les études d'inventaires, de caractérisations biométriques et d'analyses acoustiques des chauves-souris africaines sont rares dans la littérature scientifique. Néanmoins, un important travail de synthèse à grande échelle est effectué tous les ans par Van Cakenberghe et Seamark dans "African Chiroptera Report" qui centralise les informations connues à ce jour pour les chauves-souris africaines (Van Cakenberghe & Seamark, 2023). Ce rapport compile pour chaque espèce l'intégralité des données biologiques et écologiques récupérées en y assimilant des cartes de présence pour les données géoréférencées. 69 clés d'identification sont annexées à ce document, permettant d'identifier par des critères parfois extrêmement précis les chiroptères africains. La principale clé encore utilisée à ce jour est celle de Hayman et Hill (Hayman & Hill, 1971). D'autres récents ouvrages compilent également les données de distribution et d'identification. On retiendra par exemple l'ouvrage "Handbook of the Mammals of the World – Volume 9" de 2019 (Zachos, 2020), "Mammals of Africa Volume 4" de 2013 (Kingdon, 2013) ou "Mammifères Sauvages du Maroc" de 2017 (Aulagnier *et al.*, 2017). L'African Chiroptera Report (2023) établit une carte de la richesse spécifique estimée (Figure 5) et de richesse spécifique actuellement connue d'après les données récupérées (Figure 6). Malheureusement, force est de constater le nombre important de mailles sans données ainsi que de mailles sous-estimant les prédictions du modèle du fait du nombre d'inventaires lacunaires. Il reste important de prendre du recul face à ces cartes qui

n'intègrent que les données des bases mondiales et des collections muséales. D'autres études ont permis de montrer la présence d'espèces ou d'évaluer une richesse spécifique plus précise à des échelles plus locales (Strinati, 1951 ; Poulet, 1970 ; Adam *et al.*, 1972, ; Aulagnier & Destre, 1985 ; Wright *et al.*, 2006 ; Lieron *et al.*, 2008 ; Prié *et al.*, 2010 ; Chenaval & Lelant, 2011 ; Denys *et al.*, 2013 ; Simmons *et al.*, 2021 ; Keita *et al.*, 2023). De nombreuses cartes de distribution des espèces au sein des ouvrages cités ci-dessus ne représentent que des aires de répartition fragmentées du fait de ce manque crucial d'inventaires. Certaines données biométriques et écologiques sont également parfois partielles car peu relevées sur les individus capturés. Ces données sont des critères parfois obligatoires pour l'utilisation des clés de détermination actuelles. Par exemple, le Rhinolophe de Ziamia (*Rhinolophus ziamia*) est une chauve-souris endémique de la Réserve Naturelle du Mont Ziamia (Guinée). Les informations sur cette espèce sont extrêmement lacunaires puisque 5 spécimens seulement ont été capturés à l'heure actuelle (Decher *et al.*, 2010 ; Fahr, 2013). De ce fait, les critères d'identification morphologiques basés sur les tailles d'avant-bras, de doigts ou d'oreilles sont à parfaire, au-delà de l'acoustique qui n'a jamais été officiellement enregistrée. Pourtant, cette espèce endémique présente un très fort enjeu de conservation puisqu'elle est associée à l'une des dernières forêts primaires guinéennes. L'étude poussée des caractères morphologiques est importante car on ne peut pas prédire l'écologie d'une espèce avec précision simplement par des critères biométriques de base (Findley & Wilson, 1982). En Europe par exemple, il fallu attendre les années 2000 pour découvrir que la Grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*) était capable de prédateur de petits oiseaux nocturnes migrateurs ; on la pensait jusque-là strictement insectivore, à l'image de la quasi-totalité des espèces européennes (Ibáñez *et al.*, 2001).

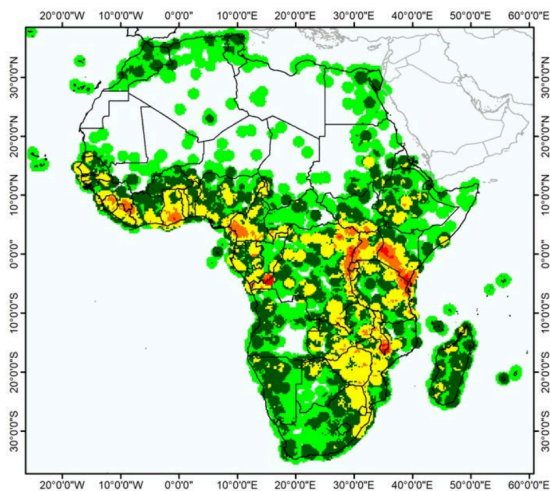


Figure 5 : Richesse spécifique en chauves-souris estimée (Choa 2) (Vert clair = 1-10 sp, Vert foncé = 11-30 sp, Jaune = 31-65 sp, Orange = 66-100 sp, ACR 2023).

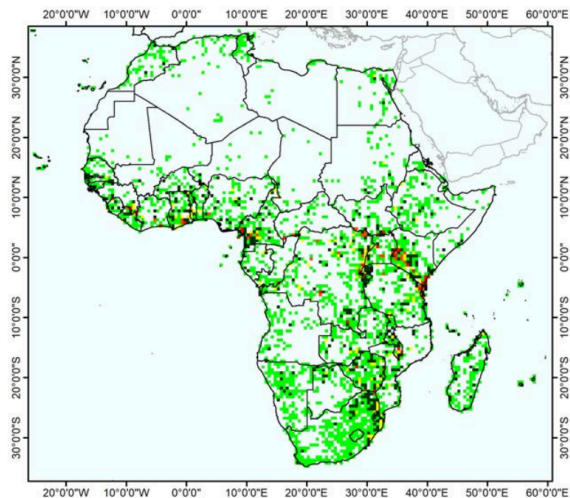


Figure 6 : Richesse spécifique en chauves-souris (Vert clair = 1-8 sp, Vert foncé = 9-17 sp, Jaune = 18-25 sp, Orange = 26-34 sp, ACR 2023).

Le manque d'études vis-à-vis des chiroptères en Afrique s'explique par plusieurs facteurs. La prépondérance d'études épidémiologiques met en avant les pteropodidae, inféodés aux arbres fruitiers des vergers et donc à proximité des locaux exposés aux zoonoses. La technique d'inventaire et les prises de mesures biométriques notamment s'effectuent par capture au filet japonais. Cette méthodologie nécessite une formation pour l'installation des filets et la manipulation des chauves-souris capturées. La grande majorité des études sont menées par des scientifiques et chiroptérologues étrangers qui, au-delà de mener leurs travaux au sein des aires protégées, pourraient participer au renforcement de capacité des agents de terrain. Malheureusement, force est



de constater que beaucoup de résultats ne sont pas communiqués et que les études sont portées sans réel retour ou échange avec les locaux, ne leur permettant pas de poursuivre les travaux par la suite. Par ailleurs, la sphère des chiroptérologues anglophones étant plus étendue que la sphère francophone, la majeure partie des études sont menées en Afrique anglophone (Afrique du Sud et de l'Est) aux dépens de l'Afrique de l'Ouest. Outre le manque de temps et de financements dont disposent les politiques publiques pour la formation des agents à ces méthodes d'études, les chauves-souris sont sources de nombreuses superstitions religieuses (Dalhoumi *et al.*, 2011). En effet, la religion islamique donne à ces animaux un statut particulier souvent néfaste voire démoniaque repoussant parfois la recherche par des institutions locales. De plus, leur cycle de vie majoritairement nocturne rend le travail de terrain difficile, notamment dans les tropiques (Herkt *et al.*, 2016). Enfin, l'étude des chiroptères par l'acoustique est une méthodologie novatrice prometteuse puisqu'elle ne nécessite aucune compétence technique et la simple pose d'enregistreurs à ultrasons, à l'image de pièges photographiques, peut permettre un inventaire exhaustif des chauves-souris au sein d'un milieu. Néanmoins, cela nécessite de savoir identifier les signaux spécifiques de chaque espèce, obtenus par une première capture antérieure. De nombreuses espèces ont déjà été caractérisées acoustiquement (Van Cakenberghe & Seamark, 2023), notamment au Maroc (Barataud, 2012 ; Disca *et al.*, 2014), sans que cela ne puisse être rendu pérenne par les agents, non formés à ces récentes méthodologies.

Les chauves-souris ouest-africaines sont aujourd'hui encore trop peu étudiées. La grande majorité des travaux menés aborde un objectif épidémiologique associé à ces chiroptères plus qu'un apport de connaissances naturalistes et écologiques. Ces données lacunaires semblent pourtant extrêmement intéressantes au vu du contexte géographique de ces pays d'Afrique de l'Ouest où le gradient latitudinal met en lumière une diversité et un endémisme parfois exceptionnels.

#### *1.4 Objectifs de l'étude*

L'amélioration des connaissances naturalistes sur les chiroptères ouest-africains (Maroc, Mauritanie, Sénégal, Guinée) par l'utilisation de méthodologies d'inventaires par captures au filet japonais et enregistrements acoustiques est un travail qui doit être mené pour enrichir les bases de données aux différentes échelles locales et mondiales. Ce travail est d'autant plus important qu'il doit permettre aux conservateurs et agents des aires protégées de pouvoir poursuivre un effort d'échantillonnage pérenne à leur niveau et d'appliquer des mesures de conservation.

Dans cet objectif global d'apport de données naturalistes au sein de zones sous-prospectées en Afrique de l'Ouest, la présente étude vise deux sous-objectifs. Le premier s'intéresse à évaluer la richesse spécifique au sein des différents sites prospectés, du Maroc jusqu'à la Guinée, en appliquant pendant 3 mois une méthodologie itinérante d'inventaires par capture au filet japonais et enregistrements acoustiques. Ce travail est notamment mené au sein des aires protégées d'Afrique de l'Ouest, dans différents biomes et habitats caractéristiques. Il permettra d'analyser et quantifier le réel apport de connaissances qu'une telle étude entraîne auprès notamment de parcs et réserves à forts enjeux de conservation. Enfin, l'ACR suggère que des études plus poussées sont nécessaires pour certains taxons pour parfaire la taxonomie actuelle de certaines espèces peu capturées ou difficiles à classer (ex. *Scotophilus sp*, *Rhinolophus alcyone*, *Pipistrellus deserti*, *Pseudoromicia rendallii*, etc.). La communication des données brutes morphologiques notamment sera utile dans cet objectif.



Le deuxième sous-objectif se focalise sur l'étude de deux taxons précis, bien représentés à l'échelle du continent. Les genres *Hipposideros* et *Rhinolophus* regroupent des chiroptères présents du Maroc jusqu'à la Guinée. Les intérêts de se focaliser sur ces deux taxons sont multiples. Au-delà de leur répartition géographique étendue, il existe un dissensus taxonomique au sein du genre *Hipposideros* menant à une classification souvent modifiée (Patterson *et al.*, 2020 ; Van Cakenberghe & Seamark, 2023). En effet, ce genre est à l'heure actuelle partagé en 9 groupes, l'un étant divisé en 4 sous-groupes dont les espèces sont identifiées génétiquement (Patterson *et al.*, 2020). Par exemple, les espèces *Hipposideros caffer*, *Hipposideros tephros* et *Hipposideros ruber* sont inscrites au sein du sous-groupe "ruber", du groupe "bicolor" du genre *Hipposideros*. De récentes analyses génétiques divisent *H.caffer* et *H.ruber* en clades et remettent en question par la même occasion l'existence de *H.tephros* (Patterson *et al.*, 2020). L'étude de ces espèces à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest pourrait permettre d'améliorer les connaissances morphologiques et acoustiques de ces espèces difficilement discriminables. Le genre *Rhinolophus* est un genre très diversifié à l'échelle du continent représenté par une quarantaine d'espèces (Van Cakenberghe & Seamark, 2023). On retrouve parmi elles des chauves-souris relativement connues et bien réparties, parfois selon un gradient latitudinal (*Rhinolophus landeri*, *Rhinolophus alcyone*, ect.) et des espèces très méconnues, endémiques, voire inscrites à la liste rouge UICN (*Rhinolophus ziama*, *Rhinolophus guineensis*) (Cooper-Bohannon & Monadjem, 2020 ; Shapiro & Cooper-Bohannon, 2020). L'étude poussée quant à ces deux taxons, notamment par la prise de mesures biométriques et la caractérisation de leurs signaux acoustiques, permettrait également l'amélioration des connaissances fondamentales. De plus, ces deux genres se particularisent par des signaux acoustiques relativement faciles à identifier. La caractérisation précise de leurs signaux acoustiques, le renforcement de capacité pour les agents des parcs et le retour pour les aires protégées permettra la pérennisation de l'étude des chiroptères au sein de sites à forts enjeux de conservation.

## 2. *Matériel et méthode*

---

### 2.1 *Étendue géographique et caractère itinérant de l'étude*

La présente étude s'étend sur 4 pays d'Afrique de l'Ouest : le Maroc, la Mauritanie, le Sénégal et la Guinée. Ces pays présentent des contextes géographiques extrêmement variés. On retrouve plusieurs biomes établis selon un gradient latitudinal à savoir du nord au sud : méditerranéen, désertique, semi-désertique, savane sèche, savane humide et forêt tropicale (Figure 2). Le relief également est très hétérogène. Le nord du Maroc se caractérise par les massifs montagneux de l'Atlas, son Sahara présente peu de reliefs et se compose d'alignements dunaires sablonneux et rochers s'étendant jusqu'au sud la Mauritanie. Seule la région centrale mauritanienne est parsemée de plateaux escarpés tels que l'Adrar, le reste du pays forme le Sahara. Le Sénégal est marqué par ses savanes planes sèches ou humides alors que la Guinée aux forêts équatoriales présente de forts reliefs montagneux tels que le Fouta Djalon ou les massifs de Simandou.

L'intégralité de l'étude est menée entre mai et juillet 2024. Dès lors, la prospection au sein de tous les sites impose une itinérance. Le déplacement du nord au sud de l'Afrique de l'Ouest impose quelques restrictions méthodologiques. Le nombre de sites d'études n'est pas le même au sein de chaque pays. Le nombre de stations également n'est pas homogène pour tous les sites, une station correspondant à une seule nuit de capture ; le nombre de nuits de capture n'est donc pas le même pour tous les sites. De la même manière, la durée de chaque capture n'est pas prévue à l'avance. La capture est arrêtée lorsque le nombre de chiroptères pris dans les filets se maintient nul. On évalue la pression de capture (c.-à-d l'effort d'échantillonnage) par multiplication du nombre de mètres de filets déployés par la durée de capture au sein de chaque site (Bernard & Fenton, 2002).

### 2.2 *Détermination des sites d'étude*

Le choix des sites d'études prospectés au cours des 3 mois de terrain s'effectue selon plusieurs paramètres. Le premier paramètre est de nature restrictive. L'étude ne pouvant être menée que dans des conditions de sécurité maîtrisées, les sites proches de frontières internationales jugées politiquement instables sont évités. L'étude des chauves-souris et la réalisation de travaux scientifiques nécessitant selon le contexte du pays un permis scientifique, seuls les sites ayant accordé à cette étude une autorisation de recherche ont été prospectés. Enfin, la logistique relative au caractère itinérant de l'étude a également servi à orienter la sélection des sites, notamment par un aspect temporel.

Dans une démarche d'apport de connaissances lacunaires au sein de zones sous-prospectées, un état de l'art bibliographique a été réalisé à l'échelle des 4 pays afin de récupérer, lorsque cela était possible, la localisation de précédents sites et stations d'études antérieures (Figure 7). Ce travail a pour but de mettre en lumière les sites d'intérêt, soit du fait d'absence de données, soit de trop faibles données pour un site à fort enjeu de conservation (grande diversité d'espèces, espèces endémiques, habitat très spécifique, etc.). Les cartes de l'African Chiroptera Report (Figure 6) ont été prises en compte dans la sélection des sites puisqu'elles synthétisent des données tirées des bases mondiales, de même que la littérature scientifique de précédentes études chiroptères. La réalisation antérieure d'une recherche au sein d'un territoire ne signifie pas systématiquement que les administrations locales ont été tenues au courant des résultats de l'étude. Dès lors, l'échange

avec les scientifiques et autorités locales a également orienté le choix des sites selon l'intérêt que présente l'étude pour eux. Enfin, l'existence d'habitats potentiellement favorables au sein de biomes jugés défavorables à la présence des chauves-souris a également influencé la sélection. Par exemple, l'Oasis de Tergit présente un habitat très spécifique associé à la présence de points d'eau et d'arbres au milieu d'un biome désertique. Cet habitat peut ainsi concentrer une forte communauté de chiroptères de par l'attraction qu'il présente pour la nourriture et l'eau au sein du désert mauritanien.

En conclusion, la détermination des sites d'étude s'est effectuée par association des besoins et informations provenant des administrations locales, de l'état de connaissance actuel des chiroptères ouest-africains dans la littérature scientifique et de l'enjeu d'apport de nouvelles données pour les taxons étudiés. La Figure 7 illustre les sites ayant été prospectés dans la présente étude.

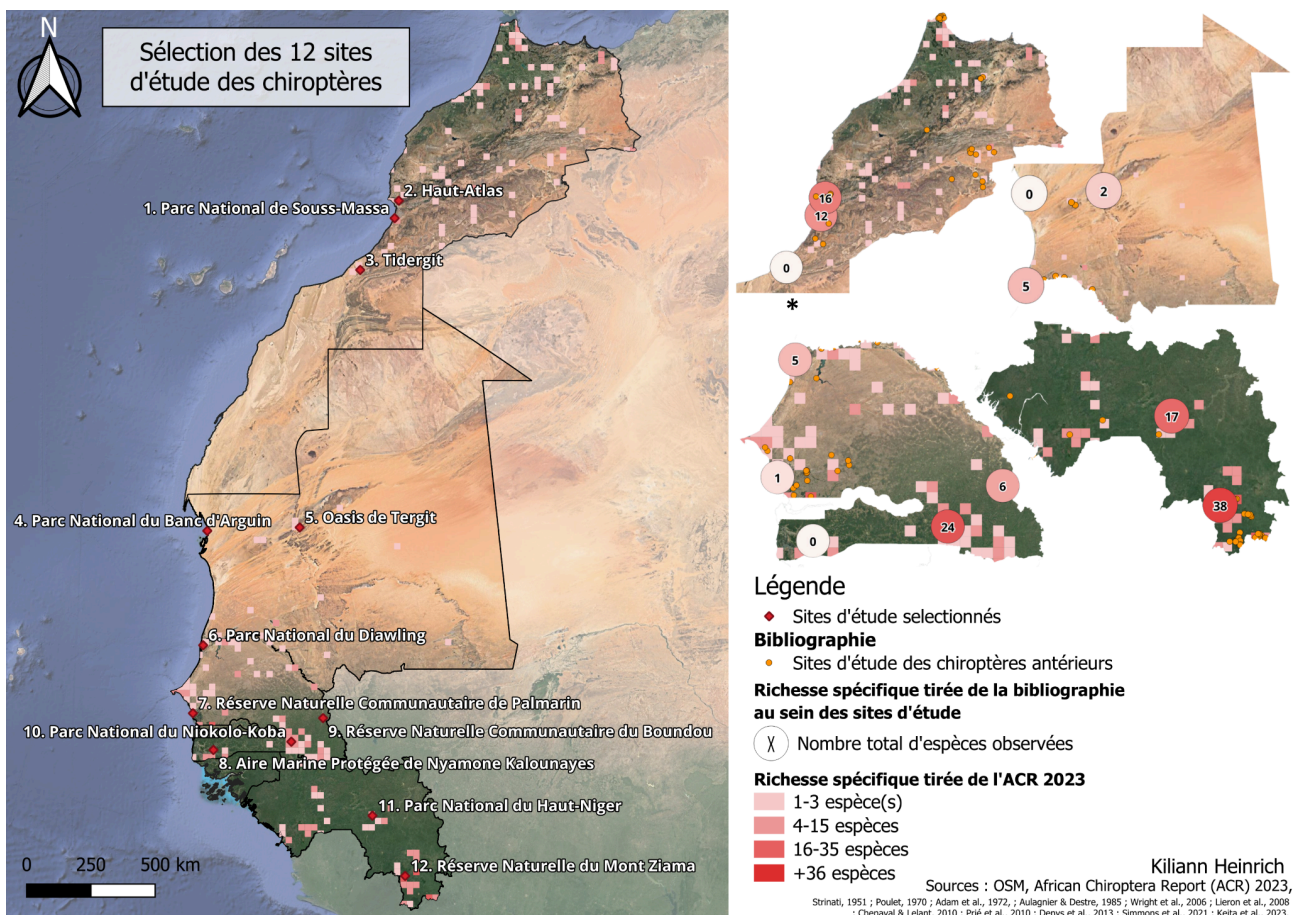


Figure 7 : Sélection des 12 sites d'études des chiroptères (\*: Le Sahara marocain ne présentant pas de données ni de sites pour l'étude, il n'a pas été représenté sur les cartes de droite).

## 2.3 Méthodologie de récolte des données

### 2.3.1 Détermination des stations d'étude

La récolte des données relatives aux chiroptères impose le choix de plusieurs stations d'étude précises au sein des sites prospectés. Sur chacune des stations a été mise en place une méthodologie de capture au filet japonais et d'enregistrement acoustique. La détermination des stations a été effectuée selon plusieurs facteurs pour maximiser cette récolte de données. L'étendue spatiale de la plupart des aires protégées ne permet pas l'étude exhaustive de la diversité de chiroptères dans le temps imparti par l'étude. L'objectif étant d'accroître les connaissances à grande

échelle, les captures ont été réalisées au sein des territoires de chasse potentiels (zones humides, forêts, ripisylves, savanes, etc.) ainsi qu'en sortie de gîtes à chiroptères (arboricoles, cavernicoles, anthropophiles) lorsque ceux-ci étaient connus ou nouvellement découverts lors de l'étude. Dès lors, l'échange avec les administrations locales (directeurs, conservateurs, agents, locaux, etc.) suite à l'exposition des préférences écologiques du taxon a été le premier paramètre déterminant. Une prospection sur terrain de potentiels gîtes ou zone de chasse est menée, les locaux identifiant les lieux où ils ont l'habitude d'être en contact avec ces animaux.

Les chauves-souris sont inféodées aux territoires de chasse liés à leur écologie. Les vergers maraîchers et stations avec arbres fruitiers sont préférables à la capture de pteropodidae (frugivores) alors que les marais, grottes ou forêts galeries attirent les autres familles (insectivores) par la forte concentration d'arthropodes qu'elles comprennent. En règle générale, tout habitat humide, cours d'eau douce ou point d'eau est très favorable à la présence de chiroptères, qui s'en servent comme de corridors nocturnes au-dessus desquels ils peuvent glaner et boire. Les stations sont donc établies au sein de différents habitats, de préférence à l'écotone et en travers de corridors de déplacement. En conclusion, la détermination des stations d'étude précises au sein du site d'étude s'est effectuée par association des informations provenant des locaux et du contexte écologique relatif à la favorabilité d'une diversité de chiroptères au sein du milieu.

### 2.3.2 Prise de mesures biométriques et acoustiques

La capture est la première étape d'inventaire. Cette méthode s'effectue par installation de filets japonais à mailles fines (20 x 20 mm, type marque : *écotone*) au sein de milieux favorables à la présence de chiroptères (Figure 8). L'emplacement des filets est déterminé à l'avance selon le contexte de la station de capture : proches de gîtes et cavités en arbres (espèces arboricoles), aux entrées de grottes (espèces cavernicoles), en sortie de bâtiments (espèces anthropophiles). Les territoires de chasse et d'alimentation (étendues d'eau, cultures d'arbres fruitiers, etc.) et les corridors de déplacement (ripisylves, lisières de forêts) sont également ciblés. Le filet de capture est le moyen le plus utilisé pour avoir accès à des critères biométriques sur individus vivants. On considère néanmoins que certaines espèces présentent un succès de capture moins élevé du fait d'une meilleure écholocation / vue qui leur permet de percevoir les mailles du filet (Ferreira *et al.*, 2021). Les filets sont donc installés de sorte à maximiser les chances de captures tels que des travers de cours d'eau, corridors de déplacements, sortie de gîte, etc. (les milieux très ouverts sont évités).

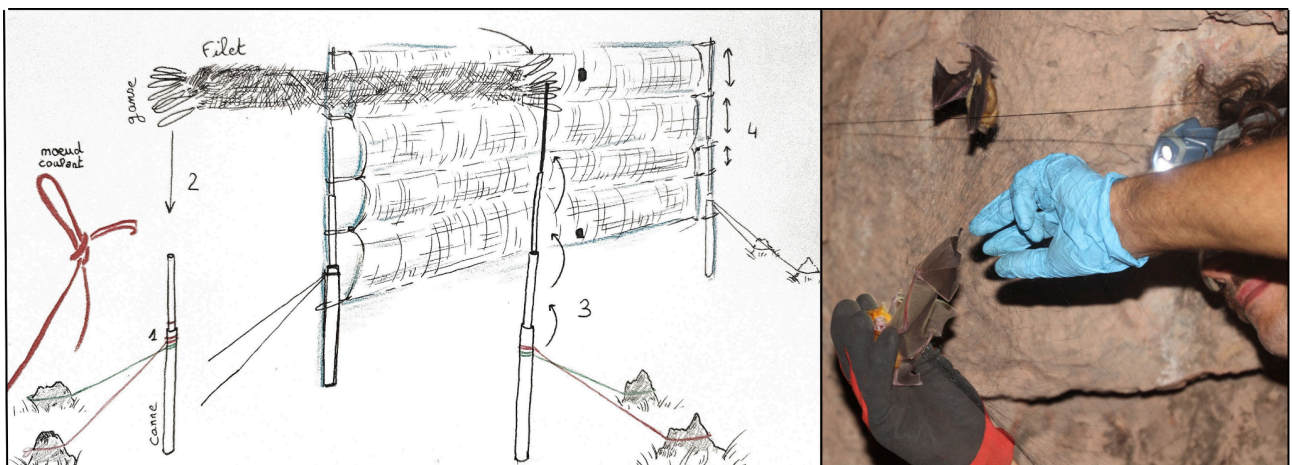




Figure 8 : Installation d'un filet japonais de capture (©Laure Brioude) et démaillage de chiroptères. 1: Attache des haubans aux points d'accroche, 2: Enfilage des ganses dans les cannes télescopiques, 3: Déploiement des cannes, 4: Ouverture du filet.

Lorsqu'une chauve-souris se prend dans le filet, elle est soigneusement démaillée puis amenée à la table de mesures. Dès lors, plusieurs données sont collectées. La description du milieu au sein duquel l'individu a été capturé, sa masse à la balance de précision, la taille de son avant-bras (AB) au pied à coulisse, la taille de son 5e (D5) et 3e doigt (D3) au règle à butée, son sexe et son statut reproducteur (Figure 9). Pour certaines espèces, la taille des oreilles, du tibia (TB) voire de la queue peut être prise en compte car utile à l'identification. Cette identification est menée par utilisation de plusieurs clés d'identification des chiroptères en main et ouvrages scientifiques à savoir : Hayman et Hill, 1971 ; Kingdon, 2013 ; Aulagnier *et al.*, 2017 ; Zachos, 2020 ; Van Cakenberghe et Seamark, 2023. Lorsque les clés d'identification mènent à un dissensus taxonomique, on retient le nom le plus récent donné dans l'African Chiroptera Report (2023). Certains critères d'identification des chauves-souris africaines peuvent être difficiles à observer rendant la discrimination d'une espèce complexe (formes des dents, forme du tragus, couleur du pelage, critères crâniens, génétiques, etc.). Dans ce cas et si l'identification à l'espèce ne s'avère pas possible, on retiendra le complexe d'espèces (ex. *Hipposideros*, sous-groupe "*ruber*"). On relève également les critères remarquables (morphes, pathologies, critères anormaux, etc.).

Une fois l'identification effectuée et les données récoltées, l'individu est relâché. Au moment du relâchement, on procède à l'enregistrement de ses cris d'écholocation (hormis pour les pteropodidae qui n'émettent pas d'ultrasons). L'enregistrement est dit "actif", il est réalisé grâce à un Teensy Recorders en mode "Protocole Point Fixe". Cet appareil enregistre les fréquences ultrasonores comprises entre 20 kHz et 200 kHz (gamme d'émission des chauves-souris d'Afrique de l'Ouest). L'analyse et la caractérisation des cris d'écholocation peut permettre d'identifier une espèce lorsque ceux-ci sont bien documentés (ex. *Hipposideros caffer*) ou d'améliorer les connaissances lorsqu'ils ne le sont pas (ex. *Rhinolophus ziama*).

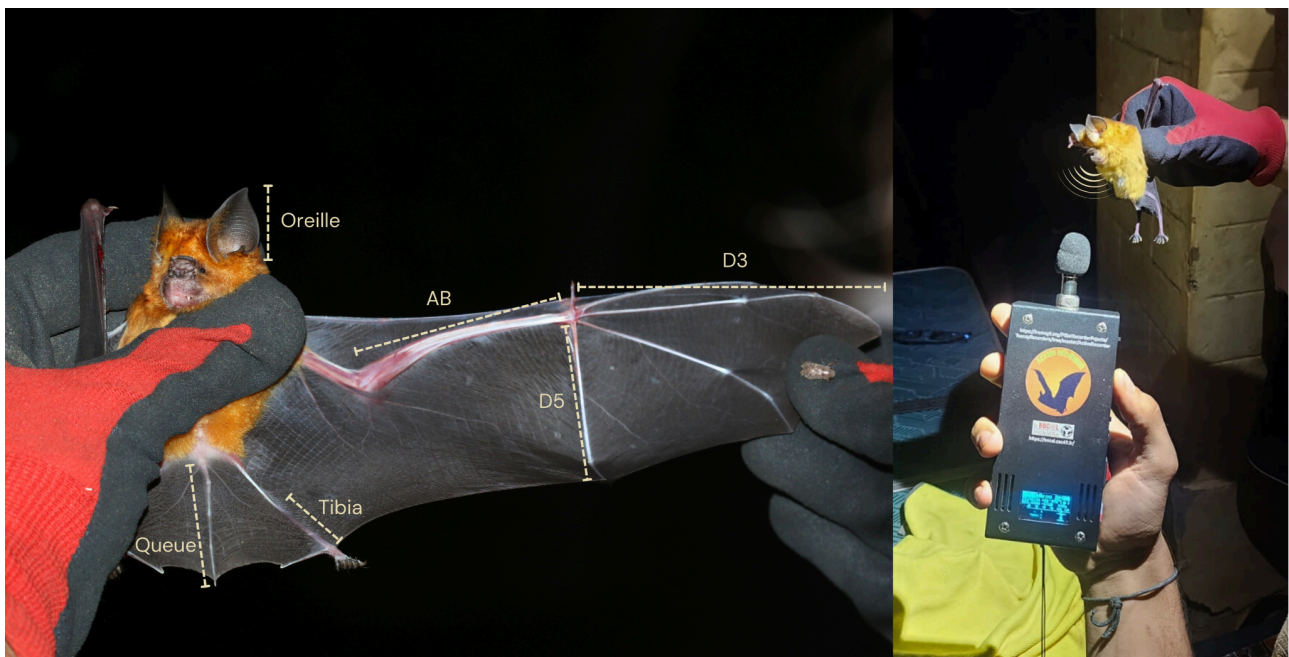


Figure 9 : Indication des mesures biométriques et enregistrement au Teensy Recorders sur un *Hipposideros abae* (Parc National du Haut-Niger).



## *2.4 Analyses des données*

Au-delà de la valorisation des données brutes (nombre d'espèces par site), on quantifie l'apport de connaissances relatives aux richesses spécifiques en évaluant le pourcentage de nouvelles espèces pour le site par rapport à l'état des connaissances actuelles tirées de la littérature.

L'étude acoustique des signaux enregistrés par les Teensy Recorders est menée sur le logiciel ChiroSurf (v2.6). Ce logiciel permet la visualisation en expansion de temps (x10) des signaux acoustiques et la prise de mesures caractéristiques. Parmi celles-ci, on retrouve notamment la durée du cri ainsi que la fréquence du maximum d'énergie (FME). La FME correspond à la fréquence (en kHz) à laquelle l'animal émet "le plus fort". La récupération de cette valeur permet la comparaison interspécifique au sein d'un même genre ou intraspécifique de l'écholocation d'une espèce.

Les analyses statistiques sont menées sur le logiciel Rstudio. Des tests non-paramétriques d'analyse de variance à 1 facteur (test de Kruskal-Wallis) sont menés pour l'analyse des FME et des longueurs d'avant-bras (AB) du fait du peu de données et du non-respect de la normalité des variables échantillonnées.

### 3. Résultats

#### 3.1 Bilan des captures et quantification de l'apport de connaissances

Les résultats de la présente étude ont été collectés durant les 3 mois de terrain, de mai à juillet 2024 et au travers des 12 sites prospectés répartis du Maroc à la Guinée. Au total, 339 individus ont été capturés, composant une communauté de 45 espèces de chiroptères différents au sein de 9 des 10 familles connues à cette échelle (Annexe 1 ; Annexe 2). La Figure 10 rend compte du bilan du nombre d'espèces totales capturées sur chacun des 12 sites d'étude ainsi que du nombre de nouvelles espèces identifiées au sein du site en question. Ce travail permet une approche de l'apport de connaissances concrètes, pour les bases de données des aires protégées notamment.

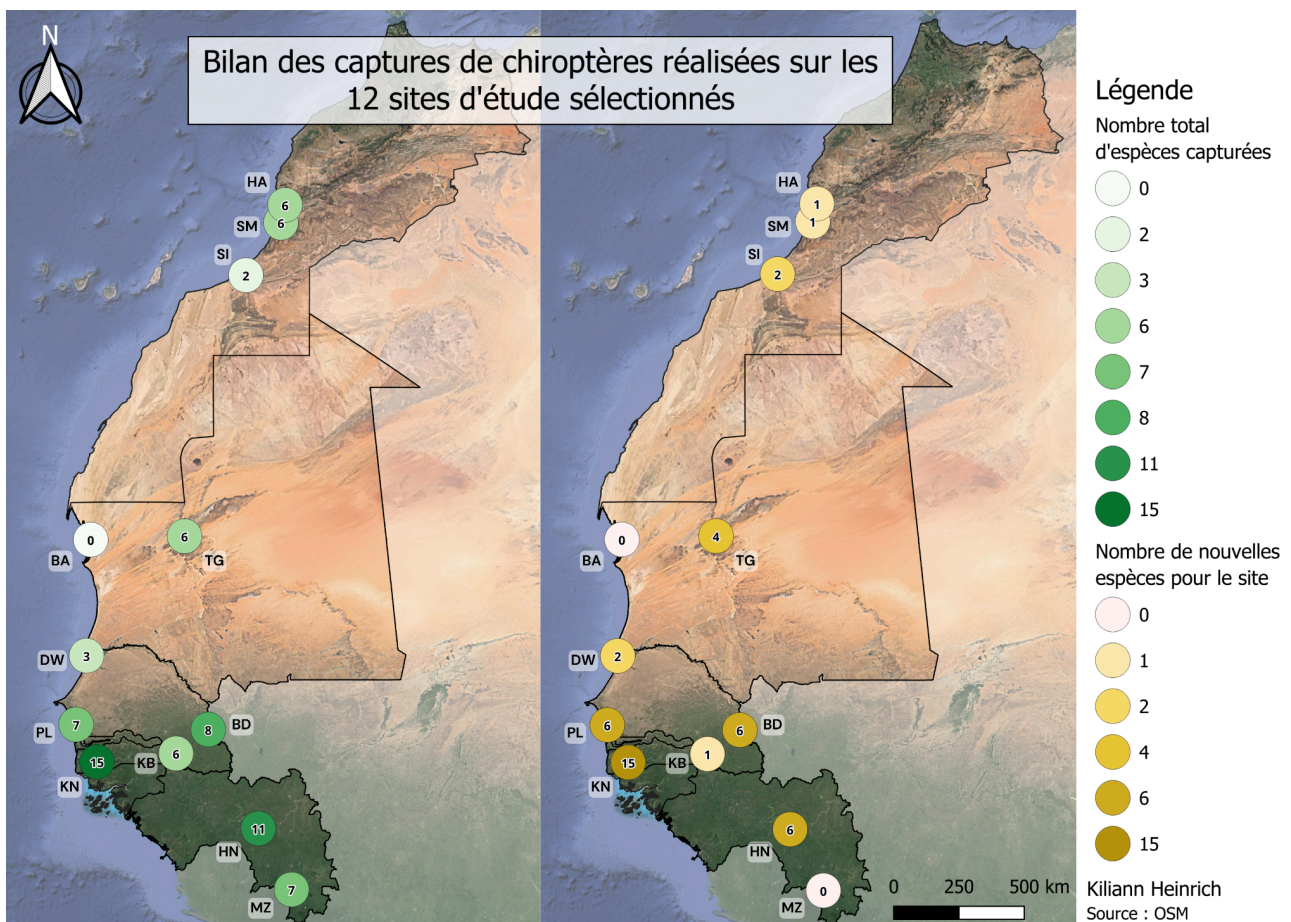


Figure 10 : Bilan des captures de chiroptères réalisées sur les 12 sites d'étude sélectionnés. (SM : Parc National de Souss-Massa, HA : Haut-Atlas, SI : Tidergit, BA : Parc National du Banc d'Arguin, TG : Oasis de Tergit, DW : Parc National du Diawling, PL : Réserve Naturelle Communautaire de Palmarin, KN : Aire Marine Protégée de Nyamone Kalounayes, BD : Réserve Naturelle Communautaire du Boundou, KB : Parc National du Niokolo-Koba, HN : Parc National du Haut-Niger, MZ : Réserve Naturelle du Mont-Ziama)

Le nombre de nouvelles espèces capturées a été mis en relation avec la richesse spécifique déjà connue au sein de chaque site (d'après la Figure 7). Dès lors, il a été calculé le pourcentage de nouvelles espèces identifiées par rapport au nombre d'espèces antérieurement localisées sur le site (Figure 11).

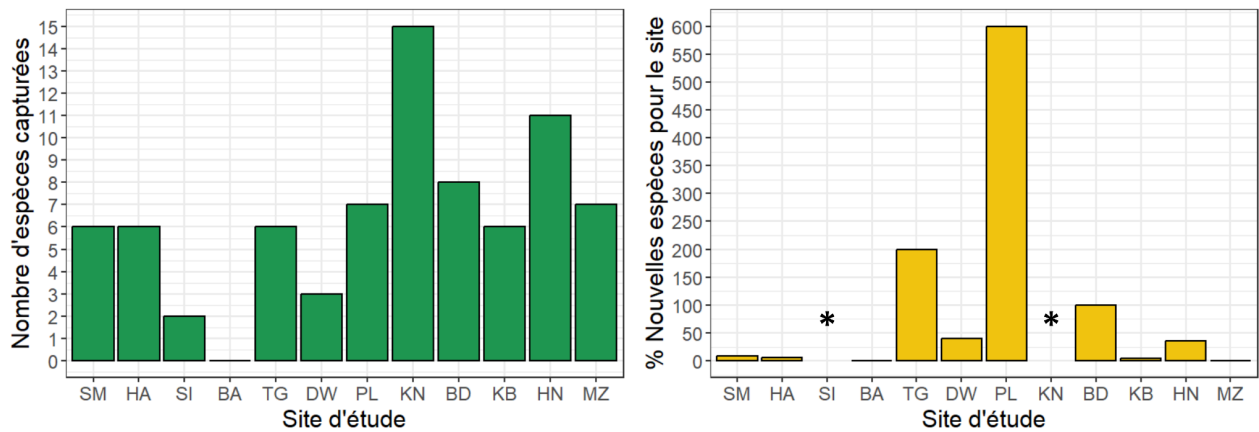


Figure 11 : Nombre d'espèces capturées (gauche) et pourcentage de nouvelles espèces (droite) pour chaque site d'étude en comparaison avec la bibliographie. (\* Deux sites d'études ne présentant aucune donnée chiroptères antérieure dans la littérature, il est impossible de calculer un pourcentage d'apport de données : nous conserverons les données absolues pour ces deux sites.)

À l'échelle des 12 sites d'étude, 5 d'entre eux (dont \*) ont permis un apport de connaissances supérieur ou égal à 100 %. Cela correspond à un doublement de la richesse spécifique connue dans la Réserve Naturelle Communautaire du Boundou, un triplement pour les Oasis de Tergit, voire une multiplication par 7 au sein de la Réserve Naturelle Communautaire de Palmarin. De plus l'étude a permis l'identification claire des premières données chiroptères au sein de 2 sites à savoir à Tidergit (2 espèces) et dans le secteur de l'Aire Marine Protégée de Nyamone Kalounayes (15 espèces).

Au-delà de l'apport de connaissances relatives aux richesses spécifiques des sites, ce travail a permis d'accroître les données biométriques et acoustiques concernant de nombreuses espèces méconnues voire endémiques. En effet, la Réserve Naturelle Communautaire du Boundou par exemple a révélé la probable présence de *Mops nigeriae*, actuellement absente du Sénégal selon l'ACR 2023. La Réserve Naturelle du Mont Ziama a donné lieu à la capture de 3 *Rhinolophus guineensis* et 14 *Rhinolophus ziama*, espèce à forts enjeux n'ayant été capturé que 5 fois auparavant. Ces deux espèces font partie des rares classées à la liste rouge UICN (classées EN). Enfin, les genres les plus représentés à grande échelle sont les genres *Hipposideros* et *Rhinolophus*, avec respectivement 65 individus et 43 individus. L'effort d'échantillonnage (linéaire de filet x heure de capture), bien qu'hétérogène selon les sites, n'induit pas de différences significatives entre les résultats mentionnés ci-dessus.

### 3.2 Focus sur 2 taxons d'intérêt

#### 3.2.1 Résultats pour le genre *Rhinolophus*

Le genre *Rhinolophus* a été représenté par 8 espèces au travers du gradient latitudinal ouest-africain prospecté. Au-delà des diversité morphologiques de feuilles nasales notamment, ce genre se caractérise par l'émission de signaux acoustiques très singuliers de type "fréquence constante". Dès lors, un graphique a été réalisé synthétisant la fréquence du maximum d'énergie (FME) et les différentes durées des cris, enregistrés au relâcher des individus capturés (Figure 12). *Rhinolophus ziama* n'ayant été capturé que par 5 fois auparavant, la figure 13 témoigne de l'apport de données conséquent pour cette espèce endémique ayant un AB d'en moyenne  $59.89 \pm 1.71$  mm (femelle) et  $58.04 \pm 1.22$  mm (mâle). La fréquence du maximum d'énergie pour cette espèce se situe aux alentours de  $34.41 \pm 2.33$  kHz.

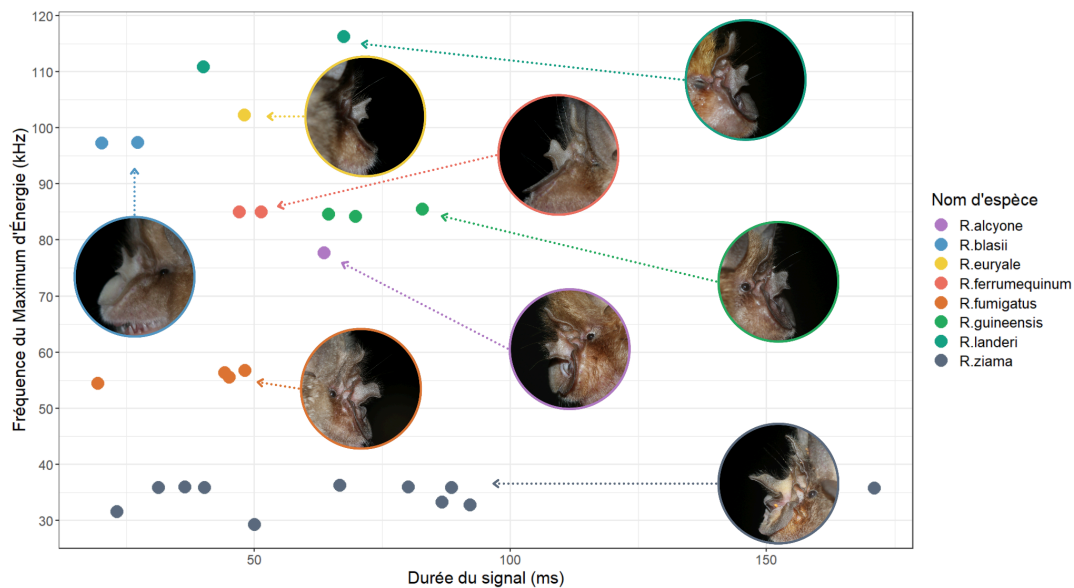


Figure 12 : Fréquence du Maximum d'Énergie et Durée du signal de 8 espèces de *Rhinolophus* capturées.

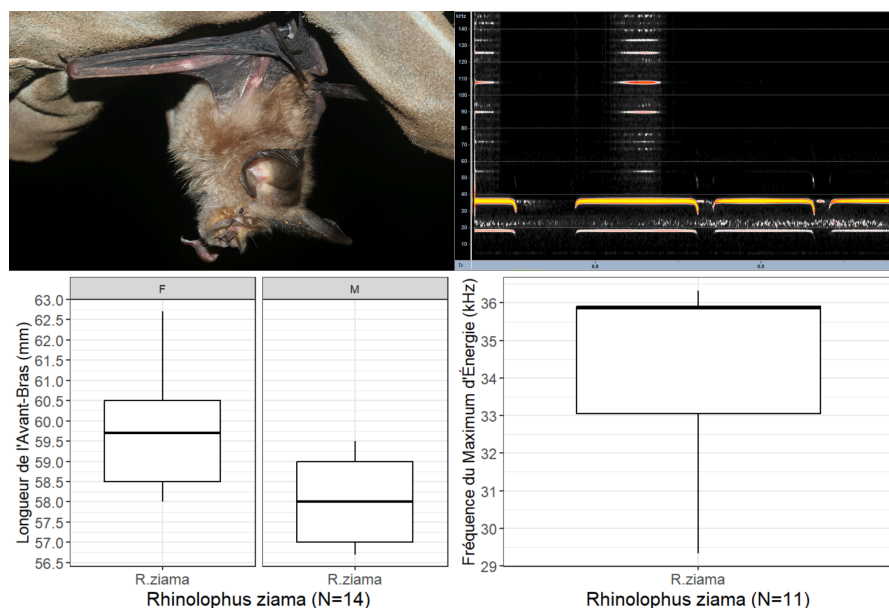


Figure 13 : Photographie, enregistrement acoustique, longueur de l'AB selon le sexe et mesures de la FME des *Rhinolophus ziama* capturés.



### 3.3.2 Résultats pour le genre *Hipposideros*

Le genre *Hipposideros* (dans son actuelle définition) a été représenté par 4 espèces. Parmi elles et au sein du complexe “*ruber*” du groupe “*bicolor*”, les *Hipposideros caffer* et *Hipposideros ruber* ont été majoritaires. On note que 17 individus sur 65 présentaient un morphe entièrement orange, ou brun-orangé, les autres étant brun-gris. L'étude de leur signaux est elle aussi intéressante puisque assez caractéristique du genre avec une phase en “fréquence constante”. Comme le montre la figure 14, les individus identifiés comme *H.caffer* utilisent l'écholocation à des fréquences plus hautes, soit  $143.90 \pm 2.45$  kHz, que les *H.tephrus* qui émettent eux à  $131.44 \pm 5.94$  kHz. Une analyse plus poussée a été menée sur les individus identifiés comme *H.ruber* sur le terrain. Le test non-paramétrique d'analyse de variance à 1 facteur (test de Kruskal-Wallis) a montré la différence significative ( $p < 0.05$ ) de FME entre les individus capturés au Sénégal et ceux capturés en Guinée, à des latitudes inférieures. Les individus sénégalais émettent à des fréquences supérieures.

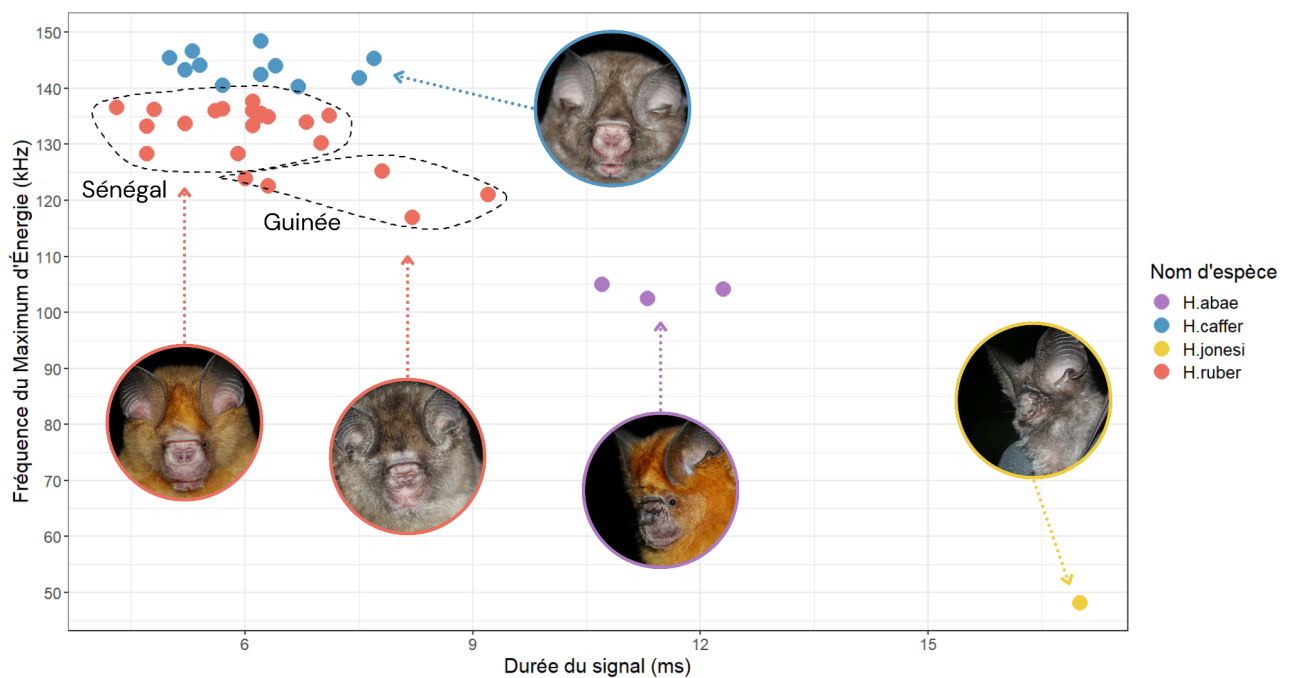
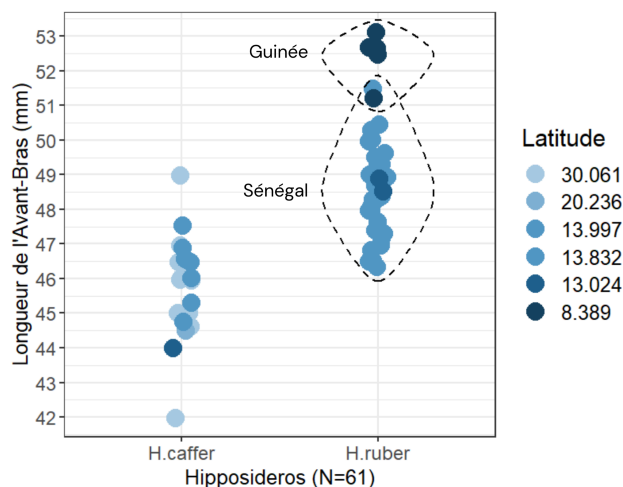


Figure 14 : Fréquence du Maximum d'Énergie et Durée du signal de 4 espèces d'*Hipposideros* capturées.



L'étude morphologique des individus capturés a également démontré par un test non-paramétrique d'analyse de variance à 1 facteur (test de Kruskal-Wallis) la différence significative ( $p < 0.05$ ) des longueurs d'avant-bras (AB) entre les *H.ruber* sénégalais, plus petits et les *H.ruber* guinéens, plus grands (Figure 15). Cette différence selon les pays et donc la latitude des sites n'a pas été montrée pour le taxon *H.caffer*.

Figure 15 : Longueur de l'Avant-Bras mesurée pour 2 espèces d'*Hipposideros* (*H.caffer* : N=23 ; *H.ruber* : N=38).



## 4. Discussion

### 4.1 Apport de connaissances conséquent pour les chiroptères ouest-africains

Le travail d'inventaires chiroptérologiques mené au travers de ces 4 pays d'Afrique de l'Ouest a permis l'apport de connaissances pour les bases de données locales et notamment des aires protégées. Même si la comparaison entre sites selon la latitude ou l'habitat s'avère complexe du fait de la pression d'échantillonnage hétérogène, les données indiquent globalement une richesse spécifique plus importante dans les basses latitudes sub-sahariennes. Ce constat accentue l'idée d'une diversité spécifique plus importante lorsque l'on se rapproche de l'équateur (Herkt *et al.*, 2016 ; Van Cakenberghe & Seamark, 2023). En effet, l'intégralité des sites prospectés à partir du biome savane humide sénégalais jusqu'aux forêts tropicales humides guinéennes a permis la capture de 6 à 15 espèces par site, le maximum ayant été de 6 espèces aux latitudes supérieures. Il convient de garder un certain recul sur la comparaison de ces richesses spécifiques puisque les chances de capture d'une grande diversité et d'un grand nombre d'individus ne sont pas égales selon que l'on capture en territoire de chasse ou en sortie de gîte, les deux méthodologies ayant été appliquées inégalement lors de cette étude. De plus, il est important de considérer la particularité de certains habitats au sein du biome désertique. 6 espèces ont été capturées aux oasis de Tergit en deux sessions de capture. On constate que ces individus se servent des oasis comme terrain de chasse puisqu'elles constituent l'un des rares habitats favorables pour boire et se nourrir. L'étude de leurs gîtes pourrait permettre la meilleure compréhension de ce mode de vie aux latitudes où les températures et la sécheresse rendent l'habitat défavorable à la présence des chiroptères. Les captures réalisées au sein du Parc National du Banc d'Arguin n'ont pas permis la découverte d'une première donnée de chauves-souris pour le parc. Néanmoins et comme pour les oasis, il serait intéressant de réaliser des captures au sein des îles et mangroves à l'ouest du parc puisque ces patchs constituent un habitat potentiellement favorable au milieu du territoire majoritairement désertique. D'autres sites comme l'Aire Marine Protégée de Nyamone Kalounayes ou le Parc National du Haut-Niger présentent une richesse spécifique très importante puisqu'ils rassemblent des habitats extrêmement favorables aux chiroptères tels que de vastes zones humides, de grandes ripisylves et une diversité d'habitats nourriciers importants.

Outre la richesse spécifique, il est important de mettre en avant la découverte de nouvelles espèces pour chaque site d'étude. En effet, cette donnée souligne la réelle importance d'études d'inventaires et le manque de connaissances actuel des chiroptères pour certaines aires protégées. Cet apport de nouvelles données n'est pas dépendant de la latitude et s'explique principalement par la quantité d'études antérieures ayant été réalisées. Le Maroc est un pays au sein duquel les chiroptères sont relativement connus et bien étudiés par des inventaires au filet ou à l'acoustique depuis plusieurs années (Disca *et al.*, 2014 ; Aulagnier *et al.*, 2017). La mise en lumière de nouvelles espèces pour un site s'avère donc plus rare et nécessite de se focaliser sur des sites très précis (montagnes de l'Atlas, Sahara, etc.). L'état de connaissance des richesses spécifiques à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest n'est pas homogène entre les différentes aires protégées, certaines demeurant relativement mieux connues. C'est par exemple le cas du Parc National du Souss-Massa, du Parc National du Niokolo-Koba ou de la Réserve Naturelle du Mont-Ziama (Figure 7). Néanmoins, le statut de présence d'une espèce ne signifie pas la connaissance de l'état des populations ni la quantité de données sur cette espèce. Par exemple, le Rhinolophe de Ziama (*Rhinolophus ziama*) est une espèce

en danger dont on connaissait la présence endémique au sein de la Réserve Naturelle du Mont-Ziama puisque cette réserve fait partie d'une zone à très fort intérêt d'inventaires, proche du Mont Nimba et du Mont Béro (Wright *et al.*, 2006). Cependant, seulement 5 individus avaient été capturés avant cette étude et aucun n'avait été enregistré acoustiquement. L'étude approfondie de ces espèces à forts enjeux (ex. *Rhinolophus ziama*, *Rhinolophus guineensis*) dont on ne connaît que le statut de présence est nécessaire à la meilleure compréhension de l'état des populations.

Certains sites présentent un pourcentage du nombre de nouvelles espèces très élevé par rapport aux connaissances antérieures. C'est par exemple le cas des oasis de Tergit (+200 %) et la Réserve Naturelle Communautaire de Palmarin (+600 %). D'autres sites ont permis l'apport de premières données chiroptères, c'est le cas de Tidergit avec 2 premières espèces et l'Aire Marine Protégée de Nyamone Kalounayes avec 15 premières espèces. Ici encore, il reste important de mettre en perspective ces résultats avec l'état de connaissance antérieur. L'augmentation de 200 % du nombre d'espèces sur un site où 2 espèces étaient connues (Oasis de Tergit) ne signifie pas que ce site présente un intérêt différent qu'un autre où une augmentation de "seulement" 35 % a été montrée si le site présentait déjà 17 espèces dans la littérature (Parc National du Haut-Niger). En effet, un pourcentage très élevé est révélateur d'un site très peu étudié, un pourcentage faible montre qu'il demeure possible de trouver de nouvelles espèces rares malgré une richesse spécifique relativement élevée déjà connue. La Réserve Naturelle Communautaire du Boundou par exemple se situe entre ces deux cas de figures puisque 6 espèces y étaient connues alors que l'étude a permis d'en découvrir 6 nouvelles, soit une augmentation de 100 %. La quantification de l'amélioration des connaissances permises par l'étude trouve son importance dans la mise en lumière des sites trop peu étudiés et de ceux au sein desquels il est encore possible de trouver des espèces relativement rares à fort intérêt de conservation.

#### 4.2 Caractérisation biométrique et acoustique pour 2 taxons à forts enjeux

Les genres *Rhinolophus* et *Hipposideros* ont été capturés du Maroc jusqu'en Guinée (excepté en Mauritanie pour le genre *Rhinolophus*). Dès lors, l'étude de critères biométriques et acoustiques les caractérisant ont montré l'importance que présentent ces taxons pour l'étude future des chiroptères par les agents de terrain locaux notamment.

Les Rhinolophidae sont des chauves-souris très particulières puisqu'au-delà de leur différenciation morphologique liée à leur feuille nasale complexe, ils émettent des ultrasons de fréquence constante leur permettant d'utiliser l'effet Doppler (Barataud, 2012). Dès lors, l'identification par l'acoustique est particulièrement moins difficile que chez n'importe quelle autre famille. Entre les espèces, le recouvrement de valeurs des mesures biométriques (AB) est plus important que celui des signaux acoustiques. Il est ainsi relativement aisé d'identifier un Rhinolophe par sa feuille nasale, ses mesures biométriques et surtout son acoustique. Le travail mené au travers de cette étude a permis la caractérisation acoustique de 8 espèces de Rhinolophes capturés, synthétisée sous la forme d'un graphique associant chaque espèce à sa fréquence d'émission caractéristique (Figure 12). Plusieurs espèces n'ont pas été capturées et ce graphique mérite d'être enrichi pour être exhaustif des Rhinolophes d'Afrique de l'Ouest.

Par ailleurs, cette étude présente les résultats des premiers enregistrements acoustiques du Rhinolophe de Ziama (*Rhinolophus ziama*), endémique de la Réserve Naturelle du Mont-Ziama et

classée en danger sur la liste rouge UICN (5 individus capturés historiquement)(Figure 13). L'étude des 14 individus capturés montre que ce *Rhinolophe* émet en moyenne à  $34.41 \pm 2.33$  kHz. Cette fréquence est extrêmement basse comparée aux autres *Rhinolophes* et plusieurs hypothèses peuvent être émises à ce sujet. Ces *Rhinolophes*, par la taille d'avant-bras qu'ils présentent, s'avèrent en moyenne plus grands que les autres espèces du genre avec un avant bras d'en moyenne  $59.89 \pm 1.71$  mm pour les femelles et  $58.04 \pm 1.22$  mm pour les mâles. La fréquence d'émission ultrasonore d'une espèce peut être liée à sa taille et on constate que plus une espèce est grosse, plus elle émet à des fréquences basses (Heller & Helverson, 1989 ; Barataud, 2012). Cette observation concorde avec l'hypothèse avancée par Jakob Fahr en 2002 selon laquelle "la forme du cri d'écholocation est probablement FM/CF/FM (comme chez les autres *Rhinolophus*) et, compte tenu de la taille relativement grande de cette chauve-souris, la fréquence CF est probablement plutôt faible pour un *Rhinolophus*." (Van Cakenberghe & Seamark, 2023). Une deuxième hypothèse peut être émise en lien avec une utilisation de l'habitat nécessitant des fréquences d'émission plus basses pour se repérer. Heller & Helversen (1989) suggèrent que les espèces des climats plus secs ont en moyenne des fréquences d'appel plus élevées que les espèces des forêts tropicales humides, à l'image de la Réserve Naturelle du Mont-Ziama. Néanmoins, les *Rhinolophes* faisant partie des rares chauves-souris utilisant l'effet Doppler pour se repérer, le lien entre leurs signaux acoustiques et leur écologie reste à parfaire. Le *Rhinolophe* de Ziama n'en demeure pas moins l'un des représentants de son genre émettant sur les fréquences les plus basses au monde.

L'étude du genre *Hipposideros* au travers des individus capturés du Maroc à la Guinée présente un intérêt dans l'apport de connaissances relatif à la taxonomie des représentants du genre. Un dissensus existe pour ce genre et notamment au sein du complexe "*bicolor*". Le recouvrement des valeurs étant plus important pour les longueurs d'avant-bras que les fréquences maximales d'émission, à l'image des *Rhinolophus*, l'étude acoustique a permis d'éclaircir les identifications spécifiques. Les individus identifiés comme *Hipposideros caffer* présentent des tailles d'avant-bras significativement inférieures aux individus *Hipposideros ruber* (Figure 15). Ce critère sert de base à la différenciation des deux espèces lorsqu'ils sont en sympatrie. Cependant, l'analyse des longueurs d'avant-bras ainsi que des signaux ultrasonores au sein des *Hipposideros ruber* a montré des différences significatives selon la localisation (Figure 14). En effet, les individus capturés en Guinée sont significativement plus grands et émettent à des fréquences plus basses que ceux capturés au Sénégal. Ce résultat peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Dans un premier temps, il est possible que les individus identifiés comme *H. ruber* appartiennent à différentes sous-espèces, clades ou simplement qu'ils émettent différemment selon les latitudes. Patterson *et al.* (2020) suggèrent l'existence de nombreux clades au sein des espèces du genre *Hipposideros* sur des critères génétiques. Les critères acoustiques mesurés dans cette étude pourraient aider à préciser des clades et la définition d'une potentielle sous-espèce selon la latitude. Une deuxième explication suggère que les *H. ruber* capturés en Guinée pourraient être des *H. lamottei*. En effet, la fréquence d'émission étant sensiblement la même pour ces deux espèces, seules les tailles d'avant-bras se voient être légèrement supérieures chez *H. lamottei* ; peu d'individus ont été capturés et cette espèce classée en danger critique d'extinction est aujourd'hui trop peu connue. Koopman (1993), Simmons (2005) et Monadjem *et al.*, (2013) classent *H. lamottei* dans le groupe "*bicolor*", aux côtés d'*H. caffer* et *H. ruber*. Le fort pouvoir de dispersion des chiroptères lié au vol actif peut mener à la création de sous-espèces et clades par isolement géographiques. Ces complexes peuvent s'avérer difficiles à identifier autrement que génétiquement, à l'image des espèces du genre *Hipposideros*.

### *4.3 Biais et pistes d'amélioration*

Des inventaires spécifiques méritent d'être menés en plus grand nombre et à une échelle spatiale plus étendue sur le territoire ouest-africain. Le caractère itinérant de cette étude s'est avéré limitant dans l'échantillonnage des aires protégées notamment. Ce choix méthodologique se veut être indicateur de l'état actuel des connaissances très lacunaires pour les chiroptères ouest-africains. La réalisation de travaux portés à l'échelle d'une aire protégée dans son ensemble pourrait aider à quantifier plus précisément les richesses spécifiques selon les différents habitats du site. Cela aiderait par ailleurs à préciser les cartes d'estimations de richesses chiroptères de l'ACR (Figure 6), basées sur des variables environnementales de favorabilité de présence.

L'étude mériterait également d'être portée dans différents contextes temporels. En effet, la saison des pluies guinéenne peut jouer un rôle dans l'activité nocturne voire la présence des espèces de chauves-souris au sein du site. On retrouve des chauves-souris migratrices au sein des Pteropodidae qui sont frugivores et donc sous influence des saisons de fruitaison (Thomas, 1983).

Enfin, une étude concentrée à l'échelle des différents genres pourrait permettre de mieux apprécier les différences inter-spécifiques propres à chaque espèce (comportement, habitat, morphologie, acoustique, etc.). L'amélioration de la classification des chiroptères et notamment de certains genres fréquemment reclassés au fil des études génétiques pourrait aider ce travail à plus large échelle taxonomique.

### *4.4 Perspectives de l'étude et orientation pour les aires protégées*

L'intégration des résultats de l'étude à l'African Chiroptera Report et la mise à jour de l'état des connaissances des bases de données pour les aires protégées doit être un levier à la mise en place d'études pérennes et de politiques de conservation appliquée des chiroptères.

Le renforcement de capacité des agents au cours des 3 mois de terrain pour l'étude des chiroptères, notamment par l'acoustique, pourrait permettre un réel inventaire des espèces de l'aire protégée et le suivi pérenne par pose d'enregistreurs acoustiques passifs. Ces enregistreurs fonctionnent à l'image de pièges photographiques, très utilisés pour le suivi des grands mammifères. Les données acoustiques des genres *Rhinolophus* et *Hipposideros* pouvant être identifiées plus facilement, ce travail constituerait une première approche vers l'étude aujourd'hui inexistante de ce taxon par les agents. De plus, la démocratisation de l'étude acoustique par un matériel à des prix abordables grâce aux Teensy Records constitue un budget accessible pour les aires protégées. La pose de pièges photographiques a permis la découverte du retour de l'éléphant de savane d'Afrique au sein du Parc National du Niokolo-Koba ; l'étude des chiroptères par l'acoustique pourrait elle aussi mettre en lumière des espèces dont la répartition reste à l'heure actuelle basée sur des données d'études très ponctuelles.

Outre l'amélioration des connaissances spécifiques, la préservation des populations connues au sein des aires protégées se doit d'être une priorité pour ce taxon soumis à de multiples pressions anthropiques. Les patrouilles anti-braconnage permettent de limiter la chasse et l'utilisation des chauves-souris comme viande de brousse et pour le maraboutage. Les colonies de chauves-souris étant très sensibles aux gîtes qu'elles occupent, la préservation des arbres, bâtiments, cavités ou grottes occupées est essentielle au maintien des populations au sein des aires protégées.



## *Bibliographie*

1. **Adam, F., Hubert, B.** (1972). Chiroptères nouveaux pour le Sénégal. *Mammalia*, 36 (1), p. 59-70.
2. **Altringham, J.D.** (2011). *Bats : From Evolution to Conservation* (2).
3. **Aulagnier, S., Destre, R.** (1985). "Introduction à l'étude des Chiroptères du Tafilalet (sud-est marocain)" *Mammalia*, vol. 49, no. 3, 1985, pp. 329-338.
4. **Aulagnier, S., Cuzin F., Thénevot, M.** (2017). *Mammifères sauvages du Maroc - Peuplement, Répartition, Écologie*. Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères.
5. **Alves, D., Diniz-Filho, J.A., Souza, K., Gouveia, S., Villalobos, F.** (2017). Geographic variation in the relationship between large-scale environmental determinants and bat species richness. *Basic and Applied Ecology*. 27.
6. **Bakwo Fils, E.M., Flanders, J., Frick, W.F, Simmons, N.** (2022). *Myotis nimbaensis*. La Liste rouge de l'UICN des espèces menacées 2022 : e.T216617275A216617367.
7. **Barataud, M.** (2012). *Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe. Identification des espèces, études de leurs habitats et comportements de chasse*. Biotope, Mèze ; Muséum national d'histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 344 p.
8. **Bernard, E., Brock, F.M.** (2002). Species diversity of bats (Mammalia: Chiroptera) in forest fragments, primary forests, and savannas in central Amazonia, Brazil. *Canadian Journal of Zoology*. 80(6): 1124-1140.
9. **Boyles, J., Cryan, P., McCracken, G., Kunz, T.** (2011). *Economic Importance of Bats in Agriculture*. Science (New York, N.Y.). 332. 41-2.
10. **Burgin, C.J., Wilson, D.E., Mittermeier, R.A., Rylands, A.B., Lachter, T.E., Sechrest, W.** (2020). *Illustrated Mammals of the World. Volume 2: Eulipotyphla to Carnivora*. Lynx Editions, Barcelona.
11. **Chenaval, N., Lelant, V.** (2011). Bilan d'une étude chiroptérologique dans trois pays d'Afrique de l'Ouest (Mali, Mauritanie, Sénégal) de novembre 2010 à février 2011.
12. **Cooper-Bohannon, R., Monadjem, A.** (2020). *Rhinolophus zima*. Liste rouge des espèces menacées de l'UICN 2020 : e.T44786A22068674.
13. **Dalhousi, R., Aissa, P., Aulagnier, S.** (2011). "Taxonomie et répartition des chiroptères de Tunisie." *Revue suisse de zoologie* 118, 265–292. Dietz, C., Kiefer, A., 2015. *Chauves-souris d'Europe. Connaître, identifier, protéger*, Delachaux et Niestlé. ed, Guide Delachaux.
14. **Decher, J., Norris, R., Fahr, J.** (2010). Small mammal survey in the upper Seli River valley, Sierra Leone. *Mammalia*. 74. 163-176.
15. **Denys, C., Kadjo, B., Missouf, A.D., Monadjem, A., Aniskine, V.** (2013). New records of bats (Mammalia: Chiroptera) and karyotypes from Guinean Mount Nimba (West Africa), *Italian Journal of Zoology*, 80:2, 279-290.
16. **Dietz, C., Kiefer, A.** (2015). *Chauves-souris d'Europe. Connaître, déterminer, protéger*. Delachaux et Niestlé, Paris.
17. **Disca, T., Allegrini, B., Prié, V.** (2014). Caractéristiques acoustiques des cris d'écholocation de 16 espèces de chiroptères (Mammalia, Chiroptera) du Maroc. *Le Vespère*.
18. **Esbérard, C., Bergallo, H.D.** (2005). Research on bats in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. *Mastozoología Neotropical*. 12.
19. **Fahr, J.** (2013). *Rhinolophus zima* Zima horseshoe bat. In: *African Chiroptera Report* (2023).
20. **Ferreira, D., Jarrett, C., Patrick, A., Powell, L., Rebelo, H.** (2021). Are bat mist nets ideal for capturing bats ? From ultrathin to bird nets, a field test. *Journal of Mammalogy*. 102.
21. **Festa, F., Ancillotto, L., Santini, L., Pacifici, M., Rocha, R., Toshkova, N., Amorim, F., Benítez-López, A., Dómer, A., Hamidović, D., Kramer-Schadt, S., Mathews, F., Radchuk, V., Rebelo, H., Ruczyński, I., Solem, E., Tsoar, A., Russo, D. Razgour, O.** (2023). Bat responses to climate change: a systematic review. *Biol Rev*, 98: 19-33.
22. **Findley, J.S., Wilson, D.E.** (1982). Importance écologique de la morphologie des chiroptères. Dans : Kunz, TH (éd.) *Écologie des chauves-souris*. Springer, Boston, MA.
23. **Frick, W.F., Kingston, T. and Flanders, J.** (2020), A review of the major threats and challenges to global bat conservation. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1469: 5-25.
24. **Geda, M., Balakrishnan, M.** (2013). *Ecological and Economic Importance of Bats (Order Chiroptera)*. ISRN Biodiversity. 2013. 1-9.

25. **Hassanin, A., Nesi, N., Marin, J., Kadjo, B., Pourrut, X., Leroy, E., Gembu, G.C., Musaba Akawa, P., Ngoagouni, C., Nakouné, E., Ruedi, M., Tshikung, D., Pongombo Shongo, C., Bonillo, C.** (2016). Comparative phylogeography of African fruit bats (Chiroptera, Pteropodidae) provide new insights into the outbreak of Ebola virus disease in West Africa, 2014–2016. *Comptes Rendus Biologies*, Volume 339, Issues 11–12, pp 517-528.
26. **Hayman, R.W., Hill, J.E.** (1971). Order Chiroptera.
27. **Heller, K.G., Helversen, O.V.** (1989). Répartition des ressources des bandes de fréquences sonar chez les chauves-souris rhinolophoïdes. *Oecologia* 80 , 178–186.
28. **Herkt, K.M.B., Barnikel, G., Skidmore, A.K., Fahr, J.** (2016). A high-resolution model of bat diversity and endemism for continental Africa. *Ecological Modelling*, Volume 320, Pages 9-28.
29. **Ibáñez, C., Juste, J., García-Mudarra, J.L., Agirre-Mendi, P.T.** (2001). Bat predation on nocturnally migrating birds. *Proc Natl Acad Sci U S A*. Aug 14;98(17):9700-2.
30. **Keita, N., Sergueï, Y., Sangare, M., Hady Toure, A., Dore, R., Alpha Balde, M.** (2023). Inventaire préliminaire des Chiroptères réservoirs des infections en République de Guinée : Boké, Conakry, Faranah, Mamou, Kindia et N'zérékoré. *Cameroon Journal of Experimental Biology - Vol. 17 No. 01*.
31. **Kingdon, J., Happold, M., Happold, D.** (2013). *Mammals of Africa : Volume IV - Hedgehogs, Shrews and Bats*.
32. **Koopman, K.R.** (1993): Chiroptera. - In: Wilson, D. E. & D. A. Reeder (Eds.): *Mammalspecies of the world: a taxonomic and geographic reference*. - Smithsonian Institution Press, Washington & London: 137-241.
33. **Leroy, E., Pourrut, X., Gonzalez, J.P.** (2006). Les chauves-souris, réservoirs du virus Ebola : Le mystère se dissipe. *Med Sci (Paris)* 22 (1) 78-80.
34. **Lieron, V., Poulouin, E., Amezian, M., Qninba, A., Thévenot, M.** (2008). Inventaire des Chiroptères de l'arrière-pays du port Tanger-Méditerranée (Nord-Ouest du Maroc). *Bull. Inst. Sci., Rabat, section Sciences de la Vie*. 30. 53-54.
35. **Mickleburgh, S.P., Hutson A.M., Racey, P.A.** (2002). A review of the global conservation status of bats. *Oryx* ;36(1):18-34.
36. **Monadjem, A., Richards, L., Taylor, P., Denys, C., Dower, A., Stoffberg, S.** (2014). Diversity of Hipposideridae in the Mount Nimba massif, West Africa, and the Taxonomic Status of *Hipposideros lamottei*. *Acta Chiropterologica*. 15.
37. **Monadjem, A.** (2017). *Neoromicia roseveari*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T67359375A67359379.
38. **Monadjem, A., Cooper-Bohannon, R.** (2020). *Hipposideros lamottei*. Liste rouge des espèces menacées de l'IUCN 2020 : e.T10141A22091938.
39. **Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Da Fonseca, G.A.B., Kent, J.** (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858.
40. **Olson, D., Dinerstein, E., Wikramanayake, E., Burgess, N., Powell, G., Underwood, E., D'amico, J., Itoua, I., Strand, H., Morrison, J., Loucks, C., Allnutt, T., Ricketts, T., Kura, Y., Lamoreux, J., Wettengel, W., Hedao, P., Kassem, Kenneth.** (2001). *Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth*. *BioScience*. 51. 933-938.
41. **Patterson, B.D., Webala, P.W., Lavery, T.H., Agwanda, B.R., Goodman, S.M., Peterhans, J.C.K., Demos, T.C.** (2020). Evolutionary relationships and population genetics of the Afrotropical leaf-nosed bats (Chiroptera, Hipposideridae). *ZooKeys*, 929, 117–161.
42. **Poulet, A.R.** (1970). "Les Rhinopomatidae de Mauritanie" *Mammalia*, vol. 34, no. 2, 1970, pp. 237-243.
43. **Prié, V., Allegrini, B., Haquart, A., Disca, T., Rufray, V.** (2010). Expédition Win-Timdouine 2008, Rapport intermédiaire, Module Chiroptères.
44. **Puechmaille, J., Dool, S., Beuneux, G., Ruedi, M.** (2023). "Newly described and already endangered: a new mammal species endemic to Corsica," *Revue suisse de Zoologie*, 130(2), 335-351.
45. **Racey, P. A., Entwistle, A. C.** (2003). *Conservation Ecology*. In: *Bat Ecology* (eds. Kunz, T. H.; Fenton, M. B.), Plenum, New York (pp. 680-743).
46. **Ramírez-Francel, L.A., García-Herrera, L.V., Losada-Prado, S., Reinoso-Flórez, G., Sánchez-Hernández, A., Estrada-Villegas, S., Lim, B.K., Guevara, G.** (2022). Bats and their vital ecosystem services: A global review. *Integrative Zoology*, 17(1), 2–23.
47. **Rodhain, F.** (2014). Chauves-souris et virus: quelles relations? Quelles conséquences?. *Bulletin de l'Académie nationale de médecine*, 198(7), 1423–1436.

48. **Russo, D., Salinas-Ramos, V.B., Cistrone, L., Smeraldo, S., Bosso, L., Ancillotto, L.** (2021). Do We Need to Use Bats as Bioindicators? *Biology* ; 10(8):693.
49. **Simmons, N.** (2005). Order Chiroptera. Pp. 312–529, in *Mammal species of the World: a taxonomic and geographic reference*, 3rd edition (D. E. WILSON, and D. M. REEDER, eds.). The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2142 pp.
50. **Shapiro, J., Cooper-Bohannon, R., Fahr, J.** (2019). *Rhinolophus maclaudi*. Liste rouge des espèces menacées de l'UICN 2019 : e.T19549A21978925.
51. **Shapiro, J., Cooper-Bohannon, R.** (2020). *Rhinolophus guineensis*. Liste rouge des espèces menacées de l'UICN 2020 : e.T19542A21980043.
52. **Simmons, N.B., Flanders, J., Bakwo Fils, E.M., Parker, G., Suter, J.D., Bamba, S., Douno, M., Kobele Keita, M., Morales, A.E., Frick, W.F.** (2021) "A New Dichromatic Species of *Myotis* (Chiroptera: Vespertilionidae) from the Nimba Mountains, Guinea," *American Museum Novitates*, 2020 (3963), 1-40, (13 January 2021).
53. **Strinati, P.** (1951). "Note sur les chauves-souris du Maroc". *Mammalia*, vol. 15, no. 1, 1951, pp. 23-31.
54. **Teeling, A.C.** (2009). Bats (Chiroptera). In *Timetree of Life*. pp.499-503.
55. **Thomas, R.W.** (1983). The annual migrations of three species of West African fruit bats (Chiroptera: Pteropodidae). *Canadian Journal of Zoology*. 61(10): 2266-2272.
56. **Van Cakenberghe, V., Seamark, E.** (2024). *African Chiroptera Report 2023 (Complete Report)*.
57. **Wright, H.E., J. McCullough, L.E. Alonso, M.S. Diallo (eds.).** (2006). *A Rapid Biological Assessment of three Classified Forests in Southeastern Guinea*. RAP Bulletin of Biological Assessment 40. Conservation International, Washington, DC.
58. **Zachos, Frank.** (2020). D. E. Wilson and R. A. Mittermeier (chief editors): *Handbook of the Mammals of the World*. Vol. 9. Bats.: Lynx Edicions, Barcelona (2019). 1008 pp., 74 colour plates, 404 colour photographs, 1422 distribution maps. Hardback. €160, ISBN: 978–84-16,728–19-0. *Mammalian Biology*.

## Annexes

### Annexe 1 : Code et position des sites d'études prospectés.

CODE	SITE	Coordonnées GPS
SM	Parc National de Souss-Massa	30.061, -9.661
HA	Haut-Atlas	30.591, -9.515
SI	Tidergit	28.474, -10.873
BA	Parc National du Banc d'Arguin	20.124, -16.257
TG	Oasis de Tergit	20.236, -13.003
DW	Parc National du Diawling	16.303, -16.402
PL	Réserve Naturelle Communautaire de Palmarin	13.997, -16.762
KN	Aire Marine Protégée de Nyamone Kalounayes	12.741, -16.041
BD	Réserve Naturelle Communautaire du Boundou	13.832, -12.181
KB	Parc National du Niokolo-Koba	13.024, -13.298
HN	Parc National du Haut-Niger	10.477, -10.443
MZ	Réserve Naturelle du Mont-Ziama	8.389, -9.292

### Annexe 2 : Tableau bilan des individus et espèces de chiroptères capturés par site

	MAROC			MAURITANIE			SÉNÉGAL				GUINÉE		TOTAL
	SM	HA	SI	BA	TG	DW	PL	KN	BD	KB	HN	MZ	
<b>PTEROPODIDAE</b>													
<i>E.gambianus</i>							1	8			2		11
<i>E.pusillus</i>								2			16		18
<i>E.buettikoferi</i>											2		2
<i>M.angolensis</i>								1			7	5	13
<i>M.leptodon</i>											2	1	3
<i>R.aegyptiacus</i>											2		2
<i>S.occidentalis</i>												2	2
<b>HIPPOSIDERIDAE</b>													
<i>A.tridens</i>				2									2
<i>D.cyclops</i>								1					1
<i>H.abae</i>											3		3
<i>H.caffer</i>	14				1		7			1			23
<i>H.jonesi</i>												1	1
<i>H.ruber</i>							1		30	2		5	38
<i>M.gigas</i>								1					1
<b>RHINOPHIDAE</b>													
<i>R.alcyone</i>								1					1
<i>R.blasi</i>		2											2
<i>R.euryale</i>		2											2
<i>R.ferrumequinum</i>	1	5											6
<i>R.fumigatus</i>							13						13
<i>R.guineensis</i>												3	3
<i>R.landeri</i>											2		2
<i>R.ziama</i>												14	14
<b>RHINOPOMATIDAE</b>													
<i>R.cystops</i>			18		3								21
<b>EMBALLONURIDAE</b>													
<i>T.perforatus</i>					1	2							3
<b>NYCTERIDAE</b>													
<i>N.hispida</i>							1						1
<i>N.macrotis</i>								1	2	1			4
<i>N.thebaica</i>	1						7	1					9
<b>MOLOSSIDAE</b>													
<i>M.nigeriae</i>									5				5
<i>M.pumilus</i>								1		1			2
<i>M.condylurus</i>						17		24	1				42
<i>T.aegyptiaca</i>					2								2
<b>MINIOPTERIDAE</b>													
<i>M.schreibersii</i>		2											2
<b>VESPERTILIONIDAE</b>													
<i>M.emarginatus</i>		1											1
<i>S.dinganii</i>						5							5
<i>S.leucogaster</i>								1	16		1		18
<i>S.nigritellus</i>											1		1
<i>C.isabellinus</i>	1	3	9										13
<i>P.kuhlii</i>	5												5
<i>S.hirundo</i>								1					1
<i>V.rueppellii</i>	3												3
<i>N.guineensis</i>							3	6	12	3			24
<i>N.somalica</i>								1					1
<i>N.schlieffenii</i>								1	4				5
<i>P.rendalli</i>					1				2				3
<i>A.nanus</i>										2	3		5
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>27</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>33</b>	<b>51</b>	<b>72</b>	<b>10</b>	<b>41</b>	<b>31</b>	<b>339</b>