



## Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/>  
Eprints ID : 17305

**To cite this version :**

Ravon, Sébastien. *Suivi GPS de Pteropus Lylei à l'interface chauves-souris humains : intérêt pour la conservation et l'étude du risque d'émergence du virus Nipah au Cambodge*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2016, 72 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: [staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr](mailto:staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr)

# **SUIVI GPS DE *PTEROPUS LYLEI* A L'INTERFACE CHAUVES-SOURIS HOMME, INTERET POUR LA CONSERVATION ET L'ETUDE DU RISQUE D'EMERGENCE DU VIRUS NIPAH AU CAMBODGE**

---

THESE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement  
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

*par*

**RAVON Sébastien**

Né, le 20 avril 1989 à Saint-Georges-de-Didonne (17)

---

**Directeur de thèse : Mme Mathilde PAUL**

---

## **JURY**

PRESIDENT :

**M. Christophe PASQUIER**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

**Mme Mathilde PAUL**

**M. Stéphane BERTAGNOLI**

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

CETTE ÉTUDE A ÉTÉ RÉALISÉE AVEC LE SOUTIEN FINANCIER DE FVI (FRANCE  
VÉTÉRINAIRE INTERNATIONAL) ET LA FONDATION PIERRE LEDOUX JEUNESSE  
INTERNATIONALE EN COLLABORATION AVEC LA DIRECTION  
INTERNATIONALE DE L'INSTITUT PASTEUR.



*Répartition des Enseignants-Chercheurs par Département.*

Mise à jour : 06/09/2016

**DIRECTRICE : ISABELLE CHMITELIN**

ELEVAGE ET PRODUITS/SANTÉ PUBLIQUE VÉTÉRINAIRE	SCIENCES BIOLOGIQUES ET FONCTIONNELLES	SCIENCES CLINIQUES DES ANIMAUX DE COMPAGNIE, DE SPORT ET DE LOISIRS
<p><b>Responsable : M. SANS</b></p> <p><u>ALIMENTATION ANIMALE :</u> M. ENJALBERT Francis, PR Mme PRIYMENKO Nathalie, MC Mme MEYNADIER Annabelle, MC</p> <p><u>EPIDEMIOLOGIE :</u> Mathilde PAUL, MC</p> <p><u>MALADIES RÉGLEMENTÉES-ZOONOSES- MÉDECINE PRÉVENTIVE DES CARNIVORES DOMESTIQUES-DROIT VÉTÉRINAIRE :</u> M. PICAUVET Dominique, PR</p> <p><u>PARASITOLOGIE-ZOOLOGIE :</u> M. FRANC Michel, PR M. JACQUIET Philippe, PR M. LIENARD Emmanuel, MC Mme BOUHSIRA Emilie, MC</p> <p><u>HYGIÈNE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS :</u> M. BRUGÈRE Hubert, PR M. BAILLY Jean-Denis, PR Mme BIBBAL Delphine, MC Mme COSTES Laura, AERC Mme DAVID Laure, MCC</p> <p><u>PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION :</u> M. BERTHELOT Xavier, PR M. BERGONIER Dominique, MC Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, PR Mme HAGEN-PICARD Nicole, PR M. NOUVEL Laurent-Xavier, MC Mme MILA Hanna, MC</p> <p><u>PATHOLOGIE DES RUMINANTS :</u> M. SCHELCHER François, PR M. FOUCRAS Gilles, PR M. CORBIÈRE Fabien, MC M. MAILLARD Renaud, MC M. MEYER Gilles, PR</p> <p><u>PRODUCTION ET PATHOLOGIE AVIAIRE ET PORCINE :</u> Mme WARET-SZKUTA Agnès, MC M. JOUGLAR Jean-Yves, MC M. GUERIN Jean-Luc, PR M. LE LOC'H Guillaume, MC</p> <p><u>PRODUCTIONS ANIMALES AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE ÉCONOMIE :</u> M. DUCOS Alain, PR M. SANS Pierre, PR M. RABOISSON Didier, MC</p>	<p><b>Responsable : Mme GAYRARD</b></p> <p><u>ANATOMIE :</u> M. MOGICATO Giovanni, MC M. LIGNEREUX Yves, PR Mme DEVIERS Alexandra, MC</p> <p><u>ANATOMIE PATHOLOGIQUE - HISTOLOGIE :</u> M. DELVERDIER Maxence, PR Mme LETRON-RAYMOND Isabelle, MC Mme BOURGES-ABELLA Nathalie, PR Mme LACROUX Caroline, PR</p> <p><u>BIOLOGIE MOLECULAIRE :</u> Mme BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle, MC</p> <p><u>MICROBIOLOGIE – IMMUNOLOGIE - MALADIES INFECTIEUSES :</u> M. MILON Alain, PR M. BERTAGNOLI Stéphane, PR M. VOLMER Romain, MC Mme BOULLIER Séverine, MC Mme DANIELS Hélène, MC</p> <p><u>BIOSTATISTIQUES :</u> M. CONCORDET Didier, PR M. LYAZRHI Faouzi, MC</p> <p><u>PHARMACIE-TOXICOLOGIE :</u> M. PETIT Claude, PR Mme CLAUW Martine, PR M. GUERRE Philippe, PR M. JAEG Philippe, MC</p> <p><u>PHYSIOLOGIE –PHARMACOLOGIE THERAPEUTIQUE :</u> M. BOUSQUET-MELOU Alain, PR Mme GAYRARD-TROY Véronique, PR Mme FERRAN Aude, MC M. LEFEBVRE Hervé, PR</p> <p><u>BIOCHIMIE :</u> Mme BENNIS-BRET Lydie, MC</p> <p><u>ANGLAIS :</u> M. SEVERAC Benoît, PLPA Mme MICHAUD Françoise, PCEA</p>	<p><b>Responsable : Mme CADIERGUES</b></p> <p><u>ANESTHESIOLOGIE</u> M. VERWAERDE Patrick, MC</p> <p><u>CHIRURGIE :</u> M. AUTEFAGE André, PR M. ASIMUS Erik, MC M. MATHON Didier, MC Mme MEYNAUD-COLLARD Patricia, MC Mme PALIERNE Sophie, MC</p> <p><u>MÉDECINE INTERNE :</u> Mme DIQUELOU Armelle, MC M. DOSSIN Olivier, MC Mme LAVOUE Rachel, MC Mme GAILLARD-THOMAS Elodie, MCC</p> <p><u>OPHTALMOLOGIE :</u> M. DOUET Jean-Yves, MC</p> <p><u>DERMATOLOGIE :</u> Mme CADIERGUES Marie-Christine, PR</p> <p><u>IMAGERIE MÉDICALE</u> M. CONCHOU Fabrice, MC</p> <p><u>BIOLOGIE MOLECULAIRE :</u> Mme TRUMEL Catherine, PR</p> <p><u>PATHOLOGIE DES ÉQUIDES :</u> M. CUEVAS RAMOS Gabriel, MC Mme PRADIER Sophie, MC Mme LALLEMAND Elodie, AERC</p>



## REMERCIEMENTS

### **A Monsieur le Professeur Christophe Pasquier**

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier

*Virologie*

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Hommages respectueux.

### **A Madame le Docteur Mathilde Paul**

Maitre de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

*Epidémiologie*

Qui nous a fait l'honneur de diriger cette thèse.

Très sincères remerciements.

### **A Monsieur le Professeur Stéphane Bertagnoli**

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

*Pathologie infectieuse*

Pour nous avoir fait l'honneur de participer à notre jury de thèse.

Très sincères remerciements.

\*\*\*

### **A Monsieur le Docteur Julien Cappelle**

CIRAD Département ES, UPR AGIRS, Institut Pasteur du Cambodge, Phnom Penh,  
Cambodge

*Ecologie de la santé, épidémiologie*

Qui m'a fait l'honneur de m'encadrer pour cette étude au Cambodge.

Très sincères remerciements.



---

## TABLE DES MATIÈRES

---

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>9</b>
<b>I – CONTEXTE</b> .....	<b>11</b>
1 – ETAT DE L’ART.....	11
2 – CONTEXTE INSTITUTIONNEL.....	18
3 – OBJECTIFS DE L’ETUDE.....	19
<b>II – MATERIELS ET METHODES</b> .....	<b>21</b>
1 - BIOLOGIE ET ECOLOGIE DES ROUSSETTES AU CAMBODGE .....	21
2 - ZONE D’ETUDE.....	23
3 - SUIVI DES CHAUVES-SOURIS PAR GPS.....	23
<i>A - Protocole de pose des colliers</i> .....	26
<i>B - Caractéristiques des balises et téléchargement des données</i> .....	26
4 - ENQUETES DE TERRAIN : CARACTERISATION DES HABITATS .....	28
5 - ENQUETES DE TERRAIN : IDENTIFICATION DES ZONES ET PRATIQUES A RISQUE.....	28
6 - REALISATION DES CARTES.....	28
7 - ANALYSE DES DONNEES.....	30
8 - MODELE DE DISTRIBUTION D’ESPECES .....	30
<b>III – RESULTATS</b> .....	<b>35</b>
1 - FONCTIONNEMENT DES COLLIERS .....	35
2 - TRAJECTOIRES ET ZONES DE RECHERCHE DE NOURRITURE.....	36
3 - ENQUETES DE TERRAIN : CARACTERISATION DES HABITATS .....	41
4 - ENQUETES DE TERRAIN : IDENTIFICATION DES ZONES A RISQUE .....	43
<i>A - Analyse qualitative</i> .....	43
<i>B - Analyse quantitative</i> .....	46
5 - MODELE DE DISTRIBUTION D’ESPECE .....	49
<b>IV – DISCUSSION</b> .....	<b>51</b>
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>61</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>69</b>
ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE DES ENQUETES DE TERRAIN.....	69



## Table des illustrations

### Tableaux :

Tableau 1 : caractéristiques des 12 colonies de roussettes identifiées au Cambodge : .....	17
Tableau 2 : caractéristiques comparatives des balises Argos et GPS : .....	24
Tableau 3 : tableau de données correspondant à « glmdata » utilisé dans le modèle : .....	32
Tableau 4 : résumé des caractéristiques des chauves-souris capturées et des performances des balises GPS : ...	34
Tableau 5 : distances maximales parcourues par nuit par chauve-souris et proportion des sites de recherche de nourriture par type d'habitat : .....	35
Tableau 6: espèces trouvées aux coordonnées GPS précises et à proximité : .....	41
Tableau 7 : résultats des différents coefficients issus du GLM réalisé sous R : .....	48

### Figures :

Figure 1 : ensemble des processus concourant à l'émergence d'agents pathogènes zoonotiques : .....	12
Figure 2 : cycle de transmission du virus Nipah en Malaisie et Bengladesh : .....	16
Figure 3 : localisations et tailles relatives des 12 colonies de roussettes identifiées au Cambodge : .....	17
Figure 4 : Pteropus lylei (à gauche) et Pteropus vampyrus : .....	21
Figure 5 : Localisation du site pilote de Kandal (a) et des colonies connues de Ptéropidés au Cambodge (b) : ...	22
Figure 6 : les différentes étapes de pose des colliers de l'anesthésie jusqu'au relâcher : .....	25
Figure 7 : schéma du protocole de téléchargement des données depuis les colliers GPS jusqu'au bases : .....	27
Figure 8 : figure montrant l'ensemble des sites visités lors des enquêtes de terrain et les différents habitats choisis pour les analyses : .....	29
Figure 9 : carte des trajectoires de l'ensemble des chauves-souris au sein et en dehors de la zone d'étude : .....	36
Figure 10 : trajectoires individuelles de l'ensemble des roussettes : .....	37
Figure 11 : graphique représentant la proportion des localisations pour la recherche de nourriture en fonction du type d'habitat : .....	40
Figure 12 : deux situations de pratiques à risque identifiées dans la zone d'étude : .....	43
Figure 13 : sites identifiés à haut risque de transmission du virus, prioritaires pour réaliser des prélèvements pour l'étude de séroprévalence humaine : .....	44
Figure 14 : carte de chaleur de la distribution des roussettes de l'étude : .....	45
Figure 15 : Réaction des personnes si elles étaient mordues par des roussettes : .....	46
Figure 16 : réponse à la question : « Les chauves-souris peuvent-elles transmettre des maladies aux animaux ? » : .....	47
Figure 17 : réponse à la question : : « Les chauves-souris peuvent-elles transmettre des maladies aux humains ? » : .....	47
Figure 18 : carte représentant la probabilité de présence des roussettes dans la zone d'étude : .....	49

---

## INTRODUCTION

---

Les animaux sauvages constituent un réservoir important de maladies potentiellement zoonotiques et émergentes. L'étude de l'interface faune sauvage, environnement, Homme est alors primordiale pour estimer le risque de transmission d'agents pathogènes et mettre en place des mesures de lutte et de contrôle de ces maladies. L'étude des contacts, directs ou indirects via des habitats partagés, entre animaux sauvages et animaux domestiques ou l'Homme est particulièrement importante et peut bénéficier de la télémétrie.

Le virus Nipah (NiV) a émergé en Malaisie en 1998, conduisant à plus de 260 cas humains (dont plus d'une centaine de décès) et à l'abattage de plus d'un million de porcs pour arrêter l'épidémie (Chua 2000). Ce virus ré-émerge annuellement au mois de janvier au Bangladesh depuis 2001 et a conduit à plus de 200 cas humains dont plus de 135 décès (Luby et al. 2009). Deux voies de transmission ont été mises en évidence entre le réservoir, des chauves-souris frugivores de la famille des Pteropidés, et l'Homme : une transmission via des fruits contaminés donnés en alimentation à des porcs en Malaisie, et une transmission via du jus de palme contaminé bu directement par des personnes au Bangladesh (Clayton et al. 2012). Au Cambodge, l'évidence de la circulation du virus NiV chez les roussettes a préalablement été rapportée mais peu de données existent concernant l'épidémiologie du virus (Reynes et al. 2005). L'objectif de cette étude sera de décrire la distribution et les mouvements des *Pteropus lylei* capturées au site dortoir de la province de Kandal (Cambodge) via l'utilisation d'émetteurs GPS. Ces données permettront ainsi de caractériser l'habitat des *P. lylei* et par conséquent l'interface entre les chauves-souris et les activités humaines. D'importantes informations pour la conservation de ces espèces et pour l'estimation du risque de transmission d'agents pathogènes à l'interface homme-chauves-souris pourront ainsi être obtenues.

La première partie présente le contexte de cette étude. Les connaissances relatives aux traits de vie des chauves-souris en lien avec l'épidémiologie, et les outils adaptés pour suivre les roussettes avec pour objectif l'étude de la transmission du virus Nipah seront développés. Le contexte institutionnel permettra d'introduire les objectifs précis de cette étude. Les parties suivantes présenteront les matériels et méthodes employés dans cette étude, les résultats obtenus et la discussion.

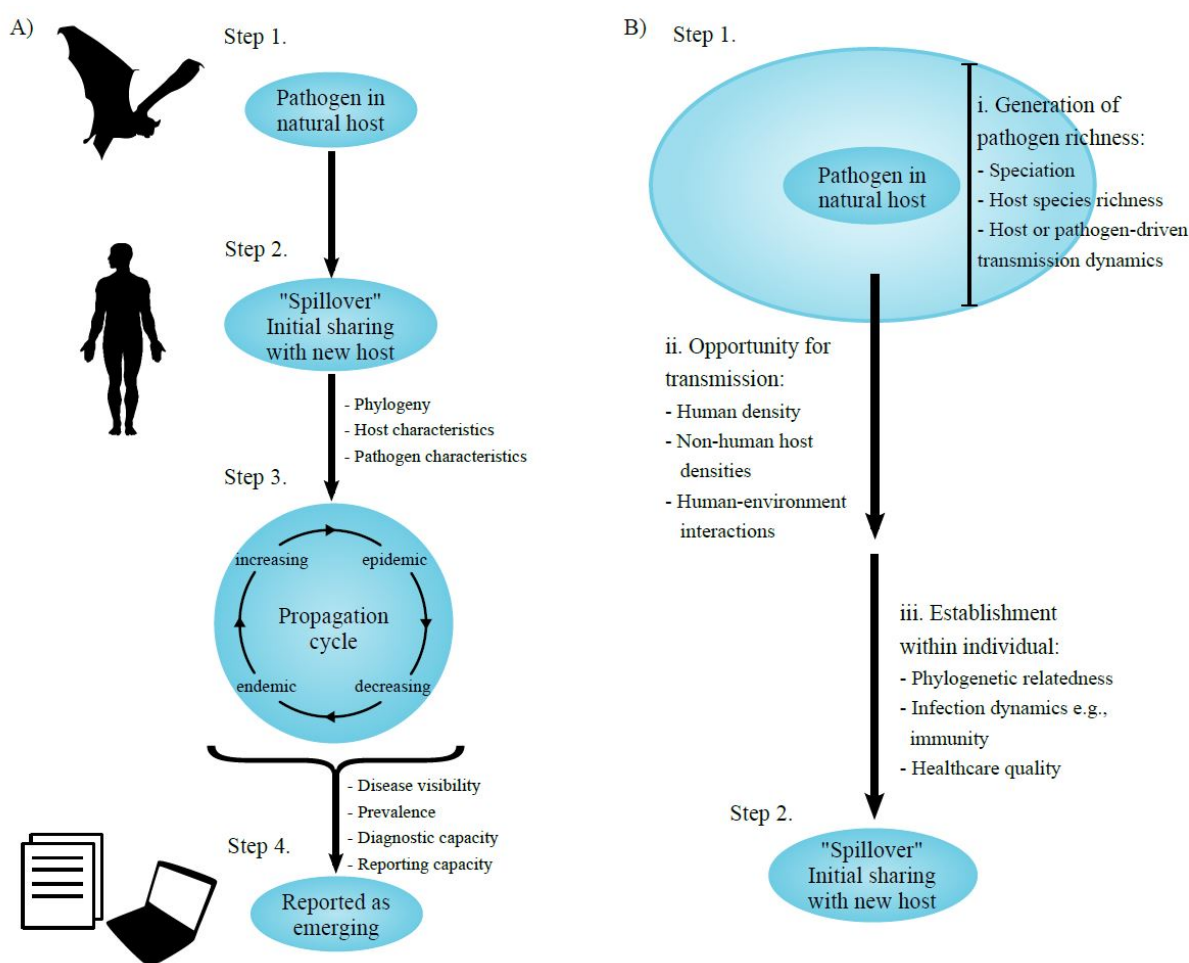


### 1 – Etat de l’art

La crise écologique caractérisée par une extinction massive de la biodiversité est aujourd’hui connue. Les facteurs anthropiques en constituent la principale cause : modification et destruction des habitats, intensification des modes d’élevage et de culture, mondialisation des échanges, changements climatiques, pollutions, usages massifs de molécules de lutte (pesticides, antibiotiques,...) (Chomel et al., 2007; Greger, 2007; Jones et al., 2013; Patz et al., 2000; Rogers and Randolph, 2006). L’Homme, au cœur de ces systèmes, est aussi tributaire de ces changements. De fait, on assiste aujourd’hui à une crise d’ordre sanitaire marquée par l’émergence ou la ré-émergence d’agents pathogènes, résultat, pour certains pathogènes, de l’augmentation des perturbations environnementales dues aux activités humaines (Lesaffre, 2008; GIEC, 2014; ONERC, 2007). Les zoonoses, maladies transmissibles de l’animal à l’homme et de l’homme à l’animal, provoquent la mort de 2,2 millions de personnes et la maladie de 2,4 milliards de personnes chaque année dans le monde (Grace et al., 2012). Elles représentent 60 % des maladies infectieuses humaines et 75 % des maladies émergentes (Grace et al., 2012; Taylor et al., 2001). Les approches « OneHealth » et « EcoHealth », proposant une compréhension globale du système santé animale, humaine et de l’environnement, tentent de fournir des réponses à ces problèmes.

Parmi ces maladies émergentes, une majorité provient d’animaux sauvages comme celles induites par les virus du syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS), de la fièvre West Nile, de la fièvre Ebola, et les Henipavirus (Jones et al., 2008). Pour tenter de lutter contre l’émergence de ces virus, l’identification des « réservoirs » est un pré-requis indispensable. On entend par réservoir une population dans laquelle un pathogène peut se maintenir durablement (Haydon et al., 2002). La plupart du temps, « l’espèce réservoir » ne souffre pas de l’infection, suite à une longue co-évolution avec le pathogène. Les chauves-souris étaient d’ores et déjà bien connues pour véhiculer des maladies telles que la rage (Streicker et al., 2010) ou Ebola (Leroy et al., 2005), dont les flambées épidémiques sont foudroyantes mais demeurent peu fréquentes et circonscrites géographiquement. On les découvre maintenant comme des réservoirs potentiels d’une multitude d’infections qui touchent l’homme et les autres animaux dans le monde entier (Wood et al., 2012). Mais ces « spillovers » (atteinte accidentelle d’une espèce réceptive mais habituellement non touchée par un agent pathogène biologique donné) et l’émergence de maladies associées chez de nouveaux hôtes, incluant

l'homme, sont des processus complexes (Lloyd-Smith et al., 2009) (figure 1). Dans ce contexte, les activités humaines qui augmentent l'exposition aux chauves-souris peuvent accroître la probabilité qu'une infection soit transmise entre chauves-souris et hommes ou hôtes intermédiaires tels que les animaux domestiques. Comprendre l'écologie des réservoirs et ce qui caractérise l'interface homme-animal, c'est-à-dire identifier les zones de contacts, leurs fréquences et leurs modalités, est donc essentiel.



**Figure 1 : ensemble des processus concourant à l'émergence d'agents pathogènes zoonotiques (extrait de Liam Brierley et al, 2016).**

La structure de la population hôte et ses changements suivant la saison peuvent affecter la dynamique, la densité virale et la virulence de l'infection, affectant ainsi le risque de spillover (Boots et al., 2004; Turmelle et Olival, 2010). Pourtant peu d'études existent pour comprendre comment l'écologie de l'hôte peut influencer la dynamique d'une infection, en

particulier chez les chauves-souris (Hayman et al., 2013), dont l'écologie peut peser dans cette transmission d'agents pathogènes. En effet, ce groupe se distingue des autres mammifères de même taille, du fait de leur habilité au vol, leur structure sociale grégaire, une durée de vie élevée et une faible fécondité (Calisher et al., 2006). Leur grande mobilité via le vol favorise la dissémination d'agents infectieux avec un potentiel de dispersion rapide et dans de vastes zones. Les chauves-souris vivent trois fois plus longtemps que des mammifères avec des taux métaboliques similaires (Austad et Fischer, 1991). On conçoit alors qu'une longue durée d'infectivité, résultant d'une infection persistante associée à une grande longévité augmente fortement le rôle d'hôtes de maintenance de ces animaux (Rodhain, 2014). De par leur comportement social grégaire, des transmissions horizontales via les fèces, la salive ou l'urine ont lieu (George et al., 2011). Chez de nombreuses espèces, les accouplements et naissances entre chauves-souris sont synchronisés augmentant la taille de population et les taux de contact (Olival et Hayman, 2014). Cet afflux de jeunes sensibles pourrait ainsi être un élément central dans la dynamique de certaines infections favorisant un pic de virémie saisonnier (George et al., 2011). Toutefois les naissances saisonnières peuvent diminuer la probabilité que des pathogènes persistent dans une colonie mais peut conduire, d'après certains auteurs, à une augmentation de la période d'infection qui suit la naissance (Olival et Hayman, 2014)(Hayman, 2015). Ces traits de la bio-écologie des chauves-souris sont importants en termes épidémiologiques puisqu'ils participent à l'acquisition, le transport et la transmission de virus, mais peu de données existent quant à leur faculté de tolérance vis-à-vis de ces pathogènes leur conférant ainsi un rôle de réservoir. Deux hypothèses non exclusives peuvent être avancées. D'une part ce rôle de réservoir pourrait être le résultat d'une longue co-évolution des virus avec les chauves-souris (Wibbelt et al., 2010). D'autre part, la résistance aux maladies pourrait s'expliquer par des caractéristiques immunologiques particulières. Les mécanismes du système immunitaire des chauves-souris ne paraissent pas fondamentalement différents de ceux que l'on connaît chez les autres Mammifères mais le fonctionnement du système est particulier (Rodhain, 2014). Il semble notamment que leur immunité innée et les caractères de leur réponse en anticorps comportent d'une part des mécanismes de reconnaissance, d'autre part une régulation de la réplication et de la réponse antivirale évitant des réactions immunitaires extrêmes, conduisant ainsi au caractère asymptomatique des infections et à la persistance des virus (Rodhain, 2014). Selon certains auteurs, la réponse immune serait, chez ces animaux, étroitement liée aux variations de la température corporelle ; le vol, qui augmente la température quelques heures chaque jour, pourrait accroître l'efficacité de la réponse immunitaire (O'Shea et al., 2014). L'aptitude au vol serait alors un élément clé de l'adaptation des virus aux Chiroptères. À l'appui de cette

thèse, une équipe de chercheurs a remarqué, en séquençant le génome entier de deux espèces de Chiroptères asiatiques (l'une insectivore : *Myotis davidii*, l'autre frugivore : *Pteropus alecto*), des gènes particuliers, impliqués dans la détection et la réparation des dégâts provoqués sur l'ADN par les dérivés réactifs de l'oxygène produits par l'élévation considérable de l'activité métabolique durant le vol ; supprimant ou atténuant les effets nocifs de ces radicaux libres, ces gènes seraient également liés à la capacité de vol mais sans doute aussi au vieillissement, deux caractéristiques majeures des Chiroptères (Zhang et al., 2012).

De par ces particularités épidémiologiques, connaître les caractéristiques d'une population qui serait le réservoir d'agents pathogènes fournirait des détails précieux quant au risque de transmission des maladies à l'homme : préférences alimentaires des chauves-souris, taille de la population et évolution, saisonnalité de la reproduction, capacité de vol et zones de recherche de nourriture permettant ainsi de caractériser d'éventuelles zones d'interface avec l'homme. Si cette habilité au vol peut conférer à ce groupe de mammifères des caractéristiques épidémiologiques originales, cet attribut rend aussi difficile le suivi et l'étude de ces populations, mais les techniques de traçabilité des espèces ont fait des progrès considérables ces dernières années, notamment dans l'étude des déplacements des animaux.

Historiquement, l'étude détaillée des mouvements des chauves-souris était limitée, du fait de leurs déplacements sur de longues distances et de leur faible poids rendant difficile la pose d'un appareil pour les tracer. Certes le prix et le poids élevé des appareils de télémétrie constituaient un argument supplémentaire, mais l'utilisation de la télémétrie satellite, notamment via les balises ARGOS, s'est développée permettant la description des mouvements des chauves-souris à large échelle (Epstein et al., 2009; Richter and Cumming, 2008; Smith et al., 2011). Cette technique est idéale pour l'enregistrement de données sur une grande zone, mais elle n'est pas adaptée à l'étude détaillée des mouvements (précision d'environ 150m). La technologie GPS peut offrir cet avantage et son utilisation sur les chauves-souris est relativement récente (Tsoar et al., 2011). Cette approche est particulièrement attractive lorsque la recherche d'informations sur une période de temps courte est souhaitée (cas d'un pic virémique saisonnier par exemple) et lorsque le comportement et la biologie de l'espèce facilitent le nécessaire téléchargement des données depuis les balises GPS. Ceci peut être le cas avec certains Megachiroptères de la famille des *Pteropodidae* qui présentent un poids suffisant pour le port de balises et se regroupent en colonie la journée à un site dortoir connu.

Parmi les agents pathogènes cités précédemment, cette famille de chauves-souris est aujourd'hui connue pour être le réservoir de pathogènes, notamment les Henipavirus, qui

comprennent le virus Hendra et Nipah. La proximité phylogénétique du virus Nipah avec le virus Hendra, qui avait émergé en Australie en 1994, orienta les recherches du réservoir vers les Ptéropidés chez qui il fut détecté en Malaisie (Chua et al., 2000). Ce virus a émergé dans ce même pays en 1998, conduisant à plus de 260 cas humains (dont plus d'une centaine de décès) et à l'abattage de plus d'un million de porcs pour arrêter l'épidémie. Ce virus ré-émerge annuellement au mois de janvier au Bangladesh depuis 2001 et a conduit à plus de 200 cas humains dont plus de 135 décès. Le tableau clinique chez l'homme va de l'infection asymptomatique à un syndrome respiratoire aigu et à une encéphalite mortelle. D'autre part, il n'existe de vaccin ni pour l'homme ni pour l'animal et aucun traitement spécifique n'existe à ce jour, et la transmission interhumaine est possible (OMS, 2016). Des preuves de la circulation du virus chez les espèces de *Pteropus* ont depuis été apportées dans sept pays d'Asie du Sud-Est dont le Cambodge (Clayton et al., 2013). Deux échantillons d'urines collectés en 2000 dans un dortoir de *Pteropus lylei* aux alentours du village de Bay Damran, dans la province de Battambang, se sont révélés positifs (Reynes et al., 2005). Cependant, peu d'informations sont à ce jour disponible quant à la présence de NiV dans les populations de roussettes du Cambodge ainsi que celles relatives au risque de transmission du NiV des animaux domestiques aux humains dans ce pays. Nous savons néanmoins que le comportement alimentaire de ces chauves-souris frugivores a un impact direct sur les risques de transmission et d'émergence du virus Nipah. Le virus pouvant être excrété dans l'urine et la salive des chauves-souris, ces dernières peuvent contaminer des fruits ou d'autres productions agricoles (Chua et al., 2002). En 1999 en Malaisie, le virus fut probablement transmis via des fruits contaminés par des chauves-souris porteuses du virus et donnés à des porcs (Chua, 2003). Au Bangladesh, la transmission se fait directement à l'Homme via une contamination du jus de palme par les chauves-souris (Clayton et al., 2012) (figure 2). Une meilleure connaissance des espèces d'arbres fruitiers privilégiées par les *Pteropus sp*, notamment des espèces cultivées intensivement par l'homme, permettrait donc d'orienter les études sur les voies de transmission du virus à l'Homme ainsi que la mise en place de méthodes de prévention.



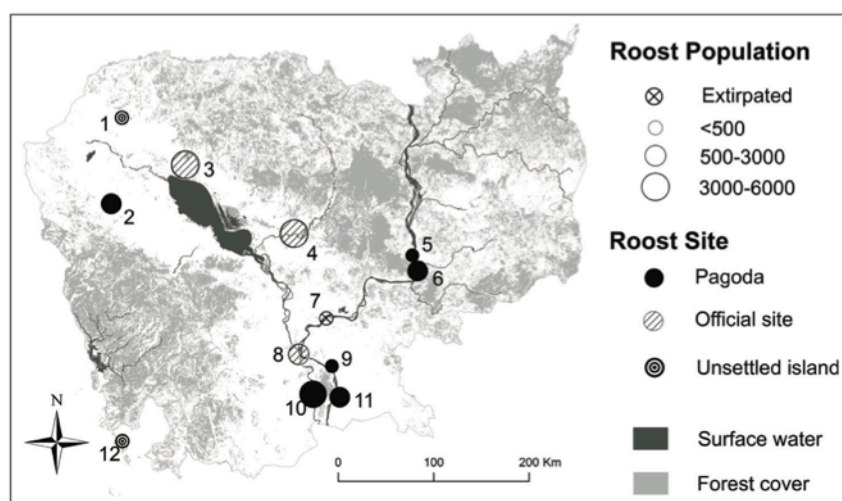


**Figure 2 : cycle de transmission du virus Nipah en Malaisie et Bangladesh, (extrait de Wit and Munster, 2015).** Les chauves-souris frugivores du genre *Pteropus* sont le réservoir naturel du virus Nipah. En Malaisie (à gauche), le virus Nipah était transmis via les chauves-souris se trouvant dans les arbres fruitiers aux abords des élevages aux porcs. Par la suite, le virus se transmettait des porcs aux humains par contact rapproché. Au Bangladesh (à droite), on pense que le virus Nipah a été transmis via la consommation de jus de palme frais. Lorsque le jus de palme est collecté, les chauves-souris boivent dans le récipient de collecte contaminant le jus avec du virus Nipah via la salive ou l'urine. Les personnes s'infectent en buvant le jus de palme contaminé. Par la suite, ces personnes peuvent transmettre le virus Nipah à d'autres personnes par contact rapproché.

Trois espèces de roussette ont été décrites au Cambodge (Francis and Barrett, 2008a) : *Pteropus vampyrus*, *P. Lylei* et l'espèce insulaire *P. hypomelanus*. Une première étude a permis de dresser la liste des différents sites dorts de ces espèces dans ce pays (Ravon et al., 2014) mais rien n'est connu sur le déplacement de ces espèces et les éventuelles zones d'interface chauves-souris/animaux domestiques/humains au Cambodge (tableau 1 et figure 3). Un suivi longitudinal de plusieurs populations de *Pteropus sp* en Thaïlande suggère une transmission saisonnière du virus Nipah chez ces chauves-souris, avec un pic de circulation du virus au mois de mai (Wacharapluesadee et al., 2010). Les premiers résultats du suivi d'une population de *P. lylei* au Cambodge débuté en Mars 2013 semblent confirmer cette circulation saisonnière du virus Nipah et montrent l'intérêt de cibler la période d'avril à juin pour l'étude de l'interface entre chauves-souris et activités humaines.

**Tableau 1 : caractéristiques des 12 colonies de roussettes identifiées au Cambodge (extrait de S.Ravon et al., 2014).** \* Site où la chasse de chauve-souris a été reportée ou observée; <sup>1</sup> DC = comptage direct, ND = comptage au moment de l’envol des chauves-souris, n/a = pas de données; <sup>2</sup> La valeur fournie est la plus élevée des deux méthodes de comptage, arrondie à la centaine du dessous.

#	Site Name (Province)	Latitude, Longitude	Census Date	Roost Environment	Census Methods <sup>1</sup>	Population Estimate <sup>2</sup>
1	Ang Trapeang Thmor (Banteay Meanchey)	13.804 N, 103.261 E.	14 Aug 2013	One roost tree on small island in reservoir.	DC	≈200
2	Wat Bay Dam Ram (Battambang)	12.993 N, 103.161 E.	23 Jun 2013	Pagoda. Three roost trees in site vicinity.	DC / ND	≈1,400
3	Royal Gardens * (Siem Reap)	13.363 N, 103.859 E.	10 Aug 2013	Official site. 14 roost trees in urban park.	DC / ND	≈5,000
4	Kampong Thom * (Kampong Thom)	12.714 N, 104.883 E.	8 Aug 2013	Official site. Three roost trees along roadside.	DC / ND	≈6,000
5	Koh Trong Island (Kratie)	12.507 N, 105.993 E.	26 Aug 2013	Pagoda. Two roost trees on site perimeter.	DC	≈200
6	Koh Chreng Island * (Kratie)	12.361 N, 106.044 E.	27 Aug 2013	Pagoda. 17 roost trees on site perimeter.	DC	≈900
7	Wat Srey Santaor * (Kampong Cham)	11.915 N, 105.183 E.	8 Aug 2013	Pagoda. Small forest on site perimeter.	n/a	Extirpated
8	Council for Development of Cambodia (Phnom Penh)	11.577 N, 104.924 E.	18 Oct 2013	Official site. One roost tree on site perimeter.	DC / ND	≈1,800
9	Wat Prek Chey Lech * (Kandal)	11.465 N, 105.235 E.	1 Aug 2013	Pagoda. Five roost trees on site perimeter.	DC / ND	≈500
10	Wat Pi Chey Sa Kor * (Kandal)	11.200 N, 105.058 E.	15 Jan 2014	Pagoda. 21 roost trees on site perimeter.	DC / ND	≈4,000
11	Wat Veal Lbang (Prey Veng)	11.173 N, 105.310 E.	17 Jan 2014	Pagoda. 12 roost trees in site vicinity.	DC	≈700
12	Koh Bong Island (Sihanoukville)	10.759 N, 103.265 E.	1 Feb 2014	Three roost trees in forest on small private island.	DC	≈200



**Figure 3 : localisations et tailles relatives des 12 colonies de roussettes identifiées au Cambodge (extrait de S.Ravon et al., 2014)**

Peu d'études ont été menées sur la distribution spatiale et la mobilité des espèces de *Pteropus* et leur capacité à propager le virus localement et régionalement (Smith et al., 2011). L'utilisation de la télémétrie satellitaire en Malaisie a permis de montrer que *Pteropus vampyrus* pouvait se déplacer sur des distances allant de plus de 300 km et ouvrir ainsi la voie à une diffusion régionale du virus (Epstein et al., 2009). A une échelle plus locale, l'utilisation de balises GPS aux Philippines a permis de s'intéresser au comportement alimentaire de *Acerodon jubatus* en zone de forêt tropicale (Jong et al., 2013). Une étude récente visant à caractériser les colonies de *Pteropus giganteus* au Bangladesh à partir de données de terrain pour modéliser les habitats potentiels des roussettes met en lien ces sites dorts et les foyers de Nipah pour expliquer la distribution spatiale de ces cas (Hahn et al., 2014). Néanmoins, à notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée en détail à l'utilisation des plantations d'arbres fruitiers par les espèces de Pteropus en Asie du Sud-Est et au risque associé de transmission du virus Nipah à l'homme.

Pour investiguer les potentielles voies de transmission du virus Nipah à l'Homme au Cambodge, et au vu des éléments précédents, l'utilisation de la télémétrie permettrait donc de fournir des méthodes adaptées à ce contexte. En effet, des sites dorts de roussettes sont connus, la preuve de la circulation du virus dans certaines de ces populations a été apportée, une circulation saisonnière du virus semble avoir lieu, leur taille rend possible la pose de balise et aucun cas humain n'a à ce jour été rapporté dans ce pays. Dans le même temps, des données précieuses quant à l'écologie des roussettes (préférences alimentaires, habitats fréquentés) pourraient être récoltées permettant de fournir des recommandations pour leur conservation.

## **2 – Contexte institutionnel**

Cette thèse résulte d'un stage qui s'inscrit dans le cadre du projet Télénipah (porteur : CIRAD, partenaire : IPC, financement : Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), date : 25/09/15-25/09/2018). Le projet Télénipah se focalise sur la dimension spatiale de la transmission du virus Nipah à l'interface chauves-souris/Hommes à travers l'utilisation de la télédétection et la télémétrie. La télé-épidémiologie consiste à surveiller et à étudier la propagation des maladies humaines et animales (transmises par l'eau, l'air et les vecteurs) fortement liées aux variations du climat et de l'environnement, en utilisant les techniques spatiales. Le projet Télénipah a pour objectif principal d'appliquer les techniques de cette discipline, en combinant des données issues de télédétection et des outils de télémétrie, à

l'étude de l'interface entre *P. lylei* et l'Homme pour fournir une estimation du risque d'émergence du virus Nipah au Cambodge. Le projet Télénipah complète le projet "Companion Approach for Cross-sectoral collaboration in health risks management in South East Asia" (ComAcross). Il est notamment prévu dans ce projet le renforcement des capacités diagnostiques au Cambodge et le développement d'un test sérologique adapté aux souches circulant dans la région. Les résultats du projet Télénipah permettront ainsi de cibler les zones à risque dans lesquelles seront effectuées les dépistages sérologiques après la mise au point du test.

### **3 – Objectifs de l'étude**

L'objectif de cette étude sera d'apporter des premiers éléments de réponses qui pourront être utiles en termes de prévention et de gestion du risque d'une potentielle épidémie. L'utilisation de la télémétrie GPS permettra de réaliser un suivi des chauves-souris dans notre zone d'étude, fournissant des connaissances précieuses quant à l'écologie de l'espèce, la sélection de l'habitat et leurs déplacements. Ces données permettront de cartographier des zones de contact potentiel avec l'homme et d'identifier des zones avec des pratiques à risque. Cela permettra d'orienter spatialement les recherches effectuées dans d'autres projets sur les pratiques agricoles à risque pour la transmission des maladies émergentes de la faune sauvage au Cambodge et en Asie du Sud-Est, ainsi que les programmes de surveillance, de prévention et de contrôle du virus Nipah. Plus précisément, l'objectif de cette étude sera de décrire la distribution spatiale des *Pteropus lylei* capturées au site dortoir de la province de Kandal pendant la période de circulation du virus Nipah (avril à mai) à partir des données de 15 individus équipés d'émetteurs GPS. Ces émetteurs fourniront une localisation fine des chauves-souris (erreur de 5 à 10 mètres) permettant ainsi de localiser les sites qu'elles fréquentent. Les enquêtes de terrain sur les lieux ainsi identifiés permettront de caractériser l'habitat (arbres fréquentés, fruits consommés) utilisé par *P. lylei*. Les connaissances locales issues d'interviews viendront compléter cette approche, permettant d'avoir des connaissances complémentaires quant à l'écologie de l'espèce (préférences alimentaires), les éventuelles menaces qui pèsent sur ces populations, et surtout de mettre en évidence les potentielles routes de transmission du virus des chauves-souris à l'homme et aux animaux domestiques.



### 1 - Biologie et écologie des roussettes au Cambodge

Trois espèces de roussettes ont été décrites au Cambodge : *Pteropus vampyrus*, *Pteropus Lylei* et l'espèce insulaire *P. hypomelanus*. Ces trois espèces sont globalement considérées comme quasi menacée, vulnérable et de préoccupation mineure par l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN) (Bates et al., 2008; Bumrungsri et al., 2008; Francis et al., 2008), commune pour *P. vampyrus* et *P. Lylei* à l'échelle nationale et rare pour *P. hypomelanus* d'après la législation cambodgienne (MAFF, 2007). Ces trois espèces sont incluses dans l'appendice II du CITES. *P. hypomelanus* étant insulaire, les chauves-souris présentes dans les sites dorts actuellement identifiés au Cambodge sont *P. lylei* ou *P. vampyrus* (cf figure 4). La plupart des sites dorts du Cambodge se trouvent au sein de pagodes ou de bâtiment appartenant au gouvernement, ce qui leur confère une certaine protection vis-à-vis de la chasse. Malgré l'influence du point de vu des moines au sein de la population, la chasse pour la consommation, le trafic, ou l'usage médicinal ont été rapportés dans la moitié des sites dorts mis en évidence au Cambodge . Si les sites dorts actuels confèrent une certaine protection, les chauves-souris sont principalement chassées lors de la recherche de nourriture ou dans les zones non protégées. L'étude de leur écologie, notamment leurs déplacements, sites de recherche de nourriture et préférences alimentaires fournirait des éléments précieux pour assurer leur conservation.



Figure 4 : *Pteropus lylei* (à gauche) et *Pteropus vampyrus* (à droite) (extrait de arkive).

*P. vampyrus* et *P. lylei* sont sympatriques (deux espèces ou populations sont considérées sympatriques quand elles existent dans la même zone géographique) dans la plupart de leur aire de distribution qui concerne l'Asie du sud-est, et de ce qui est connu, partagent des habitats et préférences alimentaires similaires. La grande roussette (1.5 m d'envergure et de 0.6 à 1.1 kg) (Kunz and Jones, 2000), *Pteropus vampyrus*, se retrouve au Vietnam, Cambodge, Thaïlande, Malaisie, Philippines, Indonésie et Birmanie (Bates et al., 2008). *Pteropus Lylei* (90 cm d'envergure et de 390 à 480 g) (Hondo et al., 2010), se retrouve au Cambodge, Vietnam, Thaïlande, Malaisie, Chine (Bumrungsri et al., 2008). Toutes deux des espèces nocturnes, elles dorment dans des arbres en colonie pouvant regrouper plusieurs milliers d'individus, et n'ayant pas la faculté d'écholocation, elles utilisent la vision pour la recherche de nourriture. Elles sont frugivores et se nourrissent aussi de nectar, leur conférant un rôle important pour la pollinisation et la dispersion de grandes graines (Francis and Barrett, 2008b). D'après une étude en Thaïlande (Weber et al., 2015), *Pteropus lylei* montre une haute fidélité au site dortoir et montre un maximum de distance journalier entre le site dortoir et les zones de recherche de nourriture de 2.2 à 23.6 km. La recherche de nourriture peut avoir lieu dans les champs, plantations, jardins et quelques mangroves.

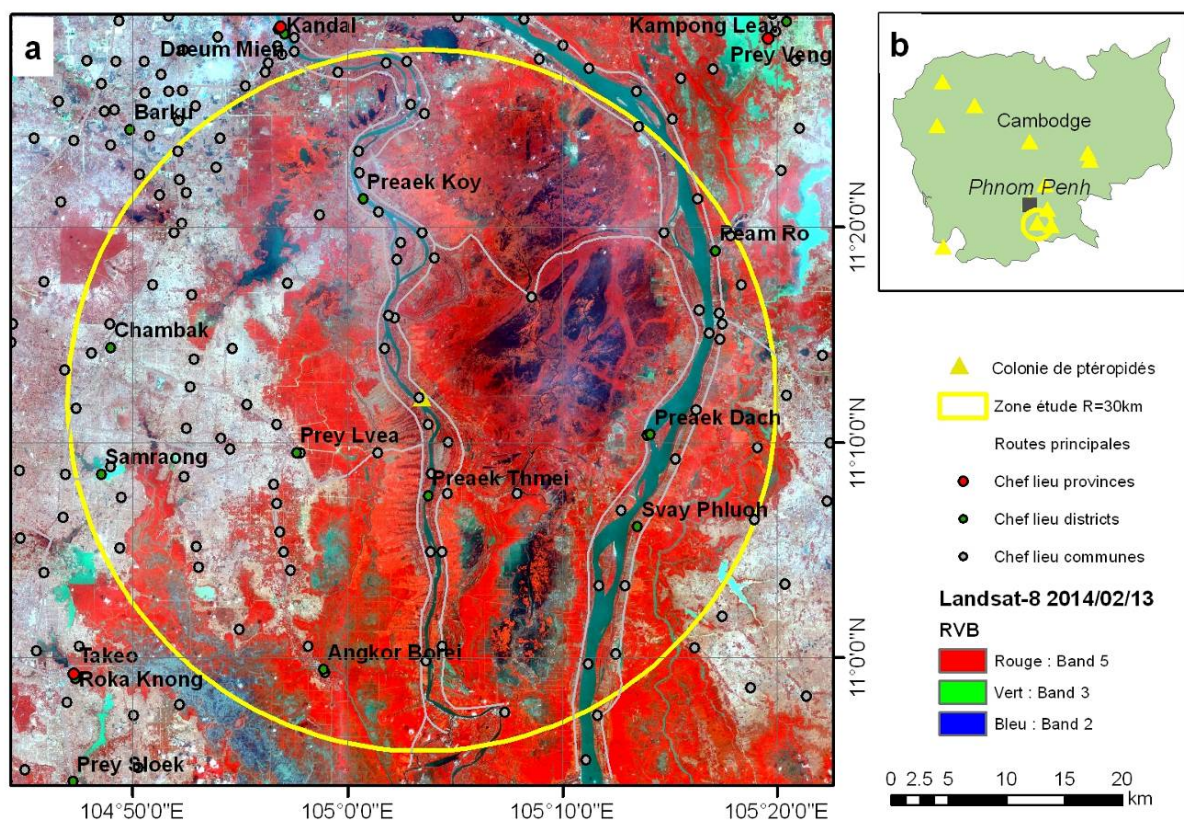


Figure 5 : Localisation du site pilote de Kandal (a) et des colonies connues de Ptéropidés au Cambodge (b) (extrait de Projet TELENipah, J. Cappelle. Cirad).

## **2 - Zone d'étude**

L'étude s'est déroulée à une échelle locale sur le site de Wat Pi Sar Kor Kandal, situé à une cinquantaine de kilomètres au sud de Phnom Penh (cf figure5). Ce site a été choisi car il abrite une colonie importante de ptéropidés (environ 4 000 individus), et un paysage représentatif des paysages agricoles du Cambodge.

- Coordonnées du point central : 11,19943° Nord ; 105,05748° Est
- Rayon de la zone : 30 km (supérieure à la distance de vol maximum observée chez les chauves-souris pour leur alimentation)

## **3 - Suivi des chauves-souris par GPS**

L'étude et la méthodologie ont été réalisées conjointement avec le MAAF (Ministère de l'agriculture, de la forêt et de la pêche) du Cambodge.

La période de terrain a eu lieu du 18/04/2016 (au début de la saison de circulation du virus Nipah chez *P. lylei*) au 16/05/2016. 14 balises GPS et 3 balises Argos ont été posées sur des individus capturés à la colonie de notre site pilote dans la province de Kandal au Cambodge.

La pose des balises a été encadrée par Jonathan Epstein de l'EcoHealth alliance, un expert ayant déjà travaillé sur le suivi satellitaire d'espèces de *Pteropus* (Epstein et al., 2009; Jong et al., 2013; Smith et al., 2011) afin de s'assurer de résultats optimaux et de suivre de bonnes pratiques de manipulation de ces animaux sauvages. Les balises GPS étaient programmées pour enregistrer des données la nuit lors des vols d'alimentation des chauves-souris. Les données étaient téléchargées quotidiennement à distance depuis la colonie pendant la journée lorsque les chauves-souris y étaient présentes (recueil des données possibles jusqu'à 20m de distance des balises d'après le fournisseur). Dans le cas où des balises GPS manquaient à l'appel, des tentatives de téléchargement des données ont été entreprises depuis les autres colonies de ptéropidés connues au Cambodge. En effet, les balises Argos pouvaient nous indiquer des changements de sites dorts permettant ainsi de cibler en priorité ces sites si des chauves-souris n'étaient pas présentes au site dortoir de Wat Pi Sar Kor Kandal. Les données Argos ne seront pas exploitées dans le cadre de cette étude. Pour le type de données que nous souhaitons récupérer, les balises GPS sont adaptées puisqu'elles peuvent fournir des données précises -recherchées ici pour caractériser le comportement alimentaire des chauves-souris- sur une période d'étude courte (cf paragraphes ci-dessous et tableau 2).



Le système GPS repose sur une constellation d'une trentaine de satellites qui permet à un utilisateur, situé sur n'importe quel point du globe, d'avoir toujours au minimum quatre satellites à portée. Le terminal de l'utilisateur calcule sa position grâce au signal émis par chacun des satellites. Cette information est obtenue en mesurant la distance à un instant donné entre le récepteur de l'utilisateur et un satellite artificiel dont la position dans l'espace est connue avec précision. En combinant la mesure simultanée de la distance d'au moins quatre satellites, le récepteur est capable par trilatération de fournir la position et l'altitude avec une précision de l'ordre d'une dizaine de mètres et la vitesse avec une précision de quelques cm/s ("Wikipédia," 2016).

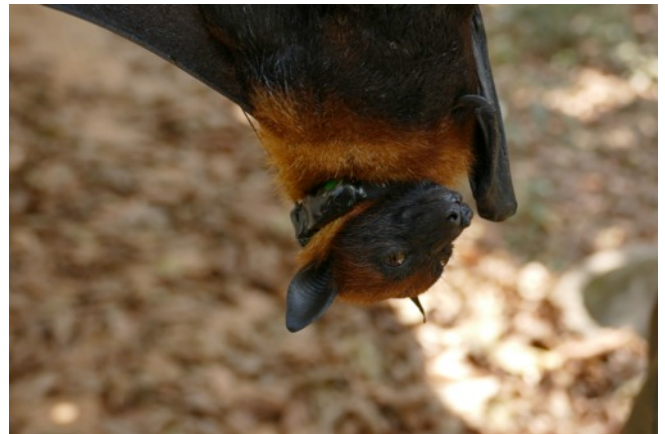
Argos est un système mondial de localisation et de collecte de données par satellite dédié à l'étude et à la protection de l'environnement de notre planète. Il s'apparente aux systèmes de positionnement par satellite tels que le GPS, mais fonctionne sur le principe de l'effet Doppler. De plus, la principale différence est que la position des mobiles (balises Argos) est connue du système (centres de traitement des données) et non des mobiles eux-mêmes comme pour le GPS. Les balises Argos envoient des messages au satellite qui sont retransmis au sol. Les satellites en orbite polaire reçoivent les messages et retransmettent en quasi temps réel. Près de cinquante stations reçoivent les données avant de les distribuer aux utilisateurs. Les antennes reçoivent les informations brutes et les transmettent à des centres de traitement CLS. À travers le monde, les utilisateurs Argos reçoivent leurs données collectées et traitées ("Manuel Argos," 2016.).

**Tableau 2 : caractéristiques comparatives des balises Argos et GPS.**

<b>Balise</b>	<b>AVANTAGES</b>	<b>INCONVÉNIENTS</b>
<b>GPS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- très précis (&lt;10m)</li> <li>- localisations très fréquentes</li> <li>- altitude, vitesse instantanée</li> <li>- pas de coût de localisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- besoin de récupérer le matériel</li> <li>- « énergivore » (grosses batteries)</li> </ul>
<b>ARGOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de la batterie élevée (de 2 mois à 2 ans si solaire)</li> <li>- Pas besoin de récupérer la balise</li> <li>- Suivi en direct des animaux via internet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- faible précision (de 150 m à 20-30 km)</li> <li>- prix (2000-3000 e + 10 e/jour)</li> </ul>

**Figure 6 : les différentes étapes de pose des colliers de l'anesthésie jusqu'au relâcher.**

De gauche à droite et de haut en bas : 1 : anesthésie IM dans le muscle pectoral gauche ; 2 : suture du collier GPS ; 3 : collier fermé avec trois points par du fil résorbable ; 4 : collier en place avec GPS inclus visible du côté gauche ; 5 : chauve-souris nourrie avec une seringue de jus de fruit après récupération de l'anesthésie ; 6 : relâché d'une chauve-souris.



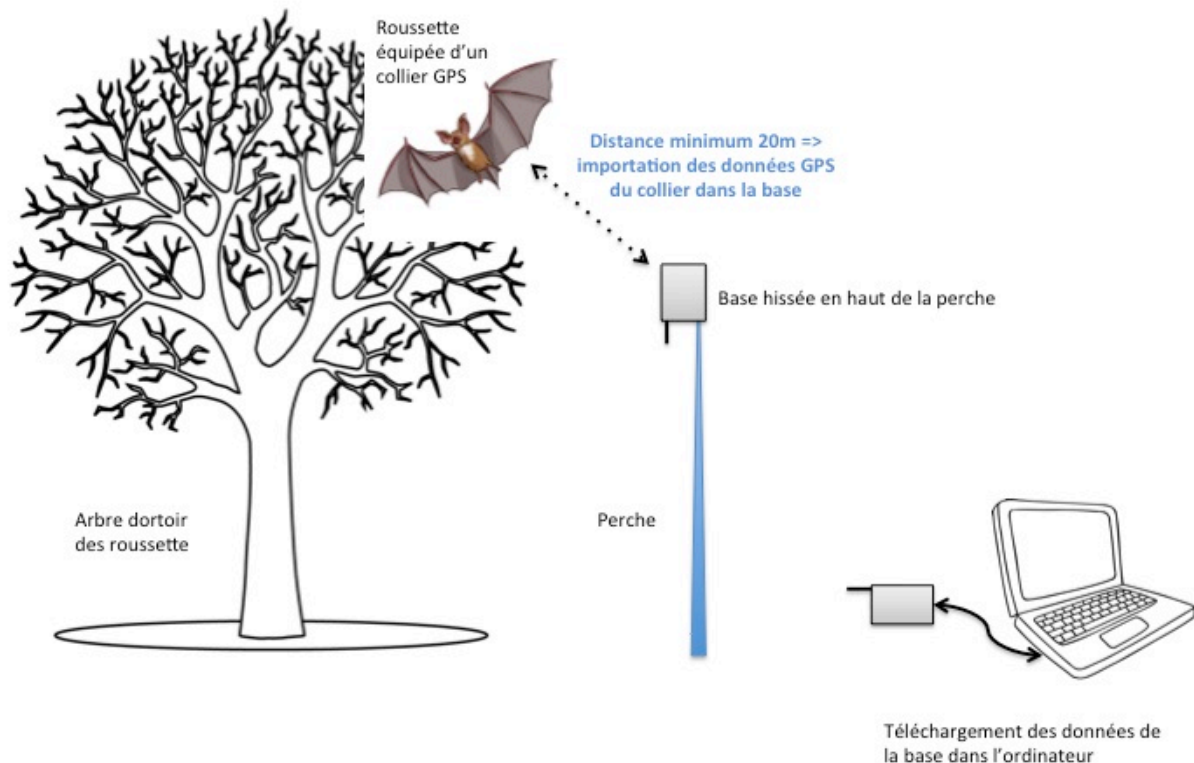
## A - Protocole de pose des colliers

Les chauves-souris ont été capturées à l'aide de deux filets japonais chacun hissé à la cime des arbres dortoirs, au cours de 12 sessions, à la tombée de la nuit et avant l'aube. Chaque chauve-souris capturée est placée dans un sac en coton individuel. Les données morphométriques ont été enregistrées puis les prélèvements biologiques ont été réalisés pour la détection de virus et l'identification spécifique (écouvillons buccaux, rectaux, prise de sang, prélèvement d'un échantillon de membrane alaire). L'âge (juvénile ou adulte) a été déterminé à partir de la présence ou de l'absence d'attributs sexuels secondaires. Seuls les individus pesant au minimum 400 g ont été retenus pour la pose de balise pour ne pas dépasser 5% du poids de total, recommandation admise pour le suivi des vertébrés volants (Brigham, 1988). Les femelles ayant des petits n'ont pas été retenues pour ne pas leur ajouter de contraintes supplémentaires. Nous souhaitons un système d'attache qui permette un maintien des balises jusqu'à un mois pour couvrir la durée de l'étude mais qui tombe seul après cette durée pour ne pas gêner le comportement des chauves-souris. Une étude, qui fait la synthèse des différentes méthodes d'attache et de leur durée (O'Mara et al., 2014), fournit les résultats suivants : les balises sur collier restent en place plus longtemps que celles collées (respectivement 163 j en moyenne contre 9j). Une attache de collier avec du fil résorbable a montré que les colliers tombaient entre 27 et 30j. Notre étude s'étalant sur un mois, nous avons donc opté pour des balises GPS avec colliers fermés par fil résorbable. Les individus candidats à la pose des colliers ont été anesthésiés avec de la médétomidine en intra-musculaire (IM dans le muscle pectoral) à la dose de 0.025 mg/kg. Après la pose des colliers, de l'atipamézole a été administré au même volume que la médétomidine. Après récupération de l'anesthésie, les chauves-souris ont été nourries avec de la mangue ou une seringue de jus de fruit, puis relâchées (cf figure 6). Neuf colliers GPS ont été posés la semaine du 18/04/2016 avec les trois balises Argos, et les cinq colliers GPS restants ont été posés la semaine du 02/05/2016 afin de couvrir une période d'étude d'un mois.

## B - Caractéristiques des balises et téléchargement des données

Les 14 colliers GPS FLR V ont été réalisés par Telemetry Solutions (<http://www.telemetrysolutions.com/>). Tous les colliers (avec GPS) ont un identifiant unique. 9 colliers sont équipés de VHF, permettant ainsi de les localiser dans un rayon de 200 m via une antenne Yagi. Les colliers pèsent 17.5 g. Les colliers ont été programmés pour enregistrer des localisations de 17h30 à 6h00 pour chaque nuit toutes les 30 min pour la nuit post capture

puis toutes les 5min pour les nuits suivantes. Le Software de Telemetry Solutions a permis cette programmation et fourni une estimation de la durée de vie de 10j avec cette programmation et un temps de prise de mesure de 90s. Les trois premières balises ont été programmées pour un temps de prise de mesure de 60s pour allonger leur durée de vie. Après le retour des chauves-souris, les données étaient téléchargées quotidiennement via 4 bases de téléchargement de Telemetry Solutions. Ces bases étaient suspendues à 4 perches réparties sous des arbres bien définis du site dortoir permettant de télécharger les données si elles se situaient à moins de 20 m des chauves-souris équipées de colliers (cf figure.7). Une fois les données chargées dans les bases, celles-ci étaient connectées à un ordinateur permettant d'enregistrer l'ensemble des coordonnées de la nuit au format texte.



**Figure 7 : schéma du protocole de téléchargement des données depuis les colliers GPS jusqu'aux bases.** Les bases sont hissées via une poulie en haut d'une perche placée sous les arbres dortoirs des chauves-souris, permettant ainsi d'avoir une faible distance entre les colliers GPS et la base autorisant ainsi le transfert des données. Les bases sont ensuite descendues et le contenu des données est transféré à l'ordinateur permettant ainsi de recueillir les données de vol de la nuit passée.

#### **4 - Enquêtes de terrain : caractérisation des habitats**

Chaque matin, après le recueil des données issues des bases, les coordonnées de chaque chauve-souris de la nuit passée étaient chargées dans Google Earth. Nous identifions ainsi plusieurs zones pour chaque chauve-souris dans lesquelles elles se sont arrêtées (au minimum deux coordonnées à la même localisation). A partir de ces zones, des sites d'intérêt ont été définis (zone d'interface potentielle avec l'homme, zone non cultivée). Une fois ces zones d'intérêt définies, nous nous rendions en moyenne dans trois sites choisis par jour en fonction de leur intérêt épidémiologique, écologique, de leur caractère nouveau et de leur accessibilité (cf figure.8). L'objectif étant de les caractériser : arbres en présence, fruits consommés par les chauves-souris, type d'habitat, élevages de porc à proximité, pratiques de récolte jus de palme à proximité. L'accès aux sites identifiés a été permis par l'utilisation de GPS Garmin dont les coordonnées avaient été préalablement rentrées.

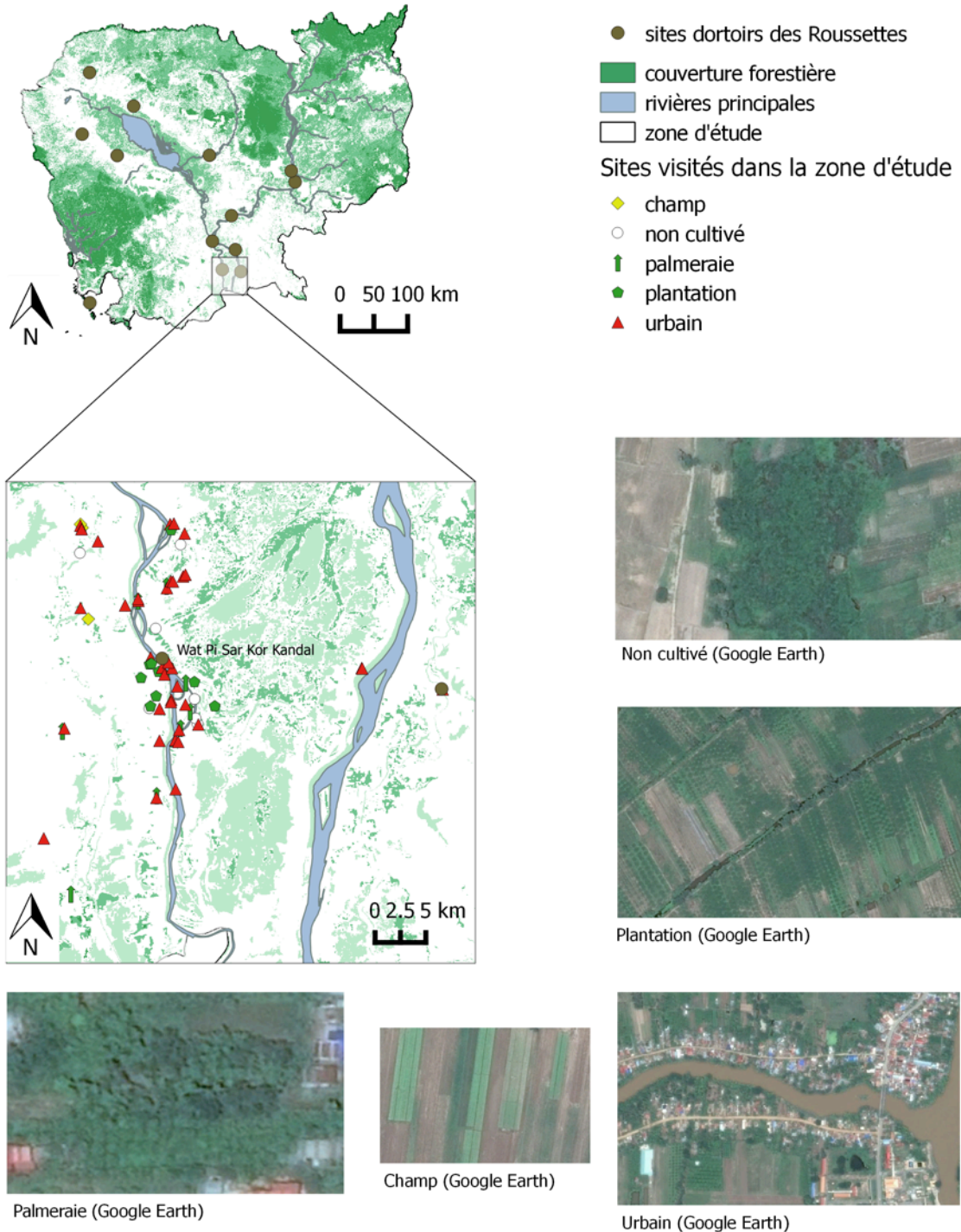
#### **5 - Enquêtes de terrain : identification des zones et pratiques à risque**

Au moins une interview a été réalisée -via l'aide d'un interprète- par site visité lorsqu'une personne était présente sur le lieu. Une autre interview était réalisée pour chaque site à risque découvert à proximité, obtenu à l'issue de la première interview (élevage de porc, récoltant de jus de palme, chasseur). Un minimum de trois interviews par jour en moyenne a été effectué (Cf questionnaire annexe 1). La moitié des interviews a été retranscrit dans une base de donnée (Access).

#### **6 - Réalisation des cartes**

L'ensemble des cartes a été réalisé avec le logiciel QGIS. QGIS est un logiciel libre de SIG (système d'information géographique). Les couches de données environnementales sont issues des données d'Open Development Cambodia ([www.opendevdevelopmentcambodia.net](http://www.opendevdevelopmentcambodia.net)), la couche de densité de population humaine de Worldpop (<http://www.worldpop.org.uk/>) et la couche verger issue d'une précédente étude de télédétection.

**ENSEMBLE DES SITES VISITES DANS LA ZONE D'ETUDE  
DE LA PROVINCE DE KANDAL AU CAMBODGE**



*Figure 8 : figure montrant l'ensemble des sites visités lors des enquêtes de terrain et les différents habitats choisis pour les analyses.*

## 7 - Analyse des données

Les couches cartographiques d'une étude de télédétection dont nous disposions étaient trop imprécises pour les analyses d'habitat (zone urbaine, non cultivé, plantation, champ, rivière). Nous avons donc identifié les types de zones fréquentées par les roussettes à partir de GoogleEarth, offrant une résolution beaucoup plus précise. Un ensemble de points (au minimum deux) était considérée comme appartenant à un même site si les coordonnées successives de la trajectoire d'un animal étaient distantes de moins de 30m. Ces sites ont été figurés comme des sites de recherche de nourriture sur les cartes des trajectoires des roussettes. Pour simplifier les analyses, nous avons défini cinq grands types d'habitats (cf figure 8)

- Plantation : plantations d'arbres fruitiers, arbres en périphérie de plantation et canal entre deux plantations.
- Zone urbaine : jardin jusqu'à 50m de la dernière maison, maisons, pagodes, zones en bordure de rivière a moins de 50 m de la maison la plus proche.
- Rivière
- Champ : parcelle cultivée n'appartenant pas à une zone urbaine
- Non cultivé : zones n'étant ni un champ, ni une plantation, à plus de 50 m de la dernière maison, les palmeraies sont incluses dans ce type lorsqu'elles sont à plus de 50m d'une maison.

La « carte de chaleur » a été réalisée avec la fonction Heatmap de QGIS. Le plugin Heatmap utilise l'estimation de densité de noyau pour créer un raster de densité (carte de chaleur) d'une couche de point vecteur en entrée. La densité est calculée en fonction du nombre de point dans un endroit dans lequel plus le nombre est important plus la valeur est grande ("Documentation de QGIS 2.0").

## 8 - Modèle de distribution d'espèces

Les modèles statistiques de distribution d'espèces (Species Distribution Models, SDM) utilisent des données décrivant la distribution effective des espèces (niche réalisée) et y associent des variables mesurées du milieu telles que le climat, la topographie ou le type de sol afin de modéliser statistiquement les enveloppes écologiques dans lesquelles les espèces peuvent vivre (Guisan and Thuiller, 2005; Guisan and Zimmermann, 2000)(ONEMA, 2016). Ces enveloppes constituent par la suite des filtres pour sélectionner les zones qui dans le futur

présenteront des conditions favorables aux différentes espèces (Jeschke and Strayer, 2008). Une hypothèse essentielle sur laquelle sont fondés ces modèles est l'équilibre des espèces avec leur environnement (Guisan and Thuiller, 2005; Guisan and Zimmermann, 2000). Ces données constituent donc un « instantané » de la distribution effective des espèces, et les modèles ignorent donc la dynamique de colonisation et les facteurs qui la contraignent comme les perturbations environnementales et ne tient pas compte des nouvelles interactions entre espèces (ONEMA, 2016). Les modèles de distribution décrivent le lien entre :

- d'une part des variables environnementales connues pour influencer la répartition des espèces ;
- d'autre part des données de distribution des espèces

Les modèles statistiques produisent une probabilité d'occurrence des espèces en fonction des variables environnementales. Ils peuvent permettre par la suite de modéliser la distribution effective de l'espèce (niche réalisée) puis de projeter dans l'espace et dans le temps l'évolution de ses habitats favorables (distribution potentielle) (ONEMA, 2016).

Une étude combine les prédictions de plusieurs modèles statistiques en une seule prédiction (Thanapongtharm et al., 2015) pour caractériser la distribution spatiale des roussettes en Thaïlande. Parmi les différents modèles utilisés dans cette étude, les modèles Dismo et Bioclim, basés sur des données de présence, ont les performances les plus faibles. Nous avons opté pour une méthode couramment utilisée et qui présentait une meilleure performance : le modèle linéaire généralisé (GLM). Ce modèle, basé sur des données de présence-absence est une généralisation souple de la régression linéaire. Les données absence utilisées ici sont des données de pseudo-absence générées aléatoirement sous QGIS dans notre zone d'étude. Les données de présence correspondent aux coordonnées recueillies via les balises GPS. Les variables utilisées pour la construction du modèle ont été choisies en fonction des observations de terrain, des résultats de l'analyse descriptive et de données bibliographiques. En effet, une étude montre l'importance de la distance aux ressources dans la modélisation spatiale de recherche de nourritures chez les chauves-souris (Rainho and Palmeirim, 2011). Les variables utilisées ici sont des variables de distance au site dortoir, à l'eau, aux zones urbaines et aux vergers, générées à partir de rasters distances (cf page suivante) de nos différentes couches sous QGIS. Il existe deux types de données graphiques visualisables dans un logiciel SIG : les données raster et les données vectorielles. Les rasters sont des images avec comme unité de base le pixel. Le GLM a été réalisé avec R.



A partir de chaque raster (raster verger, raster eau, raster zone urbaine), un raster distance pour chaque couche a été obtenu avec la fonction « proximité (distance raster) » de QGIS. Pour obtenir des données d'absence, qui sont en fait des données de pseudo-absence, 6000 points ont été générés aléatoirement sous QGIS avec la fonction « random points ». Ces coordonnées ainsi obtenues ont été croisées avec les couches de raster distance. Ces données géoréférencées constituent des données « d'absence » associées aux distances pour chaque variable (distance à l'eau, au site d'ortoir, aux vergers, aux zones urbaines). Les coordonnées fournies par les balises GPS ont aussi été associées aux rasters distance. Ces données constituent des données de présence pour le modèle.

Ce jeu de données représenté par les données de présence et absence consignées dans un tableau a été nommé *glmdata* (cf tableau 3).

**Tableau 3 : tableau de données correspondant à « *glmdata* » utilisé dans le modèle.**

Présence	Long	Lat	dwbody	dwway	durb	dplant	droost
1 : présence	Longitude	Latitude	Distance	Distance	Distance	Distance	Distance
0 : absence			aux rivières principales	aux cours d'eau	aux zones urbaines	aux plantations	au site d'ortoir de capture

A partir de ces données « d'absence » et de présence, le modèle a pu être testé afin de vérifier si les variables sélectionnées, à savoir la distance à l'eau, distance aux vergers, distance aux zones urbaine, distance au site d'ortoir de capture influencent significativement la répartition des roussettes observées lors de notre étude.

#### Modèle réalisé avec R :

```
Glm (Presence ~ dwbody + dwway + durb + dplant + droost, data = glmdata, family=binomial)
```

Une grille de points réguliers espacés de 100m (résolution maximale des couches raster) a été générée puis croisée avec l'ensemble des couches « raster distance » (verger, eau, zone

urbaine) afin d'avoir un tableau qui fait correspondre une distance aux différents paramètres du modèle à chaque coordonnée de la grille de la zone d'étude. La distance au site dortoir de capture a été rajoutée. Ainsi, pour chaque coordonnée géoréférencée de la grille correspondant à la zone d'étude correspond une distance pour chaque variable du modèle. Cette grille sera utilisée pour la prédiction du modèle, nous la nommons ici grille de référence. Dans le cas où les variables explicatives du modèle seraient significatives, une prédiction issue de ce modèle sera réalisée grâce à la fonction « predict » de R. Cette prédiction fournit une probabilité de présence pour chaque coordonnée de la grille de référence.



---

### III – RESULTATS

---

#### 1 - Fonctionnement des colliers

Les GPS ont été déployés sur 14 *Pteropus lylei*, dont 13 mâles et 1 femelle uniquement. En effet, la majorité des femelles capturées étaient de poids trop faible pour supporter le poids d'une balise ou portaient des petits, ce qui aurait pu leur ajouter une contrainte trop importante. Les poids des individus étaient compris entre 414g et 590g, respectant ainsi les recommandations énoncées précédemment. La durée de vie des colliers s'étendait de 2 à 24 nuits, avec une moyenne de 12.71 nuits (cf tableau 4).

**Tableau 4 : résumé des caractéristiques des chauves-souris capturées et des performances des balises GPS.**

Bat ID	Sexe	Statut	Poids (g)	Avant-bras (mm)	Durée de vie du collier (en jours)	Total de données enregistrées	Proportion de données valides
Bat01	Male	Adulte	560	169	26	760	32%
Bat02	Male	Adulte	565	152,9	4	247	90%
Bat03	Male	Adulte	540	165,5	12	439	81%
Bat04	Male	Adulte	435	NA	10	394	40%
Bat05	Male	Adulte	490	149,4	24	716	88%
Bat06	Male	Adulte	430	151,9	13	1904	95%
Bat07	Male	Adulte	425	149,5	9	1747	41%
Bat08	Male	Adulte	420	144,9	12	1675	95%
Bat09	Male	Adulte	532	145,9	2	22	41%
Bat11	Male	Adulte	425	144,5	12	1200	89%
Bat12	Male	Adulte	590	153,7	14	1768	98%
Bat13	Male	Adulte	414	148,3	13	1752	99%
Bat14	Female	Adulte	430	149,4	13	1592	96%
Bat15	Male	Adulte	550	152,4	14	1912	97%

Les colliers 1, 3, 4 présentent de nombreuses données non exploitables (de 19-68%) sur l'ensemble de leurs coordonnées enregistrées (cf tableau 4). Le temps programmé pour enregistrer une coordonnée était de 60s pour ces 3 colliers déployés en premier contre 90s pour les colliers déployés par la suite. Les autres colliers (2, 5, 6, 8) présentent très peu de données non exploitables (de 5 à 12%), ces derniers disposaient en effet de 90s pour capter une coordonnée. Paradoxalement, le collier 7 présente 59% de données non exploitables alors que la majorité des données correctes sont enregistrées aux alentours de 60s et que les seules données non exploitables le sont pour un temps de 90s. Le collier 9 a montré une défaillance puisque seules 22 données ont pu être enregistrées, la raison en est inconnue. Le collier 10 ne transmettait aucune donnée à la base de téléchargement lors de la phase de test, il n'a donc pas été posé et a été renvoyé à TelemetrySolutions pour réparation. A l'exception du collier 7,

les colliers fournissent des données satisfaisantes avec une durée de vie acceptable pour l'étude (12,44 j en moyenne) pour une durée de 90s consacrée au captage des satellites. Les cinq colliers posés la semaine du 02 mai ont donc été programmés pour enregistrer des données toutes les 5 min avec un délai de 90 s pour capter un signal GPS. Il en ressort de nombreuses données (de 1200 à 1912 coordonnées) avec un faible taux d'erreurs (NA de 1 à 12%) pour une durée de vie moyenne du collier de 13,2j. (cf tableau 4). Parmi l'ensemble des données exploitables, 29% (n=3959) des localisations correspondent aux sites dorts, 20% (n=2774) à des localisations en vol, et 51% (n=6913) correspondent à des zones de recherche de nourriture (distance entre deux localisations < 30m).

## 2 - Trajectoires et zones de recherche de nourriture

Pour les différentes trajectoires observées, trois roussettes (bats 8,11,13) sont sorties de la zone d'étude, et le maximum de distance parcouru par nuit est très variable entre les différentes chauves-souris, de 6.87km à 105.14km, avec une moyenne de 28.3km, de même que les directions empruntées (cf tableau 5 et figure 9). Huit roussettes sur quatorze ont montré une fidélité constante au site dorts de la zone de capture (bats 1,2,3,6,12,13,14,15). Parmi les six chauves-souris restantes, quatre sont allées au site dorts de Prey Veng (à l'est) et deux sont allées au nord-est pour y dormir (bats 8,11). On observe donc une connection entre les différents sites dorts de la région pendant le moi d'avril-mai.

**Tableau 5 : distances maximales parcourues par nuit par chauve-souris et proportion des sites de recherche de nourriture par type d'habitat.**

Bat ID	Distance max parcourue en une nuit	Localisations en zone urbaine (en %)	Localisations dans les plantations (en %)	Localisations dans les champs (en %)	Localisations en zone non cultivée (en %)	Localisations en rivière (en %)
Bat01	8,945	32	41	17	0	11
Bat02	7,905	15	75	10	0	0
Bat03	10,279	99	1	0	0	0
Bat04	29,603	75	9	16	0	0
Bat05	29,350	89	4	0	7	0
Bat06	23,347	32	31	4	32	1
Bat07	27,395	50	2	4	44	0
Bat08	105,144	62	17	2	19	0
Bat09	6,876	0	100	0	0	0
Bat11	52,109	18	60	2	21	0
Bat12	10,392	4	76	0	20	0
Bat13	50,333	79	8	4	9	0
Bat14	25,454	62	29	4	4	2
Bat15	9,030	93	2	2	2	0

TRAJECTOIRES DE L'ENSEMBLE DES CHAUVES-SOURIS EQUIPEES DE COLLIER GPS OBTENUES POUR LA DUREE DE L'ETUDE

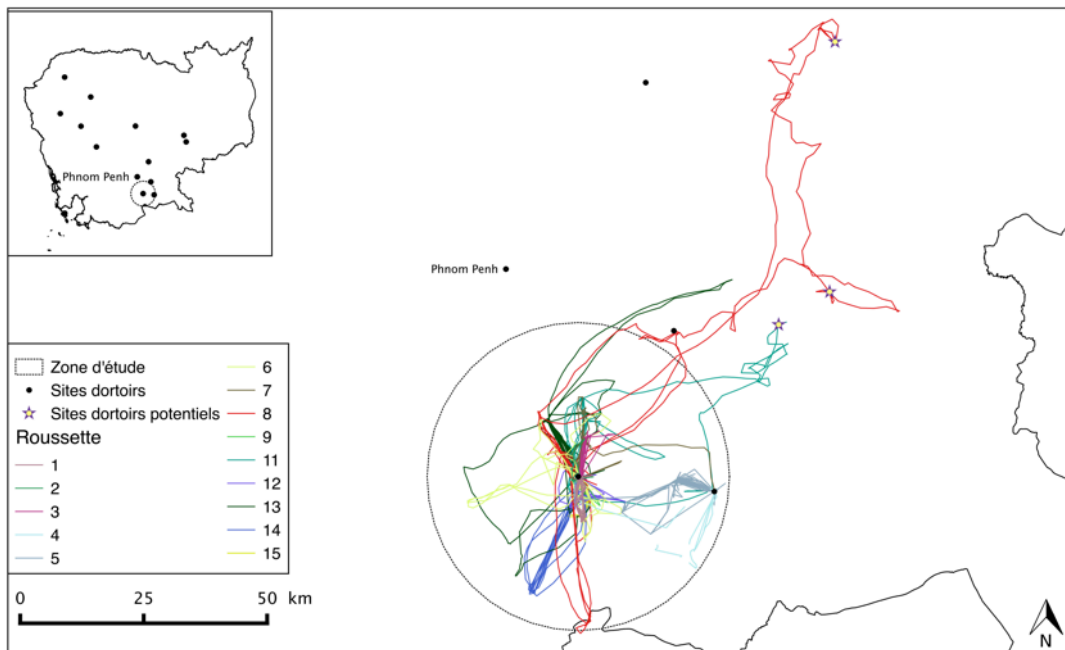


Figure 9 : carte des trajectoires de l'ensemble des chauves-souris au sein et en dehors de la zone d'étude.

Une description du comportement de recherche de nourriture et d'utilisation de l'espace est présentée ci-après (cf figure 10). Certaines descriptions ou analyses ont volontairement été omises pour les chauves-souris ayant plus de 12% de données non exploitables.

Bat 01 :

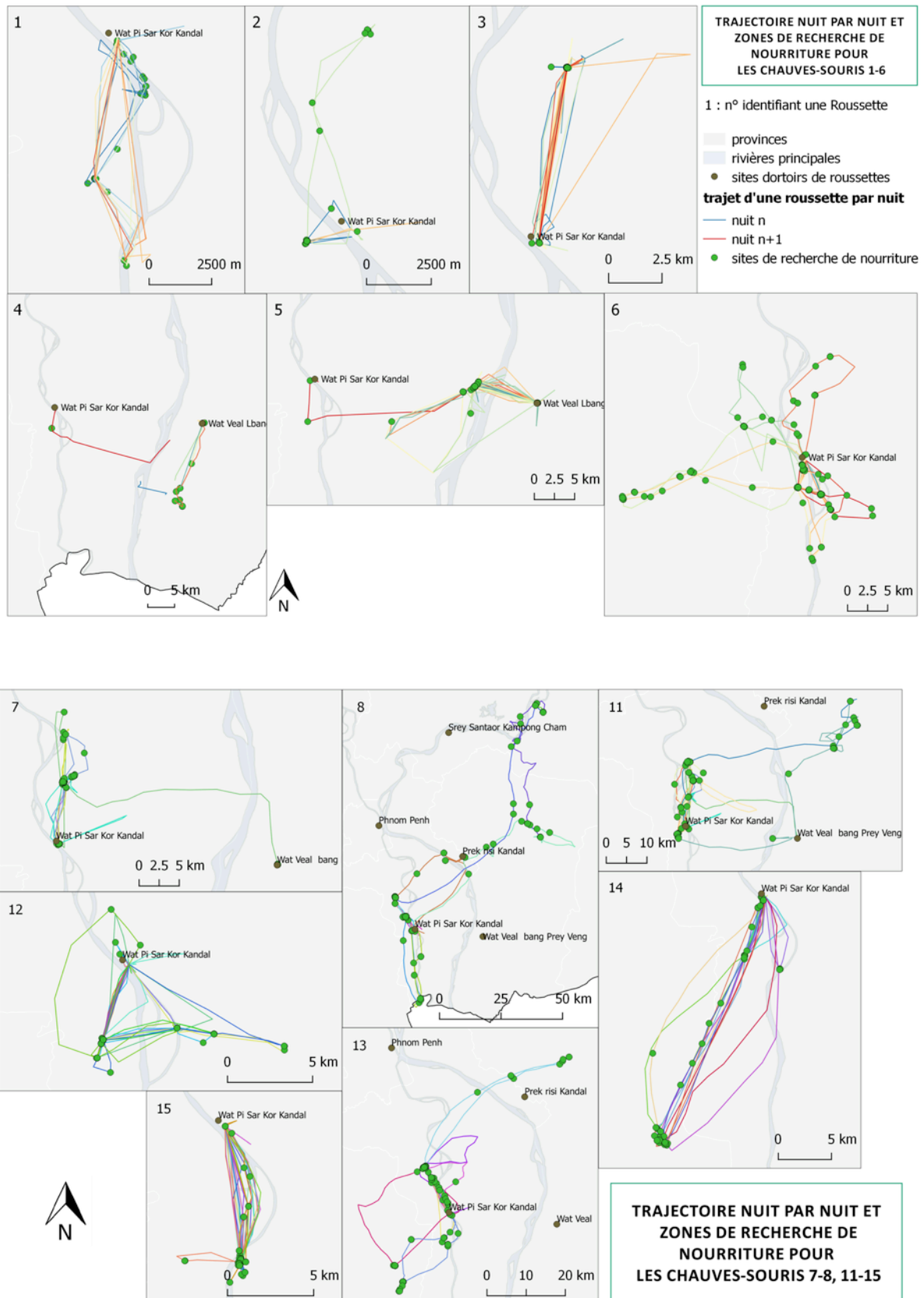
Cette chauve-souris a montré une fidélité constante au site dortoir et a visité une même aire de recherche de nourriture orientée sud pendant 5 nuits consécutives (du 20/04 au 25/04/16) puis pendant 3 nuits consécutives (du 13/05 au 14/05), en empruntant des trajets sensiblement équivalents. La distance maximale au site dortoir enregistrée est de 8.945 km en une nuit.

Bat 02 :

La fidélité au site dortoir a été constante, 9 aires de recherche de nourriture ont été visitées dont 2 pendant 3 nuits consécutives. Il n'y a pas d'homogénéité dans les trajets empruntés mais seules 3 nuits sont disponibles. La distance maximale au site dortoir est de 7.905km.

Bat 03 :

La fidélité au site dortoir a été constante, 4 aires de recherche de nourriture ont été visités, dont 2 – une à proximité du site dortoir et l'autre au nord, toutes deux en zone urbaine- pendant 11 nuits consécutives (du 20/04 au 30/04/16). On observe donc une fidélité des aires



**Figure 10 : trajectoires individuelles de l'ensemble des roussettes.** Une couleur correspond à une nuit. Le site dortoir de capture était celui de Wat Pi Sar Kor Kandal.

de recherche de nourriture avec des trajets très similaires pour 10 nuits. La distance maximale au site dortoir est de 10.279 km. 99% des localisations se trouvent en zone urbaine et 1% dans les plantations.

#### Bat 04 :

La première nuit a été passée au site dortoir de capture, et les 6 nuits suivantes au site de Wat Veal Lbang Prey Veng. Une distance maximale de 29.603 km a été enregistrée.

#### Bat 05 :

La première nuit a été passée au site dortoir de capture, et les 22 nuits suivantes au site de Wat Veal Lbang Prey Veng. Quatorze aires de recherche de nourriture ont été visitées, dont 11 fréquentées plusieurs nuits. Les trajectoires sont sensiblement les mêmes pour la majorité des nuits. La très grande majorité des localisations se trouve en zone urbaine (89%), le reste se trouvant en zone non cultivée (7%) puis dans les plantations (4%). Une distance maximale de 29.35 km a été enregistrée.

#### Bat 06 :

La fidélité au site dortoir de capture a été constante. 47 aires de recherche de nourriture ont été visitées. Parmi ces dernières, celles se situant dans un rayon de 5km du site dortoir ont été visitées pour la majorité des nuits (10 nuits sur 12) et les plus éloignées pour 2 nuits, montrant ainsi une fidélité aux aires de recherche de nourriture. Les sites de recherche de nourriture sont globalement répartis de façon équilibrée entre zone urbaine, plantations et zones non cultivées (95%). Une distance maximale de 23.35km a été enregistrée.

#### Bat 07 :

La première journée post-capture s'est passée au site dortoir de Wat Veal Lbang Prey Veng puis les journées suivantes au site dortoir d'origine (5nuits). Une distance maximale de 27.395 a été enregistrée.

#### Bat 08 :

La 4<sup>ème</sup> nuit, cette chauve-souris est allée nicher dans une zone (A : lat : 11.535689, long : 105.523433 ) située à 65km dortoir de capture, puis elle est allée nicher les 2 journées suivantes à 50 km de ce dernier site (B : lat : 11.989231, long : 105.533456), pour revenir nicher au site de Kandal les jours suivants, parcourant ainsi 105km en une nuit. Cela suggère l'existence de deux sites dortoirs qui nous étaient inconnus, la confirmation a été apportée



pour le site A. Les trajectoires sont relativement différentes pour l'ensemble des nuits. Les zones de recherche de nourriture se trouvent majoritairement en zone urbaine (62%), puis en zone cultivée (19%) et dans les plantations (17%) avec quelques sites dans les champs (2%).

#### Bat 11 :

Toutes les journées se sont passées au site dortoir d'origine, à l'exception de l'avant dernière journée passée au nord est à 50 km de Wat Pi Sar Kor Kandal (Lat : 11.476142, Long : 105.42906) pour finalement revenir au site dortoir initial la dernière nuit. Ceci suggère l'existence d'un site dortoir inconnu qui reste à confirmer. Les trajectoires sont sensiblement identiques pour 5 nuits (8 nuits au total) avec deux zones de recherche de nourriture visités pour 7 nuits. Les zones de recherche de nourriture se trouvent majoritairement dans les plantations (60%) puis répartie de façon équivalente en zone urbaine et non cultivée.

#### Bat 12 :

La fidélité au site dortoir de capture a été constante. Sur les 14 zones de recherche de nourriture, la moitié ont été visitées au cours de nuits différentes. Contrairement à la tendance moyenne, la majorité des zones de recherche de nourriture se trouvent dans les plantations (76%), suivies des zones non cultivées (20%) et une très faible proportion en zone urbaine (4%). La distance maximale observée était de 10.392km.

#### Bat 13 :

La fidélité au site dortoir de capture a été constante. 5 nuits ont des trajectoires totalement différentes et les 7 nuits restantes ont des parcours quasiment identiques. La grande majorité des zones de recherche de nourriture se trouve en zone urbaine (79%), en proportion égale entre plantations et zone non cultivées et une faible part dans les champs (4%).

#### Bat 14 :

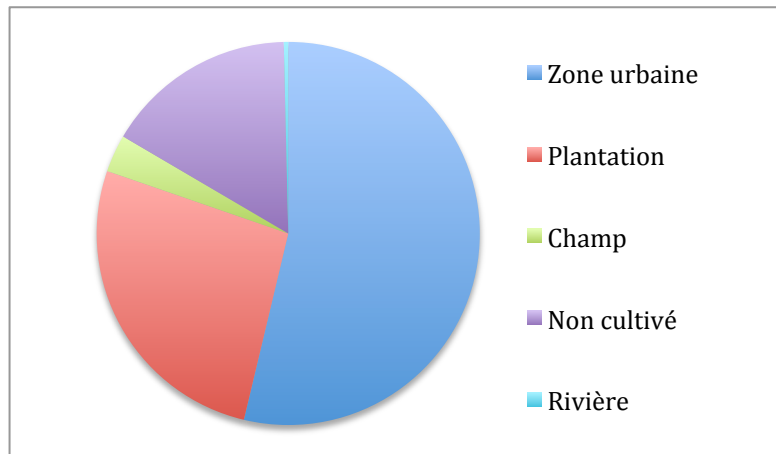
La fidélité au site dortoir de capture a été constante, et les trajectoires sont toutes orientées sud, avec un pattern de recherche à proximité du site et l'autre plus éloigné ayant des trajectoires comparables. La majorité des sites visités se situe en zone urbaine (62%) et un tiers dans les plantations.

#### Bat 15 :

La fidélité au site dortoir de capture a été constante, et sur l'ensemble des 13 nuits les trajectoires sont quasiment toutes identiques. Sur les 18 zones de recherche de nourriture, 10

ont été visitées au cours de plusieurs nuits, avec une répartition relativement locale puisque le maximum de distance observé est de 9.030 km.

Pour les localisations correspondant aux zones de recherche de nourriture, la majorité des localisations se trouve en zone urbaine : 53.72% (n=3714), 26.56% (n=1836) dans les plantations, 16.17% (n=1118) dans les zones non cultivées, 3.17% (n=219) dans les champs et 0.38 % dans les rivières (n=26) (cf figure 11).



*Figure 11 : graphique représentant la proportion des localisations pour la recherche de nourriture en fonction du type d'habitat.*

### **3 - Enquêtes de terrain : caractérisation des habitats**

Dans les zones urbaines, les situations étaient assez différentes. Les arbres dans lesquelles se trouvaient les chauves-souris (cf tableau 6) étaient dans la rue, dans la cour, dans des arbres fruitiers à l'arrière de la maison (en général mélange de manguiers, sapotilliers, bananiers). La situation dans les pagodes est un peu différente, puisqu'il s'agit en général de grands arbres tels que des eucalyptus ou des palmiers. Dans les plantations sont inclus les arbres en bordure de parcelle, on ne peut donc déterminer si les arbres correspondant servent d'alimentation aux roussettes où s'ils constituent un site pour manger les fruits prélevés dans la plantation. La plupart de ces arbres étaient en bordure de canaux séparant deux plantations. Toutes les plantations visitées étaient constituées de manguiers, de sapotilliers ou d'un mélange des deux. Dans les champs, nous avons inclus des arbres situés au milieu de parcelles. Ainsi, dans la plupart des cas, les localisations correspondent à des margousiers ou des manguiers, et quelques localisations de recherche de nourriture correspondaient à un champ avec des grains semés pour les sites visités.

La situation montrant le plus de variations concerne les zones non cultivées. Cela peut correspondre à des arbres en bordure de rivière, à de gigantesques figuiers des pagodes, à des bosquets d'eucalyptus, de palmiers, la suite d'un jardin d'arrière maison situé à plus de 50 m de celle-ci. Aucune situation ne montre une absence d'anthropisation. Les figuiers des pagodes sont généralement associés à un autel, certains bosquets de bananiers, manguiers cocotiers sont au niveau de tombes et la plupart des palmeraies ont été collectées.

Le tableau 4 indique les arbres situés à l'emplacement précis des localisations fournies par les balises, nous pouvons donc attester que les roussettes étudiées ont passé du temps dans ces arbres. Les arbres situés à proximité ont aussi été indiqués -notamment les arbres fruitiers-, puisqu'une absence de coordonnée ne signifie pas qu'une chauve-souris ne s'y est pas alimentée, le temps entre deux enregistrements s'étalant de 5 à 30 min pour certains GPS. Nous avons pu retrouver grâce aux coordonnées des restes de mangues et de sapotilles consommées. Les connaissances locales (issues des interviews), indiquent que les roussettes se nourrissent de mangues, de sapotilles, de jus de palme et de Jambosier rose. Un moine nous a indiqué que les roussettes ne mangeaient pas de jacquier.

**Tableau 6: espèces trouvées aux coordonnées GPS précises et à proximité.** Les X indiquent la présence de l'espèce.

Nom commun	Nom binomial	Espèces trouvées aux coordonnées GPS	Espèces fruitières trouvées aux alentours
Bananier	<i>Musa paradisiaca</i>		X
Papayer	<i>Carica papaya</i>		X
Longane	<i>Dimocarpus longan</i>		X
Jacquier	<i>Artocarpus heterophyllus</i>		X
Cachiman	<i>Annona reticulata</i>		X
Figuier des banyans	<i>Ficus benghalensis</i>		X
Jambosier rouge	<i>Syzygium malaccense</i>		X
Margousier ou neem	<i>Azadirachta indica</i>	X	X
Eucalyptus	<i>Eucalyptus exserta</i>	X	X
Palmier de palmyre	<i>Borassus flabellifer</i>	X	X
Figuier des pagodes	<i>Ficus religiosa</i>	X	X
Kapokier	<i>Ceiba pentandra</i>	X	X
Manguier	<i>Mangifera indica</i>	X	X
Sapotillier	<i>Manilkara zapota</i>	X	X

#### **4 - Enquêtes de terrain : identification des zones à risque**

Deux sessions d'interviews par questionnaires ont été réalisées. La première couvrant les 15 premiers jours de terrains a été réalisée avec l'aide d'un premier interprète. Trois questionnaires ont été réalisés par jour en moyenne. Pour la seconde quinzaine, Lida Kong, stagiaire cambodgienne à l'Institut Pasteur a réalisé 41 interviews par questionnaires au cours de cette période. Seules ces données ont été consignées dans une base de donnée Access réalisée par cette-dernière. De fait, les résultats seront présentés en deux parties. La première, qui concerne le mois d'étude, est de type qualitatif. La seconde, qui émane de la base de donnée Access est d'ordre quantitatif mais ne concerne que la seconde quinzaine de la période d'étude.

##### A - Analyse qualitative

A l'issue des enquêtes de terrain, plusieurs sites avec des pratiques à risque ont été rencontrés dans des zones attestant la présence de roussettes. Ces sites ont été consignés dans une base de donnée. Cette base de donnée comprend l'identité de la personne et ses contacts, le type de pratique à risque, les coordonnées GPS. Les personnes identifiées ici ont un risque plus important que l'ensemble des autres personnes interviewées d'avoir été en contact avec le virus puisque des chauves-souris sont présentes sur ces sites et que des voies de contamination potentielles ont été rapportées. L'ensemble de ces sites identifiés pendant cette période de terrain d'un mois constitue donc un socle prioritaire de personnes chez qui faire l'étude de séroprévalence et assurer une prévention, tel que décrit en introduction dans le projet TéléNipah.

A l'instar de la voie de contamination connue au Bangladesh, nous avons identifié de nombreux sites de collecte de jus de palme. La récolte va de 10 à 100L par jour suivant les producteurs rencontrés. Sur les 19 vendeurs identifiés, tous utilisent des récipients de collecte dans lesquels l'orifice est suffisamment grand pour que les chauves-souris puissent le contaminer (cf figure 12), à l'exception d'un seul utilisant des orifices trop petits pour laisser boire les roussettes. Ils attestent tous de la présence de roussettes, et des traces de crottes sont retrouvées sur les palmiers, mais cette présence ne semble pas gêner les collecteurs. Dans la majorité des cas, tout le stock est écoulé dans la journée. La vente a généralement lieu chez le vendeur de jus de palme mais certains livrent aux particuliers dans les environs. L'ensemble des vendeurs de jus de palme boit du jus quotidiennement. Ces sites identifiés (cf figure 13)

sont donc des sites à haut risque, prioritaires pour réaliser des prélèvements pour l'étude de séroprévalence humaine organisée suite à cette étude de télémétrie.

Aucune ferme de porcs intensive n'a été découverte chez l'ensemble des personnes interviewées dans la zone d'étude, le scénario de la Malaisie est donc peu probable pour cette zone d'étude.

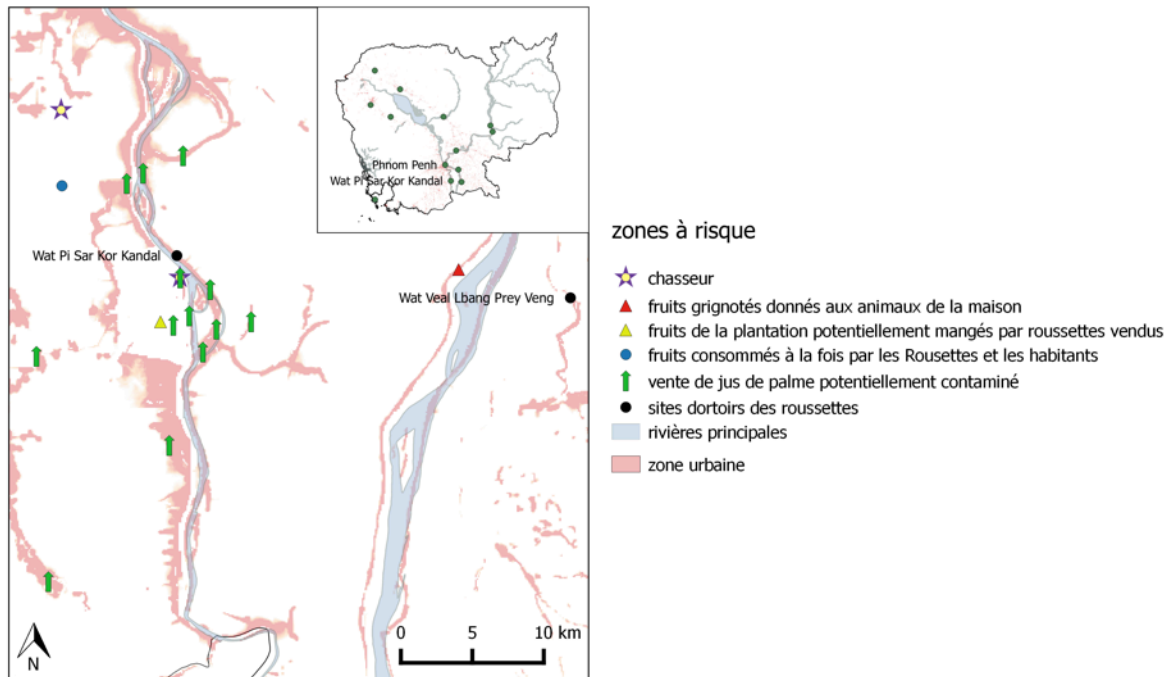
La chasse semble peu fréquente, même s'il est difficile de recueillir cette information de façon objective. Deux sites de chasse ont néanmoins été découverts. Au niveau du premier site (au nord-ouest sur la carte), se trouve un gigantesque *Ficus religiosa* dans lequel de nombreuses chauves-souris viennent. Malgré sa dimension religieuse (un autel bouddhiste se trouve à proximité et cet arbre est appelé arbre du Bouddha), un chasseur vivant dans le village en chasse 30 par ans et s'est déjà fait mordre. Au mois d'août, il vend des roussettes. Toutes les personnes ayant consommé des roussettes recommandent sa qualité gustative. Le second site, se situe au niveau d'une plantation de sapotillers (à proximité du site dortoir sur la carte). Le propriétaire, qui voit ses plantations mangées par les chauves-souris n'hésite pas à les chasser. Par ailleurs, il donne des restes de fruits consommés à sa vache et sa truie, et vend les fruits qu'il récolte déjà consommés ou non.

Une autre situation à risque est celle d'une grande plantation de manguiers, où de nombreuses roussettes viennent s'alimenter. Ici, les mangues sont mélangées, déjà consommées en partie ou non puis vendues pour l'exportation au Vietnam (cf figure 12). Nous n'avons pas eu connaissance du mode d'utilisation des fruits exportés. Il faudrait réaliser d'autres interviews afin d'identifier si cette pratique est commune aux plantations de la région.



**Figure 12 : deux situations de pratiques à risque identifiées dans la zone d'étude.** A gauche, récipients de collecte du jus de palme dans lesquels les roussettes peuvent s'abreuver. A droite, mélange de mangues comprenant des mangues partiellement consommées par des roussettes pour la vente à l'exportation.

CARTE REPRESENTANT LES ZONES RECENTEES AVEC DES PRATIQUES A RISQUE ISSUES DES ENQUETES DE TERRAIN



**Figure 13 : sites identifiés à haut risque de transmission du virus, prioritaires pour réaliser des prélèvements pour l'étude de séroprévalence humaine.**

Un autre cas, beaucoup plus anecdotique, est celui d'une personne qui détenait des animaux sauvages en captivité (8 civettes, et détenait des singes auparavant) à qui il donne des mangues en partie consommées (donc potentiellement contaminées par les roussettes qui fréquentent son verger).

La carte de chaleur est présentée ici puisqu'elle atteste de la présence des chauves-souris de l'étude, permette ainsi de cibler des localisations pour compléter l'échantillonnage pour l'étude de séroprévalence (cf figure 14).

CARTE DE CHALEUR MONTRANT LA DENSITE DES LOCALISATIONS  
DE L'ENSEMBLE DES ROUSSETTES DANS LA ZONE D'ETUDE

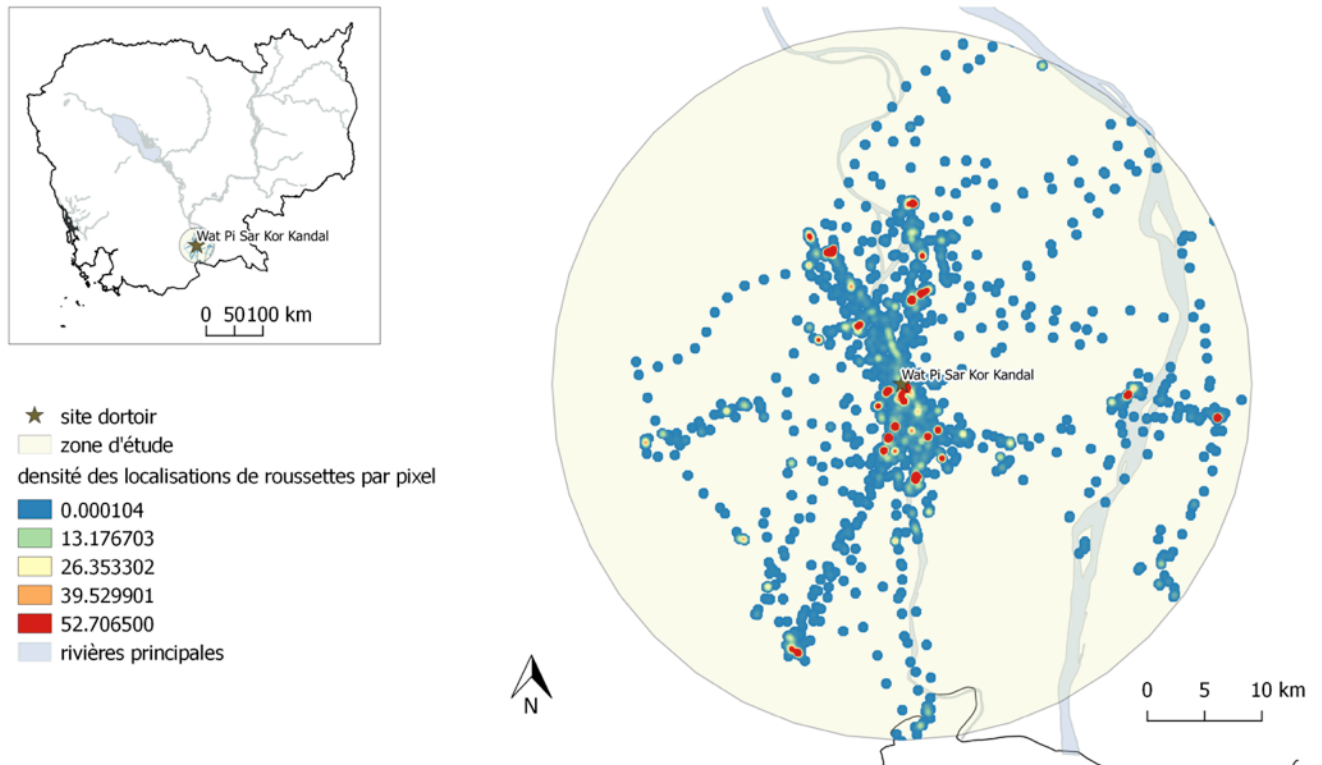


Figure 14 : carte de chaleur de la distribution des roussettes de l'étude.

## B - Analyse quantitative

### *Menaces pour les roussettes :*

Sur les 41 personnes interrogées, 88% des personnes ne mangent jamais de roussettes, 10% occasionnellement et 2% très souvent. 95% des personnes ne chassent jamais de roussettes, 2% occasionnellement et 2% souvent. Cependant, pour l'ensemble des personnes ayant goûté des roussettes, leur goût est qualifié de très bon à excellent.

### *Perception :*

Sur les 41 personnes interrogées, 10% estiment que les roussettes portent chance, 2% estiment qu'elles peuvent porter malheur contre 41% qui pensent qu'elles ne portent pas malheur. Elles ne sont pas effrayantes pour 83% des personnes interrogées. Pour 76% des personnes, les

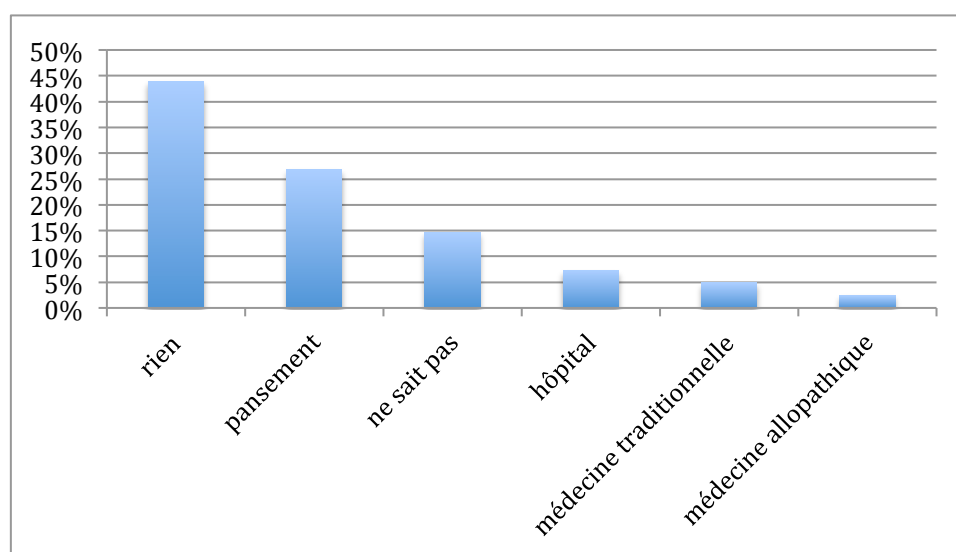
roussettes ne constituent pas un problème pour les activités humaines et 6% considère qu'elles peuvent être un problème.

#### *Utilité et services écosystémiques :*

37 % des personnes considèrent que les roussettes ne sont pas utiles pour les activités humaines, et 46% de peu utiles à très utiles (27%). Pour les personnes qui leur trouvent une utilité, toutes les personnes ayant répondu rapportent l'utilisation de guano, deux personnes considèrent qu'elles sont des prédateurs d'insectes ravageurs et une personne leur confère des vertues médicinales. Parmi les personnes interrogées, 88% n'ont aucun bénéfice issu des roussettes. Pour les 7% des personnes qui en tirent un bénéfice, celui-ci provient de l'utilisation du guano comme fertilisant. 73% des personnes ne savent pas qu'elles jouent un rôle dans la pollinisation et 80% ne savent pas qu'elles concourent à l'entretien de la couverture forestière.

#### *Roussettes et santé :*

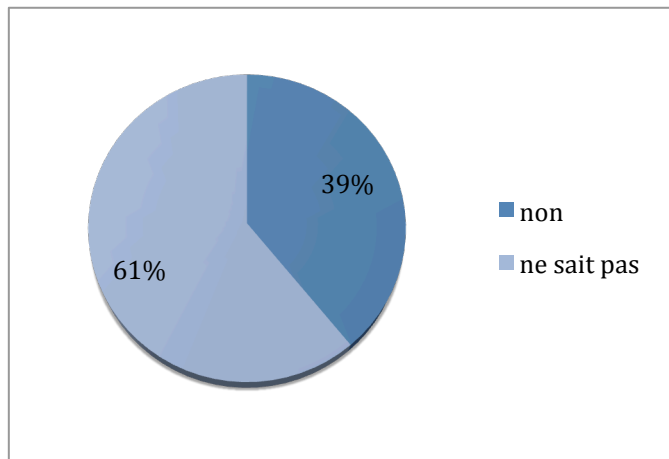
17% des personnes interrogées indiquent que les roussettes peuvent être utilisées pour soigner certaines maladies (douleurs du dos, douleurs articulaires et problèmes sanguins ou osseux) et 20% estiment qu'elles ne peuvent pas être utiles pour soigner, 63% ne sait pas. Pour l'ensemble des personnes interrogées, ce n'est pas un problème d'être mordu par une roussette. 44% des personnes qui seraient mordues ne feraient rien, les alternatives sont l'utilisation de pansements, d'aller à l'hôpital, l'emploi de la médecine traditionnelle ou allopathique (cf. figure 15)



*Figure 15 : Réaction des personnes si elles étaient mordues par des roussettes.*

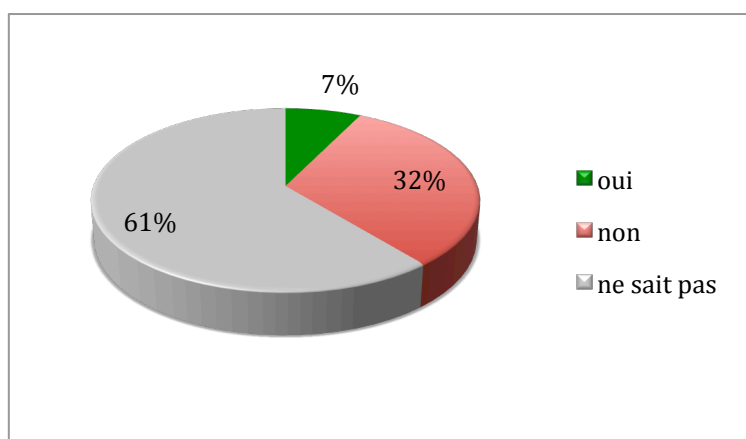


La majorité des personnes ne sait pas si les roussettes peuvent transmettre des maladies aux animaux ainsi qu'aux humains et 7% pensent qu'elles peuvent transmettre des maladies aux humains uniquement (cf figure 16).



**Figure 16 : réponse à la question :**

*« Les chauves-souris peuvent-elles transmettre des maladies aux animaux ? »*



**Figure 17 : réponse à la question :**

*« Les chauves-souris peuvent-elles transmettre des maladies aux humains ? »*

## 5 - Modèle de distribution d'espèce

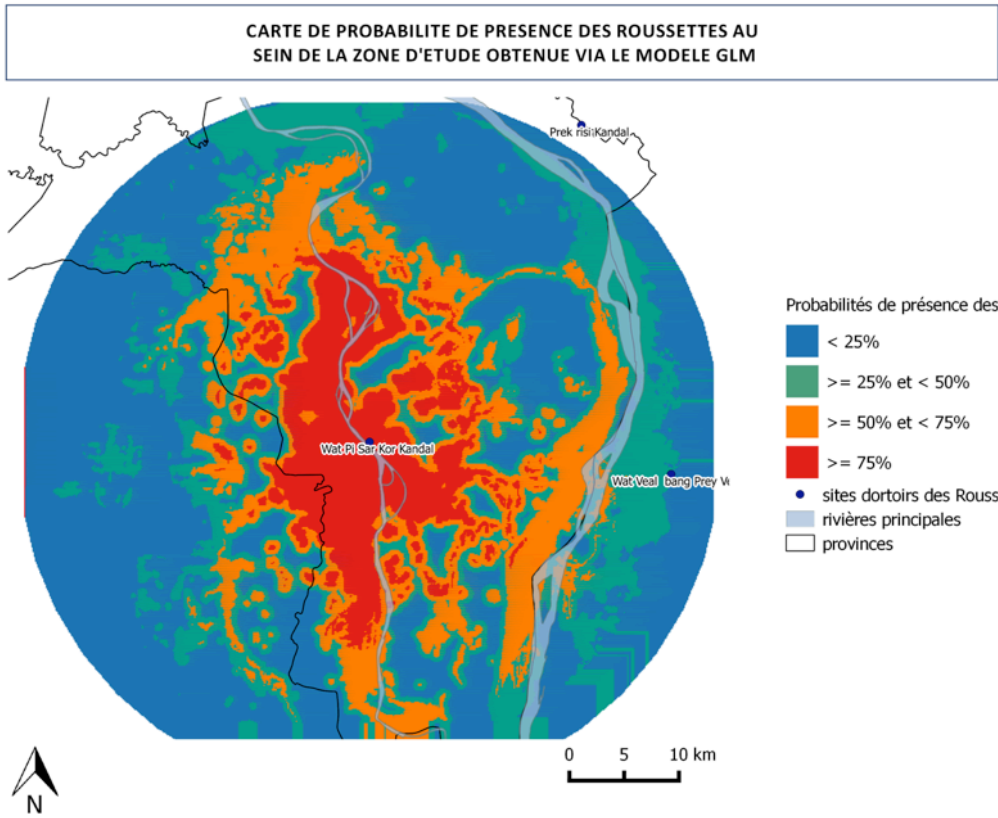
L'ensemble des variables du modèle (distances au site dortoir de capture, aux rivières, aux zones urbaines, aux plantations) a une influence significative sur la distribution observée (cf tableau 7).

**Tableau 7 : résultats des différents coefficients issus du GLM réalisé sous R.**

Variables	Estimateur	Erreur standard	Z value	Pr(> z )
(Intercept)	4.623e+00	1.934e-01	23.903	< 2e-16 ***
dwbody	-4.718e+00	8.132e-01	-5.802	6.56e-09 ***
dwway	-1.286e+00	2.407e-01	-5.341	9.24e-08 ***
durb	-2.524e+02	7.591e+00	-33.248	< 2e-16 ***
dplant	-4.436e-04	4.099e-05	-10.821	< 2e-16 ***
droost	-1.313e-01	3.435e-03	-38.240	< 2e-16 ***

NB : '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Nous avons donc réalisé une visualisation de la prédiction de la distribution des roussettes lors de la recherche de nourriture. La carte qui en résulte représente une estimation de la probabilité de présence des roussettes lors de la recherche de nourriture (cf figure 18).



*Figure 18 : carte représentant la probabilité de présence des roussettes dans la zone d'étude.*

---

## IV – DISCUSSION

---

Les fonctionnements des colliers correspondent aux résultats attendus, puisqu'avec une durée moyenne de fonctionnement de 12.71j, la période d'étude d'un mois a pu être couverte avec deux sessions de pose de colliers. Sur l'ensemble des données récoltées, 51% correspondent à des localisations de recherche de nourriture. Il apparaît que la meilleure programmation avec l'emploi de ces colliers est de récolter des données toutes les 5 min avec un temps d'enregistrement de 90s. Contrairement à ce qui été attendu et des données connues sur les déplacements de *Pteropus Lylei* (Oleksy et al., 2015), les distances maximales parcourues par nuit étaient très variables et sortaient largement de la zone d'étude pour certaines d'entre elles : de 6.87km à 105.14km (moyenne : 28.3km). Les trajectoires observées sont globalement différentes pour l'ensemble des chauves-souris.

Il est clair que 14 balises GPS ne peuvent être représentatives du comportement de l'ensemble des chauves-souris de la colonie, mais des similitudes ont toutefois pu être dégagées. D'une part, l'acte de recherche de nourriture n'est pas un événement aléatoire. A l'instar d'une étude aux Philippines (Jong et al., 2013), la majorité des chauves-souris retournent sur des zones de recherche de nourriture visitées pendant les nuits précédentes, indiquant qu'une fois qu'une ressource alimentaire est trouvée, son utilisation est répétée. Ceci semble naturellement plus efficient en terme de coût énergétique. Mais ce résultat a aussi un impact sur le risque de transmission du virus Nipah, puisqu'on a potentiellement une accumulation de la charge virale à certaines localisations. Le fait que certaines chauves-souris parcourent 105 km en une nuit peut donc être paradoxal en terme d'économie d'optimisation d'énergie pour la recherche de nourriture. Plusieurs hypothèses mériteraient d'être testées. Peut-être que la structure sociale prévoit que les zones les plus faciles d'accès soient réservées aux chauves-souris les mieux placées dans la hiérarchie. Peut-être que certains sites plus éloignés constituent des zones de rencontre avec d'autres colonies. L'histoire individuelle d'une chauve-souris dérangée dans une zone de recherche de nourriture pourrait aussi favoriser la recherche de nourriture à des distances plus éloignées. L'autre élément commun est que plus de la moitié des aires de recherche de nourriture des roussettes se trouvent en zone urbaine, suivies des plantations (26.56%), puis dans les zones cultivées (16.17%) et une faible part dans les champs. Ceci peut sembler paradoxal en terme d'abondance de nourriture qui est nettement supérieure dans les plantations que dans les jardins en zone urbaine. Cependant la diversité de fruits est cette-fois ci plus élevée chez les particuliers que dans les plantations, où seul un mélange de manguiers et sapotillers sont observés. D'autre part, les

traitements des arbres dans les plantations poussent peut-être les chauves-souris à s'alimenter dans les jardins qui sont a priori moins traités (source locale). On pourrait s'attendre à ce que les roussettes se retrouvent en zone non cultivée avec moins d'anthropisation, mais la plupart des bosquets n'abritent que peu d'arbres fruitiers. En terme de risque de transmission du virus, cette répartition majoritaire en zone urbaine favorise des contacts potentiels entre chauves-souris et humains. Mais cette donnée est à relativiser. En effet, peu de sites avec des pratiques à risque ont été identifiés dans les zones urbaines (pas d'élevage intensif de porc dévouvert et les fruits mangés par les roussettes chez les particuliers sont généralement laissés à l'abandon).

L'utilisation de la télémétrie GPS, a aussi permis de mettre en évidence une connection entre les différents sites dortoirs de la région pendant le mois d'avril-mai, période de circulation du virus. De fait, une transmission de virus pourrait s'opérer entre les différentes populations de roussettes au Cambodge à cette période et ainsi se retrouver à une échelle nationale. L'emploi de cette technologie a aussi permis de mettre en évidence un nouveau site dortoir dont l'existence a été confirmée sur le terrain et de suspecter la présence de deux autres sites dortoirs qui sont eux à confirmer.

Même si les données des colliers ARGOS ne font pas partie de notre étude, l'emploi de balises ARGOS a permis de mettre en évidence des changements de site dortoir de roussettes ne revenant pas au site d'origine et ainsi récupérer les données des autres colliers GPS dans ces sites dortoirs. La pose des types de balises (ARGOS et GPS) est donc souhaitable pour ce type d'étude.

Au-delà des analyses de trajectoires, de types d'habitats et de découvertes d'autres sites dortoirs, la précision des données GPS a permis d'avoir une bonne pertinence des enquêtes de terrain, tant sur des aspects liés à l'écologie de l'espèce qu'en terme d'épidémiologie. D'une part, les localisations GPS ont en effet permis dans certains cas d'accéder précisément à un fruit consommé aux coordonnées indiquées. A partir de ces éléments, les interviews étaient donc facilitées puisque les roussettes étaient présentes la veille, des connaissances locales liées à leur alimentation ont ainsi pu être recueillies. En terme de données relatives aux plantes utilisées par les roussettes, nous pouvons attester de l'utilisation de 7 espèces de plantes par les roussettes (cf tableau 4). L'utilisation renvoie au temps passé mais n'indique pas pour autant que ces plantes constituent une ressource alimentaire. Parmi ces espèces où une présence est avérée, nous pouvons attester de l'utilisation de 4 espèces comme ressource alimentaire : *Mangifera indica*, *Manilkara zapota*

(restes de fruits consommés), *Borassus flabellifer*, *Ficus religiosa* (connaissances locales). Ces données confirment celles d'une étude similaire en Thaïlande (Oleksy et al., 2015). A l'instar de cette étude, l'utilisation d'*Eucalyptus exserta* est démontrée mais nous n'avons pas de preuve de consommation de fleurs ou de feuilles. L'utilisation de *Syzygium malaccense* présentée dans cet article s'est confirmée lors d'interviews indiquant que cette plante constitue une ressource alimentaire pour les chauves-souris.

D'autre part, l'identification de sites avec des pratiques à risque via les interviews a été rendue pertinente via l'utilisation de la télémétrie puisqu'elles étaient pratiquées dans des zones visitées par les chauves-souris. En effet, lorsque des situations où les personnes interrogées donnent des fruits déjà consommés à leurs animaux domestiques, il est très probable que ces fruits soient potentiellement contaminés par *Pteropus lylei*. Nous avons donc pu identifier des individus ayant des pratiques à risque de transmission du virus Nipah, le risque principal étant celui lié à la consommation de jus de palme. En effet, le jus collecté est laissé une journée et une nuit à la fermentation, le virus peut donc survivre dans ces conditions (Fogarty et al., 2008). Ces résultats seront donc directement utilisables, constituant ainsi une base de données prioritaire pour l'étude de séroprévalence qui suivra. En effet, le développement d'un test sérologique adapté aux souches circulant dans la région est en cours et sera testé en priorité dans la base de données des personnes susceptibles d'avoir été en contact avec le virus issue de cette étude. De plus, une étude de modélisation d'accompagnement appliquée dans la zone d'étude est en cours, la participation des personnes identifiées à risque pour le jeu de rôle à des fins de prévention est donc souhaitable. Il pourrait aussi être utile de réunir l'ensemble des vendeurs de jus de palme identifiés afin qu'ils partagent leur pratique et puissent trouver des solutions communes pour empêcher la contamination lors de la récolte de jus de palme. En effet, des solutions simples telles que des tamis de bambou pour empêcher la contamination par les chauves-souris ont montré leur efficacité au Bangladesh (Khan et al., 2010). La carte de densité de coordonnées fournie par l'ensemble des localisations, même si elle ne concerne que 14 roussettes, présente des zones très fréquentées par ces dernières qui peuvent ainsi constituer des zones prioritaires pour compléter l'étude de séroprévalence.

De part le protocole employé et le faible nombre d'interviews qui constituent actuellement la base de données, l'échantillon de personnes interviewées ne peut être représentatif de la population de la zone d'étude. Toutefois, deux aspects sont à souligner. La totalité des personnes estiment que ce n'est pas un problème d'être mordu par une chauve-souris et la connaissance de leur rôle en tant que réservoir de maladies en particulier

zoonotique est quasi inexistante. Il y a donc une nécessité d'informer les personnes interviewées et par extension judicieux d'informer celles de la zone d'étude en contact avec des roussettes par principe de précaution. Ensuite, il n'y a pas de perception négative des roussettes ce qui peut encourager des mesures de conservation. La majorité n'a pas connaissance des rôles écologiques des roussettes. Il apparaît donc légitime d'encourager des mesures de prévention qui incluraient la protection des roussettes.

A l'issue de ces différentes analyses, nous avons souhaité développer un modèle pour prédire la distribution des roussettes dans la zone d'étude. Par faute de temps, un seul modèle de distribution d'espèce a pu être développé même si nous aurions souhaité combiner plusieurs modèles et connaître la valeur prédictive associée à chaque modèle comme dans l'étude de *Thanapongtharm et al.* Les variables utilisées sont significatives, mais nous sommes conscients qu'il présente de nombreuses limites. D'une part ce modèle est un modèle de présence/absence, or ici les absences sont des pseudos-absences générées aléatoirement. Des variables liées au sexe, à l'âge mériteraient d'être ajoutées. La connaissance d'échanges de sites dorts à cette période de l'année serait aussi à ajouter, indiquant la préférence pour un site dortoir et une variable de distance incluant l'ensemble des différents sites dorts. D'autre part, certaines couches employées pour générer les données de distance, notamment celle des vergers, présentent aussi de nombreuses imprécisions. Les données utilisées pour ce modèle ne peuvent être que de type exploratoire (Calenge, 2005). En effet, il faudrait réaliser une autre étude de terrain visant à tester ce modèle afin de confirmer ces données. Il serait donc intéressant d'étendre cette étude dans des sites similaires afin de confirmer nos données et de tester les variables utilisées avec d'autres modèles afin d'avoir un résultat issu de la combinaison de ces modèles. Le modèle ainsi obtenu pourrait servir de base pour l'élaboration d'un modèle du risque d'émergence du virus Nipah, permettant ainsi de cibler la prévention dans les zones à risque identifiées. Toutefois, les données relatives aux collecteurs de jus de palme sont indisponibles et celles relatives aux élevages de porcs peu fiables. Seul le croisement de ces informations associé au taux de reproduction de base du virus ( $R_0$ ) permettrait d'arriver à un tel résultat, mais cela dépasse largement le cadre de cette étude.

L'approche d'écologie de la santé présente dans cette étude, avec le prisme de la télé-épidémiologie, montre un réel intérêt puisqu'elle fournit des données permettant de concilier conservation des roussettes et bénéfice pour la santé publique. Certains services écosystémiques sont connus, notamment la pollinisation de certaines plantes et la dissémination de grandes graines sur de longues distances qui concourent à l'entretien de la couverture forestière. Or les populations de roussettes peuvent tendre à disparaître bien avant

qu'elles ne deviennent rare (McConkey and Drake, 2006), il convient donc de les préserver. Aucun traitement n'existant à ce jour, il semble judicieux de prévenir ou de contenir l'épidémie avant qu'elle n'apparaisse. Le pic d'excrétion du virus ayant a priori lieu pendant la période de reproduction, le choix de la période de l'étude a ainsi pu être concentré sur cet intervalle de temps, et permettrait par là, de cibler la période de prévention. Les chasseurs connus pourraient ainsi être sensibilisés pour éviter toute chasse à cette période précise, évitant ainsi la transmission d'agents pathogènes et de troubler l'élevage des jeunes. Grâce aux connaissances recueillies sur les arbres utilisés par les chauves-souris, leurs préférences alimentaires, les distances de vol par nuit, on pourrait imaginer la création de zones tampons pour les chauves-souris leur offrant ainsi un habitat protégé et diminuant ainsi la pression de fréquentation dans les plantations. L'ensemble de ces solutions, zones tampons, protection des récoltes de jus de palme, sensibilisation des chasseurs et des personnes à risque pourraient fournir une opportunité de concilier protection des roussettes et bénéfice pour la santé publique.





---

## CONCLUSION

---

Les menaces qui pèsent face aux maladies sont plus que jamais d'actualité. Si des moyens de les combattre tels que les antibiotiques, traitements symptomatiques individuels ont leur utilité, ils ont aussi leurs limites et il semble aujourd'hui nécessaire de repenser notre appréhension des maladies. En effet, l'émergence ou la ré-émergence d'agents pathogènes soulignent le lien étroit entre la santé humaine, animale et de l'environnement. Dès lors une compréhension raisonnée pour une prévention et une lutte efficace ne peuvent se faire qu'en abordant une compréhension systémique de ces pathogènes. Le virus Nipah, de part son caractère zoonotique, en est un parfait exemple. Les foyers d'émergence de ce virus découverts en Malaisie et au Bangladesh soulignent l'impact de la modification de l'environnement et de pratiques agricoles sur la transmission d'agents pathogènes, mais la situation restait inconnue au Cambodge. Fort de la présence d'espèces de chauves-souris appartenant au genre *Pteropus* porteuses de virus Nipah, l'étude des risques d'émergence de ce virus au Cambodge est aujourd'hui en cours. Les caractéristiques épidémiologiques originales liées aux traits de vie de ces chauves-souris peuvent assurer un maintien, le transport et la transmission potentielle de virus sur de longues distances. Si l'ensemble des disciplines qui composent l'approche OneHealth doivent être recoupées, l'étude de leur écologie semble nécessaire pour identifier les éventuelles zones à risque d'émergence. Les avancées technologiques de ces dernières décennies dans le domaine de la télémétrie GPS nous ont fourni des données précises sur les habitudes alimentaires (fruits consommés, zones de recherche de nourriture) pendant la période du pic d'excrétion du virus dans notre zone d'étude. Ces données ont aussi confirmé une connexion entre les différents sites dorts connus du Cambodge à cette période, offrant ainsi une voie de diffusion du virus à l'échelle régionale voire nationale. Cette approche a permis d'identifier des zones avec des pratiques à risque représentées majoritairement par des sites de vente de jus de palme contaminé. Ces résultats offrent donc une base de donnée utile pour l'étude de séroprévalence et des campagnes de prévention. Une telle étude à partir des autres sites dorts permettrait ainsi d'étendre les connaissances à l'échelle du Cambodge. Cette approche, puisqu'elle se base sur l'écologie des réservoirs, pourrait permettre de modéliser la distribution potentielle des *Pteropus* à l'échelle du pays offrant ainsi un gain de temps et d'argent notable. De part les services écosystémiques rendus par ces espèces et des bénéfices économiques potentiels pour les locaux, des efforts de conservation sont indispensables et nous sommes convaincus qu'ils peuvent être adaptés à ces mesures de prévention. Toutefois la résolution des problèmes de

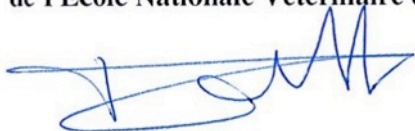
santé publique est à adapter au contexte social du pays qui dépend en grande partie des politiques de l'état. Si ces aspects ne sont pas nécessairement du ressort des instituts de recherche la question de leur mise en application mérite d'être posée. La modélisation d'accompagnement, issue de concertations entre épidémiologistes, écologues, sociologues et modélisateurs peut offrir une piste pour allier conservation des espèces au bénéfice de la santé publique avec un bénéfice direct pour les populations locales. Par son approche scientifique d'écologie de la santé utilisant une méthodologie novatrice, ce projet constitue un pas personnel décisif, qui je l'espère me permettra de trouver des réponses à la question suivante : comment conserver la biodiversité et les espèces menacées tout en évitant la transmission des maladies de la faune sauvage aux humains et au bétail ?

**AGREMENT SCIENTIFIQUE**

**En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire**

Je soussignée, PAUL Mathilde, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **RAVON Sébastien** intitulée « **Suivi GPS de *Pteropus Lylei* à l'interface chauves-souris humains, intérêt pour la conservation et l'étude du risque d'émergence du virus Nipah au Cambodge.** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

**Fait à Toulouse, le 12 octobre 2016**  
**Docteur PAUL Mathilde**  
**Enseignant chercheur**  
**de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse**



**Vu :**  
**Le Président du jury :**  
**Professeur Christophe PASQUIER**



M. RAVON Sébastien  
a été admis(e) sur concours en : 2011  
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 25/06/2015  
a validé son année d'approfondissement le : 08/09/2016  
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

**Vu :**  
**La Directrice de l'Ecole Nationale  
Vétérinaire de Toulouse**  
**Isabelle CHMTELIN**



**Vu et autorisation de l'impression :**  
**Président de l'Université**  
**Paul Sabatier**  
**Monsieur Jean-Pierre VINEL**

Le Président de l'Université Paul Sabatier  
par délégation,  
La Vice-Présidente de la CFVU

  
Régine ANDRÉ-OBRECHT



---

## BIBLIOGRAPHIE

---

- Austad, S.N., Fischer, K.E., 1991. Mammalian aging, metabolism, and ecology: evidence from the bats and marsupials. *J. Gerontol.* 46, B47–B53.
- Bates, P., Francis, C., Gumal, M., Bumrungsri, S., Walston, J., Heaney, L. & Mildenstein, T. 2008. *Pteropus vampyrus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008 : [en ligne]. Disponible sur : <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T18766A8593657.en>. (consulté le 04/03/16)
- Boots, M., Hudson, P.J., Sasaki, A., 2004. Large Shifts in Pathogen Virulence Relate to Host Population Structure. *Science* 303, 842–844. doi:10.1126/science.1088542
- Brierley, Liam, Maarten J. Vonhof, Kevin J. Olival, Peter Daszak, and Kate E. Jones. 2016. “Quantifying Global Drivers of Zoonotic Bat Viruses: A Process-Based Perspective.” *American Naturalist* 187 (2): E53–64. doi:10.1086/684391.
- Brigham, R.M., 1988. Load carrying and maneuverability in an insectivorous bat: a test of the 5%“ rule” of radio-telemetry. *J. Mammal.* 69, 379–382.
- Bumrungsri, S., Suyanto, A. & Francis, C. 2008. *Pteropus lylei*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008 [en ligne]. Disponible sur : <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T18734A8513517.en> (consulté le 04/03/16)
- Calenge, C., 2005. Des outils statistiques pour l’analyse des semis de points dans l’espace écologique. Lyon 1.
- Calisher, C.H., Childs, J.E., Field, H.E., Holmes, K.V., Schountz, T., 2006. Bats: Important Reservoir Hosts of Emerging Viruses. *Clin. Microbiol. Rev.* 19, 531–545. doi:10.1128/CMR.00017-06
- Chomel, B.B., Belotto, A., Meslin, F.-X., others, 2007. Wildlife, exotic pets, and emerging zoonoses. *Emerg. Infect. Dis.* 13, 6.
- Chua, K.B., 2003. Nipah virus outbreak in Malaysia. *J. Clin. Virol.* 26, 265–275.
- Chua, K.B., Bellini, W.J., Rota, P.A., Harcourt, B.H., Tamin, A., Lam, S.K., Ksiazek, T.G., Rollin, P.E., Zaki, S.R., Shieh, W.-J., others, 2000. Nipah virus: a recently emergent deadly paramyxovirus. *Science* 288, 1432–1435.

- Chua, K.B., Koh, C.L., Hooi, P.S., Wee, K.F., Khong, J.H., Chua, B.H., Chan, Y.P., Lim, M.E., Lam, S.K., 2002. Isolation of Nipah virus from Malaysian Island flying-foxes. *Microbes Infect.* 4, 145–151.
- Clayton, B.A., Middleton, D., Bergfeld, J., Haining, J., Arkinstall, R., Wang, L., Marsh, G.A., 2012. Transmission routes for Nipah virus from Malaysia and Bangladesh. *Emerg Infect Dis* 18, 1983–93.
- Clayton, B.A., Wang, L.F., Marsh, G.A., 2013. Henipaviruses: An Updated Review Focusing on the Pteropid Reservoir and Features of Transmission. *Zoonoses Public Health* 60, 69–83. doi:10.1111/j.1863-2378.2012.01501.x
- de Wit, E., Munster, V.J., 2015. Animal models of disease shed light on Nipah virus pathogenesis and transmission. *J. Pathol.* 235, 196–205. doi:10.1002/path.4444
- Documentation de QGIS 2.0 [en ligne]. Disponible sur : <http://docs.qgis.org/2.0/fr/docs/index.html> (consulté le 17/08/16).
- Epstein, J.H., Olival, K.J., Pulliam, J.R., Smith, C., Westrum, J., Hughes, T., Dobson, A.P., Zubaid, A., Rahman, S.A., Basir, M.M., others, 2009. Pteropus vampyrus, a hunted migratory species with a multinational home-range and a need for regional management. *J. Appl. Ecol.* 46, 991–1002.
- Fogarty, R., Halpin, K., Hyatt, A.D., Daszak, P., Mungall, B.A., 2008. Henipavirus susceptibility to environmental variables. *Virus Res.* 132, 140–144. doi:10.1016/j.virusres.2007.11.010
- Francis, C., Rosell-Ambal, G., Bonaccorso, F. & A., Heaney, L., Molur, S. & Srinivasulu, C. 2008. Pteropus hypomelanus. The IUCN Red List of Threatened Species 2008 [en ligne]. Disponible sur : <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T18729A8511932.en>. (consulté le 04/03/16)
- Francis, C.M., Barrett, P., 2008a. A guide to the mammals of Southeast Asia. Princeton University Press Princeton, New Jersey.
- Francis, C.M., Barrett, P., 2008b. A field guide to the mammals of South-East Asia. New Holland Publishers.
- George, D.B., Webb, C.T., Farnsworth, M.L., O’Shea, T.J., Bowen, R.A., Smith, D.L., Stanley, T.R., Ellison, L.E., Rupprecht, C.E., 2011. Host and viral ecology determine bat rabies seasonality and maintenance. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 10208–10213.

- GIEC, Rapport de Synthèse du cinquième Rapport [en ligne]. Disponible sur : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapport-de-synthese.html> (consulté le 04/05/16)
- Grace, D., Mutua, F., Ochungo, P., Kruska, R., Jones, K., Brierley, L., Lapar, M.L., Said, M., Herrero, M., Phuc, P.M., others, 2012. Mapping of poverty and likely zoonoses hotspots.
- Greger, M., 2007. The human/animal interface: emergence and resurgence of zoonotic infectious diseases. *Crit. Rev. Microbiol.* 33, 243–299.
- Guisan, A., Thuiller, W., 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecol. Lett.* 8, 993–1009.
- Guisan, A., Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model.* 135, 147–186.
- Hahn, M.B., Gurley, E.S., Epstein, J.H., Islam, M.S., Patz, J.A., Daszak, P., Luby, S.P., 2014. The role of landscape composition and configuration on *Pteropus giganteus* roosting ecology and Nipah virus spillover risk in Bangladesh. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 90, 247–255.
- Haydon, D.T., Cleaveland, S., Taylor, L.H., Laurenson, M.K., 2002. Identifying reservoirs of infection: a conceptual and practical challenge. *Emerg. Infect. Dis.* 8, 1468–1473.
- Hayman, D.T.S., 2015. Biannual birth pulses allow filoviruses to persist in bat populations. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.* 282, 20142591. doi:10.1098/rspb.2014.2591
- Hayman, D.T.S., Bowen, R.A., Cryan, P.M., McCracken, G.F., O’Shea, T.J., Peel, A.J., Gilbert, A., Webb, C.T., Wood, J.L.N., 2013. Ecology of Zoonotic Infectious Diseases in Bats: Current Knowledge and Future Directions. *Zoonoses Public Health* 60, 2–21. doi:10.1111/zph.12000
- Hondo, E., Inoue, N., Maeda, K., Rerkamnuaychoke, W., Duengkae, P., 2010. Movement of lyle’s flying fox (*Pteropus lylei*) in central Thailand.
- Horby, P. W., D. Pfeiffer, and H. Oshitani. 2013. Prospects for Emerging Infections in East and Southeast Asia 10 Years after Severe Acute Respiratory Syndrome. *Emerging Infectious Diseases* 19:853-860.
- Jeschke, J.M., Strayer, D.L., 2008. Usefulness of bioclimatic models for studying climate change and invasive species. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1134, 1–24.
- Jones, B.A., Grace, D., Kock, R., Alonso, S., Rushton, J., Said, M.Y., McKeever, D., Mutua, F., Young, J., McDermott, J., Pfeiffer, D.U., 2013. Zoonosis emergence linked to



- agricultural intensification and environmental change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 8399–8404. doi:10.1073/pnas.1208059110
- Jones, K.E., Patel, N.G., Levy, M.A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J.L., Daszak, P., 2008. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451, 990–993.
- Jong, C. de, Field, H., Tagtag, A., Hughes, T., Dechmann, D., Jayme, S., Epstein, J., Smith, C., Santos, I., Catbagan, D., Lim, M., Benigno, C., Daszak, P., Newman, S., 2013. Foraging Behaviour and Landscape Utilisation by the Endangered Golden-Crowned Flying Fox (*Acerodon jubatus*), The Philippines. *PLOS ONE* 8, e79665. doi:10.1371/journal.pone.0079665
- Khan, M.S.U., Hossain, J., Gurley, E.S., Nahar, N., Sultana, R., Luby, S.P., 2010. Use of Infrared Camera to Understand Bats' Access to Date Palm Sap: Implications for Preventing Nipah Virus Transmission. *Ecohealth* 7, 517–525. doi:10.1007/s10393-010-0366-2
- Kunz, T.H., Jones, D.P., 2000. *Pteropus vampyrus*. *Mamm. Species* 1–6.
- Leroy, E.M., Kumulungui, B., Pourrut, X., Rouquet, P., Hassanin, A., Yaba, P., Délicat, A., Paweska, J.T., Gonzalez, J.-P., Swanepoel, R., 2005. Fruit bats as reservoirs of Ebola virus. *Nature* 438, 575–576. doi:10.1038/438575a
- Lesaffre, B., n.d. Les maladies infectieuses émergentes, un défi « global ». *Ann. Mines - Responsab. Environ.* 7–14.
- Lloyd-Smith, J.O., George, D., Pepin, K.M., Pitzer, V.E., Pulliam, J.R.C., Dobson, A.P., Hudson, P.J., Grenfell, B.T., 2009. Epidemic Dynamics at the Human-Animal Interface. *Science* 326, 1362–1367. doi:10.1126/science.1177345
- MAFF—Ministry of Agriculture, Forestry & Fisheries (2007). *Prakas on Classification and List of Wildlife Species*. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, No. 020 PR. Ministry of Agriculture, Forestry & Fisheries, Phnom Penh, Cambodia.
- Manuel Argos [en ligne]. Disponible sur : [http://www.argos-system.org/manuel/index.html#2-system/23\\_satellites.htm](http://www.argos-system.org/manuel/index.html#2-system/23_satellites.htm) (consulté le 02/08/16).
- McConkey, K.R., Drake, D.R., 2006. Flying foxes cease to function as seed dispersers long before they become rare. *Ecology* 87, 271–276.
- Oleksy, R., Racey, P.A., Jones, G., 2015. High-resolution GPS tracking reveals habitat selection and the potential for long-distance seed dispersal by Madagascan flying foxes *Pteropus rufus*. *Glob. Ecol. Conserv.* 3, 678–692.
- Olival, K.J., Hayman, D.T.S., 2014. Filoviruses in Bats: Current Knowledge and Future Directions. *Viruses* 6, 1759–1788. doi:10.3390/v6041759

- O'Mara, M.T., Wikelski, M., Dechmann, D.K., 2014. 50 years of bat tracking: device attachment and future directions. *Methods Ecol. Evol.* 5, 311–319.
- OMS (Organisation mondiale de la Santé). Infection à virus Nipah [en ligne]. Disponible sur : <http://www.who.int/csr/disease/nipah/fr/> (consulté le 04/05/16).
- ONEMA (Office national de l'eau et des milieux aquatiques). Les poissons d'eau douce à l'heure du changement climatique : état des lieux et pistes pour l'adaptation, Chapitre 3 [en ligne]. Disponible sur : <http://prodinra.inra.fr/ft?id=9C86FE3B-B30E-4DFF-94E1-B8D1DA4A52B7> (consulté le 03/03/2016)
- ONERC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique). Changements climatiques et risques sanitaires en France [en ligne]. Disponible sur : <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/074000568/> (consulté le 04/05/16).
- O'Shea, T.J., Cryan, P.M., Cunningham, A.A., Fooks, A.R., Hayman, D.T., Luis, A.D., Peel, A.J., Plowright, R.K., Wood, J.L., 2014. Bat flight and zoonotic viruses. *Emerg Infect Dis* 20, 741–5.
- Patz, J.A., Graczyk, T.K., Geller, N., Vittor, A.Y., 2000. Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *Int. J. Parasitol.* 30, 1395–1405.
- Rainho, A., Palmeirim, J.M., 2011. The Importance of Distance to Resources in the Spatial Modelling of Bat Foraging Habitat. *PLOS ONE* 6, e19227.  
doi:10.1371/journal.pone.0019227
- Ravon, S., Furey, N.M., Hul, V., Cappelle, J., 2014. A rapid assessment of flying fox. *Cambodian J. Nat. Hist.* 14.
- Reynes, J.-M., Counor, D., Ong, S., Faure, C., Seng, V., Molia, S., Walston, J., Georges-Courbot, M.C., Deubel, V., Sarthou, J.-L., 2005. Nipah virus in Lyle's flying foxes, Cambodia. *Emerg Infect Dis* 11, 1042–1047.
- Richter, H.V., Cumming, G.S., 2008. First application of satellite telemetry to track African straw-coloured fruit bat migration. *J. Zool.* 275, 172–176.
- Rodhain, F., 2014. Bats and viruses: what relationships? What consequences? *Bull. Académie Natl. Médecine* 198, 1423.
- Rogers, D.J., Randolph, S.E., 2006. Climate change and vector-borne diseases. *Adv. Parasitol.* 62, 345–381.
- Smith, C.S., Epstein, J.H., Breed, A.C., Plowright, R.K., Olival, K.J., Jong, C. de, Daszak, P., Field, H.E., 2011. Satellite Telemetry and Long-Range Bat Movements. *PLOS ONE* 6, e14696. doi:10.1371/journal.pone.0014696

- Streicker, D.G., Turmelle, A.S., Vonhof, M.J., Kuzmin, I.V., McCracken, G.F., Rupprecht, C.E., 2010. Host Phylogeny Constrains Cross-Species Emergence and Establishment of Rabies Virus in Bats. *Science* 329, 676–679. doi:10.1126/science.1188836
- Taylor, L.H., Latham, S.M., Mark, E.J., 2001. Risk factors for human disease emergence. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 356, 983–989.
- Thanapongtharm, W., Linard, C., Wiriyarat, W., Chinsorn, P., Kanchanasaka, B., Xiao, X., Biradar, C., Wallace, R.G., Gilbert, M., 2015. Spatial characterization of colonies of the flying fox bat, a carrier of Nipah Virus in Thailand. *BMC Vet. Res.* 11, 1.
- Tsoar, A., Nathan, R., Bartan, Y., Vyssotski, A., Dell’Omo, G., Ulanovsky, N., 2011. Large-scale navigational map in a mammal. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, E718–E724.
- Turmelle, A.S., Olival, K.J., 2010. Correlates of Viral Richness in Bats (Order Chiroptera). *EcoHealth* 6, 522–539. doi:10.1007/s10393-009-0263-8
- Wacharapluesadee, S., Boongird, K., Wanghongsa, S., Ratanasetyuth, N., Supavonwong, P., Saengsen, D., Gongal, G.N., Hemachudha, T., 2010. A Longitudinal Study of the Prevalence of Nipah Virus in *Pteropus lylei* Bats in Thailand: Evidence for Seasonal Preference in Disease Transmission. *Vector-Borne Zoonotic Dis.* 10, 183–190. doi:10.1089/vbz.2008.0105
- Weber, N., Duengkae, P., Fahr, J., Dechmann, D.K., Phengsakul, P., Khumbucha, W., Siriaroonrat, B., Wacharapluesadee, S., Maneeorn, P., Wikelski, M., others, 2015. High-resolution GPS tracking of Lyle’s flying fox between temples and orchards in central Thailand. *J. Wildl. Manag.* 79, 957–968.
- Wibbelt, G., Moore, M.S., Schountz, T., Voigt, C.C., 2010. Emerging diseases in Chiroptera: why bats? *Biol. Lett.* 6, 438–440. doi:10.1098/rsbl.2010.0267
- Wikipédia. Système de positionnement par satellites [en ligne]. Disponible sur : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me\\_de\\_positionnement\\_par\\_satellites](https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_positionnement_par_satellites) (consulté le 04/04/16)
- Wood, J.L.N., Leach, M., Waldman, L., MacGregor, H., Fooks, A.R., Jones, K.E., Restif, O., Dechmann, D., Hayman, D.T.S., Baker, K.S., Peel, A.J., Kamins, A.O., Fahr, J., Ntiamoa-Baidu, Y., Suu-Ire, R., Breiman, R.F., Epstein, J.H., Field, H.E., Cunningham, A.A., 2012. A framework for the study of zoonotic disease emergence and its drivers: spillover of bat pathogens as a case study. *Phil Trans R Soc B* 367, 2881–2892. doi:10.1098/rstb.2012.0228
- Zhang, G., Cowled, C., Shi, Z., Huang, Z., Bishop-Lilly, K.A., Fang, X., Wynne, J.W., Xiong, Z., Baker, M.L., Zhao, W., Tachedjian, M., Zhu, Y., Zhou, P., Jiang, X., Ng, J., Yang, L., Wu, L., Xiao, J., Feng, Y., Chen, Y., Sun, X., Zhang, Y., Marsh, G.A., Crameri,

G., Broder, C.C., Frey, K.G., Wang, L.-F., Wang, J., 2012. Comparative Analysis of Bat Genomes Provides Insight into the Evolution of Flight and Immunity. *Science* 1230835. doi:10.1126/science.1230835



---

## ANNEXES

---

### ANNEXE 1 : questionnaire des enquêtes de terrain

1. IDENTIFICATION and SOCIO-DEMOGRAPHICS	
1.1. Interviewer name: _____	1.2. Date: ____ / ____ / _____
1.3 Household ID: ____ _ H ____	1.4. Patient ID : _____
1.5. Patient Name: _____	
1.6 Sex : <input type="checkbox"/> Male <input type="checkbox"/> Female	1.7. Age : ____ years ____ months
1.8 GPS Coordinates :	1.8.1 Longitude: _____
	1.8.2 Latitude: _____
1.9 Village: _____	
1.10 Commune: _____	
1.11 District: _____	
1.12 Province: _____	
1.13 Location of interview :	<input type="checkbox"/> Home <input type="checkbox"/> Workplace <input type="checkbox"/> Other : _____
1.14 Phone 1 : _____	
1.15 Phone 2 : _____	
1.16 Occupation : _____	

**2. Household environment, (do only once per household, 2.0 household ID \_\_\_\_\_ )**

2.1 How often do you see flying foxes visiting your compound ? Never Occasionally Often Very Often

2.2 How often do you see other bats visiting your compound ? Never Occasionally Often Very Often

2.3 Distance to the closest bat colony: \_\_\_\_\_ meters

2.4 Closest colony is:  flying foxes  
 cave bats

**Number of domestic animals owned by your family**

2.5 \_\_\_\_\_ Dogs

2.6 \_\_\_\_\_ Cattle

2.7 \_\_\_\_\_ Cats

2.8 \_\_\_\_\_ Chickens

2.9 \_\_\_\_\_ Pigs

2.10 \_\_\_\_\_ Ducks

**Number of fruit trees owned by your family**

2.11 \_\_\_\_\_ mango trees

2.12 \_\_\_\_\_ banana trees

2.13 \_\_\_\_\_ sapodilla trees

2.14 \_\_\_\_\_ longan trees

2.15 \_\_\_\_\_ palm trees

2.16 \_\_\_\_\_ trees

2.17 How often do you feed fruits to your domestic animals ? Never Occasionally Often Very Often

2.18 What do you do with partially eaten fruits ? \_\_\_\_\_

2.19 How often do you feed partially eaten fruits to your domestic animals? Never Occasionally Often Very Often

**3. Individual practices**

3.1 How often do you collect longan directly from trees ? Never Occasionally Often Very Often

3.2 How often do you collect mango directly from trees ? Never Occasionally Often Very Often

3.3 How often do you collect sapodilla directly from trees? Never Occasionally Often Very Often

3.4 How often do you collect fruit directly from other trees ? Never Occasionally Often Very Often

3.5 How often do you drink palm juice ? Never Occasionally Often Very Often

3.6 Do you consume raw palm juice or is it processed ? Raw Processed Don't Know

3.7 Where does the palm juice you drink come from ? Own tree Market Family, friends or neighbor Don't know Other \_\_\_\_\_

3.8 How often do you collect palm juice from palm trees yourself ? Never Occasionally Often Very Often

3.9 How often do you use bat guano ? Never Occasionally Often Very Often

3.10 How often do you collect bat guano ? Never Occasionally Often Very Often

3.11 How often do you take care of the pigs ? Never Occasionally Often Very Often

3.12 How often do you eat bats ? Nev Occ Oft V. Oft      3.12b and eat flying foxes ? Nev Occ Oft V. Oft

3.13 How often do you hunt bats ? Nev Occ Oft V. Oft      3.13b and hunt flying foxes ? Nev Occ Oft V. Oft

4. Individual knowledge and perception of bats (In Kmher, bat = Pchiew)

5. Individual knowledge and perception of flying foxes (In Kmher, flying fox = Chhreung)

- 4.1 How would you qualify your knowledge of bats ? Very little Little Good Very Good
- 5.1 How would you qualify your knowledge of flying foxes? Very little Little Good Very Good
- 4.2 What is your main source of knowledge about bats (several choices possible) ? Personal observations  School Elders Family Friends TV other: \_\_\_\_\_
- 5.2 What is your main source of knowledge about flying foxes (several choices possible) ? Personal observations  School Elders Family Friends TV other: \_\_\_\_\_
- 4.3 What do bats eat in this area ? \_\_\_\_\_
- 5.3 What do flying foxes eat in this area ? \_\_\_\_\_
- 4.4 What is the favorite food of bats in this area ? \_\_\_\_\_
- 5.4 What is the favorite food of flying foxes in this area ? \_\_\_\_\_

Can you score bats and flying foxes for the following aspects:

0= not at all, 5 = yes, very much

- 4.5 Bats are clean animals 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 5.5 Flying foxes are clean animals 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 4.6 Bats are filthy animals 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 5.6 Flying foxes are filthy animals 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 4.7 Bats bring good luck 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 5.7 Flying foxes bring good luck 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 4.8 Bats bring bad luck 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 5.8 Flying foxes bring bad luck 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 4.9 Bats are scary 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 5.9 Flying foxes are scary 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 4.10 Bats taste good 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 5.10 Flying foxes taste good 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 4.11 Bats can be used to cure certain diseases 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 5.11 Flying foxes can be used to cure certain diseases 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 4.12 What diseases can be cured using bats or bat parts? \_\_\_\_\_
- 5.12 What diseases can be cured using Flying foxes or Flying foxes parts? \_\_\_\_\_
- 4.13 Bats are useful are for human activities 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 5.13 Flying foxes are useful for human activities 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 4.14 How can bat be useful for human activities ? \_\_\_\_\_
- 5.14 How can Flying foxes be useful for human activities ? \_\_\_\_\_
- 4.15 Bats are a problem for human activities 0 1 2 3 4 5 Don't know
- 5.15 Flying foxes are a problem for human activities 0 1 2 3 4 5 Don't know



4.16 How can bat be a problem for human activities ?	_____
5.16 How can Flying foxes be a problem for human activities ?	_____
4.17 Do you get any benefits from bats ?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Don't Know
5.17 Do you get any benefits from Flying foxes?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Don't Know
4.18 If Yes, what benefits do you get from bats ?	_____
5.18 If Yes, what benefits do you get from Flying foxes?	_____
4.19 Do you have any problem with bats ?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Don't Know
5.19 Do you have any problem with Flying foxes?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Don't Know
4.20 If Yes, what problem do you have with bats ?	_____
5.20 If Yes, what problem do you have with Flying foxes?	_____
4.21 Did you know that some bat species play a role in pollination of certain plants like Durian ?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No
5.21 Did you know that some Flying foxes species play a role in pollination of certain plants?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No
4.22 Did you know that some bat species play a role in insect pest control, increasing yields of certain cultures like rice ?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No
5.22 Did you know that some Flying foxes species play a role in forest regeneration ?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No

4.23 Is it a problem to get bitten by a bat ?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Don't Know
4.24 Why ?	_____
5.23 Is it a problem to get bitten by a Flying fox?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Don't Know
5.24 Why ?	_____
4.25 What would you do if you were bitten by a bat ?	_____
5.25 What would you do if you were bitten by a Flying fox?	_____
4.26 Do you think bat can transmit diseases to other animals ?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Don't Know
4.27 If yes, what diseases ?	_____
5.26 Do you think Flying foxes can transmit diseases to other animals ?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Don't Know
5.27 If yes, what diseases ?	_____
4.28 Do you think bat can transmit diseases to humans ?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Don't Know
4.29 If yes, what diseases ?	_____
5.28 Do you think Flying foxes can transmit diseases to humans ?	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Don't Know
5.29 If yes, what diseases ?	_____



**Suivi GPS de *Pteropus Lylei* à l'interface chauves-souris humains, intérêt pour la conservation et l'étude du risque d'émergence du virus Nipah au Cambodge.**

**Mots clés :** *écologie de la santé, « OneHealth », télémétrie satellite, chauve-souris, maladies émergentes.*

**Résumé :** Trois espèces de roussettes ont été observées au Cambodge mais peu de données sont disponibles concernant leur écologie et leur déplacement. Les roussettes sont considérées comme le principal réservoir du virus Nipah (NiV). Détecté pour la première fois en Malaisie en 1998 chez les porcs, ce virus émergent a provoqué l'abattage massif de millions de porcs afin de stopper la diffusion du virus. Par la suite, le NiV a été transmis des porcs aux humains, entraînant l'apparition de 265 cas humains en Malaisie causant la mort de 105 personnes. Depuis 2001, des ré-émergences ont été observées au Bangladesh et en Inde provoquant l'apparition de 200 cas humains, fatal dans plus de 70% des cas. L'évidence de la circulation du NiV chez les *Pteropodidae* a été rapportée en Asie du Sud-est et une distribution saisonnière a été suggérée en Thaïlande. Au Cambodge, l'évidence de la circulation du virus NiV chez les roussettes a préalablement été rapportée mais peu de données existent concernant l'épidémiologie du virus. L'objectif de cette étude sera de décrire la distribution et les mouvements des *Pteropus lylei* capturées au site dortoir de la province de Kandal à une échelle locale via l'utilisation de 14 émetteurs. Ces émetteurs fourniront la localisation des chauves-souris permettant ainsi de caractériser l'habitat des *P.lylei* et par conséquent l'interface entre les chauves-souris et les activités humaines, fournissant ainsi d'importantes informations pour la conservation de ces espèces et pour l'estimation du risque de transmission d'agents pathogènes à l'interface Homme chauves-souris.

**GPS tracking of Lyle's Flying Fox *Pteropus lylei* at the bat – human interface, in Cambodia, conservation perspectives and risk study of Nipah virus transmission.**

**Keywords :** *disease ecology, OneHealth, satellite telemetry, bats, emergent diseases.*

**Abstract :** Three flying fox species are thought to occur in Cambodia: large flying fox *Pteropus vampyrus*, Lyle's flying fox *P. lylei* and island flying fox *P. hypomelanus*, but little is known about their movement ecology. Furthermore, flying foxes are considered to be the main reservoir of Nipah viruses (NiV) which was first reported in Malaysia in 1998 on pigs and humans causing 265 human cases in, with 105 deaths. The virus has re-emerged periodically in Bangladesh and India, where over 200 human cases have been identified since 2001, with an overall case fatality rate of 70%. Evidence of NiV circulation in Pteropodid bats has been reported in Southeast Asia and a seasonal pattern has been suggested in Thailand. In Cambodia, evidence of NiV circulation in flying foxes has been previously reported but little is known about the epidemiology of the virus. The objective of this study is to describe the movement patterns of *Pteropus lylei* bats captured at a roost in Kandal province at a local scale, using 14 GPS transmitters. These transmitters will provide information on locations of the bats, that will allow to characterize the habitat use of *Pteropus lylei*. Results will bring insights into the interface between bats and human activities, providing important information for species conservation and for the assessment of potential pathogens transmission at the bat-human interface.