



**PRÉFET
DE LA
MARTINIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction
de l'environnement,
de l'aménagement et du logement

DEAL Martinique

Aout 2022

-
Étude sur l'optimisation
des gîtes artificiels pour
des espèces de
chiroptères néotropicaux
-

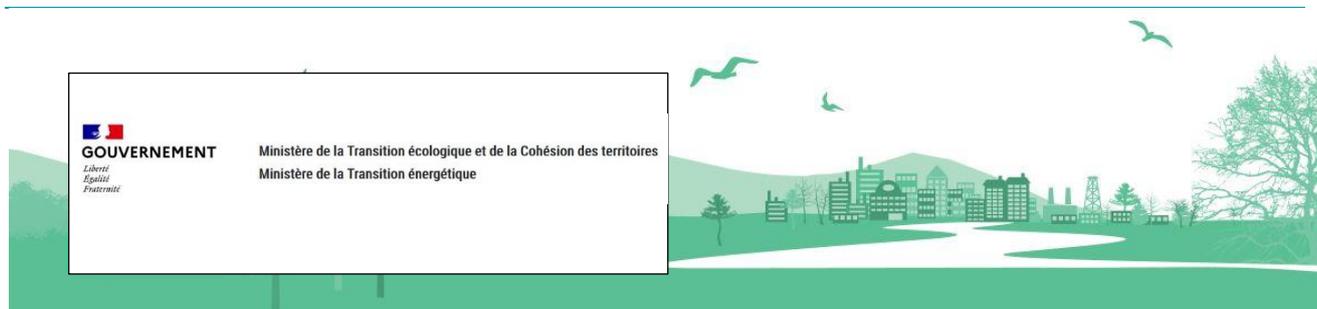


biotope

Résumé administratif

Libellé de la mission		Biotope, 2022, Gîtes artificiels et chauves-souris. DEAL Martinique	
Références commerciales	N° d'engagement : 1511040926 N° projet : DEV211101533		
Version / Indice	Version 2 / Aout 2022		
Maître d'ouvrage	DEAL Martinique BP7212, Rte de la Pointe de Jaham, Schoelcher 97274 https://www.martinique.developpement-durable.gouv.fr/		
Interlocutrice	Julie GRESSER Chargée de missions Faune Terrestre	Tél : 0596 59 59 40 julie.gresser@developpement-durable.gouv.fr	
Prestataire	Biotope – Agence Caraïbes 9 avenue du petit Florentin, 97233 Schoelcher Site Internet : www.biotope.fr		
Interlocuteurs	Pierre CAHAGNIER Responsable d'agence	Tél : 0696 44 64 35 pcahagnier@biotope.fr	
	Léo DEBAR Chef de projets	Tél : 0696 98 62 34 ldebar@biotope.fr	
Rédacteur de l'offre	Daniel PINELLI Chargé d'études Faune	Tél : 07 86 57 12 04 dpinelli@biotope.fr	
Signature du marché	30/11/2021		

Biotope est signataire de la « [Charte d'Engagement des Bureaux d'Études dans le domaine de l'évaluation environnementale](#) ».



Sommaire

1	Contexte d'étude	8
1.1	Introduction	8
1.2	Questions scientifiques et objectifs	9
2	Méthodologie	11
2.1	Analyse bibliographique	11
2.2	Prospection de terrain et prise de mesures biotiques et abiotiques	11
2.3	Proposition de prototype de gîtes artificiels et conception	11
2.1	Suivi des gîtes artificiels	12
3	Résultats et discussion de l'analyse bibliographique	14
3.1	Type et composition des gîtes artificiels	17
3.2	Emplacement et hauteur des gîtes artificiels	27
4	Analyses des données de terrain	30
4.1	Gîtes naturels et anthropiques	30
4.2	Gîtes artificiels préexistants en Martinique	40
5	Conception de gîtes artificiels en 3D	44
5.1	Gîte artificiel arbre : <i>Phyllostomidae</i> (Brachyphylle des cavernes et Artibé de la Jamaïque)	45
5.2	Gîte artificiel boîte : <i>Phyllostomidae</i> (Brachyphylle des cavernes et Artibé de la Jamaïque)	46
5.3	Gîte artificiel boîte fusée : <i>Vespertilionidae/Molossidae</i> (Murin de la Martinique, Molosse commun, Tadaride du Brésil)	47
5.4	Gîte artificiel sous pont : <i>Vespertilionidae/Molossidae</i> (Murin de la Martinique, Molosse commun, Tadaride du Brésil)	48
5.5	Gîte artificiel plat : <i>Molossidae</i> (Molosse commun et Tadaride du Brésil)	49
6	Conclusion et perspectives	50
7	Bibliographie	51
	Annexe 1 : Présentation de gîtes artificiels issus de la bibliographie	54
	Annexe 2 : Protocoles de suivi des gîtes artificiels	58
	Annexe 3 : Base de données bibliographiques	60
	Annexe 4 : Base de données de terrain	65

Table des figures

Figure 1 : Statut de la liste rouge des 1150 espèces de chauves-souris évalué 2008-2014 (UICN 2015). Source : Meyer <i>et al.</i> , 2016.	8
Figure 2 : Exemple de gîtes artificiels utilisés dans les études citées précédemment pour des chauves-souris frugivores. La photographie de droite provient de l'étude de Reid <i>et al.</i> (2013) et de Kelm <i>et al.</i> (2008). La photo de gauche représente un exemple de tronc pouvant servir de gîte artificiel.	9
Figure 3 : Exemples fictifs de modélisation 3D.	12
Figure 4 : Exemple fictif de résultats de suivi de gîtes artificiels.	12
Figure 5 : Répartition géographique des différentes études consultées	14
Figure 6 : Présentation du nombre d'espèces par famille de Chiroptères étudié dans la littérature.	14
Figure 7 : Présentation du nombre d'espèces étudiées pour chacune des publications consultées	16
Figure 8 : Gîtes artificiels utilisés dans l'étude de Reid <i>et al.</i> (2013).	17
Figure 9 : Exemple de gîte boîte fusée.	17
Figure 10 : Boxplot de présentation des volumes de gites artificiels utilisés pour chacune des trois familles étudiées.	18
Figure 11 : Boxplot de présentation des dimensions d'ouvertures des gites artificiels utilisés pour chacune des deux familles étudiées.	19
Figure 12 : Présentation du nombre d'individus observés dans chaque gîte colonisé en fonction de leur volume.	20
Figure 13 : Gîte artificiel en bois brut.	21
Figure 14 : Gîte artificiel, modèle BrandenBark™.	21
Figure 15 : Graphique d'occurrence des différents matériaux utilisés dans la conception de gites artificiels	22
Figure 16 : Gites expérimentaux de colorations différentes.	24
Figure 17 : Gîte « boîte cubique standard ».	25
Figure 18 : Gîte « boîte cunéiforme ».	25
Figure 19 : Gîte « boîte cylindrique écorce » BrandenBark™.	25
Figure 17 : Gîte « boîte plate béton ».	25

Figure 17 : Gîte « Grande boîte cubique ».	25
Figure 17 : Gîte « Tronc arbre ».	25
Figure 17 : Diagramme circulaire de présentation et proportion des différents types de gîtes artificiels utilisés dans les études consultées.	26
Figure 18 : Présentation de la répartition du positionnement des gîtes artificiels en fonction de l'habitat pour l'ensemble des études consultées.	27
Figure 19 : Boxplot de présentation des hauteurs de pose des gîtes artificiels pour chacune des trois familles étudiées.	28
Figure 20 : Présentation du nombre d'individus observés dans chaque gîte naturel suivi de Martinique en fonction de leur volume.	30
Figure 21 : Boxplot de présentation du nombre d'individus par espèce dans les gîtes de Martinique visités.	31
Figure 22 : Entrées de différents gîtes d'Artibé de la Jamaïque observés en Martinique, favorables à gauche (40 000 cm ²) et au centre (7 700 cm ²), et défavorable à droite (<400 cm ²) où seulement deux individus demeurent présents.	32
Figure 23 : Différents gîtes à Brachyphylle des cavernes.	32
Figure 24 : Suivi du gîte de Fond Manoël (Murins de la Martinique et Tadarides du Brésil).	33
Figure 25 : Boxplot de présentation des ouvertures des différents gîtes de Martinique visités en fonction des espèces présentes.	33
Figure 26 : Graphique de présentation des orientations des différents gîtes de Martinique visités.	35
Figure 27 : Grottes à Noctilion pêcheur (à gauche) et à Artibé de la Jamaïque (à droite).	36
Figure 28 : Gîte arboricole à Artibé de la Jamaïque.	36
Figure 29 : Gîtes bâtis à Artibé de la Jamaïque, Brachyphylles des cavernes & Artibé de la Jamaïque et Noctilion pêcheur	37
Figure 30 : Culée et voute de pont, tunnel.	37
Figure 31 : Répartition par espèces des différents types de gîtes de Martinique visités.	37
Figure 32 : Illustration de différents substrats d'accroche : bois, roche, ciment, métal (tôle et IPN).	38
Figure 33 : Répartition par espèces des différents substrats d'accroche des chiroptères dans les gîtes de Martinique visités	38

Figure 34 : Boxplot de présentation des différentes hauteurs d'accroche des individus de chaque espèce au sein des gîtes de Martinique visités.	39
Figure 35 : Gîtes artificiel de l'Habitation Lajus.	40
Figure 36 : Gîte artificiel de La Favorite.	40
Figure 37 : Gîte artificiel n°1 du Club Med.	41
Figure 38 : Gîte artificiel n°2 du Club Med.	42
Figure 39 : Gîte artificiel de Pro-chimie.	42
Figure 40 : Griffiths <i>et al.</i> (2018)	54
Figure 41 : Adams <i>et al.</i> (2015)	54
Figure 42 : Reid <i>et al.</i> (2013)	54
Figure 43 : Mering & Chambers. (2012)	54
Figure 44 : Hoeh <i>et al.</i> (2018)	54
Figure 45 : Chambers <i>et al.</i> (2002)	54
Figure 46 : Smith & Agnew. (2002)	55
Figure 47 : Rueegger <i>et al.</i> (2019)	55
Figure 48 : Jesse <i>et al.</i> (2018)	55
Figure 49 : Flaquer <i>et al.</i> (2014)	55
Figure 50 : Tillman <i>et al.</i> (2021)	55
Figure 51 : Bender. (2011)	56
Figure 52 : Bender. (2011)	56
Figure 53 : López-Baucells <i>et al.</i> (2017)	56
Figure 54 : Evans & Lumsden (2011)	56
Figure 55 : Jeon <i>et al.</i> (2019)	56
Figure 56 : Tajek & Tajkova (2016)	56
Figure 57 : Baranauskas. (2010)	57
Figure 58 : Andrusiak & Sarell. (2019)	57
Figure 59 : Sonde thermique utilisée les études scientifiques (Modèle : DS1921G Thermochron iButton Device, Maxim Integrated) – Voir Tillman <i>et al.</i> , 2021)	58



1 Contexte d'étude

1.1 Introduction

Les forêts humides néotropicales sont parmi les points chauds de biodiversité les plus riches sur terre (Gardner, 2010). Cependant, le changement actuel d'occupation des sols, faisant partie des principaux processus entraînant la perte de la biodiversité au 21^e siècle (Naeem *et al.*, 2012 ; GIEC, 2019), constitue une grande menace, à travers notamment, l'isolement des populations d'espèces et des extinctions localisées (Aerts & Honnay, 2011). Les chauves-souris, considérées comme de véritables espèces bioindicatrices et offrant de nombreux services-écosystémiques, font parties des mammifères les plus vulnérables, principalement affectés par ce changement d'affectation des terres (exploitation forestière, cultures non-ligneuses, urbanisation, etc.) (Voigt *et al.*, 2016). Cela affecte profondément leur niche écologique à travers la destruction de leur lieu de nourrissage et des zones de transit, ainsi que de leur site de repos et de reproduction (gîtes, dortoirs) (Arias *et al.*, 2020).

Parmi les 1150 espèces évaluées par l'UICN (évaluation de 2008-14) sur les 1 386 décrites (Burgin *et al.*, 2018), 15% des espèces de chauves-souris sont répertoriées sous les statuts CR (Critique d'Extinction), EN (En Danger), VU (Vulnérable) et 7% sous le statut NT (Quasi-menacé). De plus, environ 18% des espèces sont déficientes en données (DD), et une multitude de nouvelles espèces sont découvertes depuis la dernière évaluation (Fig. 1), (Voigt *et al.*, 2016). Ces derniers chiffres, hormis le fait qu'une part non-négligeable est fortement menacée, reflètent le réel manque de connaissances sur les chiroptères.

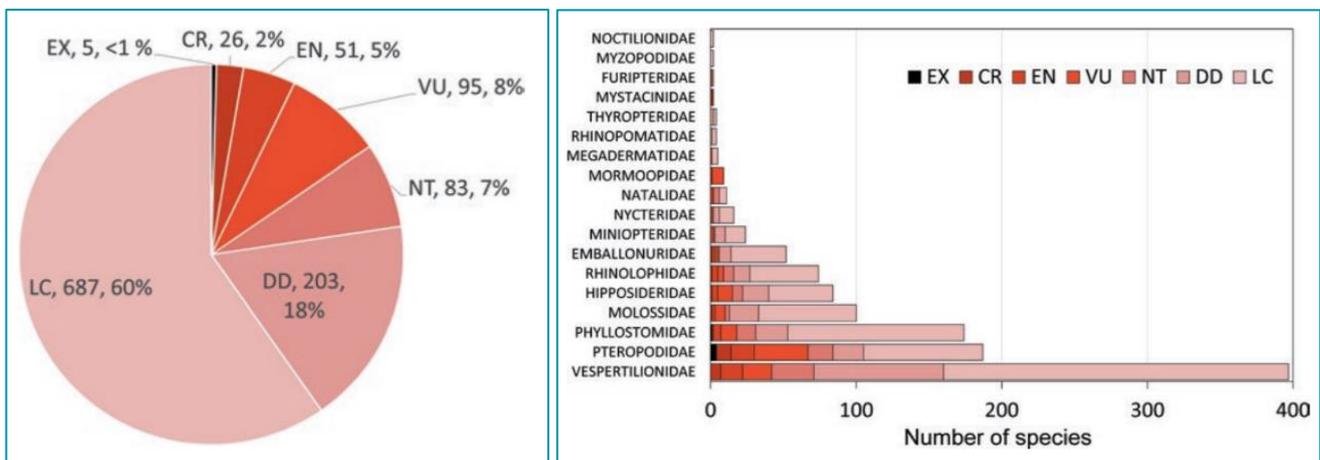


Figure 1 : Statut de la liste rouge des 1150 espèces de chauves-souris évalué 2008-2014 (UICN 2015). Source : Meyer *et al.*, 2016.

Bien que de nombreuses recherches ciblent aujourd'hui ce groupe taxonomique, les chauves-souris, et en particulier les espèces néotropicales, font l'objet d'importantes lacunes scientifiques. C'est notamment le cas, par exemple, des connaissances relatives aux gîtes des chiroptères, probablement parce que leurs exigences en termes de site de repos et de reproduction sont mal comprises voire pas connues (Arias *et al.*, 2020). C'est également le cas sur les connaissances des facteurs influençant l'utilisation des dortoirs par les chauves-souris (Arias *et al.*, 2020).

C'est sur ce point précis que réside un problème majeur et d'actualité, à savoir le conflit Homme-faune dans les paysages anthropisés. En effet, au sein des paysages perturbés par l'Homme, de nombreuses espèces de chiroptères ont adopté les infrastructures humaines en tant que site de repos et de reproduction (Adam et Hayes 2000, Griffiths *et al.*, 2017a, Voigt *et al.*, 2016). Ces espaces offrent une diversité de microclimats pour la thermorégulation (Lausen et Barclay 2006), ainsi qu'une protection accrue contre les prédateurs (Agosta 2002, Brigham et Fenton 1986). De plus, il a été démontré que ces sites augmentaient le succès de reproduction chez certaines espèces (Zahn 1999).

Cependant, la colonisation des chauves-souris au sein des infrastructures peut être sujet à des problèmes de santé publique (rage, histoplasmosse, guano, etc.), de dérangement par nuisance (sonore, odeur) ou bien faire l'objet d'entrave aux projets de construction. Ainsi, bien que la réglementation française interdise la destruction d'individus et de leur habitat (gîtes, dortoirs), les chauves-souris sont soumises à de fortes pressions provoquant l'abandon des gîtes, et plus grave encore, causant des mortalités directes (élimination d'individus) et indirectes (épuisement).

Pour remédier au conflit Homme-chauve-souris et réduire l'impact des exclusions, la proposition de gîtes artificiels est devenue une stratégie courante en Europe et en Amérique du Nord (Arias *et al.*, 2020). De nombreux gîtes artificiels ont ainsi été créés et adaptés en fonction de l'écologie des espèces. Par exemple, des structures en bois reproduisant des cavités sous forme de fissures sont réputées efficaces pour certaines espèces de *Molossidae* (Molosse de Cestoni).

Cependant, à notre connaissance peu d'études scientifiques ont été engagées sur la création et l'optimisation de gîtes artificiels pour des chauves-souris néotropicales (Kelm *et al.*, 2008 ; Reid *et al.*, 2013). Quelques gîtes artificiels ont été initiés dans l'objectif de participer à la régénération forestière par des espèces de chauves-souris frugivores, mais l'objectif n'était pas centré sur l'optimisation de ces dortoirs (Fig. 2), (Kelm *et al.*, 2008 ; Reid *et al.*, 2013).



Figure 2 : Exemple de gîtes artificiels utilisés dans les études citées précédemment pour des chauves-souris frugivores. La photographie de droite provient de l'étude de Reid *et al.* (2013) et de Kelm *et al.* (2008). La photo de gauche représente un exemple de tronc pouvant servir de gîte artificiel.

En-dehors de la littérature scientifique, et plus précisément dans les Petites Antilles françaises, quelques gîtes artificiels ont été mis en place dans le cadre de mesure d'Évitement et de Réduction, ou bien dans d'autres circonstances par des structures publiques et privées (PNRM, associations, *etc.*), mais aucun suivi et retour d'expérience n'a encore été diffusé. Actuellement et à notre connaissance, les quelques travaux menés concernant les gîtes de *Phyllostomyidae* (ex : *Artibeus jamaicensis*), demeurent des échecs de compensation écologique, ne répondant pas suffisamment aux exigences écologiques de ces espèces.

C'est pourquoi, compte tenu du contexte actuel dans les Petites Antilles françaises, à savoir d'une part le manque de connaissance des chiroptères et d'autre part le changement d'occupation des sols affectant profondément les populations de ces espèces, proposer une étude sur l'optimisation des gîtes artificiels adaptés aux chauves-souris néotropicales est une priorité qui sera riche d'enseignements et d'opportunités de gestion et d'aménagement en faveur de la préservation de cet ordre animal.

1.2 Questions scientifiques et objectifs

Comment optimiser les gîtes artificiels adaptés aux chauves-souris néotropicales afin d'améliorer les actions actuelles et futures sur la conservation de ces espèces ?

Pour répondre à cette question, nous proposons plusieurs objectifs à réaliser en deux grandes phases :

Phase 1 : Biotope Caraïbes

- **Objectif 1** : Réaliser une analyse bibliographique approfondie afin de recueillir toutes les expériences de création de gîtes artificiels, tant à l'échelle mondiale que néotropicale.
- **Objectif 2** : A l'issue de cette analyse bibliographique, récolter des données biotiques et abiotiques (exposition et orientation des gîtes, habitats naturels, situation géographique, *etc.*) au sein des gîtes naturels identifiés sur le territoire de la Martinique et les analyser.
- **Objectif 3** : A l'issue de cette analyse bibliographique et de l'analyse des données de terrain, proposer différents plans de prototypes de gîtes artificiels adaptés aux *Phyllostomyidae* (Brachyphylle des cavernes et Artibe de la Jamaïque), *Molossidae* (Molosse commun et Tadaride du Brésil), *Vespertilionidae* (Murin de la Martinique) et d'autres familles de chauves-souris représentées sur le territoire de la Martinique.
- **Objectif 4** : Concevoir et rédiger le protocole du programme de suivi écologique de ces nichoirs.

Phase 2 : La DEAL Martinique et ses collaborateurs (PNRM)

- **Objectif 5** : Concevoir les prototypes de gîtes artificiels adaptés aux espèces de chauves-souris présentes sur le territoire de la Martinique et les mettre en place sur les zones géographiques adaptées.
- **Objectif 6** : Réaliser un suivi écologique de la fréquentation des gîtes dont les données recueillies permettront d'optimiser la conception et le placement des nichoirs artificiels



2 Méthodologie

Conformément aux attentes de la consultation lancée par la DEAL Martinique, nous avons centré en priorité nos travaux sur les groupes d'espèces dont les gîtes naturels sont directement concernés par les interactions avec l'activité anthropique, à savoir l'Artibé de la Jamaïque, le Brachyphylle des cavernes ainsi que le Molosse commun et la Tadaride du Brésil.

Toutefois, nous suggérons également l'étude du Murin de la Martinique, une espèce quasi-menacée (NT) selon la liste rouge de l'UICN, endémique stricte de la Martinique et qui est également présente dans des ouvrages artificiels (ponts).

Une attention sera tout de même portée aux six autres espèces du territoire, dans une moindre mesure et dans la limite des données d'espèces disponibles (gîtes connus) car ces dernières peuvent également être sujettes à des impacts de projets d'aménagement du territoire ou du développement d'activités.

2.1 Analyse bibliographique

Les recherches bibliographiques ont été réalisées via l'utilisation de mots-clés sur le moteur de recherche « Google scholar » donnant accès à la littérature scientifique. Les recherches ont été faites avec les mots clés suivant :

- Roost boxes ; Artificial ; Neotropical Bat
- Roost boxes ; Artificial ; Bat
- Artificial batbox ; bat

Chaque association de mots-clés accompagnée de leurs résultats, c'est-à-dire les articles scientifiques correspondant aux critères définis, ont été répertoriés dans une base de données Excel. Au sein de cette base de données, plusieurs variables ont été définies, telles que les matériaux de base utilisés pour la construction des gîtes (bois, pierre, béton, feutrage, *etc.*), les différents volumes de gîtes artificiels, les familles et les espèces concernées dans les études, *etc.*

Ces variables, définies en amont de la recherche bibliographique, nous ont permis de mettre en œuvre une première analyse visant à observer, par exemple, les gîtes les plus utilisés en fonction des familles d'espèces étudiées, les volumes de gîtes qui ont bien été colonisés, le type de matériaux utilisé pour la construction des gîtes, *etc.*

Les données ont été synthétisées via des représentations graphiques telles que des boxplots, des diagrammes en bâton ou bien des histogrammes. Pour réaliser cette étape de synthèse, nous avons utilisé le logiciel Rstudio.

2.2 Prospection de terrain et prise de mesures biotiques et abiotiques

Les prospections de terrain avaient pour but de relever le maximum d'informations concernant les facteurs influençant l'utilisation des dortoirs par les chauves-souris (paramètres biotiques et abiotiques). Ces facteurs, correspondent, par exemple, à des dimensions et des volumes disponibles dans les gîtes, à une exposition, à un type de substrat, *etc.*

Ainsi, les données de terrain que nous avons récoltées ont complété les données bibliographiques pour maximiser les chances de réussite de colonisation des chauves-souris dans les gîtes artificiels que nous proposerons.

2.3 Proposition de prototype de gîtes artificiels et conception

A l'issue de la partie analyse, plusieurs gîtes artificiels, en fonction des espèces ciblées, sont proposés. Chaque gîte a été dessiné via un logiciel de dessin 3D et complété par une synthèse d'informations contenant, par exemple, le type de matériaux (planche, vieille charpente, feutrage, *etc.*), les dimensions (hauteur, largeur, diamètre d'ouverture, *etc.*) ou bien l'orientation/emplacement géographique préconisé (milieu forestier, milieu agricole, exposition nord, *etc.*) (Fig. 7). Ce travail relatif à la conception des gîtes artificiels est une première base permettant de diriger la construction en vue d'optimiser les chances de réussite.

Grâce à ces plans détaillés la DEAL Martinique pourra confier leur construction et production à un professionnel spécialisé (menuisier, *etc.*) avec lequel nous proposons d'échanger activement lors de la fabrication afin d'allier attente écologique et contrainte ou opportunité matérielle.

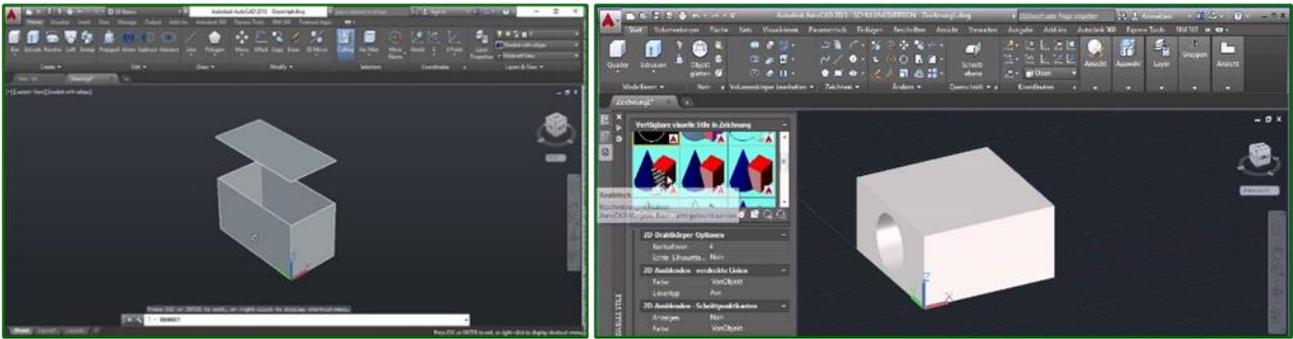


Figure 3 : Exemples fictifs de modélisation 3D.

2.1 Suivi des gîtes artificiels

Afin que la DEAL Martinique, son personnel et ses partenaires puissent réaliser le suivi de ces gîtes (comptages au gîte et en sortie de gîte, complétés par de l'analyse acoustique active afin d'identifier avec certitude les espèces sortantes, suivi des succès de reproduction, *etc.*) un protocole de suivi des gîtes artificiels a été rédigé et est présenté en annexe.

Ces données collectées permettront d'une part en cas d'échec, d'essayer de comprendre les facteurs de la non-colonisation par les chiroptères, et d'autre part en cas de réussite, d'évaluer le succès d'accueil de ces dispositifs ainsi que leur potentiel et possibilité d'utilisation future dans le cadre de mesures compensatoires ou de projets de conservation des populations de chiroptères.

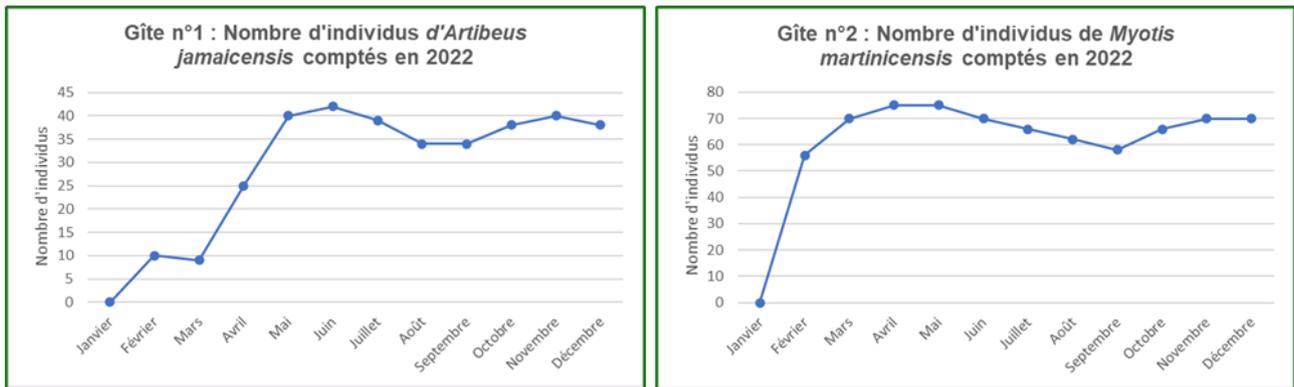


Figure 4 : Exemple fictif de résultats de suivi de gîtes artificiels.



3 Résultats et discussion de l'analyse bibliographique

Cinquante-quatre études scientifiques sont traitées au cours de l'analyse bibliographique, parmi lesquelles 36 ont fourni des données exploitables pour nos travaux (Annexe 1). L'année de publication des études varie de 2002 à 2021, ce qui permet d'obtenir des informations sur presque 20 ans d'expérimentation.

Parmi ces études, la plupart visaient à tester l'efficacité des gîtes artificiels en termes de dortoir alternatif pour les chauves-souris. Une minorité était dédiée à l'analyse du comportement des chauves-souris, des paramètres physiques (température, etc.) enregistrés dans les gîtes ou bien à l'attraction des chauves-souris pour engendrer des services écosystémiques (dissémination des graines pour la reforestation).

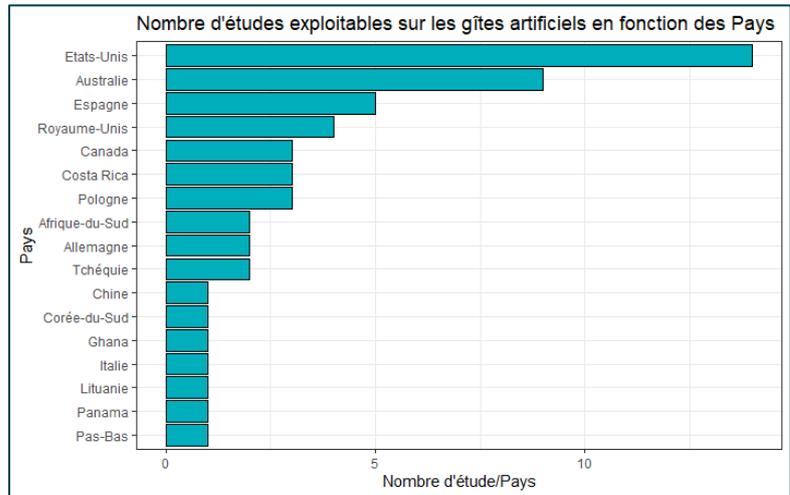


Figure 5 : Répartition géographique des différentes études consultées

Les études identifiées ont été menées dans 17 pays avec 31,4% réalisés en Amérique du Nord, 35,1% en Europe, 16,6% en Océanie, 7,4% en Amérique du Sud, 5,5% sur le continent Africain et 3,7% en Asie. La majorité des études a été réalisée aux Etats-Unis, en Australie et en Espagne. Parmi l'ensemble des pays, la zone néotropicale n'est représentée que par le Costa-Rica et le Panama, ne recensent seulement que quatre études sur l'utilisation de gîtes artificiels.

Plusieurs familles de chiroptères ont été étudiés au sein de ces publications, avec une majorité de *Vespertilionidae*, un groupe taxonomique largement répandu sur tous les continents (excepté l'Antarctique), recensant environ 407 espèces connues et représentant la seconde plus grande famille de mammifères. Dans une moindre mesure, les *Phyllostomidae* viennent en deuxième place, suivi des *Molossidae* dont ces derniers sont représentés respectivement par environ 143 et 80 espèces à l'échelle mondiale. Les *Phyllostomidae* sont un groupe de chiroptères qui ne sont présents qu'en Amérique Centrale et en Amérique du Sud.

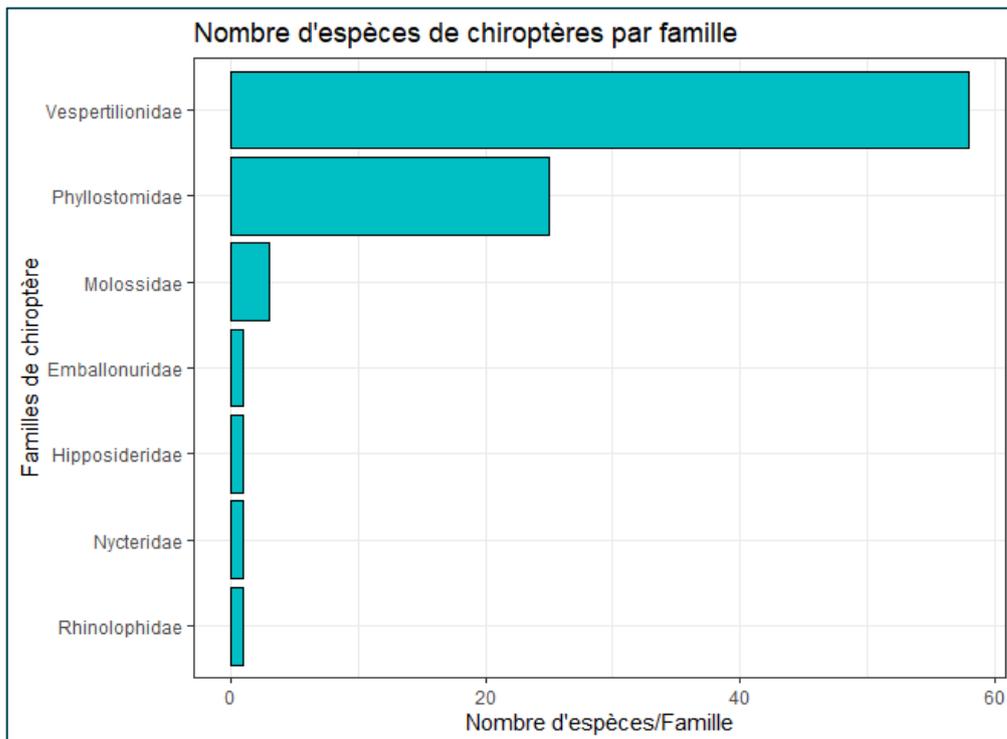


Figure 6 : Présentation du nombre d'espèces par famille de Chiroptères étudié dans la littérature.

Parmi les familles recensées, 55 espèces de chiroptères ont été observées dans les gîtes artificiels, dont 7 n'ont été identifiées qu'au genre. Pour citer quelques exemples, l'espèce *Myotis septentrionalis* a été observée dans 5 publications et les espèces *Myotis sodalis*, *Nyctalus noctula* et *Pipistrellus pygmaeus* ont été observées dans 4 publications.

Conclusion : Nos recherches se sont premièrement orientées sur les espèces néotropicales. Cependant, au vu de la faible quantité d'études disponibles, nous avons dû élargir nos recherches, considérant ainsi l'ensemble des études disponibles sans restriction géographique. Cela a permis d'obtenir des données provenant de 17 pays, 7 familles de chiroptères et 55 espèces de chauves-souris.

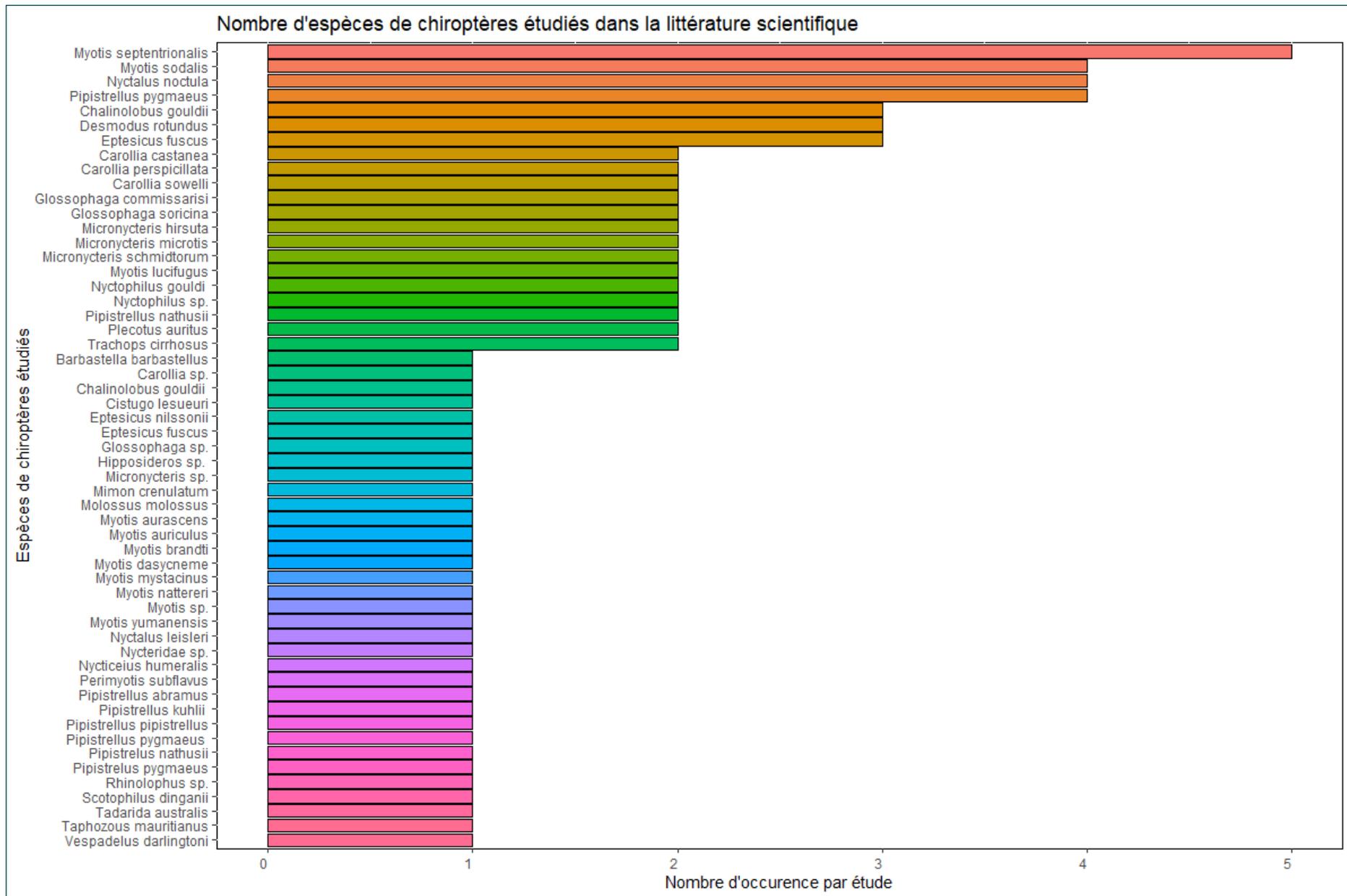


Figure 7 : Présentation du nombre d'espèces étudiées pour chacune des publications consultées

3.1 Type et composition des gîtes artificiels

3.1.1 Volumes des gîtes artificiels

Plusieurs informations ont été récupérées au sein des publications afin de nous orienter sur l'optimisation des gîtes artificiels pour faciliter la colonisation par les chiroptères. Dans un premier temps, nous avons analysé les différents volumes de gîtes artificiels utilisés pour accueillir les *Vespertilionidae*, les *Phyllostomidae* et les *Molossidae*, groupes taxonomiques représentés au sein des Petites Antilles.

Le volume interne des gîtes artificiels est ressorti comme un paramètre à prendre en compte dans la conception des gîtes artificiels afin d'optimiser les chances de colonisation par les différentes espèces de chauves-souris. De ce fait, nous avons converti, lorsque cela était possible, les dimensions (longueur x largeur x hauteur) des gîtes en cm^3 afin de comparer les besoins en termes d'espace pour la colonisation de chauves-souris.

Ainsi, un seul volume de gîte artificiel a été récupéré pour les *Molossidae* (gîte artificiel : $5\,400\text{ cm}^3$), et qui malheureusement n'a fait l'objet d'aucune preuve de colonisation par l'espèce *Molossus molossus* (Brown *et al.*, 2020). Dans cette étude, principalement orientée sur l'utilisation de guano comme élément attractif de chauve-souris, aucune hypothèse n'a été soulevée sur les raisons de cet échec de colonisation. Les *Molossidae* sont réputées pour détenir des espèces dites de fissures (Ibéné *et al.*, 2007), c'est-à-dire qui gîtent dans les fissures des structures humaines, des falaises ou bien des troncs d'arbres. De ce fait, il est connu que ce groupe de chauve-souris apprécie les gîtes artificiels détenant plusieurs chambres dont les parois sont relativement étroites.

Concernant les *Phyllostomidae*, les trois volumes de gîtes proviennent de deux études menées au Costa-Rica (Kelm *et al.*, 2008 ; Reid *et al.*, 2013). Ces gîtes artificiels étaient dédiés aux *Phyllostomidae* et leur colonisation a été un succès. Les deux plus grands volumes sont de $843\,300$ et $565\,700\text{ cm}^3$, ce qui représente respectivement presque 1 m^3 et environ $0,5\text{ m}^3$. Le dernier volume, bien plus faible, est de $96\,000\text{ cm}^3$. Les *Phyllostomidae* sont des chauves-souris de tailles variables d'une espèce à l'autre, nécessitant généralement de l'espace pour établir leur colonie.



Figure 9 : Exemple de gîte boîte fusée.



Figure 8 : Gîtes artificiels utilisés dans l'étude de Reid *et al.* (2013).

Enfin, les volumes de gîtes artificiels pour les *Vespertilionidae* sont assez variés allant de gîte à une chambre très étroite, à des gîtes comportant plusieurs chambres pour accueillir des densités plus importantes ou bien des gîtes sans chambre et donc à grands espaces. Ainsi, le plus petit gîte est de $12,30\text{ cm}^3$ comprenant deux chambres étroites (boîte fusée) et le plus grand est de $98\,000\text{ cm}^3$ comportant 5 chambres. L'information qui nous semble importante à retenir parmi les gîtes dédiés aux *Vespertilionidae*, est qu'ils détiennent majoritairement des chambres relativement étroites, permettant à différentes espèces (ex : *Myotis sp.*) de s'y faufiler et bien souvent de s'y plaquer contre les parois.

Par exemple, les gîtes compris entre $12,30$ et 37 cm^3 détiennent de 2 à 3 chambres étroites et ont été colonisés par le genre *Myotis* (*M. septentrionalis* et *M. sodalis*) (Tillman *et al.*, 2021). Les mesures d'espaces entre chaque chambre n'ont pas été précisées dans cette étude, mais au vu des volumes indiqués et des schémas disponibles, cela doit se rapprocher de 1 à 3 cm.

Les résultats de l'étude de Hoeh *et al.* (2018) indiquent que les chauves-souris (*Myotis sodalis*) ont sélectionné préférentiellement les gîtes (de style fusée) avec le plus grand volume, la plus grande surface de repos et la plus grande zone d'entrée, ce qui correspond aux besoins de cette espèce, qui a tendance à coloniser des arbres de plus grand diamètre comme gîtes principaux. D'après les auteurs, les

gîtes artificiels de plus grand volume offrirait une disponibilité de température plus large tout en restant en dessous des températures critiques, la plus grande partie du temps. De plus, un volume plus élevé offrirait un espace pour la formation de groupe d'individus, ce qui est apprécié par les chauves-souris, et permettrait également un déplacement vers des zones plus fraîches à l'intérieur des gîtes.

Attention, l'augmentation de volume des gîtes artificiels peut également devenir un piège écologique pour les chauves-souris. En effet, un nombre trop important de chauves-souris dans un gîte peut potentiellement mener à des risques de surchauffe des occupants, et ainsi être la cause de mortalités (Tillman *et al.*, 2021). La surchauffe est un risque auquel les chauves-souris sont souvent mal préparées, car les gîtes naturels dans les arbres auxquels elles sont adaptées ont une plus grande capacité de stockage de chaleur et, par conséquent, en milieu naturel, elles sont moins sujettes au risque de surchauffe. De plus, les cavités des arbres sont plus protégées des conditions extérieures et du soleil, tandis que les plaques d'écorce qui se détachent sur un tronc d'arbre devraient avoir plus de ventilation qu'une boîte à chauves-souris typique (Tillman *et al.*, 2021).

En se basant sur l'étude de Hoeh *et al.* (2018) et Tillman *et al.* (2021), les gîtes de style fusé allant d'un volume de 24,5 à 36,7 cm³ semble être efficace pour accueillir des espèces du genre *Myotis*, de par leur conception offrant de l'espace pour atténuer les risques de surchauffe et capacité d'accueil avec plusieurs chambres étroites.

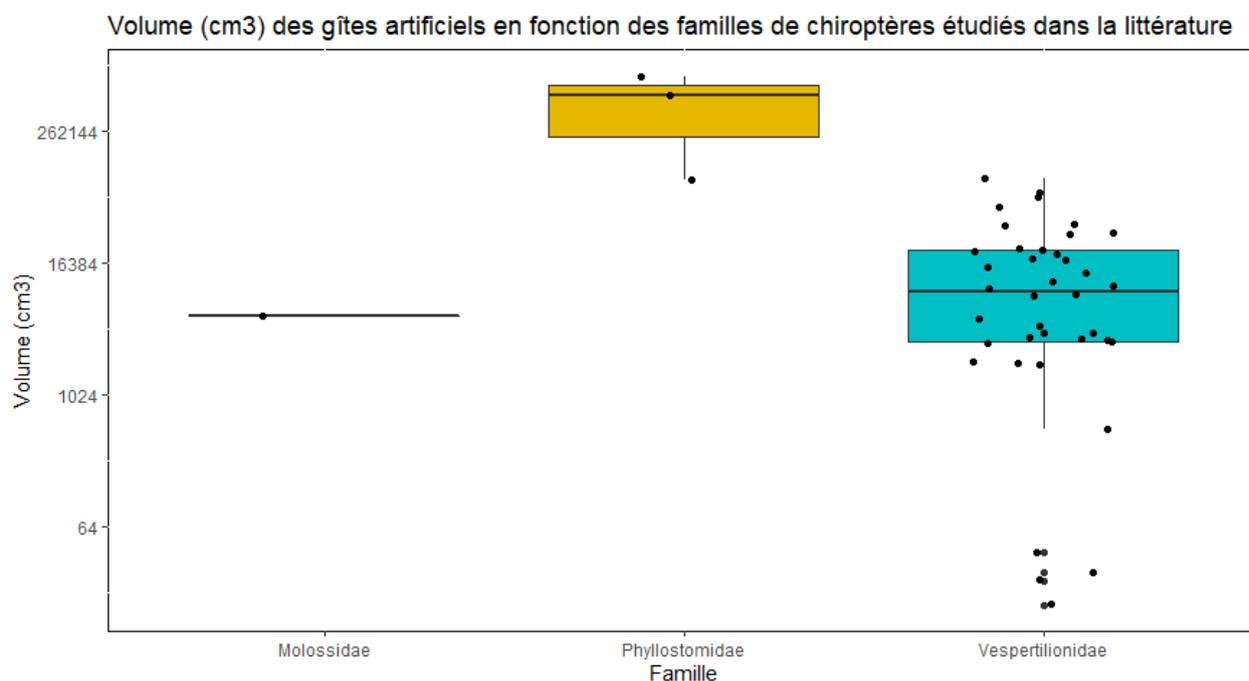


Figure 10 : Boxplot de présentation des volumes de gîtes artificiels utilisés pour chacune des trois familles étudiées.

Conclusion : Pour optimiser la réussite des colonisations de gîtes artificiels, il est primordial d'offrir un volume adapté aux différents groupes de chiroptères. Par conséquent, nous préconisons un volume minimum d'un mètre cube pour les Phyllostomidae avec un espace suffisant pour accueillir des espèces telles que l'Artibeus de la Jamaïque ou le Brachyphylle des cavernes.

En ce qui concerne, les Molossidae les résultats ne nous permettent pas de cibler un volume particulier mais il sera nécessaire de prendre en considération le besoin de chambres étroites et d'espace pour atténuer l'effet de la température extérieure.

Enfin, pour les Vespertilionidae plusieurs volumes peuvent être déterminés avec également la nécessité de considérer le besoin en chambres étroites, d'espaces pour atténuer l'effet de la température et le besoin de déplacement à l'intérieur des gîtes.

3.1.2 Ouverture des gîtes artificiels

L'ouverture permettant l'accès à l'intérieur des gîtes artificiels est un détail qui a son importance, puisque les chauves-souris ont besoin d'une ouverture minimale pour réussir à accéder à leur dortoir. De ce fait, bien que l'information ne fût pas souvent indiquée, nous avons relevé la taille des entrées de gîtes artificiels.

Ainsi, pour les *Phyllostomidae* une entrée de 40*40 cm, soit 1600 cm², a été réalisée pour l'ensemble des gîtes artificiels dans l'étude de Kelm *et al.* (2008). Les *Phyllostomidae* observés dans cette étude sont de plus faibles tailles que ceux présents dans les Petites Antilles (*Artibeus jamaicensis*, *Brachyphylla cavernarum*), mais reste plus grand que les représentant des *Vespertilionidae*, notamment du genre *Myotis*.

Les *Vespertilionidae* montrent un besoin en ouverture bien plus petit que les *Phyllostomidae* avec des entrées de gîtes artificiels variant de 14 à 220 cm². Il s'agit bien souvent d'entrées en forme de fente avec une paroi verticale en guise de zone d'atterrissage.

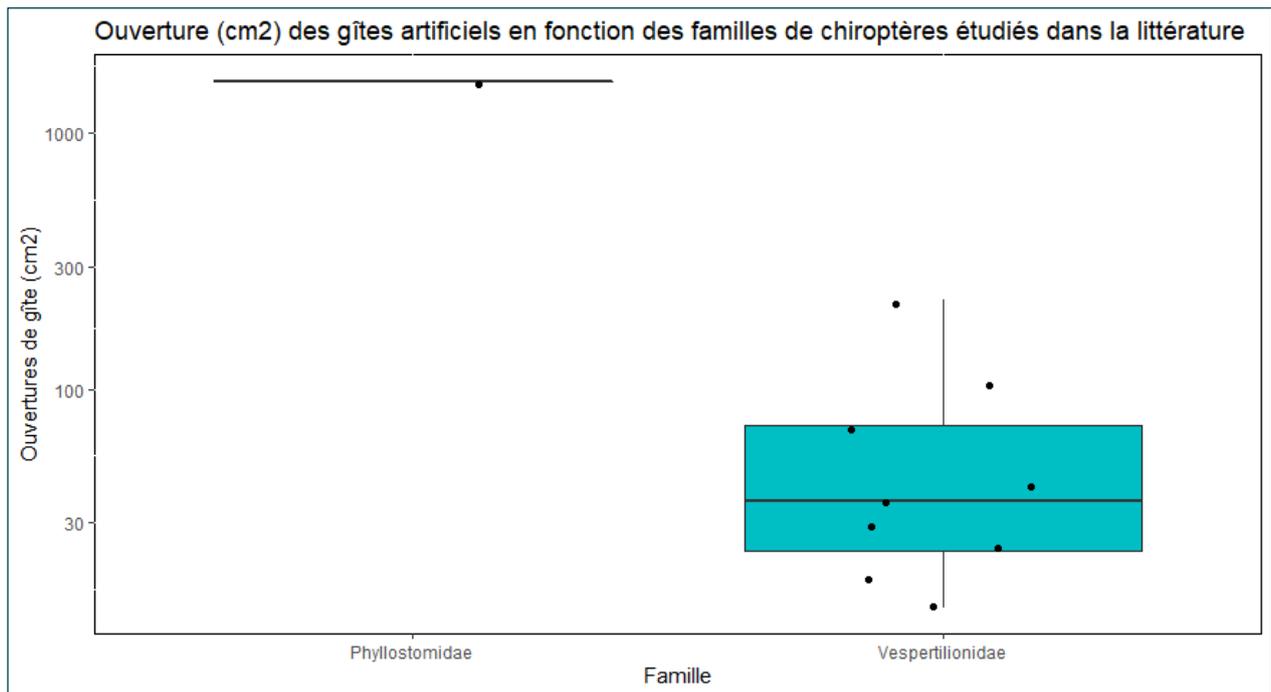


Figure 11 : Boxplot de présentation des dimensions d'ouvertures des gites artificiels utilisés pour chacune des deux familles étudiées.

Conclusion : L'ouverture de gîtes artificiels pour les *Phyllostomidae* doit nécessairement être de grande taille pour permettre l'entrée des individus. De ce fait, 1 600 cm² d'ouverture semble être un minimum pour permettre l'entrée des *Phyllostomidae*.

Pour les *Vespertilionidae* qui sont de taille bien plus petite que les *Phyllostomidae*, l'ouverture doit être de taille plus petite et imitant des fissures sous forme de fente.

3.1.3 Colonisation et abondance en fonction des volumes de gîtes

Afin de se rendre compte de la capacité d'accueil des volumes de gîtes artificiels identifiés dans l'analyse précédente, nous avons projeté, lorsque la donnée était disponible, le nombre maximal d'individus observés au cours des études.

Ainsi, contrairement à ce que l'on pourrait penser, il n'y a pas de corrélation positive entre l'espace disponible en cm^3 et le nombre d'individus, tout en considérant les biais liés, par exemple, aux différentes espèces et aux gîtes artificiels (formes, matériaux, etc.). Néanmoins, ces données permettent de se rendre compte de la capacité d'accueil des gîtes artificiels.

Certaines données montrent un nombre d'individus conséquent par rapport aux volumes disponibles. C'est le cas des volumes de 3 800 et 65 280 cm^3 contenant un nombre maximal de 50, 53 et 80 individus correspondant à des colonies de maternité de *Pipistrellus pygmaeus* (Flaquer *et al.*, 2006 ; Chytil, 2014 ; López-Baucells *et al.*, 2017).

Si l'on se base sur l'étude des *Vespertilionidae*, et plus précisément sur l'espèce *Myotis martiniquensis*, Issartel & Jemin, (2016) indiquent qu'un individu occuperait une surface de 6,15 cm^2 , soit environ 1600 individus par m^2 .

Concernant les *Phyllostomidae*, au sein des deux études menées au Costa-Rica, les gîtes artificiels ont été visités par les chauves-souris frugivores et nectarivores, mais il n'était pas précisément indiqué le nombre d'individu maximal par gîte (Kelm *et al.*, 2008 ; Reid *et al.*, 2013). De ce fait, ces volumes ne sont pas présentés dans le graphique ci-dessous.

L'étude de Issartel & Jemin, (2016) indique qu'un individu de l'espèce *Brachyphylla cavernarum* occuperait une surface de 12,56 à 19,6 cm^2 , soit 800 à 500 individus par m^2 . Un individu de l'espèce *Monophyllus plethodon*, un *Phyllostomidae* de bien plus petite taille que le Brachyphylle des cavernes et l'Artibé de la Jamaïque, occuperait une surface de 7 cm^2 , soit 1400 individus par m^2 .

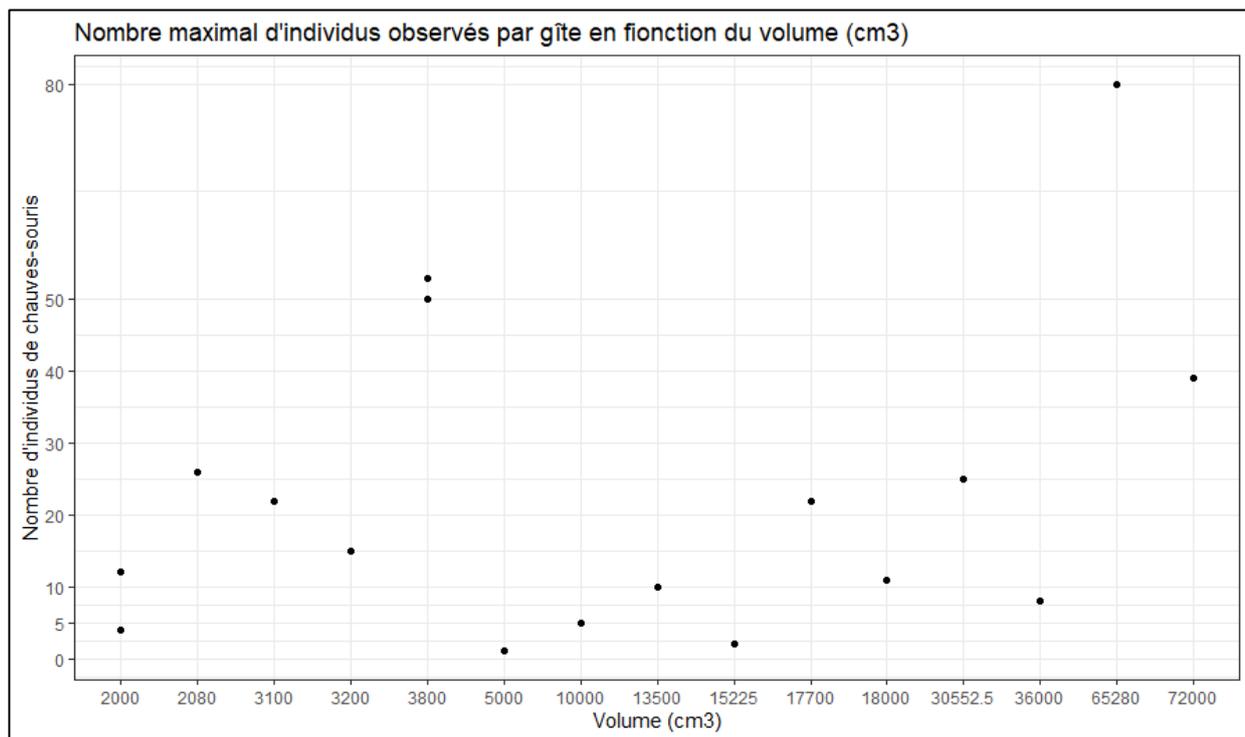


Figure 12 : Présentation du nombre d'individus observés dans chaque gîte colonisé en fonction de leur volume.

Conclusion : L'illustration du nombre d'individus en fonction du volume disponible n'a pas montré de tendance particulière. Cependant, il permet de se rendre compte de la capacité des gîtes artificiels à accueillir un certain nombre de chauves-souris.

Le nombre de chauves-souris par m^2 , présenté plus en détail dans la seconde partie de ce rapport, permettra de mieux nous orienter sur la conception des gîtes et le potentiel d'accueil.

3.1.4 Composition des gîtes artificiels

Parmi l'ensemble des études analysées, nous avons relevé le type de matériaux utilisés pour la conception des gîtes artificiels. Le bois était le plus souvent employé pour de nombreuses raisons telles que le faible coût d'achat et la facilité à travailler cette matière ainsi que son origine naturelle.

De nombreuses études n'entraient pas dans le détail exact du composant utilisé et se limitaient à dire que les gîtes artificiels avaient été conçus en bois (35% des types de gîtes artificiels recensés). Il s'agissait bien souvent de planches, probablement en bois brut, fixées entres elles pour former des « boîtes » de différents volumes.

Dans certaines études, du bois contreplaqué a été utilisé (17% des types de gîtes recensés), ce qui correspond à des panneaux fabriqués par collage de feuilles de bois successives. Ce type de matériau est connu pour être résistant et léger, mais surtout de bon rapport/qualité prix. La majorité des études ont spécifié que ces gîtes en bois contreplaqué avaient été colonisés par des *Vespertilionidae* et seulement deux de ces études non rien précisées (Rhodes & Jones, 2011 ; Mering & Chamber, 2012 ; Griffiths *et al.*, 2018 ; Webber & Willis, 2018 ; Jeon *et al.*, 2019). Ce matériau semble donc intéressant pour la conception de gîte artificiel, bien que l'étude Tillman *et al.* (2021) précise que des toits en bois contreplaqué d'épaisseur de 1,9 cm se sont rapidement détériorés sur quelques années, ne le préconisant pas pour le déploiement de gîte sur le long terme.



Figure 13 : Gîte artificiel en bois brut.

Le bois de pin (14% des types de gîtes recensés) à quant à lui était utilisé dans des régions détenant des forêts de résineux, notamment aux Etats-Unis (Hoeh *et al.*, 2018 ; Tillman *et al.*, 2021), afin de se rapprocher des conditions naturelles. Seule l'étude de Hoeh *et al.* (2018) mentionne une colonisation réussite de ces gîtes artificiels, avec 100 % des boites colonisées et un nombre maximal de 22 individus (*Myotis sodalis*, *Eptesicus fuscus* et *Myotis septentrionalis*).

Le bois lamellé (collage de lamelles de bois) n'a été employé que dans une seule étude (Flaquer & Ruiz-Jarillo, 2006) avec un succès de colonisation par l'espèce *Pipistrellus pygmaeus* (*Vespertilionidae*). Enfin, le bois stratifié a été utilisé pour 3 types de gîtes en Espagne et en Australie, avec une colonisation par des *Vespertilionidae* (Smith & Agnew, 2002 ; Flaquer & Ruiz-Jarillo, 2006).

De manière générale, l'utilisation de ces différents types de bois a permis la colonisation par des chauves-souris. Le choix de leur utilisation dépendra principalement du rapport qualité/prix.

Le béton fibré n'a été utilisé que dans une seule étude au Canada (Andrusiak & Sarell, 2019) avec la réalisation de gîtes artificiels fixés sur des murs et des falaises rocheuses. Sur le total de gîtes déployés, 56% ont été colonisés par les espèces *Myotis yumanensis* et *Eptesicus fuscus*. Ce type de gîte à la particularité d'être résistant et d'améliorer l'isolation thermique.

La fibrolite a été employée dans les deux études menées au Costa-Rica sur les *Phyllostomidae* (Kelm *et al.*, 2008 ; Reid *et al.*, 2013). Il s'agirait d'un composant à base de résine et de bois permettant d'isoler contre l'humidité et d'être adapté aux conditions tropicales. Comme vu précédemment les gîtes de ces études ont bien été colonisés par les *Phyllostomidae*.



Figure 14 : Gîte artificiel, modèle BrandenBark™.

Enfin, la résine imitant l'écorce d'arbre a été utilisée dans cinq études pour la conception de gîtes artificiels dédiés aux *Vespertilionidae* (Chambers *et al.*, 2002 ; Mering & Chambers, 2012 ; Adams *et al.*, 2015 ; Jesse *et al.*, 2018 ; Hoeh *et al.*, 2018). Toutes ces études rapportent une colonisation réussie avec ce type de matériaux. Les études de Adama *et al.* (2015), Hoeh *et al.* (2018) et Jesse *et al.* (2018), ont la particularité d'utiliser le même modèle de gîtes artificiels (BrandenBark™) qui a été un succès pour 6 espèces dont notamment 95% des individus observés dans l'étude de Adams *et al.* (2015) étaient représentés par *Myotis sodalis*. Cette espèce a la particularité d'établir des dortoirs sous les écorces d'arbres.

Les composants utilisés pour la conception des gîtes artificiels étaient principalement représentés par différents types de bois plus ou moins résistant et dans une moindre mesure par de la résine et du béton. Le choix du matériau semble principalement avoir été orienté en se basant sur le rapport qualité/prix et sur la disponibilité des produits afin de

pouvoir créer une grande quantité de gîtes artificiels. En effet, dans la majorité des études, un grand nombre de réplica de gîtes artificiels a été nécessaire pour obtenir suffisamment de données exploitables statistiquement.

Bien que la température à l'intérieur des gîtes artificiels n'ait pas constamment été considérée dans les études, en tant que variable déterminante pour la colonisation des gîtes, il semble indispensable de l'inclure dans le choix du matériau et de l'épaisseur de celui-ci. En effet, l'étude de Reid *et al.* (2013) mentionne que le microclimat à l'intérieur des gîtes peut profondément affecter les chances de colonisation par les *Phyllostomidae*. Leurs observations montrent que les gîtes les plus visités étaient ceux dont la température maximale journalière était la plus basse (< 24 °C). Ils font également références à l'étude de Avila-Flores & Medellín, (2004) qui mentionne une température comprise entre 15,7 et 27,2 °C relevées dans une grotte abritant l'espèce *Artibeus jamaicensis*, ce qui correspond donc à un intervalle de température apprécié par l'espèce.

L'étude de Adams *et al.* (2015) précise également que la température influence fortement la colonisation des chauves-souris, mettant ainsi leur effort dans la conception d'un gîte artificiel imitant les conditions microclimatiques des gîtes naturels en écorce d'arbre.

L'étude de Hoeh *et al.* (2018) discute de l'influence de la température dans les gîtes artificiels (gîtes en écorce et gîtes fusés) et précise qu'une épaisseur de planche de 19 mm est théoriquement un bon isolant thermique pour piéger la chaleur. Cette épaisseur est également utilisée pour la conception des gîtes artificiels de l'étude de Tillman *et al.* (2021) alors que l'étude de Baranauskas (2010) utilise des épaisseurs allant jusqu'à 25 mm.

Finalement, il serait trop simpliste de se limiter au choix du matériau en tant que seul facteur déterminant pour la colonisation des chiroptères. C'est le microclimat qui semble être un facteur clé pour l'occupation des gîtes artificiels et la réponse microclimatique d'un nichoir à chauves-souris est déterminée par une interaction complexe entre le matériau, la couleur, l'isolation, la taille et structure du gîte ainsi que le milieu environnant. Ainsi, le matériau idéal peut dépendre de l'emplacement et doit être évalué dans le contexte et la situation respective à chaque nichoir, en tenant compte des conditions microclimatiques locales ainsi que du rayonnement solaire et de sa réflexion (Printz *et al.*, 2021).

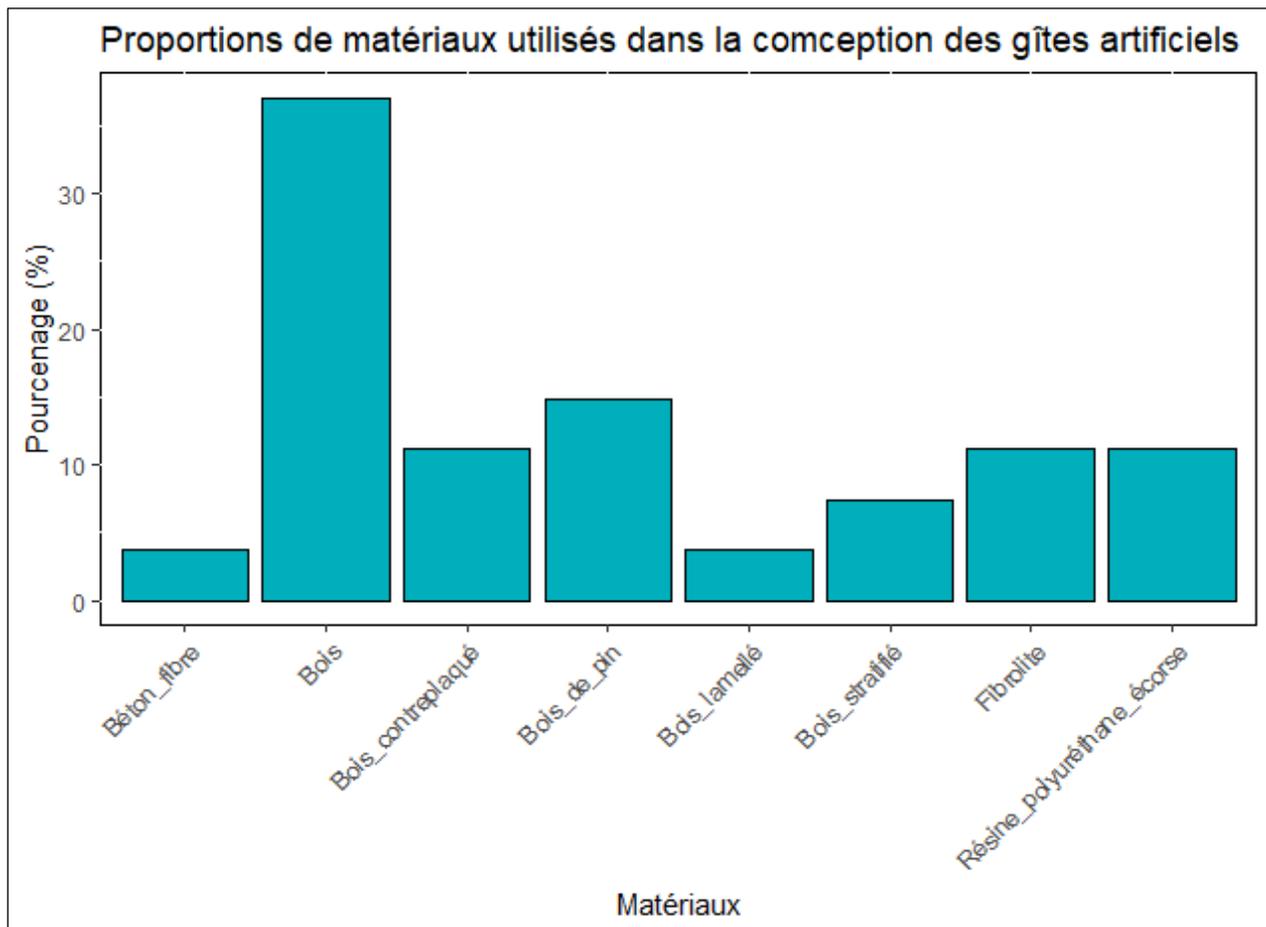


Figure 15 : Graphique d'occurrence des différents matériaux utilisés dans la conception de gîtes artificiels

Conclusion : Le bois brut et le bois contreplaqué sont les principaux matériaux utilisés pour la conception de gîtes artificiels, notamment pour les gîtes de petites tailles dédiés aux Vespertilionidae. Compte tenu de leur efficacité en termes de colonisation, de leur facilité de transport/manipulation ainsi que de leur rapport/qualité prix, il semble intéressant d'utiliser le bois pour la réalisation de gîtes artificiels.

La largeur des parois des gîtes méritera néanmoins une attention particulière quant à leur influence sur les conditions microclimatiques (température, humidité, etc.). Il s'agira de prévoir une épaisseur d'au moins 20 mm sur chaque paroi de gîtes artificiels si l'on se réfère à l'étude de Hoeh et al. (2018).

La fibrolite a été utilisée au Costa-Rica pour isoler contre les conditions climatiques les gîtes artificiels dédiés aux Phyllostomidae. L'isolation contre les conditions tropicales dans les Antilles est un élément que nous devrions intégrer dans la conception de futurs gîtes, que ça soit pour les Phyllostomidae ou les Vespertilionidae.

La résine imitant l'écorce d'arbre est un concept qui a parfaitement fonctionné avec le *Myotis sodalis*, ce qui a permis d'offrir un gîte de maternité pour une colonie aux Etats-Unis. Cependant, le faible espace disponible peut être une contrainte au niveau thermique dans les Antilles, favorisant une forte température et peu d'espace pour la recherche des zones fraîches à l'intérieur des gîtes.

La réponse microclimatique d'un nichoir à chauves-souris est déterminée par une interaction complexe entre le matériau, la couleur, l'isolation, la taille et structure du gîte ainsi que le milieu environnant. Cela conduit à la conclusion que le matériau idéal peut dépendre de l'emplacement et doit être évalué dans le contexte de la situation respective, en tenant compte des conditions microclimatiques locales ainsi que du rayonnement solaire et de la réflexion (Printz et al., 2021).

3.1.5 Substrat d'accroche dans les gîtes artificiels

Peu d'informations étaient disponibles sur le type de substrat installé dans les gîtes artificiels. L'étude de Kelm et al. (2008) précise que des filets en plastique ont été installés sur les plafonds des gîtes artificiels afin d'offrir un substrat convenable auquel les chauves-souris pouvaient s'accrocher.

L'étude de Adams et al. (2015) a également utilisé des filets en plastique collé sur la face interne de la résine imitant l'écorce, de sorte que les chauves-souris puissent s'y accrocher.

Conclusion : Le substrat d'accroche est un détail à prévoir pour optimiser la colonisation des gîtes artificiels par les chiroptères.

3.1.1 Couleur des gîtes artificiels



Figure 16 : Gîtes expérimentaux de colorations différentes.

La couleur des gîtes artificiels n'est pas une variable que nous avons relevée lors de l'analyse bibliographique, notamment par le fait que peu d'éléments ont été mentionnés sur ce sujet. Cependant, sorti du cadre de cette analyse, nous avons retrouvé quelques articles scientifiques ayant étudié l'influence de la couleur des gîtes artificiels sur la colonisation des chiroptères.

Ainsi, l'étude de Lourenço & Palmeirim. (2004) réalisée au Portugal, montre que les chauves-souris ont tendance à davantage coloniser les gîtes artificiels de couleur noire que ceux de couleur grise et qu'aucun gîte de couleur blanche n'a été colonisé. Cette même étude, montre que les températures maximales moyennes sont de 37°C, 34°C et 28°C pour les gîtes artificiels noirs, gris et blancs respectivement. Ces résultats montrent que la couleur influence la température interne des gîtes artificiels et que les chauves-souris de cette zone géographique recherchent la chaleur plutôt que la fraîcheur.

L'étude de Kerth *et al.* (2001) réalisée en Allemagne montre également des résultats semblables à l'étude précédente. Les chauves-souris (femelles pendant et après la lactation) auraient une préférence pour les gîtes artificiels de couleur noire exposés au soleil plutôt que ceux de couleur blanche.

La couleur des gîtes artificiels semble donc exercer une influence sur les chiroptères des zones tempérées, mais aucune preuve n'a été rapportée pour les zones tropicales. Etant donné que la température soit relativement stable et haute dans les zones tropicales, notamment en basse altitude, il est probable que la couleur noire des gîtes artificiels ait des effets plutôt néfastes avec des risques de surchauffe. De ce fait, suivant l'emplacement des gîtes artificiels, une couleur plutôt claire devrait être envisagée.

Conclusion : Contrairement aux études réalisées dans les zones aux climats tempérés, nous préconisons plutôt une couleur claire des gîtes artificiels afin de limiter les risques de surchauffe.

3.1.2 Forme des gîtes artificiels

Le pourcentage des formes de gîtes artificiels apparues dans l'analyse bibliographique permet de se rendre compte de la diversité des formes et de ceux qui ont le plus couramment été utilisés. Plus précisément, ce pourcentage correspond au nombre d'articles ayant employé la forme de gîte artificiel.

Toutes les formes de gîtes artificiels définies dans cette analyse sont présentées dans l'annexe de ce rapport.



Figure 17 : Gîte « boîte cubique standard ».

Les gîtes de type « boîte cubique standard » représentent 37% des gîtes artificiels cités. Ce sont bien souvent des boîtes allant d'une à plusieurs chambres et qui détiennent un certain volume. Sur 12 études utilisant cette forme de gîtes, 8 ont mentionné une colonisation réussite par des chiroptères.

Les gîtes de type « boîte cunéiforme » représentent 8% des gîtes artificiels cités. Ce sont des boîtes en forme de « coin » (voir Annexe) citées par 3 études et dont chacune d'elle rapporte une colonisation réussite par les chiroptères (Smith & Agnew., 2002 ; López-Baucells *et al.*, 2017 ; Rueegger *et al.*, 2019).



Figure 18 : Gîte « boîte cunéiforme ».

Les gîtes de type « boîte cylindrique écorce » représentent également 8% des gîtes artificiels cités. Ce sont les gîtes du modèle BrandenBark™, cités par 3 études rapportant une colonisation réussite par les chiroptères (Adams *et al.*, 2015 ; Hoeh *et al.*, 2018 ; Jesse *et al.*, 2018).

Les gîtes de type « boîte fusée » représentent 8% des gîtes artificiels cités. Ce sont des gîtes qui ont bien été colonisés et qui ont montré une très bonne efficacité contre les variations de température (Hoeh *et al.*, 2018 ; Jesse *et al.*, 2018 ; Tillman *et al.*, 2021).

Les gîtes de type « boîte plate » représentent 24% des gîtes artificiels cités et se classent en deuxième position après les « boîtes cubiques standards ». Sur 9 études, 3 rapportent une colonisation réussite par les chiroptères.



Figure 19 : Gîte « boîte cylindrique écorce » BrandenBark™.

Le gîte de type « boîte plate béton » n'est représenté que par une étude et qui rapporte une colonisation réussite (Andrusiak & Sarell., 2019).

Les gîtes de type « Grande boîte cubique », 8% de gîtes artificiels cités sont ceux employés pour les *Phyllostomidae* (Kelm *et al.*, 2008 ; Reid *et al.*, 2013 ; Kelm *et al.*, 2021).

Enfin, les gîtes de type « Tronc arbre » ont été utilisés par deux études dont une seule rapporte une colonisation réussite par les chiroptères (Ruegger., 2017 ; Griffiths *et al.*, 2018).



Figure 20 : Gîte « boîte plate béton ».



Figure 21 : Gîte « Grande boîte cubique ».



Figure 22 : Gîte « Tronc arbre ».

Pourcentage des formes de gîtes artificiels utilisés

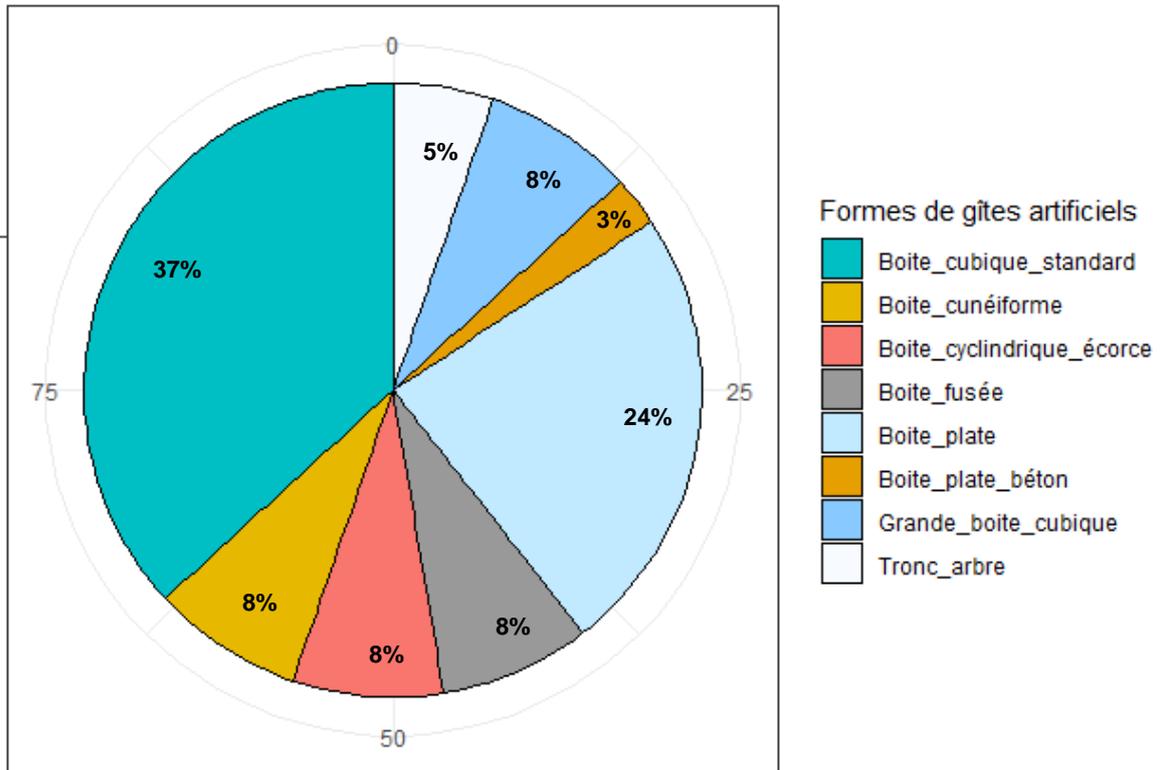


Figure 23 : Diagramme circulaire de présentation et proportion des différents types de gîtes artificiels utilisés dans les études consultées.

3.2 Emplacement et hauteur des gîtes artificiels

3.2.1 Emplacement des gîtes artificiels

Les gîtes artificiels ont principalement été installés dans des milieux forestiers et en lisière de forêt. Le milieu forestier offre souvent de nombreux gîtes naturels avec la présence de fissures, de bois morts et de crevasses, ce qui représente un habitat de prédilection pour les chiroptères. Cependant, comme indiqué précédemment (Printz *et al.*, 2021), en fonction des zones géographiques et de l'emplacement, le microclimat à l'intérieur des gîtes artificiels peut considérablement être affecté.

Dans certaines régions, notamment au climat tempéré marqué par d'importantes variations saisonnières, il est parfois nécessaire d'avoir une exposition au soleil pour favoriser le réchauffement de la colonie de chauves-souris (Whitaker *et al.*, 2006). *A contrario*, dans un climat tropical tel que celui des territoires littoraux des petites Antilles, les chiroptères auront tendance à rechercher plutôt des milieux frais. Dans l'étude de Kelm *et al.* (2008), une partie des gîtes artificiels a été installée en milieu forestier (zone ombragée) afin d'éviter le rayonnement solaire direct et la chaleur excessive.

Le choix d'un milieu boisé et donc ombragé, plutôt qu'un milieu exposé en plein soleil, est à privilégier dans un contexte tropical. Toutefois certaines espèces semblent être présentes dans des secteurs très exposés au rayonnement solaire, cherchant possiblement des gîtes très chauds (Molosses sous toitures). Il pourrait être intéressant de tester la disposition de gîtes en des emplacements ensoleillés. Cela permettra de valider ou d'invalidier les préconisations issues de la bibliographie.

Le milieu ouvert était principalement concerné par l'étude de Tillman *et al.* (2021) qui ont étudié des gîtes exposés au soleil pour des chauves-souris de l'Indiana afin qu'elle puisse bénéficier de chaleur en saison hivernale.

Le milieu urbain et la falaise rocheuse sont peu représentés. Plusieurs études scientifiques émettent l'hypothèse que les gîtes artificiels implantés dans les milieux dégradés, ouverts et urbains reçoivent d'avantage d'individus de chiroptères que ceux disposés dans les milieux forestiers, du fait que la disponibilité en dortoir est souvent plus restreinte (Rueegger *et al.*, 2019).

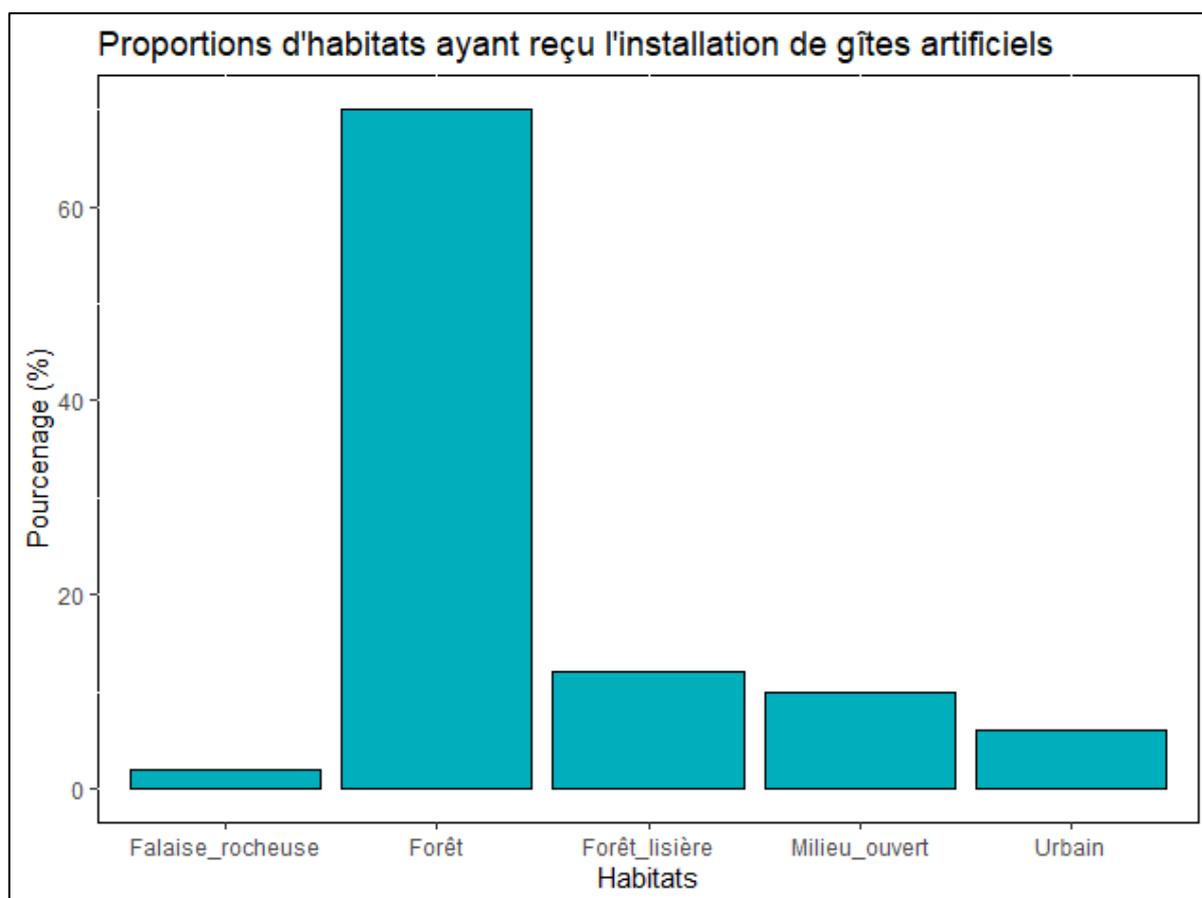


Figure 24 : Présentation de la répartition du positionnement des gîtes artificiels en fonction de l'habitat pour l'ensemble des études consultées.

Conclusion : Le milieu forestier est majoritairement ressorti comme l'habitat le plus sélectionné pour accueillir des gîtes artificiels. Bien que plusieurs raisons aient pu pousser certaines études à se tourner vers cet habitat, celui-ci reste un milieu de prédilection pour les chiroptères qui y trouvent des gîtes naturels et des conditions environnementales adaptées (microclimat). De ce fait, la disposition de gîtes artificiels dans notre contexte d'étude devra inclure la présence d'arbres ou d'un couvert végétal afin de pouvoir offrir un microclimat adapté aux espèces de chiroptères. Cependant, nous déconseillons de disposer les gîtes au cœur des milieux forestiers. Il est préférable de les disposer à proximité des zones forestières (lisière de forêt) ou non loin d'arbres isolés pouvant apporter au cours de la journée un peu d'ombrage. En parallèle, il serait intéressant de tester l'attractivité ou l'absence d'attractivité de gîtes placés en contexte ensoleillé.

3.2.2 Hauteur des gîtes artificiels

La hauteur de disposition des gîtes artificiels est une information qui a souvent été mentionnée dans les articles scientifiques et qui d'après certains auteurs peut avoir un effet sur la colonisation des chauves-souris (Long *et al.*, 2006 ; Agnelli *et al.*, 2011). Par exemple, l'étude de Agnelli *et al.* (2011) montre une plus forte colonisation de gîtes artificiels à mesure que l'on augmente leur hauteur d'installation. Autrement dit, les résultats montrent que les gîtes artificiels installés entre 2-4 m, 4-10 m et 10-50 m ont respectivement été colonisés à raison de 10%, 20% et 30% du total. Ces résultats semblent être expliqués par le fait que les chauves-souris recherchent généralement des gîtes protégés de la prédation au sol (Long *et al.*, 2006 ; Agnelli *et al.*, 2011). Long *et al.* (2006) suggèrent une hauteur minimale d'environ 4 mètres pour l'installation de gîtes artificiels afin d'éviter les risques de prédatations. Ils précisent également une distance d'environ 6 mètres par rapport aux obstacles présents aux alentours des gîtes artificiels afin d'éviter les obstacles et les risques de prédatations. Bien que cette information n'ait pas été retrouvée dans les articles, il est probable que la hauteur des gîtes influence également le microclimat à l'intérieur, notamment par le phénomène d'exposition au vent.

Les résultats de l'analyse bibliographique montrent que la majorité des modèles de gîtes artificiels ont été installés à 4 et 5 mètres de hauteur, ce qui concerne tous les groupes de chiroptères, c'est-à-dire les *Molossidae*, les *Phyllostomidae* et les *Vespertilionidae*. Une certaine quantité a également été installée à 6 et 7 mètres de hauteur pour les *Vespertilionidae* et dans une quantité bien plus faible à 1,5 et 2,5 mètres de hauteur.

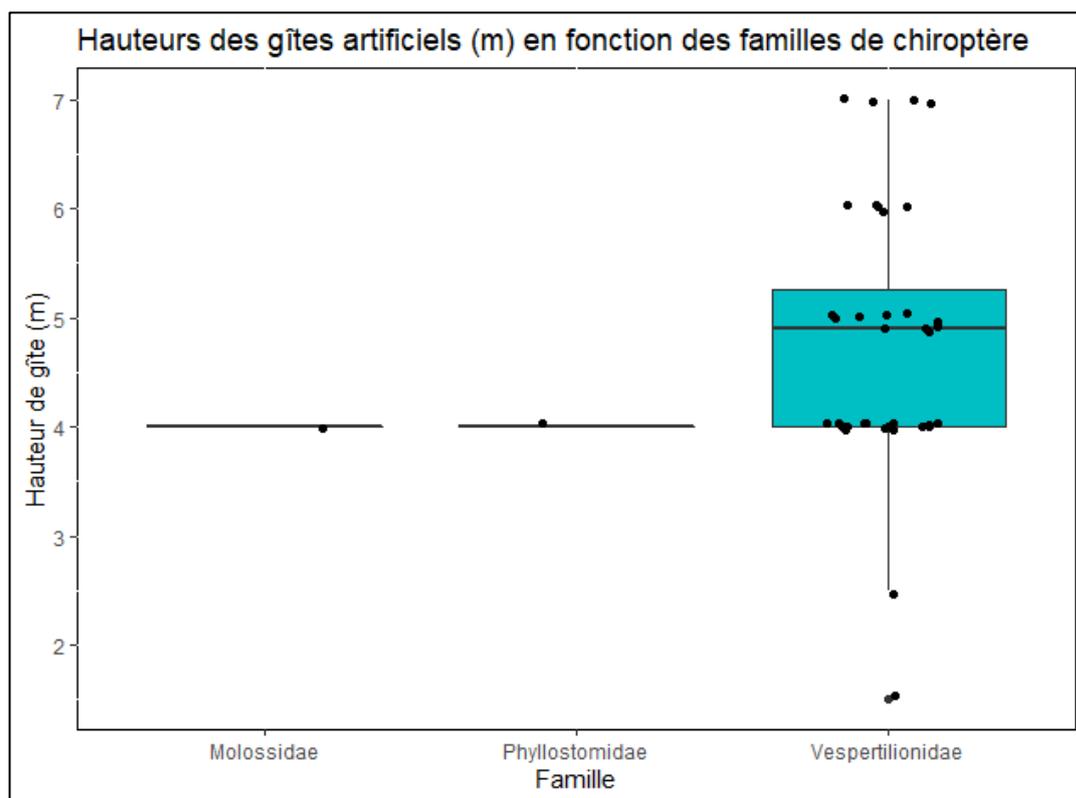


Figure 25 : Boxplot de présentation des hauteurs de pose des gites artificiels pour chacune des trois familles étudiées.

Conclusion : Afin de favoriser le succès de colonisation par l'attractivité et d'éviter les risques de colonisation, disposer les gîtes en hauteur semble être indispensable. Un minimum de 4 mètres est ainsi conseillé pour les *Vespertilionidae* (seule famille pour laquelle ce critère est abondamment étudié).



4 Analyses des données de terrain

4.1 Gîtes naturels et anthropiques

4.1.1 Nombre d'individus observés et abondance en fonction des volumes de gîtes

Les volumes de gîte ont été estimés afin d'apporter de nouvelles informations pour la conception des gîtes artificiels.

Les deux plus petits volumes, $1,79 \times 10^{-2}$ et $3,59 \times 10^{-2}$, soit $0,018 \text{ m}^3$ et $0,036 \text{ m}^3$ correspondaient respectivement aux dortoirs des Tadarides du Brésil et des Murins de la Martinique. C'est un faible espace étendu sur une grande longueur ($1000 \times 2 \times 9 \text{ cm}$), ce qui permet d'accueillir un nombre conséquent d'individus, environ 370 Murins de la Martinique et 446 Tadarides du Brésil. Bien que les volumes soient faibles par rapport aux autres relevés sur le terrain, ils sont nettement plus grands que ceux proposés comme gîte artificiel dans la littérature.

L'Artibé de la Jamaïque est présent dans un large éventail de volumes, allant de $0,25$ et 1 m^3 à 450 m^3 . Les petits volumes de $0,25$ et 1 m^3 correspondent à des petites grottes accueillants respectivement 150 et 400 individus. Ces chiffres montrent qu'un gîte artificiel de 1 m^3 pourrait accueillir un nombre conséquent d'individus. Cependant, la température d'une grotte et celle d'un gîte artificiel, en fonction du matériau utilisé, devrait sensiblement différer et influencer la capacité d'un gîte à être colonisé. En effet, il est fort probable que le microclimat d'une cavité naturelle soit davantage favorable à la colonisation comparée à celui d'un gîte artificiel (ex : température plus basse). Par conséquent, proposer un gîte artificiel d'un minimum de 1 m^3 , semble pertinent, mais le choix du matériau pour offrir un microclimat favorable n'est pas à négliger. Les autres volumes, bien plus importants, correspondent pour la plupart à des bâtiments abandonnés, des cabanes en tôle, des tunnels et des culées de pont.

Seulement deux gîtes artificiels, de 64 m^3 et $1\,250 \text{ m}^3$, ont été étudiés pour le *Brachyphylle* des cavernes. Il s'agit de deux bâtiments abandonnés détenant des colonies d'environ 250 et 1 000 individus respectivement. Cette espèce, bien que moins présente que l'Artibé de la Jamaïque, semble coloniser les mêmes types de gîtes avec des volumes similaires. De ce fait, les gîtes artificiels seront similaires et donc proposés pour les *Phyllostomidae* au sens large.

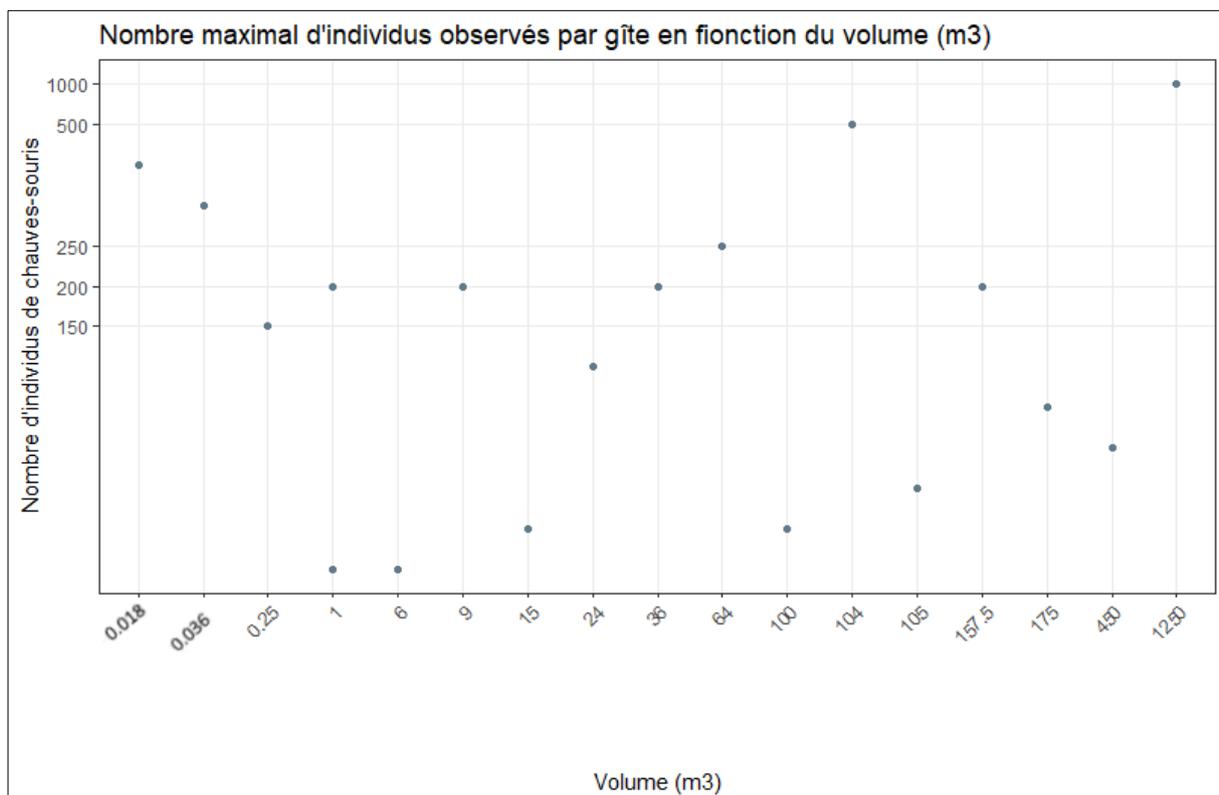


Figure 26 : Présentation du nombre d'individus observés dans chaque gîte naturel suivi de Martinique en fonction de leur volume.

Conclusion : D'après nos observations, les *Tadarides* du Brésil et les *Murins* de la Martinique peuvent constituer des colonies avec un nombre conséquent d'individus (446 et 370 individus respectivement) et qui semblent apprécier des dortoirs étroits (fentes, fissures), ce qui est cohérent avec leur écologie. La largeur des dortoirs semble être un critère important pour la sélection des gîtes par ces chiroptères, environ 2 cm de largeur pour les *Tadaride* du Brésil et entre 2 et 3 cm de largeur pour les *Murins* de la Martinique. Cela sera donc pris en compte lors de la conception des gîtes artificiels.

Les *Phyllostomidae*, et en particulier les *Artibé* de la Jamaïque, ont montré qu'ils pouvaient se rassembler en colonie d'au moins 150 à 200 individus dans environ 1 m³. Afin de faciliter l'aménagement des gîtes et leur installation, des volumes d'au moins 1 m³ seront conçus.

Le graphique ci-dessous présente les données brutes de nombre d'individus observés par gîte en fonction des espèces.

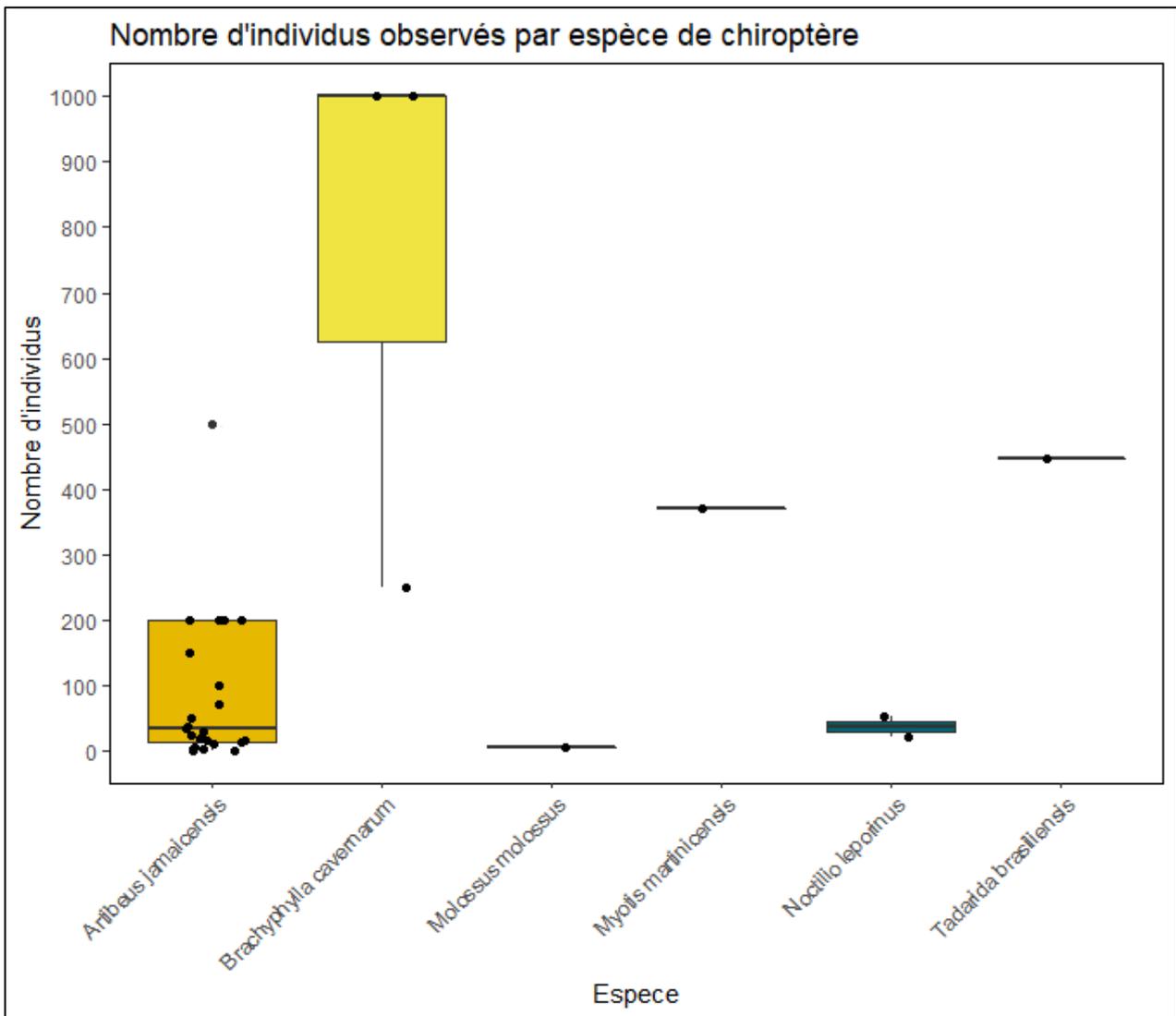


Figure 27 : Boxplot de présentation du nombre d'individus par espèce dans les gîtes de Martinique visités.

4.1.2 Dimension d'ouverture des gîtes

Comme indiqué précédemment dans l'analyse bibliographique, l'ouverture permettant l'accès à l'intérieur des gîtes artificiels est un détail qui a son importance, puisque les chauves-souris ont besoin d'une ouverture minimale pour réussir à accéder à leur dortoir. De ce fait, lorsque cela était possible vis-vis de l'accessibilité, nous avons relevé la taille des entrées de gîtes. Du fait que certaines ouvertures de gîtes étaient de grandes dimensions, les données ont été exprimées en mètre carré pour faciliter l'interprétation.

Ainsi, pour l'Artibé de la Jamaïque (*Artibeus jamaicensis*) nous observons que les dimensions d'entrées de gîtes sont très variables, avec un minimum de 0,040 m², soit 20*20 cm, et un maximum de 9 m². Les grandes dimensions représentent principalement des entrées de gîtes dans des bâtiments et hangar de grandes superficies. L'entrée de 0,040 m² donne l'accès à des combles faits de charpentes en bois. Cependant, la majorité des dimensions d'ouvertures se situent entre 0,5 et 2 m².



Figure 28 : Entrées de différents gîtes d'Artibé de la Jamaïque observés en Martinique, favorables à gauche (40 000 cm²) et au centre (7 700 cm²), et défavorable à droite (<400 cm²) où seulement deux individus demeurent présents.

Le Brachyphylle des cavernes est un chiroptère de taille quasiment similaire à l'Artibé de la Jamaïque. Deux dimensions principales ont été enregistrées, une de 0,75 m² et une de 2 m². Les gîtes repérés et visités sont d'anciens bâtiments abandonnés : les combles d'un château, une maison et amphithéâtre désaffectés ainsi qu'une bâtisse dont la construction est restée inachevée.



Figure 29 : Différents gîtes à Brachyphylle des cavernes.

Ces deux *Phyllostomidae* ont tendance à se suspendre, ce qui nécessite de l'espace et un accès direct à leur substrat d'accroche.

Le Molosse commun (*Molossus molossus*) n'a été enregistré que sur un seul site, avec une dimension d'entée de gîte de 1 m². C'est une espèce qui gîte dans les fissures étroites (environ 2 cm) et qui a tendance à se plaquer contre les parois. Les dimensions d'ouverture de gîte peuvent être de très petites tailles, et cette espèce apprécie bien souvent une rampe d'accès à son dortoir en guise de zone d'atterrissage. Cette ouverture de 1 m² ne reflète pas la réelle ouverture du gîte mais simplement de la cavité dans laquelle le gîte à proprement parler est présent, qui doit être bien plus étroite mais qui n'a pu être observé.

Le Noctilion pêcheur (*Noctilio leporinus*) a été observé dans une grotte du littoral (Carbet) et un ancien four à chaux (Sainte-Anne) qui détenaient des ouvertures de 5 m². Cette espèce est la plus grande chauve-souris des Petites Antilles mais bien qu'à large répartition, peu de gîtes sont connus à ce jour en dehors de grottes littorales. Les suivis des gîtes font état d'une diminution importante des effectifs suggérant des déplacements des populations vers des gîtes non connus.

Enfin, le Tadaride du Brésil (*Tadarida brasiliensis*) et le Murin de la Martinique (*Myotis martinicensis*) ont tous les deux été observés dans une jointure de dalle en ciment sous un pont, dont l'ouverture était représentée par une fente de 2 cm de largeur sur 10 m de longueur et 4 cm de largeur sur 10 m longueur respectivement, soit 0,2 et 0,4 m². La profondeur du gîte était de quelques centimètres (9 cm), ce qui permettait d'observer les individus dans leur dortoir.



Figure 30 : Suivi du gîte de Fond Manoël (Murins de la Martinique et Tadarides du Brésil).

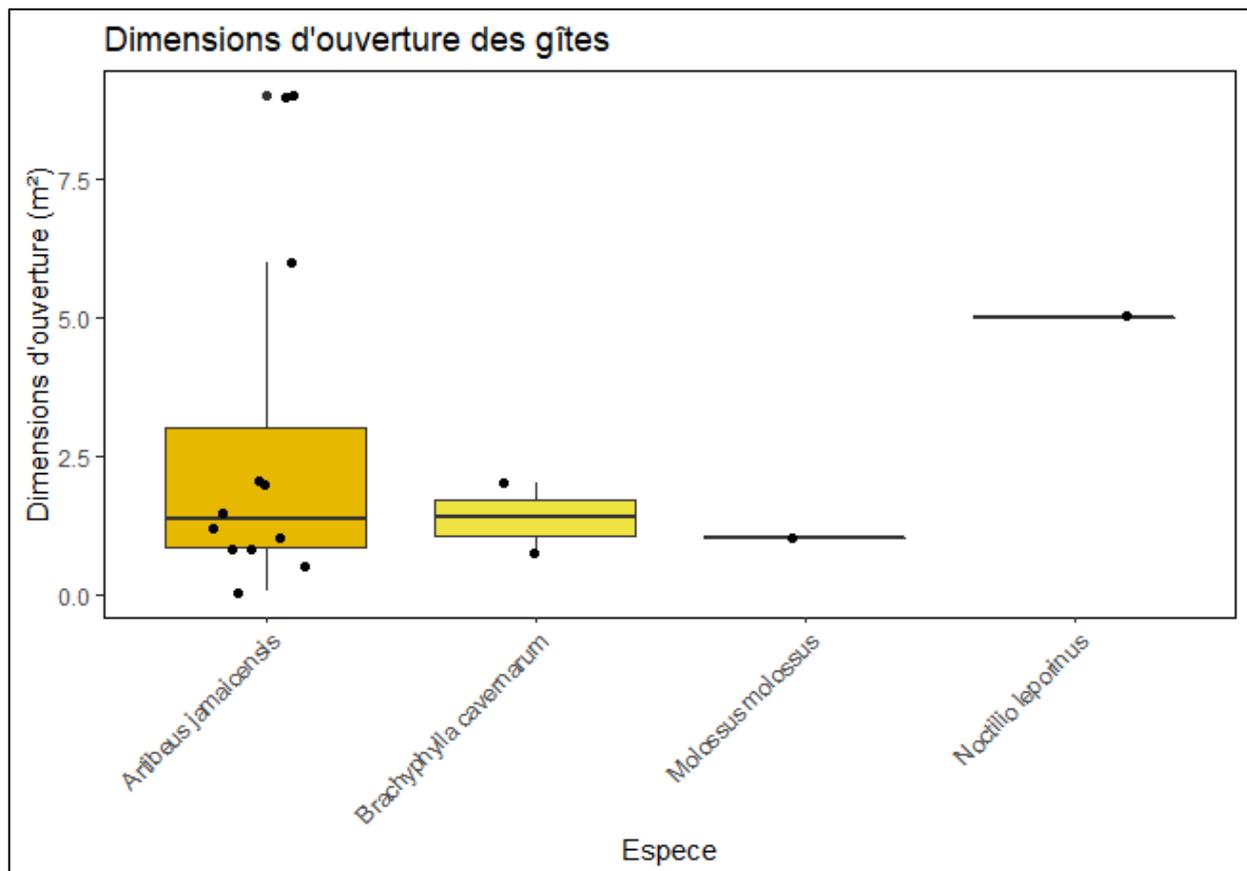


Figure 31 : Boxplot de présentation des ouvertures des différents gîtes de Martinique visités en fonction des espèces présentes.

Conclusion : L'analyse des dimensions d'ouvertures de gîte montre, de manière générale, que les chiroptères de grandes tailles tel que l'Artibé de la Jamaïque, le Brachyphylle des cavernes et le Noctilion pêcheur, utilisent des ouvertures relativement grandes, allant de 0,040 m² à 9 m². Afin d'optimiser les chances de colonisation, il sera donc nécessaire d'offrir une ouverture d'un minimum de 20X20 cm. Il sera également indispensable d'offrir un espace suffisant dans le gîte pour que ces chiroptères puissent se suspendre et se déplacer.

Les dimensions enregistrées (1 m²) pour le Molosse commun ne sont pas représentatives. En effet, il est connu que cette espèce de fissure, au moyen du rampe d'atterrissage, puisse pénétrer dans des ouvertures de très faibles tailles (ex : 2X3 cm). Ainsi, pour optimiser les chances de colonisation, des ouvertures de type fente ou fissure seront privilégier pour cette espèce.

Le Tadaride du Brésil, détient une écologie très proche de celle du Molosse commun. De ce fait, nous suivrons les mêmes préconisations que celles indiquées pour le Molosse commun. Les observations de terrain ont tout de même permis d'observer un fait intéressant, le Tadarides du Brésil apprécie des fentes étroites d'un maximum de 2 cm et n'était pas présent sur des largeurs plus grandes tailles avoisinant les 4 cm, qui étaient colonisés par le Murin de la Martinique.

Enfin, le Murin de la Martinique semble également utiliser des ouvertures de gîtes de petites tailles, telles que les deux espèces de Molossidés présentées précédemment. Il est intéressant de voir que le Murin de la Martinique était suspendu dans des fentes comprises entre 2 et 4 cm de largeur.

4.1.3 Orientation des gîtes

L'orientation des gîtes a été citée à plusieurs reprises dans certains articles de l'analyse bibliographique (Flaquer *et al.*, 2006 ; Printz *et al.*, 2021) qui ont montré des relations significatives entre l'orientation et le taux d'occupation par les chiroptères. De ce fait, il nous a semblé pertinent de relever l'orientation des ouvertures de gîtes afin de rechercher une éventuelle préférence par les chiroptères.

De manière générale, les orientations des gîtes ont été représentées suivant plusieurs points cardinaux. L'orientation vers l'ouest est celle qui est ressortie majoritairement et qui a concerné l'Artibé de la Jamaïque, le Brachyphylle des cavernes, le Molosse commun et le Noctilion pêcheur. Parmi ces espèces, l'Artibé de la Jamaïque a été observé dans 5 gîtes orientés vers l'ouest correspondant à trois cavités rocheuses, une culée de pont et un tunnel. Le Molosse commun et le Noctilion pêcheur ont également été observés dans des cavités rocheuses orientées vers l'ouest.

L'article de Printz *et al.* (2021) montre une relation positive entre l'occupation des chiroptères et les gîtes orientées vers le nord-ouest en Allemagne, ce qui rejoint les résultats de l'étude d'Alcalde *et al.* (2013) réalisée en Espagne. L'hypothèse qui en ressort serait que l'effet positif de l'orientation nord-ouest pendant la saison froide, ferait que les chauves-souris ne recevraient que le soleil de l'après-midi, se traduisant ainsi, par des conditions climatiques plus stables dans les gîtes. Cela représenterait un gain énergétique pour la colonie en réduisant les fluctuations de températures importantes. Cependant, il est fort probable que l'occupation des gîtes soit influencée par la saisonnalité, le microclimat et la situation géographique. Par exemple, en fonction des saisons, les chauves-souris vont avoir tendance à rechercher plus ou moins de chaleur (ex : été/hiver) et cette saisonnalité peut être plus ou moins marqué en fonction de la position géographique (ex : Martinique/France métropolitaine).

En ce qui concerne nos données, il est probable que les chiroptères aient choisi des cavités rocheuses orientées ouest afin de ne recevoir les rayons du soleil qu'en fin de journée et donc d'éviter les surchauffes. Il est important de préciser que ce type de gîte reçoit probablement directement le soleil comparé à un gîte situé dans le vieux bâtiment avec plusieurs pièces. Autrement dit, en fonction du type de gîte, l'orientation peut avoir plus ou moins d'importance. Dans le cas de gîtes artificiels, l'orientation et l'exposition peuvent avoir un effet sur la colonisation, car ils vont recevoir directement les rayons de soleil.

L'orientation nord-ouest dans nos observations, correspond à un vieux bâti et un pont pour l'Artibé de la Jamaïque, et un pont pour le Murin de la Martinique et le Tadaride du Brésil, dont ces deux dernières espèces sont également concernées par l'orientation sud-est puisque le pont est également ouvert à cette orientation.

L'orientation sud-est pour l'Artibé de la Jamaïque concerne du vieux bâti et une culée de pont, mais également une cavité d'arbre en forêt ripisylve. Ce dernier gîte est moins soumis au rayon du soleil, de par la forte densité foliaire de la ripisylve.

L'orientation est, nord-est et sud-ouest ne concerne que des infrastructures humaines qui sont moins soumises au rayon du soleil.

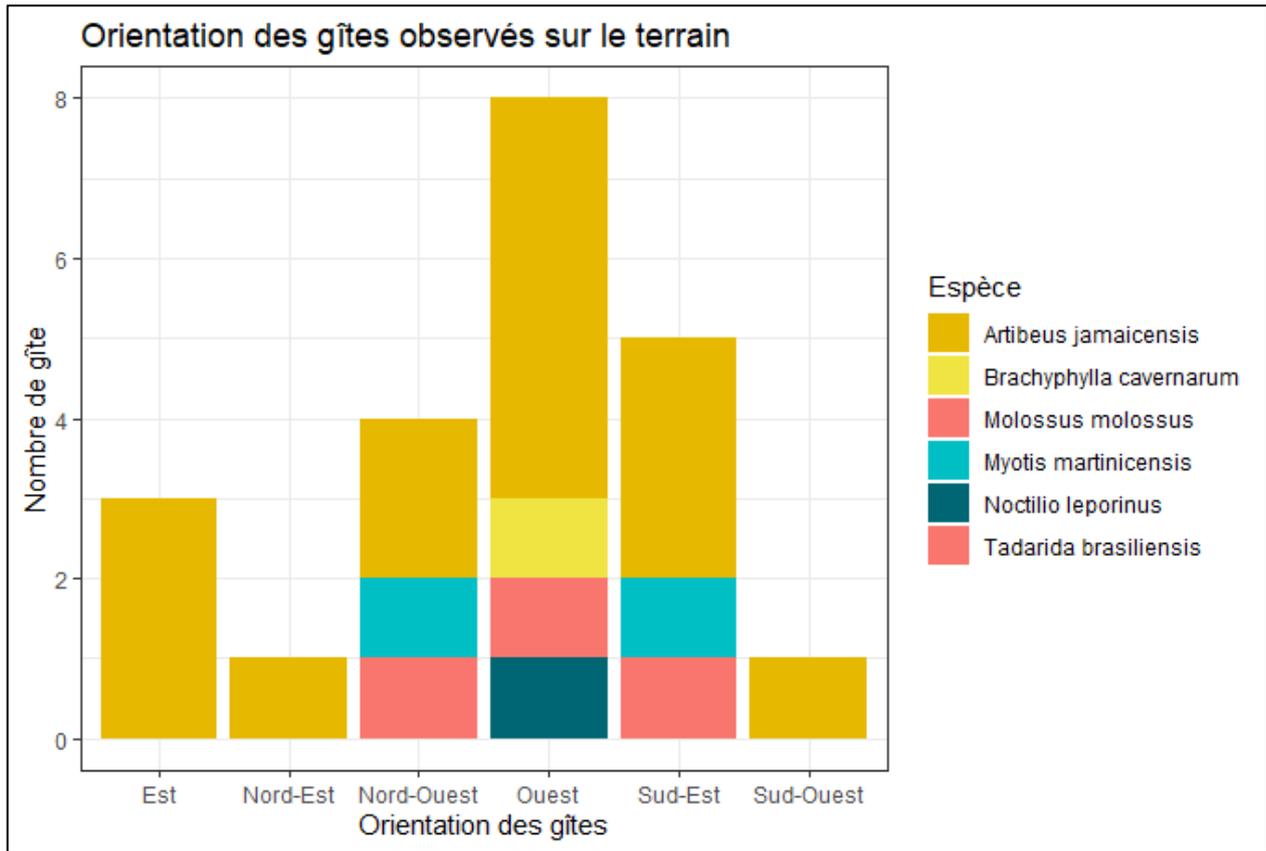


Figure 32 : Graphique de présentation des orientations des différents gîtes de Martinique visités.

Conclusion : Etant dans une région tropicale avec une température peu fluctuante contrairement aux régions tempérées, il semble pertinent de limiter l'exposition et l'orientation des gîtes artificiels au rayonnement du soleil afin d'éviter les risques de surchauffe de la colonie. Bien qu'il ait un manque de connaissances dans la littérature à ce sujet, notamment pour la région néotropicale, une orientation ouest voire sud-ouest semble pertinente.

4.1.4 Type de gîtes

La majorité des gîtes observés sur terrain sont représentés par des infrastructures humaines telles que des bâtiments abandonnés, des ponts ou bien des tunnels. Les seuls gîtes naturels sont représentés par une cavité d'arbre à Case-Pilote et quelques grottes. Bien que les chauves-souris semblent apprécier les infrastructures humaines, les données reflètent le manque de connaissance et d'effort d'échantillonnage sur le milieu naturel en Martinique. En effet, il est fort probable que davantage d'arbres et de grottes soient colonisés par les chauves-souris.



Figure 33 : Grottes à Noctilion pêcheur (à gauche) et à Artibé de la Jamaïque (à droite).

Le seul arbre colonisé par les chauves-souris est un fromager de grande envergure situé dans une ripisylve de Case-Pilote. Il abrite quelques individus d'Artibé de la Jamaïque et représente un excellent gîte naturel.

Nous insistons particulièrement sur ce point : il s'agit du seul gîte arboricole connu colonisé par l'Artibé de la Jamaïque en Martinique. La bibliographie fait état d'une affection élevée de cette espèce pour ce type de gîtes. Nous pouvons ainsi supposer que cette unique donnée n'est pas originale, mais reflète simplement la faiblesse d'échantillonnage et de recherche de gîtes naturels de chiroptères en milieu naturel.

A l'avenir, il serait intéressant de proposer des études complémentaires axées sur la recherche de gîtes (naturels), une des méthodes les plus efficaces restant la télémétrie (capture, pose d'émetteur, suivi VHF).



Figure 34 : Gîte arboricole à Artibé de la Jamaïque.

Le bâti a été colonisé par du Noctilion pêcheur, mais surtout par du Brachyphylle des cavernes et de l'Artibé de la Jamaïque. Ce sont des grandes chauves-souris qui ont besoin d'espace et d'un microclimat stable, ce qui peut expliquer cet attrait pour les infrastructures humaines. Plusieurs types de bâtis ont été inventoriés tels que du bâti en pierre, en bois, ou bien en parpaing. Des cabanes en bois et des hangars en tôle ont également été recensés avec une colonisation de chiroptères.



Figure 35 : Gîtes bâtis à Artibé de la Jamaïque, Brachyphyllles des cavernes & Artibé de la Jamaïque et Noctilion pêcheur

En ce qui concerne les ponts, selon le type de culées et structures, on y a inventorié des Murins de Martinique et Tadarides du Brésil dans les fissures ainsi que régulièrement des Artibés de la Jamaïque sous les culées cimentées. Un autre style d'infrastructure humaine a également été colonisé : les tunnels, où on trouve uniquement des Artibés de Jamaïque.



Figure 36 : Culée et voûte de pont, tunnel.

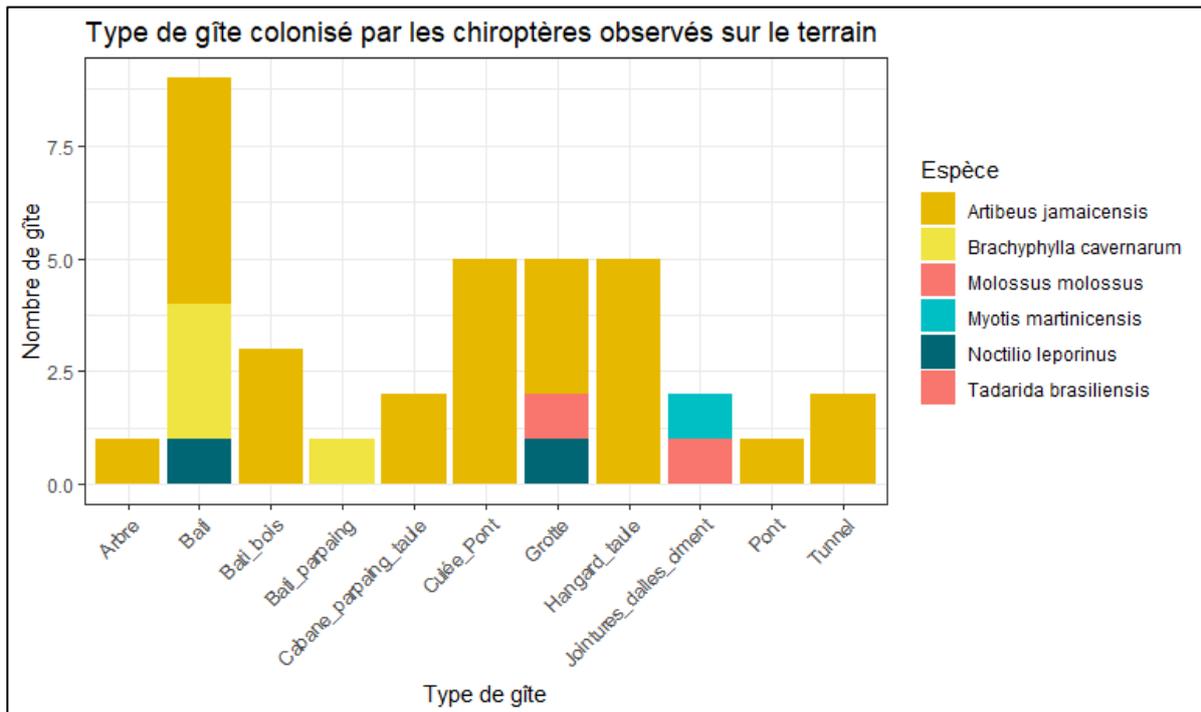


Figure 37 : Répartition par espèces des différents types de gîtes de Martinique visités.

4.1.5 Substrat d'accroche

Peu d'informations étaient disponibles sur le type de substrat installé dans les gîtes artificiels lors de l'analyse bibliographique. L'étude de Kelm *et al.* (2008) précise que des filets en plastique ont été installés sur les plafonds des gîtes artificiels afin d'offrir un substrat convenable auquel les chauves-souris pouvaient s'accrocher. L'étude de Adams *et al.* (2015) a également utilisé des filets en plastique collés sur la face interne de la résine imitant l'écorce, de sorte que les chauves-souris puissent s'y accrocher.

Nos observations sur le terrain ont montré que les chauves-souris avaient une grande adaptabilité vis-à-vis de leur substrat d'accroche dans les dortoirs. Par exemple, l'Artibé de la Jamaïque était aussi bien accroché sur du bois/charpente que des parois en ciment, des barres métalliques, de la taule ou bien de la roche sédimentaire. Les autres chauves-souris ont montré des tendances similaires.



Figure 38 : Illustration de différents substrats d'accroche : bois, roche, ciment, métal (tôle et IPN).

Il semble nécessaire de retenir que les chiroptères ont choisi des substrats permettant une bonne accroche et qui détenaient donc une certaine rugosité.

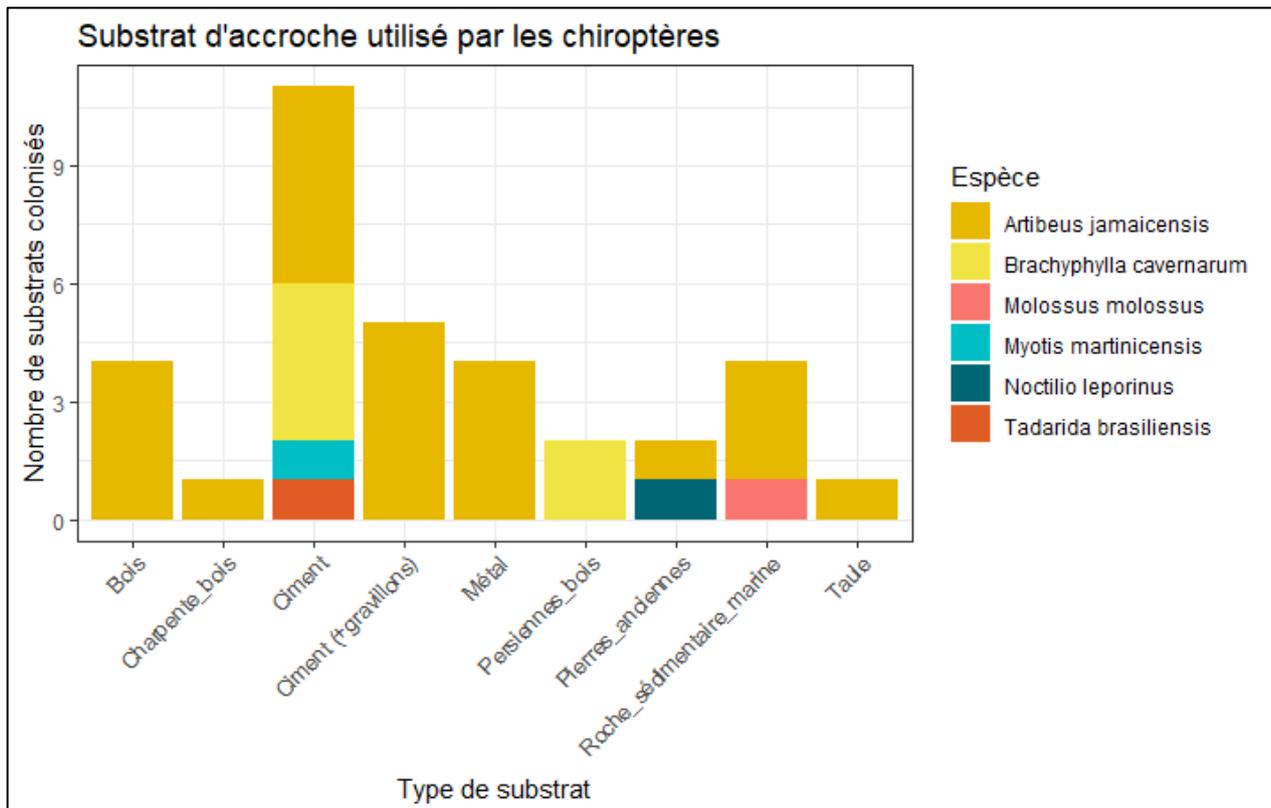


Figure 39 : Répartition par espèces des différents substrats d'accroche des chiroptères dans les gîtes de Martinique visités

4.1.6 Hauteur d'accroche

Les relevés de terrain effectués au sein des différents gîtes connus et suivi du territoire ont permis d'identifier les hauteurs d'accroche des individus des différentes espèces de chiroptères.

Dans les analyses, nous n'avons considéré que les hauteurs d'accroche minimales, car elles définissent le seuil de hauteur minimale de dimensionnement et de disposition des gîtes.

Par exemple, si on considère le pont routier de Fond Manoël, les Murins de la Martinique sont présents dans les interstices entre les dalles de ciment sur toute la largeur de la voûte du pont. Or, de part et d'autre du pont la colonisation des failles ne se fait jamais en dessous des 2 mètres de haut. La verticalité ou non de la faille est un critère qui semble déterminant puisque le haut de la voûte semble davantage colonisé (orientation suspendue vers le sol des individus). Toutefois entre les hauteurs de 2 et 3 mètres il n'y pas de changements réels d'orientation du gîte, c'est donc bien sur ces parties basses la hauteur minimale qui conditionne la colonisation.

Seul le Brachyphylle des cavernes dont les gîtes visités sont d'anciennes maisons abandonnées, tolère des hauteurs d'accroche réduite et inférieures à 2 mètres de hauteur. Toutefois, ces faibles hauteurs d'accroche sont présentes au sein de gîtes localisés au premier étage des bâtiments.

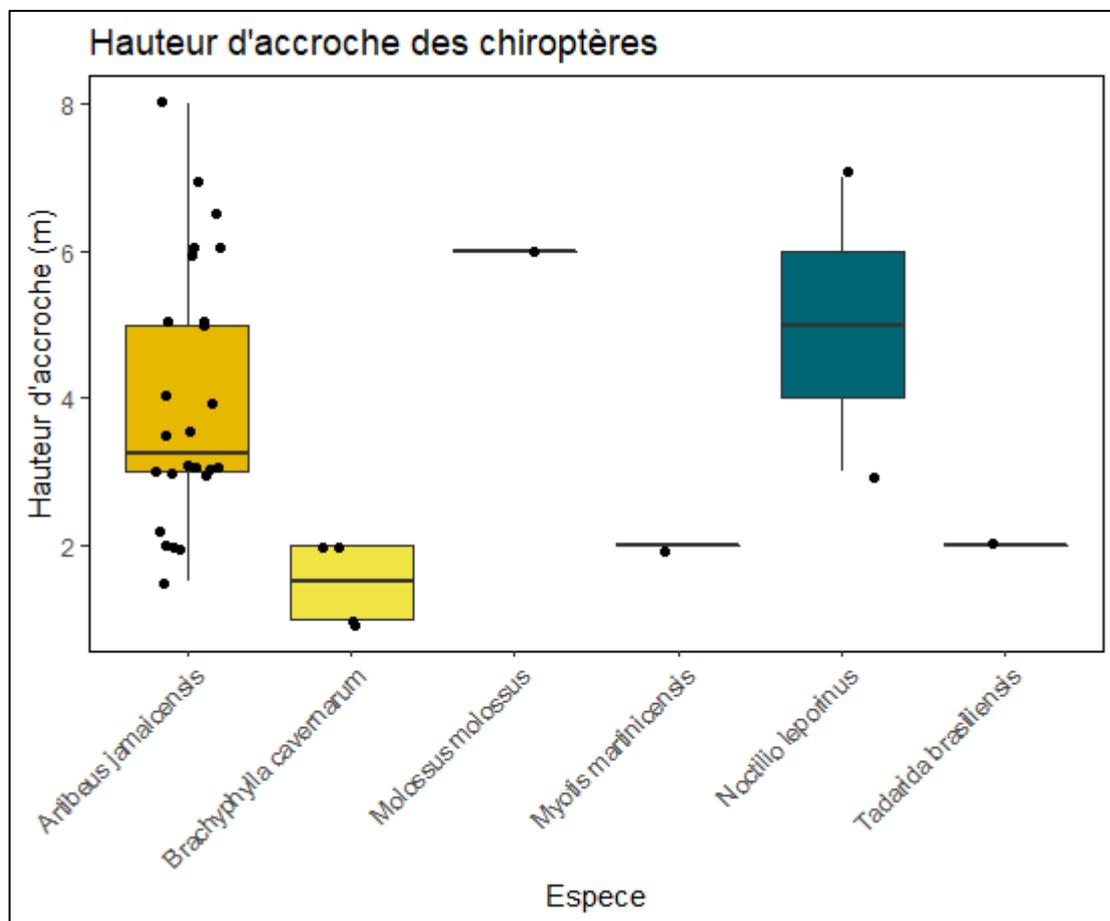


Figure 40 : Boxplot de présentation des différentes hauteurs d'accroche des individus de chaque espèce au sein des gîtes de Martinique visités.

Conclusion : il est primordial de concevoir et de placer les gîtes artificiels dans des conditions permettant des hauteurs d'accroche supérieures à deux mètres de hauteur. Ces hauteurs pourraient protéger les individus contre la prédation et être déterminantes dans le choix et la colonisation des gîtes.

4.2 Gîtes artificiels préexistants en Martinique

Au cours des missions de terrain, nous nous sommes également intéressés aux gîtes artificiels déjà présent sur le territoire afin d'en vérifier la potentielle colonisation et la mettre en relation avec les résultats de cette étude. Cela devrait permettre d'expliquer les causes du succès ou de l'échec de la colonisation ou non-colonisation. A ce jour et en l'état de nos connaissances nous relevons la présence de 5 gîtes artificiels :

- Le gîte artificiel de l'Habitation Lajus au Carbet
- Le gîte artificiel de la Rhumerie de La Favorite à Fort-De-France
- Les 2 gîtes artificiels du Club Med de Sainte-Anne
- Le gîte artificiel de Pro-Chimie au Lamentin

4.2.1 Le gîte artificiel de l'Habitation Lajus

Ce gîte a été construit dans le cadre du projet de rénovation des infrastructures de l'Habitation en vue d'un projet d'extension et de développement de l'activité.



Figure 41 : Gîtes artificiel de l'Habitation Lajus.

La structure en tôle en forme de cabane présente une structure intéressante pour les Artibés de la Jamaïque à l'instar des cabanes abandonnées au centre du Carbet « habitation 41 ». Toutefois le planché perforé du gîte n'est pas favorable à la colonisation par les Artibés de la Jamaïque. En effet, cette espèce préfère les ouvertures larges et surtout à des hauteurs plus importantes (> 4 mètres) permettant un accès facile et limitant les risques de prédation (rats, mangouste, etc.). De plus, comme vu précédemment dans l'analyse bibliographique, l'emplacement du gîte doit être étudié de manière à ce que les chauves-souris puissent y accéder et que les conditions environnementales y soient favorables (microclimat, orientation, etc.).

4.2.2 Le gîte artificiel de La Favorite

Le gîte artificiel de La Favorite a été construit en raison de la présence d'Artibé de la Jamaïque dans les locaux de la Rhumerie. Il avait pour vocation d'attirer les individus afin qu'ils changent de gîte. Malheureusement, il ne suffit pas de proposer un nouveau gîte pour que les chauves-souris changent de gîte, elles sont très attachées au lieu qu'elles investissent et qui représente un refuge certain où se reposer et élever leurs jeunes.



Figure 42 : Gîte artificiel de La Favorite.

Ce gîte artificiel est de très grande taille et présente un fort potentiel d'accueil pour les Artibés de la Jamaïque. Toutefois comme pour celui de l'habitation Lajus, le planché semble être entravant pour la colonisation et la hauteur trop basse. Les

ouvertures de l'étage permettent bien l'entrée des chauves-souris dans le gîte, mais la présence du plancher réduit grandement la hauteur d'accroche, ce qui le rend défavorable aux chauves-souris de grandes tailles. Par ailleurs, le gîte est quasi entièrement couvert de végétation lianescente qui le dissimule et obstrue ses accès. Il pourrait être intéressant de dégager les entrées de l'étage et au moins un pan latéral afin de laisser un accès par le bas. Le grillage fixé au plafond du gîte pour leur permettre de s'accrocher n'est pas utile aux Artibé de la Jamaïque et pourrait faciliter l'accès et le déplacement au sein du gîte à d'éventuels prédateurs.

4.2.3 Les gîtes artificiels du club Med

Gîte artificiel n°1 :

Les gîtes artificiels du Club Med ont été conçus pour attirer principalement les Artibé de la Jamaïque présent dans les bâtiments accueillant du public afin qu'ils changent de dortoir. Cela n'a pas fonctionné pour le gîte numéro 1 car le volume et les ouvertures ne correspondent pas aux besoins de cette espèce de Phyllostomidae. En effet, le volume est trop faible et les ouvertures bien trop petites pour accueillir une chauve-souris de cette taille. La présence de chambre étroite ne permet pas aux chauves-souris de rentrer dans le gîte. De plus, l'emplacement n'est probablement pas l'idéal, car le gîte est exposé en plein soleil, or il aurait été préférable de trouver un équilibre entre exposition au soleil et ombrage afin d'éviter la surchauffe des individus, bien qu'un temps d'ensoleillement reste nécessaire pour les chiroptères (environ 6h par jour).

Cependant, bien que ce gîte n'ait pas fonctionné pour accueillir l'espèce ciblée, la présence de guano sous le gîte nous indique qu'il est utilisé par des micro-chiroptères, probablement des Molossidae. La présence de chambre étroite est appréciée par ce groupe d'espèces. Ce gîte a été conçu suite aux préconisations de l'ASFA Martinique, qui indique que ce type de gîte est idéal pour accueillir des Molossidae (Gomès, 2014).



Figure 43 : Gîte artificiel n°1 du Club Med.

Gîte artificiel n°2 :

Le gîte numéro 2 est de plus grande taille, mais n'est également pas adapté pour accueillir l'Artibé de la Jamaïque. La problématique est quasiment similaire au gîte précédent. La présence de chambres n'est pas favorable pour l'espèce et les ouvertures sont bien trop étroites. Contrairement au gîte précédant, celui-ci n'accueille même pas de micro-chiroptère, par le fait que les chambres soient trop larges (>5 cm). Cependant, son emplacement sous un arbre favorise de l'ombrage qui pourrait offrir un micro-climat adéquat aux chiroptères.



Figure 44 : Gîte artificiel n°2 du Club Med.

4.2.4 Le gîte artificiel de Pro-Chimie

Le gîte artificiel de pro-chimi, tout comme les gîtes artificiels présentés précédemment, ne semble pas adapté pour accueillir des chauves-souris. En effet, celui-ci est posé à même le sol, directement soumis à la prédation. De plus, les aménagements à l'intérieur réduisent considérablement le volume disponible pour accueillir les chiroptères. L'exposition directe au soleil ne semble également pas être favorable aux chauves-souris.



Figure 45 : Gîte artificiel de Pro-chimie.



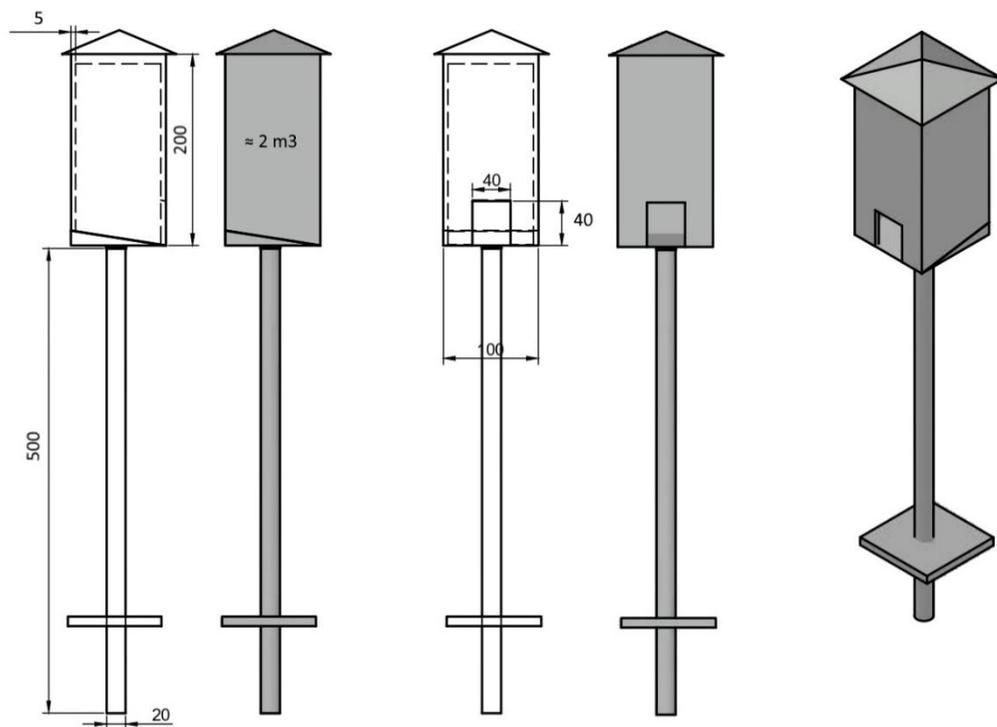
5 Conception de gîtes artificiels en 3D

Sur la base des analyses précédentes, nous avons conçu des modèles de gîtes artificiels pouvant présenter une forte attractivité pour certaines espèces de chiroptères de la Martinique. Ces gîtes artificiels intègrent les dimensions, natures et conditions qui nous ont semblé les plus propices à leur colonisation.

Ainsi, nos propositions de plans de gîtes artificiels s'appuient sur le croisement de l'ensemble des données bibliographiques internationales et des relevés de terrain réalisés en Martinique tout en privilégiant les modèles présentant un moindre coût de fabrication.

Il est important de préciser que ce travail s'inscrit dans une démarche prospective de Recherche & Développement (R&D), ce qui veut dire qu'il sera probablement nécessaire de tester plusieurs formes et volumes de gîtes artificiels afin de valider leur efficacité. Il est donc possible, qu'après un retour d'expérience sur le terrain, des améliorations soient à prévoir pour optimiser les gîtes artificiels et ainsi, augmenter les succès de colonisation par les chiroptères.

5.2 Gîte artificiel boîte : *Phyllostomidae* (Brachyphylle des cavernes et Artibé de la Jamaïque)



Informations complémentaires :

- La base du gîte boîte est légèrement en biais afin de favoriser l'évacuation naturelle du guano des chauves-souris.
- En se basant sur nos observations de terrain, nous préconisons de conserver un minimum de 2 mètres de hauteur à l'intérieur du gîte. En effet, la hauteur d'accroche minimale pour l'espèce *Artibeus jamaicensis* était de 1,5 m et de 1 m pour l'espèce *Brachyphylle cavernarum*.

Volume :

Kelm *et al.* (2008) ont conçu des gîtes en forme de boîte avec des volumes conséquents, de 0,5 et 0,8 m³ pour accueillir spécifiquement des *Phyllostomidae*. Etant donné le succès de colonisation dans cette étude, nous avons reproduit le même style de gîte en forme de boîte, avec un volume d'environ 2 m³ (1x1x2 m).

Composants :

Ce gîte artificiel peut être conçu en bois non traité, mais pour optimiser la résistance et l'isolation thermique tout en conservant une certaine légèreté nous préconisons d'utiliser de la Fibrolite. L'épaisseur des parois doit être suffisamment épaisse pour conserver une bonne isolation thermique. De ce fait, nous préconisons un minimum de 5 cm d'épaisseur. Enfin, un toit de forme pyramidale conçu avec un matériau imperméable (taule, plastique, etc.), permettra d'éviter les risques d'infiltrations d'eau dans le gîte.

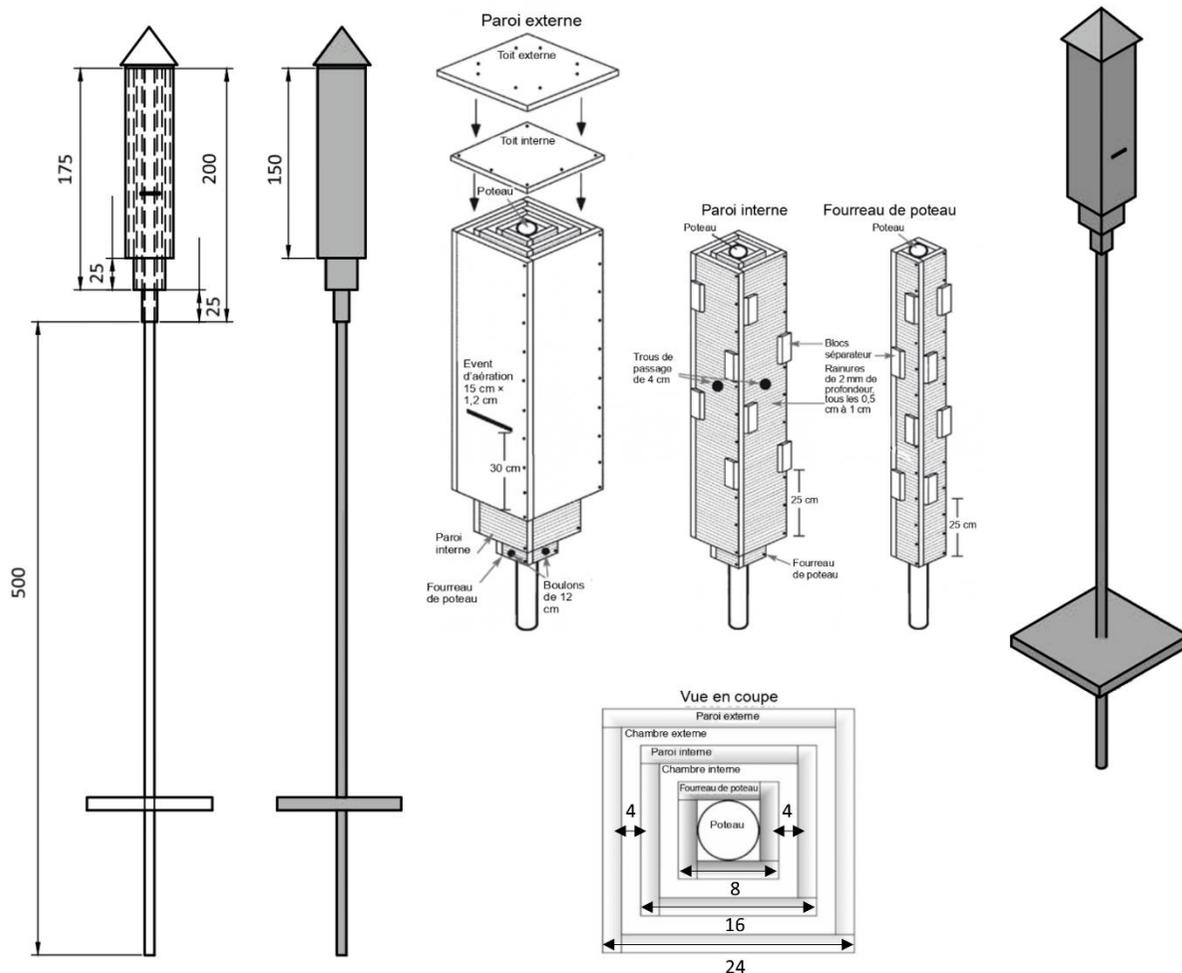
Ouverture :

L'ouverture par-dessous le gîte semble avoir été moins attrayante pour les chauves-souris dans l'étude de Reid *et al.* (2013), contrairement aux ouvertures sur le côté des gîtes dans l'étude de Kelm *et al.* (2008). C'est pourquoi, nous avons sélectionné la deuxième option. Nos observations de terrain ont permis de recenser une ouverture minimale de 20*20 cm. Les dimensions d'ouverture dans l'étude de Kelm *et al.* (2008) sont de 40*40 cm, ce que nous avons choisi de représenter pour le gîte boîte.

Hauteur :

D'après l'analyse bibliographique, disposer les gîtes à une hauteur de 4 mètres semble être un minimum pour favoriser une colonisation. Par conséquent, nous préconisons de surélever le gîte boîte via un poteau en bois de 5 mètres dont 1 mètres sous terre. Pour maintenir, cette structure, une dalle en béton peut être ajoutée.

5.3 Gîte artificiel boîte fusée : *Vespertilionidae/Molossidae* (Murin de la Martinique, Molosse commun, Tadaride du Brésil)



Informations complémentaires :

- Plusieurs études ont montré que les chauves-souris (genre *Myotis*) sélectionnaient préférentiellement les gîtes fusés, détenant une grande zone d'entrée, une grande surface de repos et un grand volume. Ce type de gîte offrirait une disponibilité de température plus large et un volume élevé qui favoriserait la formation de groupes d'individus, ce qui est apprécié par les chauves-souris. De plus, la grande surface disponible sur chaque côté du gîte permettrait un déplacement vers des zones plus fraîches en fonction de l'exposition au soleil.

Volume :

En se basant sur l'étude de Hoeh *et al.* (2018) et Tillman *et al.* (2021), les gîtes de style fusé allant d'un volume de 24,5 à 36,7 cm³ semble être efficace pour accueillir des espèces du genre *Myotis*, de par leur conception offrant de l'espace pour atténuer les risques de surchauffe et leur capacité d'accueil avec plusieurs chambres étroites. Nous nous sommes basés sur le gîte fusé avec les préconisations émises par Tillman *et al.*, (2021). Le volume est d'environ 40 cm³ sans considérer les structures internes représentant les chambres.

Composants :

Ce gîte artificiel peut être conçu en bois non traité, mais pour optimiser la résistance et l'isolation thermique tout en conservant une certaine légèreté nous préconisons d'utiliser de la Fibrolite. L'épaisseur des parois doit être suffisamment épaisse pour conserver une bonne isolation thermique, soit en 2 à 2,5 cm. Enfin, un toit de forme pyramidale conçu avec un matériau imperméable (taule, plastique, *etc.*), permettra d'éviter les risques d'infiltrations d'eau dans le gîte.

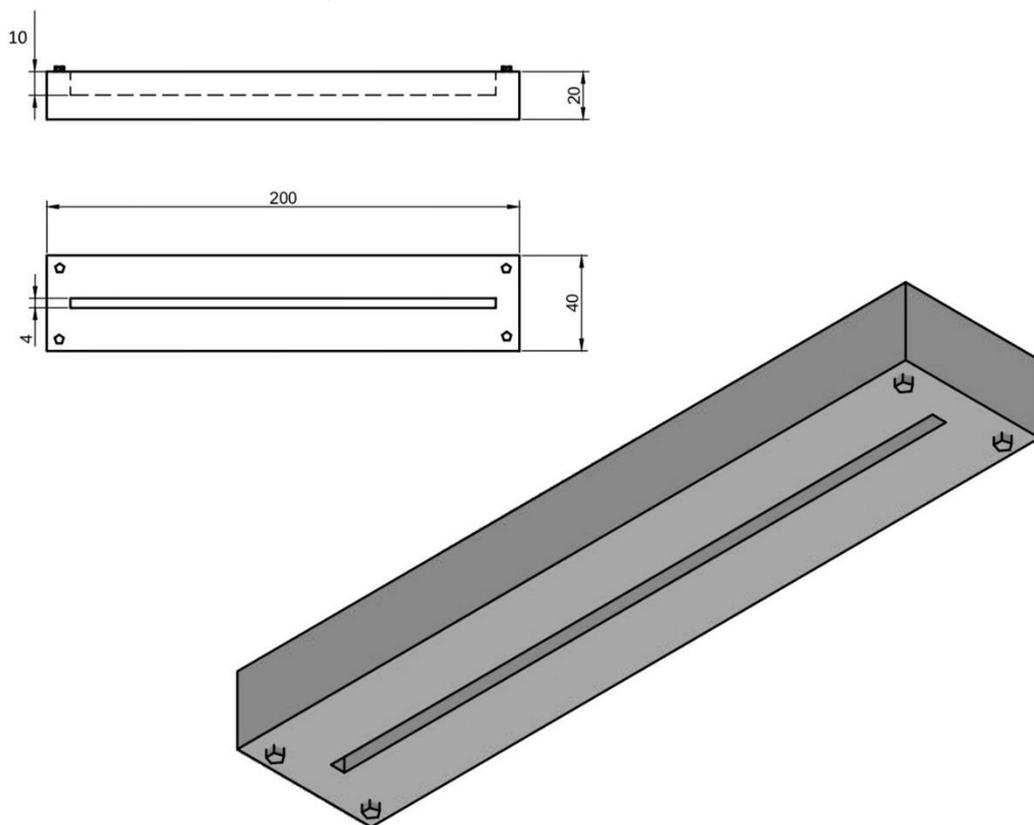
Ouverture :

L'ouverture fait 4 cm de largeur pour 24 cm de longueur, sur chaque côté du gîte fusé. Chaque chambre dispose d'une ouverture. Des rampes d'atterrissage rainurées permettent aux chiroptères de faciliter l'entrer dans les gîtes.

Hauteur :

D'après l'analyse bibliographique, disposer les gîtes à une hauteur de 4 mètres semble être un minimum pour favoriser une colonisation. Par conséquent, nous préconisons de surélever le gîte fusé *via* un poteau en bois de 7 mètres dont 1 mètres sous terre et 2 mètres traversant le gîte. Pour maintenir, cette structure, une dalle en béton peut être ajoutée.

5.4 Gîte artificiel sous pont : *Vespertilionidae/Molossidae* (Murin de la Martinique, Molosse commun, Tadaride du Brésil)



Volume :

D'un volume de 0,0072 m³, ce gîte artificiel reproduit le gîte du *Myotis martinicensis* présent sous le pont de Fond Manoël au Diamant.

Composants :

Nous préconisons de couler ce gîte en béton afin qu'il s'intègre sous les culées de pont. De plus, ce matériau favorisera un climat stable, de par son épaisseur et offrira un substrat d'accroche idéal pour les chiroptères.

Pour des raisons de poids et de manœuvrabilité nous préconisons d'intégrer à sa structure des composants allégés de type « billes d'argile ».

Ouverture :

L'ouverture de 4x180 cm offre un accès direct au gîte, tel qu'il a été observé sous le pont Fond Manoël.

Hauteur :

La hauteur dépendra de celle du pont. Cependant, il est conseillé de fixer le gîte sur la partie la plus haute. Attention, il est préférable de fixer le gîte proche de l'une des extrémités du pont pour éviter les turbulences (bruit, vibration, etc.) qui sont davantage présentes au centre du pont sur les ouvrages de grande portée.

Informations complémentaires :

- Le schéma présente la structure d'un « module » simple de gîte qui pourra être complexifié (augmentation du nombre de rainurage), modifier en fonction des conditions d'accueil (longueur sous culée), dupliquer et poser en série sous des ouvrages routiers afin d'accueillir un nombre important d'individus (plusieurs centaines).

6 Conclusion et perspectives

Cette étude a abouti à un premier document offrant des orientations sur la conception et l'optimisation de gîtes artificiels pour les chiroptères néotropicaux des Petites Antilles françaises.

Grâce à une analyse bibliographique, qui nous a permis de recenser plus d'une cinquantaine d'articles scientifiques sur les gîtes artificiels, ainsi qu'à des relevés de terrain en Martinique, nous avons pu analyser différents paramètres qui semblent avoir une influence sur le succès de colonisation des gîtes par les chauves-souris (matériaux, volumes, hauteur, exposition, substrat, etc.) et décliner plusieurs préconisations pour optimiser les chances de réussite de futurs gîtes artificiels à concevoir.

Ainsi, dans une démarche prospective de Recherche & Développement (R&D), nous avons initié la conception de plans de gîtes artificiels pour accompagner les acteurs du territoire dans la préservation des chauves-souris. Ce travail constitue une première étape, qu'il sera nécessaire de poursuivre suite à l'acquisition d'expérience de terrain.

En complément, nous avons défini un protocole de suivi annuel de gîtes artificiels afin de mieux comprendre les paramètres qui pourraient influencer la colonisation des gîtes par les chiroptères et d'améliorer nos connaissances sur l'écologie des espèces colonisatrices (Annexe 2). Cette étape est indispensable pour évaluer l'efficacité des gîtes conçus, mais également pour définir des axes d'améliorations.

7 Bibliographie

- Adams, J., Roby, P., Sewell, P., Schwierjohann, J., Gumbert, M., & Brandenburg, M. (2015). Success of BrandenBark™, an artificial roost structure designed for use by Indiana bats (*Myotis sodalis*). *Journal of the American Society of Mining and Reclamation*, 4(1), 1-15.
- Agnelli, P., Maltagliati, G., Ducci, L., & Cannicci, S. (2011). Artificial Roosts for bats: education and research. The "Be a Bat's Friend" project of the Natural History Museum of the University of Florence. *Hystrix*, 22(1).
- Andrusiak, L., & Sarell, M. (2019). Evaluation of Experimental Artificial Rock Roosts for Bats. *Fish & Wildlife Compensation Program*.
- Arias, M., Gignoux-Wolfsohn, S., Kerwin, K., & Maslo, B. (2020). Use of artificial roost boxes installed as alternative habitat for bats evicted from buildings. *Northeastern Naturalist*, 27(2), 201-214.
- Baranauskas, K. (2010). Diversity and abundance of bats (Chiroptera) found in bat boxes in East Lithuania. *Acta Zoologica Lituonica*, 20(1), 39-44.
- Bender, R. (2011). Bat roost boxes at Organ Pipes National Park, Victoria: seasonal and annual usage patterns. *The Biology and Conservation of Australasian Bats*. (Ed. L. Law, P. Eby, D. Lunney, and L. Lumsden.) pp, 443-459.
- Bideguren, G. M., López-Baucells, A., Puig-Montserrat, X., Mas, M., Porres, X., & Flaquer, C. (2019). Bat boxes and climate change: testing the risk of over-heating in the Mediterranean region. *Biodiversity and Conservation*, 28(1), 21-35.
- Brack Jr, V., & Sparks, D. W. (2021). Avoiding a conservation pitfall: Considering the risks of unsuitably hot bat boxes: Adding context to Crawford & O'Keefe. *Conservation Science and Practice*, 3(12), e563.
- Brokaw, A. F. (2015). Assessing the use of social calls to attract bats to artificial roost sites (Master's thesis, Humboldt State University).
- Brouwer, D., & Henrard, E (2020). Too hot or not? The influence of colour and material on temperature and relative humidity in flat, single-chambered bat boxes in the Netherlands.
- Brown, B. K., Leffer, L., Valverde, Y., Toshkova, N., Nystrom, J., Page, R. A., & Carter, G. G. (2020). Do bats use guano and urine stains to find new roosts? Tests with three group-living bats. *Royal Society open science*, 7(9), 201055.
- Chambers, C. L., Alm, V., Siders, M. S., & Rabe, M. J. (2002). Use of artificial roosts by forest-dwelling bats in northern Arizona. *Wildlife Society Bulletin*, 1085-1091.
- Chan, C. S. (2006). Preliminary results of bat-box trial project in the Hong Kong Wetland Park. *Hong Kong Biodivers*, 13, 13-14.
- Chytil, J. (2014). Occupancy of bat boxes in the Dolní Morava Biosphere Reserve (southern Moravia, Czech Republic). *Vespertilio*, 17, 79-88.
- Ciechanowski, M. (2005). Utilization of artificial shelters by bats (Chiroptera) in three different types of forest. *FOLIA ZOOLOGICA-PRAHA*, 54(1/2), 31.
- Cowan, M. A., Callan, M. N., Watson, M. J., Watson, D. M., Doherty, T. S., Michael, D. R., ... & Nimmo, D. G. (2021). Artificial refuges for wildlife conservation: what is the state of the science?. *Biological Reviews*, 96(6), 2735-2754.
- Crawford, R. D., & O'Keefe, J. M. (2021). Avoiding a conservation pitfall: Considering the risks of unsuitably hot bat boxes. *Conservation Science and Practice*, e412.
- Dillingham, C. P., Cross, S. P., & Dillingham, P. W. (2003). Two environmental factors that influence usage of bat houses in managed forests of southwest Oregon. *Northwestern Naturalist*, 20-23.
- Dodds, M., & Bilston, H. (2013). A comparison of different bat box types by bat occupancy in deciduous woodland, Buckinghamshire, UK. *Conservation Evidence*, 10(2), 24-28.
- Evans, L. N., & Lumsden, L. F. (2011). A comparison of the roosting behaviour of Gould's wattled bats *Chalinolobus gouldii* using bat boxes and tree hollows in suburban Melbourne. *Biology and Conservation of Australasian Bats* (eds. Law, B., Eby, P., Lunney, D. & Lumsden, L.), 288-296.
- Flaquer, C., Torre, I., & Ruiz-Jarillo, R. (2006). The value of bat-boxes in the conservation of *Pipistrellus pygmaeus* in wetland rice paddies. *Biological conservation*, 128(2), 223-230.
- Flaquer, C., Puig, X., López-Baucells, A., Torre, I., Freixas, L., Mas, M., ... & Arrizabalaga, A. (2014). Could overheating turn bat boxes into death traps. *Barbastella*, 7(1), 46-53.

- Fontaine, A., Simard, A., Dubois, B., Dutel, J., & Elliott, K. H. (2021). Using mounting, orientation, and design to improve bat box thermodynamics in a northern temperate environment. *Scientific reports*, 11(1), 1-15.
- Garland, L., Wells, M. et Markham, S. (2017). Performance des structures artificielles de repos des chauves-souris de maternité près de Bath, Royaume-Uni. *Conservation Evidence*, 14, 44-51.
- Gomès, 2014. Les différents types de gîtes artificiels pour Molosses. Groupe Chiroptères de Guadeloupe.
- Goldingay, R. L., & Stevens, J. R. (2009). Use of artificial tree hollows by Australian birds and bats. *Wildlife Research*, 36(2), 81-97.
- Griffiths, S. R., Lentini, P. E., Semmens, K., Watson, S. J., Lumsden, L. F., & Robert, K. A. (2018). Chainsaw-carved cavities better mimic the thermal properties of natural tree hollows than nest boxes and log hollows. *Forests*, 9(5), 235.
- Griffiths, S. R. (2021). Overheating turns a bat box into a death trap. *Pacific Conservation Biology*.
- Hoeh, J. P., Bakken, G. S., Mitchell, W. A., & O'Keefe, J. M. (2018). In artificial roost comparison, bats show preference for rocket box style. *PloS one*, 13(10), e0205701.
- Jeon, Y. S., Kim, S. C., Han, S. H., & Chung, C. U. (2019). First Utilization Record of Bat Box for Bat Conservation in Korea. *Journal of Environmental Science International*, 28(1), 163-167.
- Jesse, L., Ward, R. L., & Schroder, E. S. (2018). Landscape characteristics related to use of artificial roosts by northern long-eared bats in North-Central West Virginia. *Northeastern Naturalist*, 25(3), 487-501.
- Kelm, D. H., Wiesner, K. R., & HELVERSEN, O. V. (2008). Effects of artificial roosts for frugivorous bats on seed dispersal in a Neotropical forest pasture mosaic. *Conservation Biology*, 22(3), 733-741.
- Koschnicke, S., Franke, L., van Doormaal, F., & Kuipers, H (2010). Bat boxes as a tool for biological insect pest control on cocoa plantations in Ghana.
- Lourenço, S. I., & Palmeirim, J. M. (2004). Influence of temperature in roost selection by *Pipistrellus pygmaeus* (Chiroptera): relevance for the design of bat boxes. *Biological Conservation*, 119(2), 237-243.
- Long, RF, Kiser, WM et Kiser, SB (2006). Des maisons pour chauves-souris bien placées peuvent attirer les chauves-souris dans les fermes de la vallée centrale. *Agriculture de Californie*, 60 (2).
- López-Baucells, A., Puig-Montserrat, X., Torre, I., Freixas, L., Mas, M., Arrizabalaga, A., & Flaquer, C. (2017). Bat boxes in urban non-native forests: a popular practice that should be reconsidered. *Urban Ecosystems*, 20(1), 217-225.
- Martin, S. M. (2021). Determination of Bat Species' Use of Artificial Bark Enhanced Habitat at Select Sites in North and Central Arkansas (Doctoral dissertation, University of Central Arkansas).
- Mering, E. D., & Chambers, C. L. (2014). Thinking outside the box: a review of artificial roosts for bats. *Wildlife Society Bulletin*, 38(4), 741-751.
- Mering, E. D., & Chambers, C. L. (2012). Artificial roosts for tree-roosting bats in northern Arizona. *Wildlife Society Bulletin*, 36(4), 765-772.
- Printz, L., Tschapka, M., & Vogeler, A. (2021). The common noctule bat (*Nyctalus noctula*): population trends from artificial roosts and the effect of biotic and abiotic parameters on the probability of occupation. *Journal of Urban Ecology*, 7(1), juab033.
- Reid, J. L., Holste, E. K., & Zahawi, R. A. (2013). Artificial bat roosts did not accelerate forest regeneration in abandoned pastures in southern Costa Rica. *Biological Conservation*, 167, 9-16.
- Rhodes, M., & Jones, D. (2011). The use of bat boxes by insectivorous bats and other fauna in the greater Brisbane region.
- Ritzi, C. M., Everson, B. L., & Whitaker, J. O. (2005). Use of bat boxes by a maternity colony of *Indiana myotis* (*Myotis sodalis*). *Northeastern Naturalist*, 12(2), 217-220.
- Ruegger, N., Goldingay, R. L., Law, B., & Gonsalves, L. (2019). Limited use of bat boxes in a rural landscape: implications for offsetting the clearing of hollow-bearing trees. *Restoration Ecology*, 27(4), 901-911.
- Ruegger, N. (2016). Bat boxes—a review of their use and application, past, present and future. *Acta Chiropterologica*, 18(1), 279-299.
- Ruegger, N. (2017). Artificial tree hollow creation for cavity-using wildlife—Trialling an alternative method to that of nest boxes. *Forest Ecology and Management*, 405, 404-412.
- Smith, G. C., & Agnew, G. (2002). The value of 'bat boxes' for attracting hollow-dependent fauna to farm forestry plantations in southeast Queensland. *Ecological Management & Restoration*, 3(1), 37-46.

- Tajek, P., & Tajkova, P. (2016). Occupancy of bat boxes in coniferous forests of western Bohemia (Czech Republic). *Vespertilio*, 18, 99-120.
- Tillman, F. E., Bakken, G. S., & O'Keefe, J. M. (2021). Design modifications affect bat box temperatures and suitability as maternity habitat. *Ecological Solutions and Evidence*, 2(4), e12112.
- Tuttle, D. M., Kiser, M., Jiser, S. (2013). Guide technique pour la construction d'abri pour les chauves-souris. Bat Conservation International. P.O. Box 162603, Austin, Texas 78716.
- Webber, Q. M., & Willis, C. K. (2018). An experimental test of effects of ambient temperature and roost quality on aggregation by little brown bats (*Myotis lucifugus*). *Journal of thermal biology*, 74, 174-180.
- Weier, S. M., Linden, V. M., Grass, I., Tschardtke, T., & Taylor, P. J. (2019). The use of bat houses as day roosts in macadamia orchards, South Africa. *PeerJ*, 7, e6954.
- Whitaker, J. O., Sparks, D. W., & Brack, V. (2006). Use of artificial roost structures by bats at the Indianapolis International Airport. *Environmental Management*, 38(1), 28-36.
- Wojtaszyn, G., Lesiński, G., & Rutkowski, T. (2021). Seasonal Dynamics of Occupation of Bat Boxes by Bats in Forests of South-western Poland. *Acta Zoologica Bulgarica*, 73(3).
- Zeale, M. R., Bennett, E., Newson, S. E., Packman, C., Browne, W. J., Harris, S., ... & Stone, E. (2016). Mitigating the impact of bats in historic churches: The response of Natterer's bats *Myotis nattereri* to artificial roosts and deterrence. *PLoS one*, 11(1), e0146782.

Annexe 1 : Présentation de gîtes artificiels issus de la bibliographie

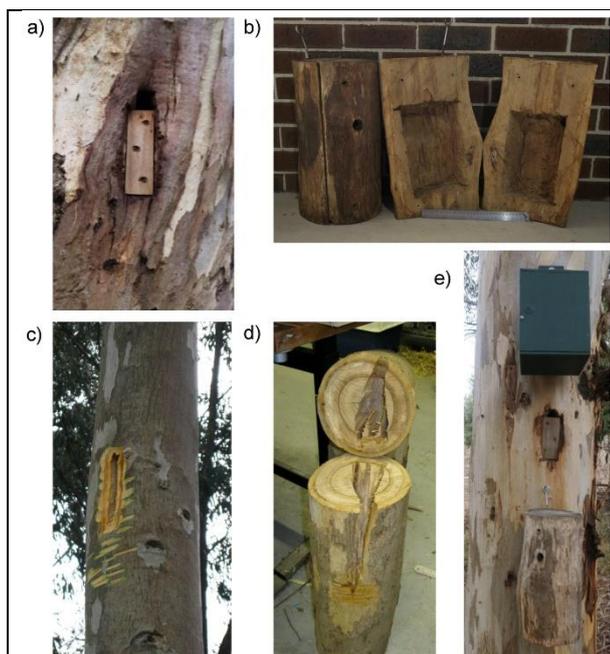


Figure 46 : Griffiths *et al.* (2018)



Figure 47 : Adams *et al.* (2015)



Figure 48 : Reid *et al.* (2013)



Figure 49 : Mering & Chambers. (2012)



Figure 50 : Hoeh *et al.* (2018)



Figure 51 : Chambers *et al.* (2002)

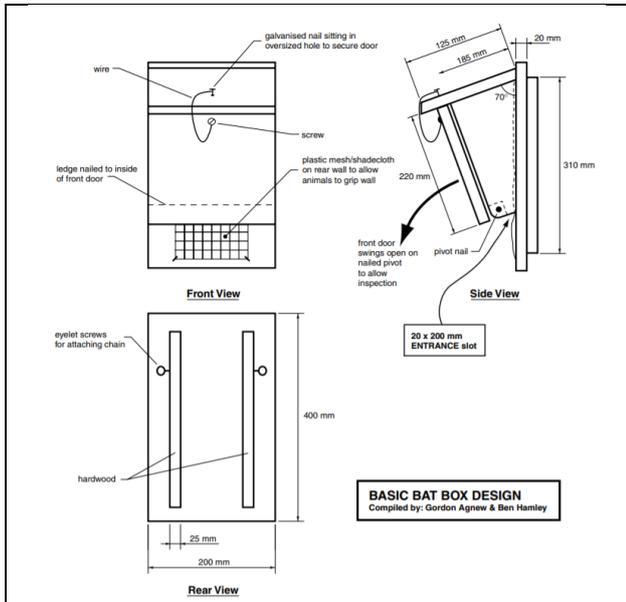


Figure 52 : Smith & Agnew. (2002)



Figure 53 : Rueegger *et al.* (2019)



Figure 54 : Jesse *et al.* (2018)



Figure 1 : Rueegger. (2017)

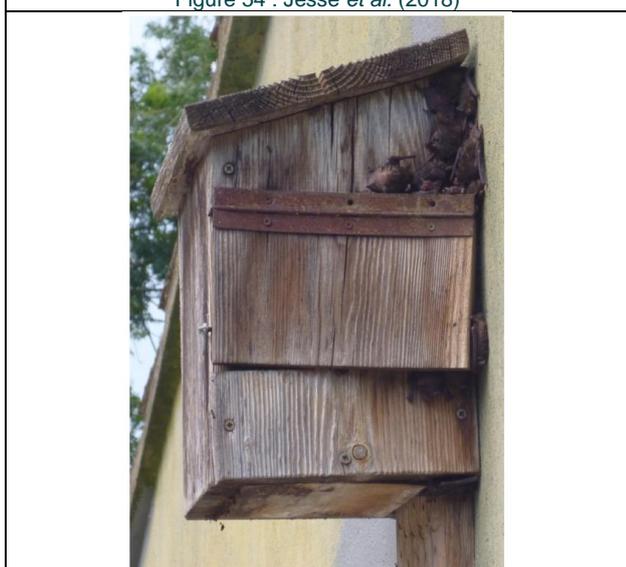


Figure 55 : Flaquer *et al.* (2014)

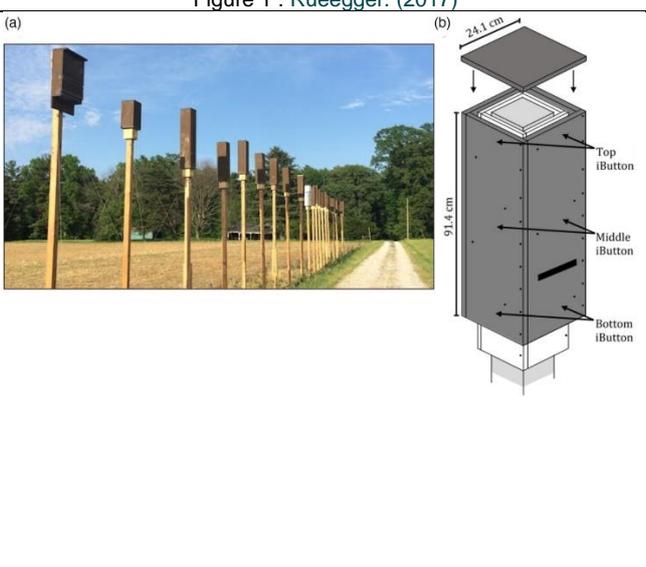


Figure 56 : Tillman *et al.* (2021)



Large bat box C41



Figure 57 : Bender. (2011)



Gould's Wattled bats in bat box C07



Bat box C42 with Freetail bats



Figure 58 : Bender. (2011)



Figure 59 : López-Baucells *et al.* (2017)



Figure 60 : Evans & Lumsden (2011)

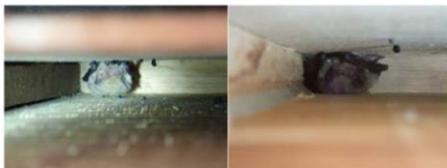


Fig. 2. *Pipistrellus abramus* (pregnant female) in bat box.



Figure 61 : Jeon *et al.* (2019)



Figure 62 : Tajek & Tajkova (2016)



Figure 2. Breeding colony of Nathusius' pipistrelles in four-chamber bat box.



Figure 3. Breeding colony of soprano pipistrelles in five-chamber bat box.

The abundance of females and their flying young in breeding colonies was determined by counting individuals flying out of boxes to forage in the evening or returning at dawn. Petterson's ultrasound detector D 200 was used to analyse echolocation to determine the species of pipistrelles in the breeding colonies of females (Ahlen 2004; Ahlen & Haagøe 1999; Dietz & von Helversen 2004).

RESULTS

During six checks of bat boxes in east Lithuania in the warm season of 2009, six bat species were found (Table 2). The Nathusius' pipistrelle (Fig. 4) and soprano



Figure 4. Nathusius' pipistrelle females and their flying young circling around the nursery bat box in the Aukštaitija NP during the night.



Figure 64 : Andrusiak & Sarell. (2019)

Figure 63 : Baranauskas. (2010)

Annexe 2 : Protocoles de suivi des gîtes artificiels

La mise en œuvre d'un protocole vise à répondre à une ou des questions précises. Etant donné le peu de connaissance sur les espèces de chiroptères des Antilles, nous proposons un protocole permettant de répondre à plusieurs questions en lien avec l'écologie des espèces et l'utilisation des gîtes artificiels.

Les questions scientifiques peuvent être les suivantes :

- 1/ Quelle est la tendance des populations de chiroptères ayant colonisées les gîtes artificiels ?
- 2/ Quelle espèce de chiroptère colonise les gîtes artificiels ?
- 3/ Quelles sont les facteurs abiotiques qui influencent la colonisation des gîtes artificiels par les chiroptères et comment évoluent t'ils dans le temps.
- 4/ Quel est le régime alimentaire des chiroptères et plus précisément des *Phyllostomidae* ?

Protocole n°1 :

Pour répondre à la première question, le protocole le moins perturbateur pour les chauves-souris consiste à réaliser un comptage en sortie de gîte. Il est donc nécessaire de se positionner proche de la sortie du gîte artificiel au crépuscule, quelques minutes avant les premières sorties des chauves-souris, puis muni d'un compteur manuel, de dénombrer les individus sortant (+1) tout en soustrayant ceux rentrant (-1) lors du comptage. Le temps de comptage doit en général se prolonger jusqu'à ce que 20 minutes se soient écoulées après que le dernier individu soit sorti. On considère alors que l'ensemble des adultes est dehors.

L'effort d'échantillonnage est un aspect à ne pas négliger lorsque que l'on veut évaluer statistiquement les tendances de populations. De ce fait, plus le comptage est répété dans le temps et plus l'évaluation des tendances sera précise. De plus, cela permettra d'évaluer les tendances en fonction de plusieurs périodes (ex : saisons, trimestres, etc.). Ainsi, ne préconisons un comptage par mois.

Protocole n°2 :

Pour répondre à la deuxième question, l'utilisation d'un détecteur acoustique est sans doute le moins perturbateur pour les chauves-souris. Cette méthode permet d'identifier par les émissions d'ultrasons les espèces de chauves-souris. Nous préconisons donc lors de chaque comptage, d'enregistrer les ultrasons des chauves-souris via un détecteur passif ou actif. Le temps d'enregistrement peut être d'une durée similaire au comptage des individus en sortie de gîte, ce qui permettra de réaliser des analyses statistiques exploratoires (ex : corrélation entre le nombre de contact enregistré et le nombre d'individus comptés).

Protocole n°3 :

Pour répondre à la troisième question, plusieurs paramètres peuvent être relevés, mais dans ce présent travail nous allons nous focaliser uniquement sur la température, qui d'après la littérature, est celle qui exerce une forte influence sur la présence des chauves-souris dans les gîtes (Tillman *et al.*, 2021).

En effet, comme évoqué dans l'analyse bibliographique, si la température est trop élevée, cela peut limiter la colonisation des gîtes par les chiroptères, ou bien, transformer un gîte en piège écologique (mortalité des chauves-souris après un événement de surchauffe dans un gîte).

Ainsi, suivre la température des gîtes artificiels peut apporter des réponses à plusieurs niveaux. Par exemple :

- L'influence des matériaux sur l'isolation thermique.
- L'influence de l'exposition/orientation des gîtes artificiels sur la température.
- L'influence de la température sur la colonisation.

C'est finalement un paramètre dont la corrélation avec plusieurs autres variables biotiques et abiotiques pourra être testée afin d'apporter des éléments de réponse sur le succès de colonisation.

L'utilisation des sondes iButton semble idéal pour les suivis car ces dernières sont précises, de petites tailles et avec une longue durée de vie de batterie. Ainsi, nous préconisons d'en disposer dans les gîtes artificiels au moment de leur construction. Plus précisément, il serait intéressant d'en disposer dans plusieurs zones de chaque chambre de gîte (ex : plafond, côté, proche de l'entrée, etc.). Les sondes peuvent ensuite être relevées après un an de suivi pour une analyse.



Figure 65 : Sonde thermique utilisée les études scientifiques (Modèle : DS1921G Thermochron iButton Device, Maxim Integrated) – Voir Tillman *et al.*, 2021)

Protocole n°4 :

Pour répondre à la quatrième question, des collecteurs coniques peuvent être installés autour des piliers maintenant les gîtes artificiels en hauteur afin de récupérer les rejets des chauves-souris (matières fécales, graines, fruits, *etc.*). Les collecteurs peuvent être conçus en PVC. Ces collecteurs représentent également un bon dispositif permettant de vérifier si les gîtes sont utilisés par des chauves-souris en complément des comptages en sortie de gîtes artificiels.

Nous préconisons ensuite de faire des prélèvements d'échantillons, lors de chaque comptage des chiroptères au cours des mois de suivis. Chaque prélèvement peut ensuite être analysé en laboratoire.

Annexe 3 : Base de données bibliographiques

Moteur_recherche	Mots_clés	Pays	Famille	Espèce	Habitat_gite	Nombre_de_gite	Nombre_colonisé	Emplacement	Composition	Substrat_d'accroche	Forme	Nombre_chambre	Parfumé	Ouverture	Volumem3	Volumem3	Support	Hauteur_support_(m)	Temps_moyen_colonisation_(jours)	Nb_Individu_Max_Gite	Auteur/Année
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Milieuouvert	NA	NA	Zone_ensoleillée	Bois_de_pin	Bois_de_pin	Boite_fusée	2	Non	Fente	0,000 012296	12,296	Poteau_bois	4,9	NA	NA	Tillman et al. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Italie	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Agnelli et al. (2010)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Milieuouvert	NA	NA	Zone_ensoleillée	Bois_de_pin	Bois_de_pin	Boite_plate	3	Non	Fente	0,000 020549	20,549	Poteau_bois	4,9	NA	NA	Tillman et al. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Arias et al. (2020)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Milieuouvert	NA	NA	Zone_ensoleillée	Bois_de_pin	Bois_de_pin	Boite_fusée	2	Non	Fente	0,000 024538	24,538	Poteau_bois	4,9	NA	NA	Tillman et al. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Milieuouvert	NA	NA	Zone_ensoleillée	Bois_de_pin	Bois_de_pin	Boite_fusée	1	Non	Fente	0,000 036779	36,779	Poteau_bois	4,9	NA	NA	Tillman et al. (2021)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Australie	Vespertilionidae	NA	Forêt	35	NA	Zone_ombragée	Bois	Bois	Tronc_arbre	1	Non	Fente_vertical	0,000 5	500	Arbre	5	NA	NA	Griffiths et al. (2018)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Royaume-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	61	28	Zone_ombragée	Bois_contreplaqué	Bois_contreplaqué	Boite_cubique_standard	1	Non	Fente	0,001 92	1920	Arbre	7	NA	NA	Rueegger et al. (2019)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Australie	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	5	5	Zone_ombragée	Bois_contreplaqué	Bois_contreplaqué	Boite_cubique_standard	1	Non	Fente	0,002	2000	Poteau_bois	5	NA	4	Rhodes & Jones (2011)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Espagne	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Bideguren et al. (2019)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Brack & Sparks. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Etats-Unis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Brokaw. (2015)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Pas-Bas	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Brouwer & Henrard (2020)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Panama	Molossidae	Molossus molossus	NA	4	NA	NA	Bois_de_pin	Bois_de_pin	Boite_plate	1	Oui	Rectangulaire	0,005 4	5400	Poteau_bois	4	NA	NA	Brown et al. (2020)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Australie	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	45	45	Zone_ombragée	Bois_contreplaqué	Bois_contreplaqué	Boite_cubique_standard	1	Non	Fente	0,002	2000	Poteau_bois	5	NA	12	Rhodes & Jones (2011)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Pologne	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	102	NA	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_plate	1	Non	Fente	0,002 08	2080	Arbre	NA	NA	26	Ciechanowski. (2005)

Google Scholar	Artificial batbox, bat	Chine	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Chan. (2006)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Canada	Vespertilionide	Myotis lucifugus	Forêt	NA	NA	Zone_ombragée	Bois_contreplaqué	Bois_contreplaqué	Boite_plate	1	Non	Carrée	0,003	3000	Poteau_bois	1,5	NA	NA	Webber & Willis. (2018)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionide	Multi-espèces	Forêt_lisière	6	6	Zone_ombragée	Bois_de_pin	Bois_de_pin	Boite_fusée	2	Non	Fente	0,0031	3100	Poteau_bois	6	4	22	Hoeh et al. (2018)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionide	Multi-espèces	Forêt_lisière	6	6	Zone_ombragée	Résine_polyuréthane_écorsé	Résine_polyuréthane_écorsé	Boite_cyclindrique_écorsé	1	Non	Fente	0,0032	3200	Poteau_bois	6	15	15	Hoeh et al. (2018)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Australie	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Cowan et al. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Crawford & O'Keefe (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Dillingham et al. (2003)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Royaume-Unis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Dodds & Bilston (2013)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Royaume-Unis	Vespertilionide	Multi-espèces	Forêt	30	6	Zone_ombragée	Bois_contreplaqué	Bois_contreplaqué	Boite_cubique_standard	2	Non	Fente	0,003344	3344	Arbre	7	NA	NA	Ruegger et al. (2019)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Royaume-Unis	Vespertilionide	Multi-espèces	Forêt	11	1	Zone_ombragée	Bois_contreplaqué	Bois_contreplaqué	Boite_cunéiforme	1	Non	Fente	0,003371	3371	Arbre	7	NA	NA	Ruegger et al. (2019)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Lituanie	Vespertilionide	Multi-espèces	Forêt	250	NA	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_cubique_standard	1	Non	Fente	0,00375	3750	Arbre	4	NA	NA	Baranauskas. (2010)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Espagne	Vespertilionide	Pipistrellus pygmaeus	NA	9	NA	Zone_ensoleillée	Bois	Bois	Boite_cubique_standard	1	NA	Fente	0,0038	3800	Batiment	NA	NA	NA	Flaquer et al. (2014)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Espagne	Vespertilionide	Pipistrellus pygmaeus	Forêt	69	66	Zone_ombragée	Bois_lamellé	Bois_lamellé	Boite_cubique_standard		Non	Fente	0,0038	3800	Arbre	NA	NA	53	Flaquer et al. (2006)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Canada	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Fontaine et al. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Royaume-Unis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Garland. (2017)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Australie	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Goldingay & Stevens. (2009)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Australie	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Griffiths. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Espagne	Vespertilionide	Pipistrellus pygmaeus	Forêt	10	NA	Zone_ombragée	Bois_stratifié	Bois_stratifié	Boite_cubique_standard	NA	Non	Fente	0,0038	3800	Arbre	NA	NA	NA	Flaquer et al. (2006)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Espagne	Vespertilionide	Pipistrellus pygmaeus	Urbain	59	NA	Zone_ombragée	Bois_stratifié	Bois_stratifié	Boite_cubique_standard	NA	Non	Fente	0,0038	3800	Batiment	NA	NA	NA	Flaquer et al. (2006)

Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Espagne	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	200	81	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_cunéiforme	1	Non	Fente	0,0038	3800	Arbre	4	NA	50	López-Baucells et al. (2017)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Australie	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	10	10	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_cubique_standard	1	Non	Fente	0,00434	4340	Arbre	NA	NA	NA	Bender. (2011)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Corée-du-Sud	Vespertilionidae	Multi-espèces	Urbain	15	3	Zone_ensoleillée	Bois_contreplaqué	Bois_contreplaqué	Boite_cubique_standard	1	Non	Fente	0,005	5000	Batiment	NA	NA	1	Jeon et al. (2019)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Australie	Vespertilionidae	Nyctophilus gouldii	Forêt	96	19	Zone_ombragée	Bois_stratifié	Bois_stratifié	Boite_cunéiforme	1	Non	Fente	0,00814	8140	Arbre	6	NA	NA	Smith & Agnew. (2002)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Australie	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	5	5	Zone_ombragée	Bois_contreplaqué	Bois_contreplaqué	Boite_cubique_standard	2	Non	Fente	0,0086	8600	Poteau_bois	5	NA	NA	Rhodes & Jones (2011)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Australie	Vespertilionidae	NA	Forêt	35	NA	Zone_ombragée	Bois_contreplaqué	Bois_contreplaqué	Boite_plate	1	Non	Carrée	0,009555	9555	Arbre	5	NA	NA	Griffiths et al. (2018)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Corée-du-Sud	Vespertilionidae	Multi-espèces	Urbain	15	3	Zone_ensoleillée	Bois_contreplaqué	Bois_contreplaqué	Boite_cubique_standard	1	Non	Fente	0,01	10000	Batiment	NA	NA	5	Jeon et al. (2019)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	53	32	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_cubique_standard	4	Non	Fente	0,01	10000	Poteau_bois	4	NA	NA	Jesse et al. (2018)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Costa Rica	Phyllostomidae	Multi-espèces	Forêt	21	8,6	Zone_ombragée	Fibrolite	Filet en plastique	Grande_boite_cubique	1	Non	Carrée	0,5657	56570	Poteau_bois	NA	NA	NA	Kelm et al. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Costa Rica	Phyllostomidae	Multi-espèces	Forêt	23	12,65	Zone_ombragée	Fibrolite	Filet en plastique	Grande_boite_cubique	1	Non	Carrée	0,8433	84330	Poteau_bois	NA	NA	NA	Kelm et al. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Costa Rica	Phyllostomidae	Multi-espèces	Forêt	22	22	Zone_ombragée	Fibrolite	Filet en plastique	Grande_boite_cubique	1	Non	Carrée	0,5657	56570	Poteau_bois	NA	21	NA	Kelm et al. (2008)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Costa Rica	Phyllostomidae	Multi-espèces	Forêt	23	23	Zone_ombragée	Fibrolite	Filet en plastique	Grande_boite_cubique	1	Non	Carrée	0,8433	84330	Poteau_bois	NA	21	NA	Kelm et al. (2008)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Ghana	NA	NA	Forêt	NA	NA	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_cubique_standard	1	Non	Fente	0,06	60000	Arbre	3	NA	NA	Koschnicke et al. (2010)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Australie	Vespertilionidae	Nyctophilus sp.	Forêt	1	1	Zone_ombragée	Bois	Bois	Tronc_arbre	1	Non	Rond	0,0112	11200	Arbre	4	65	NA	Ruegger. (2017)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Etats-Unis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Martin. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Australie	Vespertilionidae	Chalinolobus gouldii	Forêt	28	22	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_cubique_standard	2	Non	Fente	0,0135	13500	Arbre	NA	NA	10	Evans & Lumsden (2011)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Tchéquie	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt_lisère	26	19	Zone_ensoleillée	Bois	Bois	Boite_cubique_standard	1	Non	Fente	0,015225	15225	Arbre	4	NA	2	Tajek & Tajkova (2016)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Phyllostomidae	Etats-Unis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Mering & Chambers (2014)

Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt_lisière	6	6	Zone_ombragée	Bois_de_pin	Bois_de_pin	Boite_cubique_standard	3	Non	Fente	0,0177	17700	Poteau_bois	6	172	22	Hoeh et al. (2018)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Myotis auriculus	Forêt	52	25	Zone_ombragée	Bois_contreplaqué	Bois_contreplaqué	Boite_plate	2	Non	Fente	0,018	18000	Arbre	5	436	11	Mering & Chambers. (2012)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	50	16	Zone_ombragée	Résine_polyuréthane_écorse	Filet en plastique	Boite_cyclindrique_écorse	1	Non	Fente	0,02	20000	Poteau_bois	4	NA	NA	Jesse et al. (2018)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Costa Rica	Phyllostomidae	Multi-espèces	Forêt	18	17	Zone_ensoleillée	Fibrolite	Fibrolite	Grande_boite_cubique	1	Non	Carrée	0,096	96000	Poteau_bois	4	3	NA	Reid et al. (2013)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Costa Rica	Phyllostomidae	Multi-espèces	Milieu_ouvert	30	12	Zone_ensoleillée	Fibrolite	Fibrolite	Grande_boite_cubique	1	Non	Carrée	0,096	96000	Poteau_bois	4	3	NA	Reid et al. (2013)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Lituanie	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	168	NA	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_plate	1	Non	Fente	0,021	21000	Arbre	4	NA	NA	Baranauskas. (2010)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Royaume-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	7	1	Zone_ombragée	Bois_contreplaqué	Bois_contreplaqué	Boite_cubique_standard	4	Non	Fente	0,021735	21735	Arbre	7	NA	NA	Ruegger et al. (2019)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Lituanie	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	27	NA	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_cubique_standard	4	Non	Fente	0,0225	22500	Arbre	4	NA	NA	Baranauskas. (2010)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	203	84	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_fusée	2	Non	Fente	0,03	30000	Poteau_bois	4	NA	NA	Jesse et al. (2018)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Pologne	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Ruegger. (2016)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Tchéquie	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt_lisière	27	26	Zone_ensoleillée	Bois	Bois	Boite_cubique_standard	1	Non	Fente	0,0305525	30552,5	Arbre	4	NA	25	Tajek & Tajkova (2016)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Myotis auriculus	Forêt	52	24	Zone_ombragée	Résine_polyuréthane_écorse	Résine_polyuréthane_écorse	Boite_plate	1	Non	Fente	0,036	36000	Arbre	5	408	8	Mering & Chambers. (2012)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Lituanie	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	59	NA	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_cubique_standard	5	Non	Fente	0,0375375	37537,5	Arbre	4	NA	NA	Baranauskas. (2010)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Myotis sp.	Forêt	10	9	Zone_ombragée	Bois	Bois_rougeux	Boite_plate	1	Non	Fente	0,054	54000	Arbre	4	NA	NA	Chambers et al. (2002)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Myotis sp.	Forêt	10	8	Zone_ombragée	Résine_polyuréthane_écorse	Résine_polyuréthane_écorse	Boite_plate	3	Non	Fente	0,054	54000	Arbre	4	NA	NA	Chambers et al. (2002)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Tchéquie	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	33	13	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_plate	1	Non	Fente	0,06528	65280	Arbre	4	91	80	Chytil. (2014)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Tchéquie	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt_lisière	85	53	Zone_ensoleillée	Fibrolite	Fibrolite	Boite_cubique_standard	1	Non	Fente	0,072	72000	Arbre	4	NA	39	Tajek & Tajkova (2016)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Tchéquie	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	4	0	Zone_ombragée	Bois	Bois	Boite_cubique_standard	5	Non	Fente	0,098	98000	Arbre	4	0	0	Chytil. (2014)

Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	NA	NA	Zone_ombragée	Résine_polyuréthane_écorsé	Résine_polyuréthane_écorsé	Boite_cyclindrique_écorsé	1	Non	Fente	NA	NA	Poteau_bois	6	NA	NA	Adams et al. (2015)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Canada	Vespertilionidae	Multi-espèces	Falaise_rocheuse	9	5	Zone_ensoleillée	Béton_fibre	Béton_fibre	Boite_plate_béton	1	Non	Fente	NA	NA	Falaise_rocheuse	NA	NA	NA	Andrusiak & Sarell. (2019)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Allemagne	Vespertilionidae	Nyctalus noctula	Forêt	28	NA	Zone_ombragée	Bois	Bois	NA	NA	Non	NA	NA	NA	Arbre	2,5	NA	320	Printz et al. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Allemagne	Vespertilionidae	Nyctalus noctula	Forêt	103	NA	Zone_ombragée	Bois	Bois	NA	NA	Non	NA	NA	NA	Arbre	2,5	NA	320	Printz et al. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Neotropical Bat	Allemagne	Vespertilionidae	Nyctalus noctula	Forêt	131	13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	26	Printz et al. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Afrique-du-Sud	Vespertilionidae	Myotis sodalis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Ritzi et al. (2005)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Afrique-du-Sud	Multi-espèces	Multi-espèces	Forêt	31	31	Zone_ensoleillée	Bois	Bois	NA	NA	Non	NA	NA	NA	Poteau_bois	5	NA	5	Weier et al. (2019)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	56	NA	Zone_ombragée	Bois	Bois	NA	NA	Non	NA	NA	NA	Poteau_bois	NA	NA	65	Whitaker et al. (2006)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Etats-Unis	Vespertilionidae	Multi-espèces	Forêt	30	NA	Zone_ombragée	Bois	Papier_goudronné	NA	NA	Non	NA	NA	NA	Batiment	NA	NA	NA	Whitaker et al. (2006)
Google Scholar	Artificial batbox, bat	Pologne	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Wojtaszyn et al. (2021)
Google Scholar	Roost boxes, Artificial, Bat	Royaume-Unis	Vespertilionidae	Myotis nattereri	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Zeale et al. (2016)

Annexe 4 : Base de données de terrain

ID	Famille	Espece	Nombre_ind	Emplacement_gite	Description_milieu	Type_gite_1	Volume_m3	Substrat_accroche	Hauteur_accroche	Dimenssion_ouverture_m2	Orientation_gite
1	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	NA	Case Pilote, en face du 28 chemin de Maniba Piton	Ripisylve	Arbre	NA	Bois	NA	#VALEUR!	SE
2	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	200	Habitation Lajus	Tunnel de conduite d'eau, friche herbacée et forêt secondarisée	Tunnel	36	Ciment (+gravillons)	1,5	0,00015	SW-NE
3	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	16	Habitation 41 Nord	Jardin urbain fruitier abandonné	Cabane_parpaing_taule	100	Bois	4	0,0004	NA
4	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	16	Habitation 41 Sud	Jardin urbain fruitier abandonné	Cabane_parpaing_taule	15	Ciment	2,2	0,00022	NA
5	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	500	Clocher de St-Pierre	Haut du village, friche herbacée et ruines, quelques arbres	Bati_bois	104	Charpente_bois	6,5	0,00065	NA
6	Phyllostomidae	Brachyphylla cavernarum	1000	Ruine dépar parcours sportif haut Didier	Milieu urbain bord de ravine	Bati_parpaing	1250	Ciment	1	0,0001	W
7	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	35	Tunnel d'accès cascade Didier	Boisé hygrophyle	Tunnel	450	Ciment (+gravillons)	3,5	0,00035	E-W
8	Molossidae	Tadarida brasiliensis	446	Pont Manoël (Diamant)	Pont "busé" en demi-cercle, ripisylve boisée, proximité d'usine	Jointures_dalles_ciment	0,018	Ciment	2	0,0002	SE - NW
8	Vespertilionidae	Myotis martinicensis	370	Pont Manoël (Diamant)	Pont "busé" en demi-cercle, ripisylve boisée, proximité d'usine	Jointures_dalles_ciment	0,036	Ciment	2	0,0002	SE - NW
9	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	200	Pont du Gallion - culée de droite (w)	Culée du pont, bord de route + culture bananes & canne	Culée_Pont	157,5	Ciment	2	0,0002	SE
10	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	200	Pont du Gallion - culée de gauche (E)	Culée du pont, bord de route + culture bananes & canne	Culée_Pont	157,5	Ciment	2	0,0002	NW
11	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	31	Le Robert, site Biométal	Hangar industriel en activité, éclairage et bruit important, proche d'un autre gîte	Hangar_taule	NA	Taule	7	NA	NA
13	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	NA	Habitation Capote - Poudrière	Belle forêt littorale	Bati	84	Pierres_anciennes	4	NA	NW - SE
14	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	71	Pont Hilette culée Est	Ravine Hilette, milieu boisé	Culée_Pont	24		3	NA	W
15	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	5	Pont Potiche culée Est	Ravine Potiche, milieu boisé	Culée_Pont	NA		3	NA	E
16	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	10	Pont Potiche culée Ouest	Ravine Potiche, milieu boisé	Culée_Pont	NA		3	NA	E
17	Phyllostomidae	Brachyphylla cavernarum	250	Comble souterraine du château Aubéry	Couloir + 2 pièces	Bati	64	Ciment	2	0,0002	NA
18	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	5	Toilette 1er étage château Aubéry	Pièce intérieure (toilette)	Bati	6	Ciment (+gravillons)	3	NA	NA
19	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	25	Escalier 1er étage château Aubéry	Renforcement dans le plafond des escaliers	Bati	NA	Ciment (+gravillons)	3,5	NA	NA
20	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	20	pièce RdC château Aubéry	Grande pièce abandonnée	Bati	105	Ciment (+gravillons)	3	NA	NA

21	Noctilionidae	Noctilio leporinus	53	Four à chaux St Anne	Ancienne cheminée, savane herbacée du grand Sud, buissons, culture de canne	Bati	175	Pierres_anciennes	7	0,0007	NA
22	Phyllostomidae	Brachyphylla cavernarum	1000	maison mitoyenne centre ville du Marin	centre-ville du Marin, petite cours intérieure avec fruitier	Bati	NA	Ciment	1	NA	NA
23	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	15	Locaux ProChimie	Ancien bati rénové (rhumerie) emplacement initial de la colo	Bati_bois	NA	Bois	5	NA	NA
24	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	2	Locaux ProChimie	Comble au-dessus des bureaux	Bati_bois	NA	Bois	3	0,0003	NA
25	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	2	Locaux ProChimie	Hangar de stockage	Hangar_taule	NA	Métal	3	NA	NA
26	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	50	Locaux ProChimie	Hangar de stockage	Hangar_taule	NA	Métal	6	NA	NA
27	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	200	Rhumerie Dillon	Hangar de stockage	Hangar_taule	NA	Métal	5	NA	NA
28	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	37	Rhumerie Dillon	Hangar de distillerie	Hangar_taule	NA	Métal	5	NA	NA
29	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	3	Pont Zoo de Martinique (anse Latouche)	Pont routier au-dessus d'un creek déconnecté - eau stagnante marée basse. Chaussée de pont ciment plate	Pont	NA	Ciment	3	NA	NA
30	Noctilionidae	Noctilio leporinus	23		Grotte bord de mer	Grotte	NA		3	NA	W
51	Phyllostomidae	Brachyphylla cavernarum						Persiennes_bois			
52	Phyllostomidae	Brachyphylla cavernarum						Persiennes_bois			
12a	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	100	Le Robert, Amphithéâtre et bâtiment annexe	Milieu urbain, proximité site industriel	Bati	NA	Ciment	2	NA	NA
12b	Phyllostomidae	Brachyphylla cavernarum	20000	Le Robert, Amphithéâtre et bâtiment annexe	Milieu urbain, proximité site industriel	Bati	NA	Ciment	2	NA	NA
31a	Molossidae	Molossus molossus	5		Cavité rocheuse falaise bord de route	Grotte	1	Roche_sédimentaire_marine	6	0,0006	W
31a	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	200		Cavité rocheuse falaise bord de route	Grotte	9	Roche_sédimentaire_marine	8	0,0008	W
31b	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	200		Cavité rocheuse falaise bord de route	Grotte	1	Roche_sédimentaire_marine	6	0,0006	W
31c	Phyllostomidae	Artibeus jamaicensis	150		Cavité rocheuse falaise bord de route	Grotte	0,25	Roche_sédimentaire_marine	6	0,0006	W



Biotope Siège Social
22, boulevard Maréchal Foch
B.P. 58
34140 Mèze
Tél : +33 (0)4 67 18 46 20
www.biotope.fr

