Intégration de gîtes à chiroptères lors de la rénovation thermique des bâtiments : étude de la thermie des gîtes et de leur colonisation par *Nyctalus noctula* et *Pipistrellus pipistrellus*

MASTER 2 PNB : PATRIMOINE NATUREL ET BIODIVERSITÉ

-ANNÉE 2020/2021-

RAPPORT DE STAGE - Septembre 2021



BOULAY Morgan

Structure d'accueil : Muséum d'Histoire naturelle de Bourges

Responsable de Stage : CHRETIEN Amélie, chiroptérologue

Anne-Marie Cortesero, Sébastien Dugravot et Frédéric Ysnel

Co –responsables Master PNB

Sommaire

Introduction 1

Matériel et méthodes 3

1) Sites d'étude 3

2) Caractéristiques et implantation des gîtes à chiroptères 4

3) Protocole de suivi de la colonisation des gîtes par les chauves-souris 6

4) Acquisition des données thermiques des gîtes 6

5) Analyse paysagère 7

6) Analyses statistiques 7

Résultats 8

Partie A : Etude thermique des gîtes et de leurs caractéristiques 8

1) Impact de l'installation et de la conception des gîtes sur leurs températures internes 8

2) Evaluation du risque de surchauffe des gîtes 12

3) Comportement thermique des gîtes en fonction des périodes du cycle de vie des chauves-souris 13

Partie B : Occupation des gîtes par les chauves-souris 14

1) Facteurs influençant l'occupation des gîtes par période 14

2) Caractérisation de l'occupation des gîtes 17

Discussion 18

Partie A : Impact de l'installation et de la conception des gîtes sur leurs températures internes 18

Partie B : Préférences thermiques, configuration paysagère et occupation des gîtes 20

Partie C : Recommandations 23

Conclusion 24

Annexes 33

Glossaire 37

Remerciements

En premier lieu, je souhaite remercier Amélie Chrétien, ma responsable de stage pour son accompagnement tout au long de ce stage, mais aussi pour nos échanges enrichissants et pour tout ce qu'elle m'a appris. Je tiens également à remercier Laurent Arthur pour le temps qu'il m'a accordé et les nombreuses connaissances qu'il m'a transmises. Ces deux passionnés ont su me transmettre leur passion des chauves-souris que j'espère porter aussi longtemps que possible, merci à tous les deux pour leur confiance. Je tiens également à remercier tous les bénévoles qui se sont impliqués lors des suivis des gîtes que ce soit le temps d'un affut ou de manière plus régulière : Margot Jodet, Philippe Jodet, Juliette Balu, Jennifer Bruyere, Michèle Droctové, Romain Barcelonne, Nicolas Maury, Marie Masson et Amaury Hanser et Anne, David et Chloé Pelletier, Sophie ainsi que Florian et Théo, étudiants à l'IUT de Bourges. Je remercie également l'équipe du muséum d'Histoire naturelle de Bourges pour son accueil et sa bienveillance pendant mon stage. Je remercie l'équipe de Val-de-Berry sans qui une part de cette étude n'aurait pas été possible, merci à eux pour leur disponibilité et leur engagement pour la préservation des chauves-souris, tout comme l'IUT de Bourges pour son implication dans ce projet et tout particulièrement monsieur Deschatres pour sa disponibilité. Je remercie également Philippe Boissel pour sa réactivité lors du transfert des données de température. Enfin, je tiens à remercier mes proches pour leur soutien constant au cours de ce stage et bien plus encore, Augustin Soulard pour ses conseils, Rémi Métayer pour son aide lors des affuts, Tania Boulay pour ses conseils lors de la relecture de ce rapport. Ainsi qu'Antoine Roux pour avoir supporté mes conversations dans lesquelles le mot « chauve-souris » figurait systématiquement ainsi que mes parents pour leur soutien inconditionnel et leur aide. Je remercie particulièrement mon père et mon frère sans lesquels l'adaptation d'un endoscope pour le contrôle des gîtes n'aurait été possible et ma mère pour ses relectures et ses encouragements.

Introduction

La perte de la biodiversité* à l'échelle mondiale concerne l'ensemble des taxons, parmi lesquels les oiseaux et les mammifères dont on estime la disparition de 80 à 100 espèces ces quatre cents dernières années (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2001). La perte d'habitat* est une des causes majeures responsables du déclin de la biodiversité, celle-ci étant essentiellement d'origine anthropique (Brooks *et al.*, 2002 ; Hanski, 2011). De nombreuses traces anciennes de l'impact des sociétés humaines sur les écosystèmes existent à travers le monde (Redman, 1999). En Europe, on retrouve des signes d'anthropisation à partir de l'Holocène avec notamment une modification du couvert végétal (Cubizolle *et al.*, 2004). En effet, la déforestation est la principale cause de perte d'habitats dans le monde, mais en France la perte d'habitat est principalement liée aux changements d'occupation des sols tels que l'urbanisation ou l'intensification des pratiques agricoles (Nature France, 2021). Face à ces modifications de l'habitat et à une présence humaine grandissante, certaines espèces se sont adaptées et vivent désormais proches de l'Homme, ce sont des espèces dites anthropophiles (Kark *et al.*, 2007) comme le Martinet noir, le Lézard des murailles, la Chicorée sauvage ou bien plusieurs espèces de chauves-souris dont la Pipistrelle commune. Les infrastructures humaines telles que les bâtiments offrent de nombreux gîtes pour ces espèces anthropophiles.

Toutefois cette offre en gîtes peut être menacée par des modifications des bâtiments comme lors de travaux de rénovation. Le risque est particulièrement important pour les chauves-souris puisque celles-ci sont susceptibles d'occuper les bâtiments tout au long de l'année. Elles utilisent les bâtiments pour différentes raisons, d'une part ils fournissent des gîtes semblables aux gîtes naturels, mais offrent également des conditions thermiques favorables notamment pour l'élevage des jeunes ainsi qu'une protection contre les prédateurs (Voigt *et al.*, 2016). De plus, tandis que les gîtes naturels diminuent, les bâtiments offrent des gîtes stables dans le temps (Gunnell *et al.*, 2012). Une des solutions souvent employée pour conserver les chauves-souris est la mise en place de gîtes artificiels (Brittingham & Williams, 2000 ; Rueegger, 2016).

Cependant, les gîtes artificiels doivent répondre à un certain nombre de critères afin d'être en adéquation avec les gîtes recherchés par ces chauves-souris. La température,

l'hygrométrie, la taille de l'espace interne et de l'entrée, l'orientation, la hauteur, la présence d'aérations ou encore le matériau utilisé sont des caractéristiques importantes qui impactent l'utilisation des gîtes par les chauves-souris (Nowicki, 2018). De plus, les chauves-souris ne recherchent pas les mêmes conditions pour l'hibernation, l'élevage des jeunes, la dispersion et le swarming* (LPO Touraine, 2015). Il est donc nécessaire d'offrir différents types de gîtes utilisables pendant chacune de ces périodes ou de cibler l'offre en gîtes artificiels selon la période d'occupation visée (Rueegger, 2016). En hiver, les chauves-souris recherchent des gîtes aux températures stables et basses comprises entre 0 et 6°C. En été les femelles recherchent des sites chauds entre 25 et 40°C pour l'élevage des jeunes tandis que les mâles sont tolérants à davantage de situations (Nowicki, 2018). Ces préférences thermiques varient également en fonction des espèces. En plus d'être attractifs pour les espèces, les gîtes artificiels doivent garantir la sécurité des chauves-souris qui s'y installent. En effet, de nombreux gîtes sont installés sans suivi scientifique adapté et notamment sans étude thermique ce qui peut conduire à l'installation de gîtes trop chauds supérieurs à 40°C entraînant la mort ou le départ soudain de leurs occupants, les chauves-souris étant incapables, lorsqu'elles choisissent un gîte, de détecter si celui-ci tamponne suffisamment les grandes variations de températures (Crawford & O'Keefe, 2021). Il convient de proposer des gîtes favorisant l'élimination des parasites ainsi que de l'urine et du guano (Bartonička & Gaisler, 2007).

Outre les caractéristiques internes des gîtes, l'utilisation de gîtes artificiels par les chauves-souris dépend également du contexte paysager dans lequel les gîtes sont installés. Certaines espèces sont sensibles à la présence de certains éléments paysagers, mais aussi à la distance de ceux-ci par rapport au gîte. En effet, des espèces de petite taille comme la Pipistrelle commune suivent des éléments linéaires tels que les haies et les routes. Un espace ouvert de plus d'une centaine de mètres est un élément fragmentant (Simon *et al.*, 2004). De plus cette espèce se déplace dans un rayon moyen de 1,5 km pour un maximum de 5 km autour des colonies de maternité (Davidson-Watts *et al.*, 2006). Pour des espèces comme la Noctule commune, la proximité d'une étendue d'eau ouverte comme un étang est un élément favorisant la présence de cette espèce qui contrairement à la Pipistrelle commune se déplace en vol direct de son gîte à ses zones de chasse sur une distance de 10 km en moyenne, pouvant s'étendre jusqu'à 20 km (Limpens & Kapteyn, 1991). Pour les colonies de maternité, une étude

allemande a cependant montré que les zones de chasse se situaient dans un rayon d'environ 2 km autour de la colonie (Schmidt, 1988). De manière générale, les distances jusqu'aux territoires de chasse parcourues par ces 2 espèces et particulièrement par la Noctule commune varient en fonction des pays et même d'une région à une autre (Kyheröinen *et al.*, 2019) .

Au travers du Plan Climat, la France s'est engagée à rénover 500 000 logements par an par des travaux thermiques dont l'Isolation Thermique par l'Extérieur (ITE*). Ces travaux sont une véritable menace pour les chauves-souris anthropophiles telles que la Noctule commune (*Nyctalus noctula*) et la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) qui utilisent les interstices des bâtiments pour s'y installer. En effet, le risque est double, d'une part les gîtes deviennent inaccessibles mais les chauves-souris peuvent également être piégées mortellement à l'intérieur de leurs gîtes une fois ceux-ci recouverts d'isolant (Arthur, 2020). C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude dont l'objectif est d'étudier le potentiel des gîtes artificiels conçus par le Muséum d'Histoire naturelle de Bourges. Ces gîtes s'intègrent directement dans l'ITE. Ils ont été placés sur deux sites d'étude afin de proposer pour le premier site, des gîtes de substitution sur un site déjà occupé avant le début des travaux par les deux espèces préalablement citées ainsi que de nouveaux gîtes sur le second site d'étude, le site n'était pas occupé par les chauves-souris jusqu'alors. L'étude se divise en 2 parties :

- La partie A vise à étudier les caractéristiques des gîtes et leurs conséquences d'un point de vue thermique.
- La partie B est consacrée à l'analyse des préférences des chauves-souris occupant les gîtes en lien avec les caractéristiques des gîtes déterminées dans la partie A et de variables paysagères.

L'objectif de cette étude est de déterminer si ces gîtes proposent une configuration favorable et sûre pour les chauves-souris. Mais aussi de déterminer les configurations et implantations les plus favorables afin de pouvoir étendre l'installation de ces gîtes à d'autres territoires.

Matériel et méthodes

1) Sites d'étude

L'étude a été réalisée dans le département du Cher (18) en région Centre-Val-de-Loire en France sur 2 sites distincts. Une étude des différences thermiques entre les deux sites a été

réalisée préalablement et met en évidence des différences entre les deux sites pour les périodes de transit et mise-bas (annexe 1).

Un bâtiment de l'IUT de Bourges (47.099089, 2.419748) a été équipé de 6 gîtes sur un unique bâtiment. Le bâtiment équipé était suivi et connu depuis 1992 pour héberger des chauves-souris : environ 60 Noctules communes ainsi qu'une dizaine de Pipistrelles communes pendant la période d'hibernation. L'ITE mise en place sur ce site comporte une première épaisseur de 15 cm de laine de roche suivie d'un vide d'air de 40 mm sur lequel est apposé un bardage imitation roche. La résistance thermique* de cette ITE est au minimum de 4,0 m^2°C/W. Dans la suite de l'étude cette isolation est nommée « isolant A ».

Le second site est la cité Didier Gerbaud (46.736321, 2.503362) à Saint-Amand-Montrond, elle a été équipée de 8 gîtes sur 8 bâtiments différents qui n'hébergeaient pas de chauves-souris avant travaux. Sur ces bâtiments 2 types d'ITE ont été mis en place. Pour les murs des pignons, des panneaux de polystyrène expansé de type Knauf Xtherm ITEx+ de 8 cm d'épaisseur ont été posés pour une résistance thermique minimum R = 2,55 m²°C/W à laquelle s'ajoute l'isolation extérieure existante en polystyrène de 6 cm d'épaisseur dont la résistance thermique est évaluée à R = 1,50 m²°C/W soit une résistance thermique totale de 4,05 m²°C/W. Dans la suite de l'étude cette isolation est nommée « isolant B ». Pour les murs des façades, des panneaux de polystyrène expansé de type Knauf Xtherm ITEx+ de 16 cm d'épaisseur ont été posés pour une résistance thermique minimum R = 5,15 m²°C/W. Dans la suite de l'étude cette isolation est nommée « isolant C ».

2) Caractéristiques et implantation des gîtes à chiroptères

Les gîtes implantés dans l'isolation des bâtiments (illustrations en annexe 2) sont en bois mesurant 1 m de long et 30 cm de haut (Figure 1). Les autres coupes des gîtes sont disponibles en annexe 3. Les plans des gîtes ont été réalisés avec le logiciel Sketchup® (Trimble, 2021). Ils ménagent un espace interne de 4 cm de large sur toute la longueur ou une partie du gîte avec une seconde zone à 2 cm de largeur selon les configurations testées. Différentes configurations ont été réalisées afin de faire varier : la taille de l'ouverture de l'accès au gîte, la présence ou non de trous d'aérations, la profondeur de l'espace interne et l'exposition des gîtes. Le tableau 1 récapitule les différentes configurations. Les gîtes comportent une planche

d’accès avec un angle de 130° permettant aux chauves-souris de rentrer et sortir des gîtes, mais aussi au guano et à l’urine de s’évacuer.

Tableau 1 : Caractéristiques des gîtes à chiroptères étudiés

GITE	SITE	ORIENTATION	ISOLANT	AERATION	FIN D’INSTALLATION
GITE 1	Bourges	Est	A	Non	23/01/2020
GITE 2	Bourges	Sud	A	Non	28/04/2020
GITE 3	Bourges	Nord	A	Oui	20/05/2020
GITE 4	Bourges	Nord	A	Non	20/05/2020
GITE 5	Bourges	Ouest	A	Oui	12/05/2020
GITE 6	Bourges	Sud	A	Oui	30/01/2020
GITE 7	Saint-Amand-Montrond	Nord	B	Oui	13/03/2020
GITE 8	Saint-Amand-Montrond	Nord	B	Non	30/04/2020
GITE 9	Saint-Amand-Montrond	Ouest	B	Non	30/04/2020
GITE 10	Saint-Amand-Montrond	Ouest	B	Oui	25/06/2020
GITE 11	Saint-Amand-Montrond	Sud	C	Non	25/06/2020
GITE 12	Saint-Amand-Montrond	Est	C	Oui	07/09/2020
GITE 13	Saint-Amand-Montrond	Est	C	Non	07/09/2020
GITE 14	Saint-Amand-Montrond	Sud	C	Oui	26/10/2020

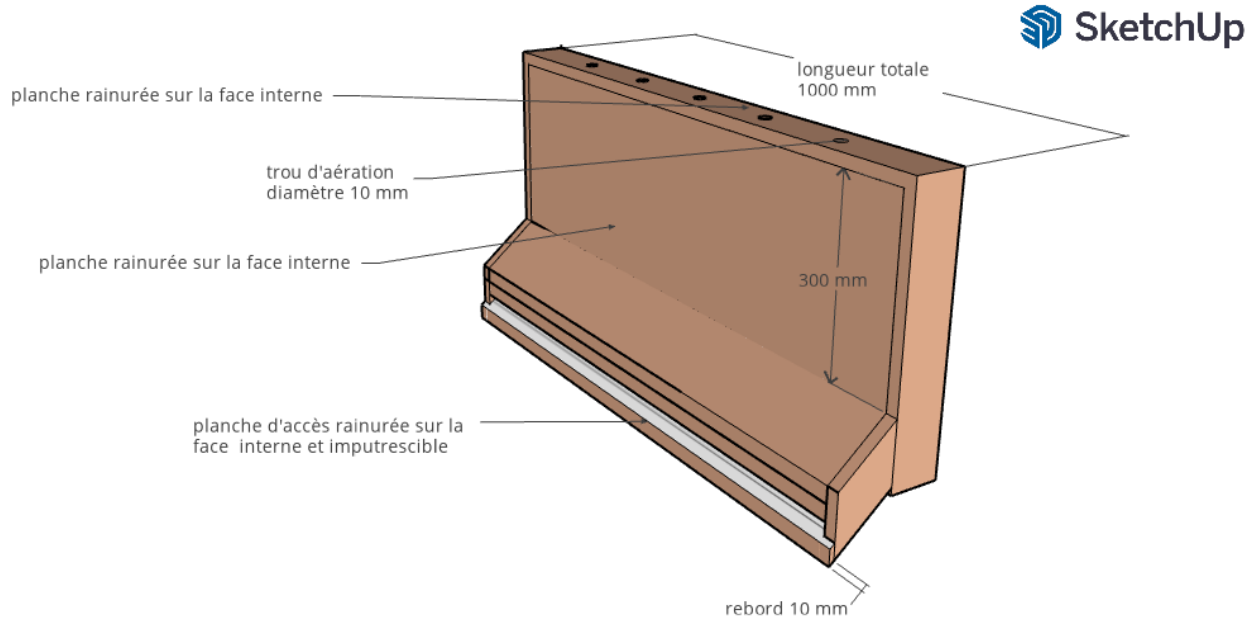


Figure 1 : Plan des gîtes installés dans les bâtiments, vue générale.

3) Protocole de suivi de la colonisation des gîtes par les chauves-souris

L'occupation des gîtes par les chauves-souris a été vérifiée par des affûts au crépuscule associés à des bâches au sol pour relever les indices de présence (guano) et à l'aide d'une caméra. Les affuts débutent 15 min avant l'heure légale du coucher du soleil et se terminent 30 min après la sortie de la dernière chauve-souris (Kronwitter, 1988), cela correspond à la période de sortie des 2 espèces étudiées (com.pers. L. Arthur). Un observateur est chargé de l'observation d'un ou deux gîtes selon la configuration du site. De plus le relevé des indices de présence grâce aux bâches permet de placer les observateurs sur les gîtes potentiellement occupés. En l'absence d'observateur, une caméra peut être positionnée face au gîte et visionnée ultérieurement. Pendant la période d'affut l'observateur recense l'heure de sortie des individus, le type de déplacement (entrée, sortie, comportement social), le nombre d'individus ainsi que l'espèce. Celle-ci est déterminée en fonction de la taille des individus, la Noctule commune ayant une masse 5 fois plus importante et étant 2 fois plus grande que la Pipistrelle commune (Arthur & Lemaire, 2009), ainsi qu'à l'aide d'une batbox Echo Meter Touch 2 PRO^{MD}. L'étude du guano a également été utilisée pour le site de Saint- Amand-Montrond pour lequel la mise en place de bâches blanches sous les gîtes a permis la récolte d'indices de présence (Annexe 4). Un endoscope a également été adapté spécifiquement pour le contrôle des gîtes de l'IUT en raison des rares sorties des mâles de Noctule commune pendant la période estivale (Arthur & Lemaire, 2021). Les contrôles sont réalisés toutes les 3 ou 4 semaines en fonction des conditions météorologiques. Les suivis sont effectués les jours où la température extérieure était supérieure à 12°C, température à partir de laquelle l'activité des 2 espèces étudiées reprend (Silva, 2009).

4) Acquisition des données thermiques des gîtes

Des capteurs thermiques Tinytag Transit2^{MD} ont été placés dans les gîtes dans un coin supérieur des gîtes et ont réalisé une mesure toutes les heures à partir de la fin des travaux (Tableau 1). Les capteurs ont été récupérés le 25/03/2021 à Bourges et le 01/04/2021 à Saint-Amand-Montrond. Les capteurs des gîtes 5, 10 et 11 ont dysfonctionné, leurs données n'ont donc pas été collectées. Les données thermiques de stations météorologiques de Météo France à proximité des 2 sites d'étude ont servi de témoins, la station météorologique de

Bourges (47.059167, 2.359722) pour le site de l'IUT de Bouges et la station météorologique d'Orval (46.731111, 2.467222) pour la cité Didier Gerbaud à Saint-Amand Montrond.

5) Analyse paysagère

Le logiciel QGIS® version 3.16.9 (QGIS Association, 2021) a été utilisé pour l'analyse des variables paysagères autour des gîtes artificiels et des colonies témoins. La couche BD Foret 2.0 a été utilisée pour la définition des territoires de chasse potentiels. Les zones de chasses potentielles utilisées pour ces analyses sont les forêts de feuillus, mixtes ou de conifères, fermées ou ouvertes, ainsi que les peupleraies et les zones herbacées. Les couches issues de BD Topo 2020 hydrographie ont été utilisées pour la localisation des points d'eau, les éléments linéaires comme les cours d'eau et surfaciques comme les étangs. Les distances aux zones de chasse et points d'eau potentiels ont été calculées avec l'extension NNJoin depuis les gîtes artificiels ou les colonies. Pour chacune des deux variables, la distance retenue est celle la plus courte.

6) Analyses statistiques

Le logiciel R 4.0.3 (R Core Team, 2020) a été utilisé pour les analyses statistiques.
Pour toutes les analyses sur la température de la partie A, des modèles de type geeglm à l'aide du package « geepack » (Højsgaard *et al.*, 2005) ont été utilisés afin de prendre en compte l'autocorrélation temporelle des données (Geronimi, 2016). L'analyse des sites d'étude a été réalisée sur les données de températures horaires des stations météorologiques depuis le 1er janvier 2020 au 31 mars 2021. Le modèle intègre le site d'étude et la période du cycle biologique des chauves-souris. Tous les barplots ont été réalisés avec la fonction « barmod » issue du package « AuguPack » (Augustin Soulard, 2020) permettant l'affichage des moyennes ajustées du modèle et de réaliser des comparaisons deux à deux et la fonction anova () a été utilisée pour réaliser une anova de type I, prenant en compte la spécificité des données temporelles et permettant la réalisation de tests de Wald.
Les écarts de températures entre l'intérieur et l'extérieur des gîtes ont été étudiés à l'aide de modèles prenant en compte les 3 variables : orientation, aération et type d'isolant. La modalité ouest de la variable orientation n'a pas été modélisée car il n'y avait pas suffisamment de réplicas pour cette modalité.

Les prédictions des températures externes ont été réalisées sur les modèles gee prenant en compte pour chacun des gîtes les températures maximales journalières au sein des gîtes en fonction des températures maximales externes journalières des stations météorologiques avec la fonction « predict ».

Pour la partie B faisant le lien entre la thermie, les variables paysagères et l'occupation des gîtes, des Analyses en Composantes Principales (ACP) ont été réalisées pour les différentes périodes du cycle biologique avec le package vegan (Community Ecology Package,2020) et RVAideMemoire (Maxime Herve, 2020). Les températures journalières moyennes, minimales et maximales utilisées pour ces analyses proviennent de données mesurées pour la période d'hibernation et prédites pour les autres périodes. Ces prédictions ont été réalisées à l'aide de modèles gee intégrant les températures journalières moyennes, minimales et maximales de la période d'enregistrement des capteurs thermiques pour chacun des gîtes en fonction des températures extérieures.

Résultats

Partie A : Etude thermique des gîtes et de leurs caractéristiques

1) Impact de l'installation et de la conception des gîtes sur leurs températures internes

Nous avons mis en évidence un impact hautement significatif de l'orientation et du type d'isolant sur les températures minimales, maximales et moyennes mesurées à l'intérieur des gîtes ainsi qu'un effet significatif de la présence ou non d'aérations sur les températures moyennes et minimales (Tableau 2).

Les gîtes les plus chauds sont orientés vers le sud, puis à l'est et au nord pour les 3 catégories de températures ci-dessus. Toutefois les écarts au sein d'une variable diffèrent selon la catégorie de température considérée. Les écarts sont plus importants pour les températures maximales entre les différentes modalités (4,3°C de différence entre le nord et le sud) que pour les températures moyennes et minimales avec respectivement 2,7°C et 2,5°C d'écart entre les orientations sud et nord.

Les différents isolants impactent également davantage les températures maximales (6,1°C de différence en moyenne entre l'isolant B et C) que les températures moyennes (2,7°C d'écart

entre l'isolant B et C en moyenne). Concernant les températures minimales, l'impact de l'isolant n'est pas le même que pour les températures moyennes et maximales pour lesquelles l'isolant B comporte les températures enregistrées les plus chaudes et le C les plus froides. En effet, on observe que les gîtes comportant les températures minimales journalières les plus hautes sont placés dans un isolant de type C tandis que les gîtes les plus froids sont dans un isolant de type A avec une différence moyenne de 4,3°C entre ces deux isolants.
Enfin la présence d'aérations impacte les températures moyennes et minimales de manière similaire avec des différences entre la présence et l'absence d'aération inférieures à 0,5°C.

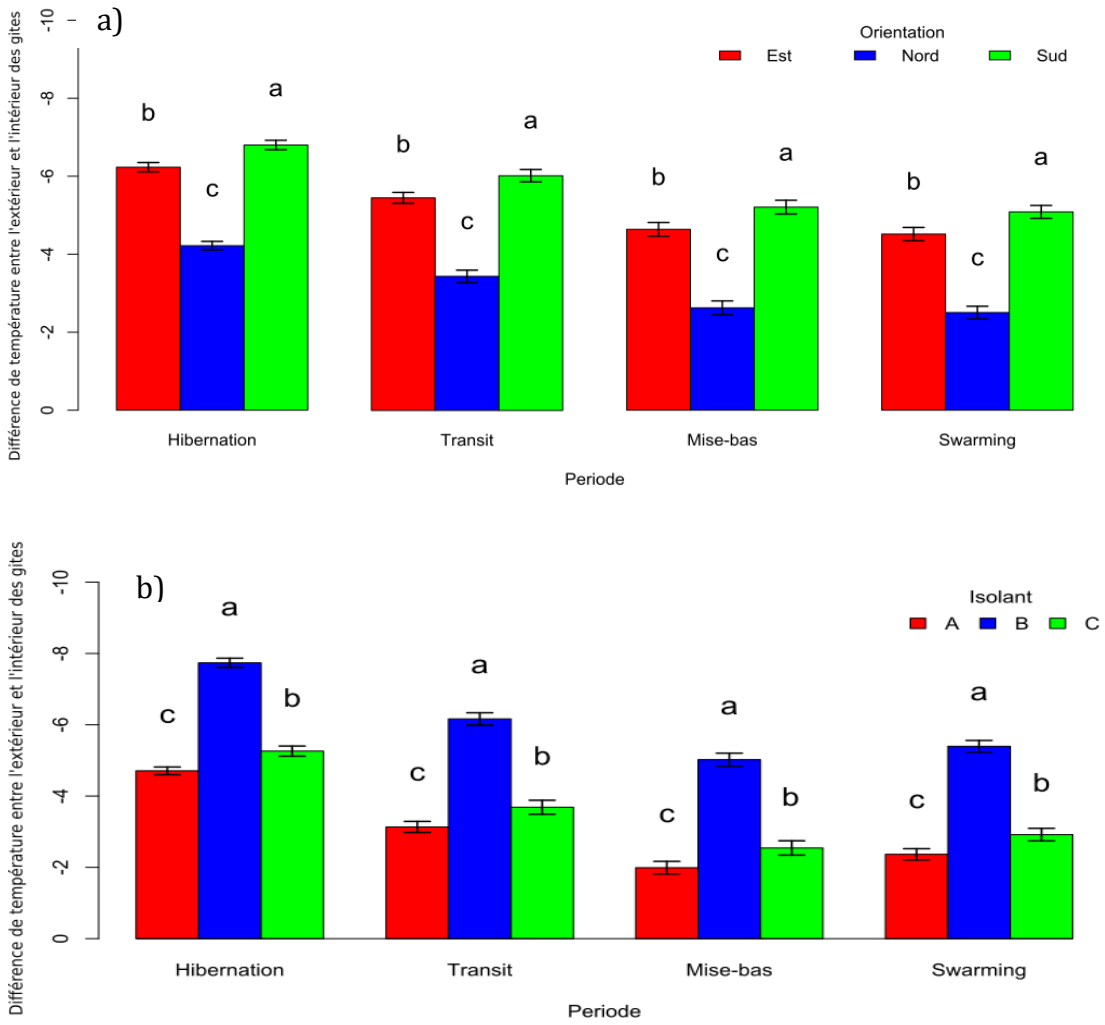
Tableau 2 : Moyennes ajustées par le modèle des températures journalières maximales, minimales et moyennes pour les variables Orientation, Isolant et Aération. Des tests de Wald ont été effectués pour les différentes variables sur les températures minimales (orientation : p=1.396e-11 *** et df=2 ; isolant : p= < 2e-16 *** et df= 2 ; aération : p = 0.04552 * et df =1), sur les températures maximales (orientation : p=<2e-16 *** et df=2 ; isolant : p=<2e-16 *** et df= 2 ; aération : p = 0.1151 et df =1) et sur les températures moyennes (orientation : p= <2e-16 *** et df=2 ; isolant : p=<2e-16 *** et df=2 ; aération : p = 0.01437* et df =1) . Les valeurs sont en degrés Celsius et l'erreur standard est indiquée dans les colonnes ES.

		Température maximale		Température moyenne		Température minimale	
Variable		Emmeans	ES	Emmeans	ES	Emmeans	ES
Orientation	Nord	17	0,302	15,4	0,271	13,5	0,28
	Sud	21,3	0,288	18,1	0,255	16	0,251
	Est	21,1	0,31	18,1	0,28	15,9	0,278
Isolant	A	19,5	0,34	16,2	0,298	13,3	0,278
	B	23,1	0,317	19,1	0,254	15	0,289
	C	17,0	0,32	16,4	0,284	17,4	0,248
Aération	Oui	19,7	0,286	17,1	0,257	14,8	0,245
	Non	19,4	0,271	17,4	0,248	15,2	0,249

L'effet des trois variables a également été étudié sur les différences de températures entre l'intérieur et l'extérieur des gîtes en se basant sur des températures horaires, tout en prenant en compte la période du cycle de vie des chauves-souris.

Concernant l'orientation, des effets hautement significatifs ont été observés (Figure 2.a). Les gîtes orientés vers le nord ont une température interne moyenne plus faible que les gîtes orientés à l'est, qui sont eux même plus froids que les gîtes orientés Sud et ce pour les 4 périodes du cycle de vie des chauves-souris. On observe également que les écarts de températures entre l'intérieur et l'extérieur des gîtes varient en fonction des expositions mais également en fonction des périodes considérées. Ainsi ces différences sont les plus importantes au cours de la période d'hibernation puis de transit. Ces différences sont les plus faibles pour les périodes de mise-bas et de swarming pour lesquelles les écarts sont similaires. Pour l'effet de l'isolant, un effet significatif sur la température interne a été mis en évidence en fonction de la période considérée (Figure 2.b). Les gîtes intégrés dans les bâtiments isolés avec l'isolant A ont une température interne moyenne inférieure à celle des gîtes dont l'isolant est de type C. Ils présentent également des différences avec les températures extérieures supérieures à ceux intégrés dans l'isolant A. Les gîtes intégrés dans les bâtiments isolés avec l'isolant B sont en moyenne également plus froid que ceux intégrés dans des bâtiments dont l'isolation est de type C pour lesquels les différences avec l'extérieur sont moindres. Comme pour l'orientation, ces différences varient en fonction des périodes et sont plus importantes pour l'hibernation, puis pour le transit et enfin sans différence entre ces deux dernières périodes, la mise bas et le swarming. Pour l'isolant C, on observe par exemple des différences de températures moyennes d'environ 5°C avec l'extérieur en hiver et d'environ 3°C pour la période de mise bas.

Enfin, l'effet de la présence ou non d'aérations sur les températures internes est hautement significatif en fonction des périodes (Figure 2.c). Nous avons ainsi pu mettre en évidence des écarts inférieurs à 1°C entre les deux modalités quel que soit la période considérée bien que les différences thermiques entre l'intérieur et l'extérieur des gîtes varient selon les périodes. Ainsi, les gîtes équipés d'aérations sont plus froids que ceux n'en possédant pas et présentent une différence avec la température extérieure moindre.



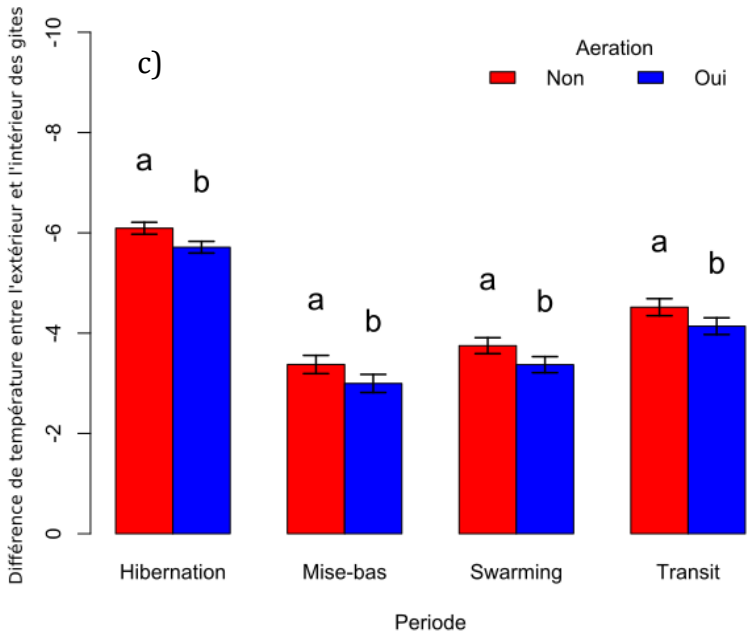


Figure 2 : Moyennes ajustées par le modèle des différences de températures horaires entre l'intérieur et l'extérieur des gîtes pour chacune des modalités des variables du modèle analysé par un test de Wald pour les variables : a) Orientation : Df=2 et p= <2e-16 ***;b) Isolation : Df=2 et p = 0.03196* ; c) Aération : Df=1 et p= < 2e-16*** en fonction de la période du cycle biologique (Df=3 et p= < 2e-16 ***). Les lettres indiquent les différences de température entre modalités d'une même variable au sein d'une même période. Les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance 0.95. Les valeurs négatives indiquent une température extérieure moins élevée que celle des gîtes.

2) Evaluation du risque de surchauffe des gîtes

Les modélisations effectuées entre les températures externes et internes maximales afin d'analyser le risque de surchauffe* pour les gîtes installés (Figure 3) nous permettent de déterminer que les gîtes du site de l'IUT de Bourges atteignent une température interne de 40°C pour une température extérieure d'environ 40°C à l'exception des gîtes 1 et 6 exposés est et sud pour lesquels le seuil de 40°C est atteint pour des températures extérieures d'environ 35°C. Pour le site de Saint-Amand-Montrond, la température seuil de 40°C est atteinte pour des températures extérieures supérieures à 45°C, plus élevées que celles du site de Bourges. Pour les gîtes 12 et 13, les prédictions sont largement supérieures et dépassent les 50°C concernant la température extérieure. Les prédictions des gîtes 1, 12, 13 et 14 sont moins fiables avec des intervalles de confiance plus grands que pour les autres gîtes.

Par ailleurs, les évènements de surchauffe ont également été comptabilisés sur la période d'enregistrement des données thermiques. Au total, 4 événements de surchauffe ont eu lieu dans le gîte 6 atteignant des températures internes de 41,1°C (31/07/2020), 41,5°C (07/08/2020), 40,2°C (08/08/2020) et 40,3°C (09/08/2020) lors de ces événements les températures maximales extérieures de la station météorologique liée au site du gîte étaient respectivement de 38,3°, 37,9°C, 37,3°C et 36,9°C. Un évènement de surchauffe a également été noté pour le gîte 9 avec une température interne de 40,7°C (07/08/2020), la température maximale extérieure enregistrée était alors de 37,7°C.

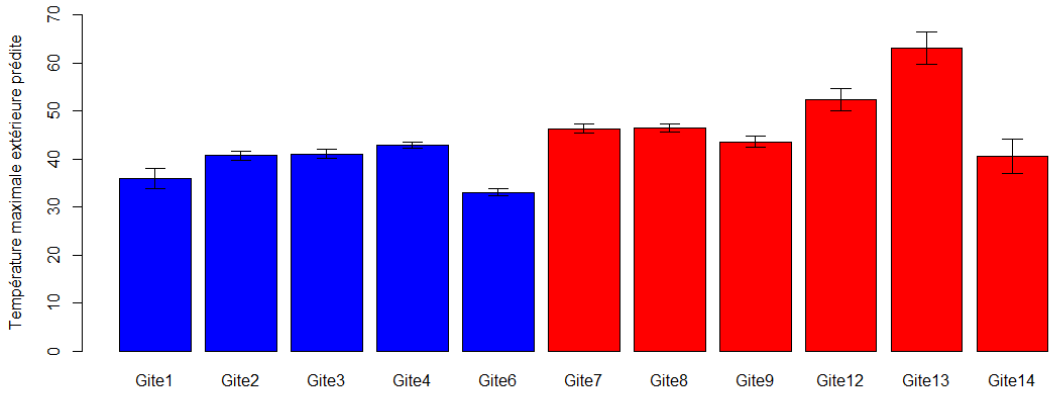


Figure 3 : Barplot représentant les températures extérieures prédites pour une température de 40°C à l'intérieur des gîtes. Les gîtes de l'IUT de Bourges apparaissent en bleu et les gîtes de la cité Didier Gerbaud de Saint-Amand-Montrond en rouge. Les barres d'erreurs correspondent à l'intervalle de confiance 0,95.

3) Comportement thermique des gîtes en fonction des périodes du cycle de vie des chauves-souris

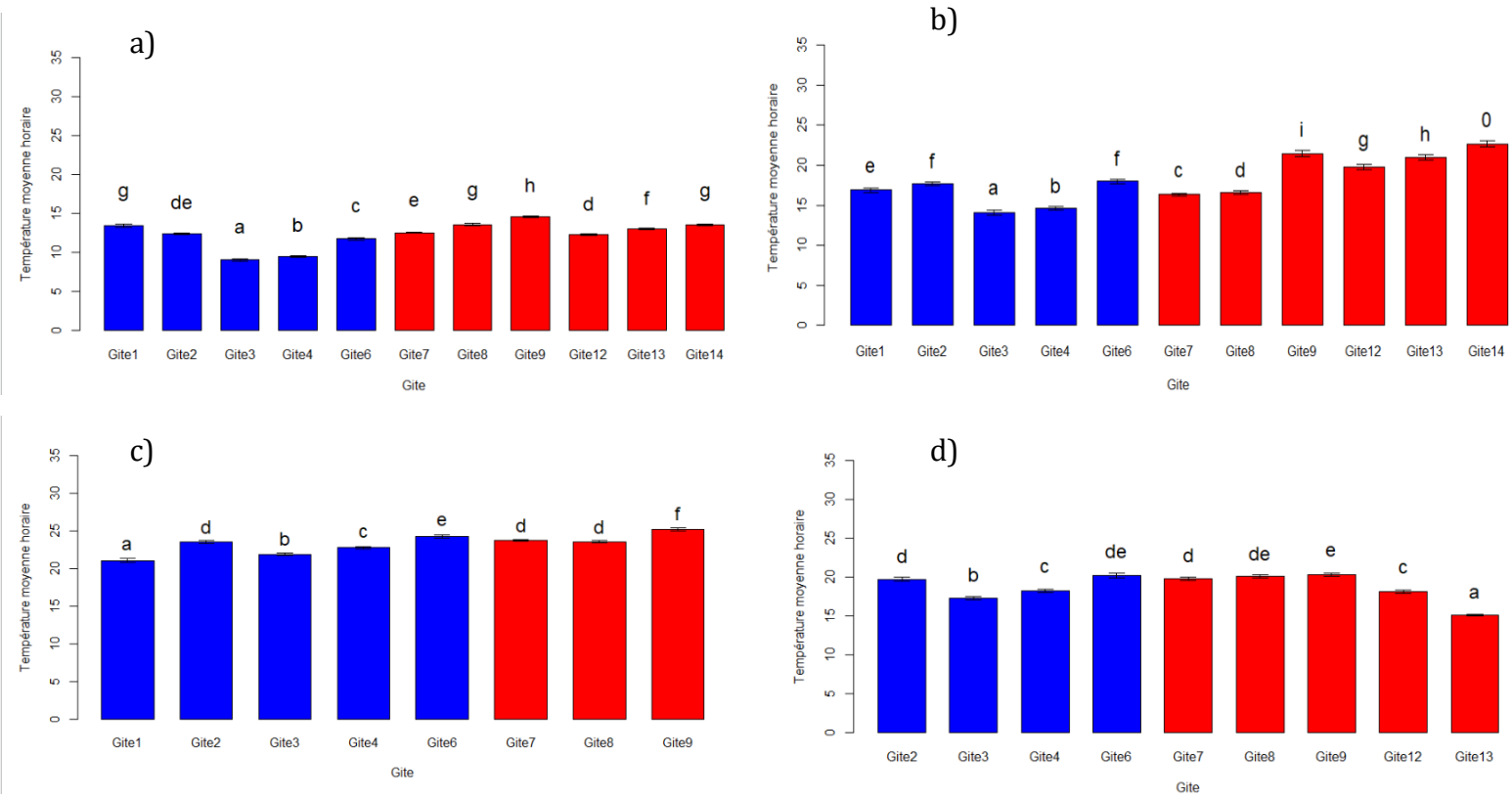


Figure 4 : Barplot représentant les moyennes ajustées par les modèles des températures enregistrées dans les différents gîtes au cours des quatre période du cycle biologique des chauves-souris : a) Hibernation ($p < 2.2e-16$ *** et df =10) b) Transit ($p < 2.2e-16$ *** et df =10) c) Mise-bas ($p < 2.2e-16$ *** et df =7) d) Swarming ($p < 2.2e-16$ *** et df =8) . Les gîtes du site de Bourges apparaissent en bleu et les gîtes de Saint-Amand-Montrond en rouge. Les modèles ont été testé par des tests de Wald. Seuls les gîtes pour lesquels des données ont été enregistrées à ces périodes sont représentés.

La température enregistrée dans les différents gîtes varie en termes de températures moyennes selon la période considérée (Figure 4).

Pendant la période d'hibernation, on observe que les gîtes de Bourges ont des températures moyennes inférieures à celles de Saint-Amand-Montrond. Les gîtes du site de Bourges ont des températures moyennes allant 9,1°C pour le gîte 3 à 12,7 °C pour le gîte 2. Pour le site de Saint-Amand-Montrond, les températures moyennes sont de 12,1°C pour le gîte 12, le plus froid, et de 14,6°C pour le gîte 9, le plus chaud (Figure 4.a). En période de transit (Figure 4.b), le gîte 3, le plus froid, enregistre une température moyenne de 14,2 °C tandis que le gîte 12,

le plus chaud a une température moyenne de 21,9°C. En période de mise-bas (Figure 4.c), les température moyenne des différents gîtes s'échelonnent de 22,0°C pour le gîte 3, le plus froid à 24,5°C pour le gîte 7, le plus chaud. Concernant la période de swarming (Figure 4.d), les températures moyennes varient entre 17,4°C pour le gîte 3 le plus froid et 20,4°C pour le gîte 9, le plus chaud.

Partie B : Occupation des gîtes par les chauves-souris

1) Facteurs influençant l'occupation des gîtes par période

Afin de déterminer les préférences écologiques des chauves-souris occupant les gîtes, une ACP a été réalisée pour chacune des périodes du cycle de vie des chauves-souris. Ces ACP prennent en compte les températures minimales, moyennes et maximales mesurées ou prédites des gîtes mais également la distance à un point d'eau et à une zone de chasse, variables généralement structurantes pour les chauves-souris. Ces différentes variables sont associées au nombre d'individus par espèce, observés dans les gîtes.

Le nombre de Noctules communes est corrélé négativement pendant la période d'hibernation (Figure 5.a) à la température minimale et à la température moyenne tandis que nous n'observons pas de corrélation avec la température moyenne. Concernant les variables paysagères, les distances à un point d'eau et à une zone de chasse sont positivement corrélées avec le nombre de Noctules communes dans les gîtes. Ainsi, plus les températures minimales et moyennes journalières sont basses, plus le nombre de Noctules communes est important. Plus la distance avec une zone de chasse et un point d'eau est grande, plus le gîte a de chances d'être occupé par un grand nombre de Noctules communes. Aucune Pipistrelle commune n'ayant été observée pendant cette période, cette espèce n'apparaît donc pas dans cette analyse.

Au cours de la période de transit (Figure 5.b), l'ACP réalisée permet de mettre en évidence une corrélation positive entre le nombre de Noctules communes et la température maximale et moyenne journalière. L'analyse ne révèle aucune corrélation avec la température moyenne. La variable distance à une zone de chasse est positivement corrélée avec le nombre de Noctules communes occupant un gîte tandis que la distance à un point d'eau est négativement corrélée. En somme, le nombre de Noctules communes est plus important dans les gîtes où

les températures moyennes et maximales journalières sont élevées et lorsque la distance à une zone de chasse est grande, mais également lorsque la distance à un point d'eau est faible. Le nombre de Pipistrelles commune n'a pas pu être expliqué par cette analyse, l'information de cette variable étant mal synthétisée.

En période de mise-bas (Figure 5.c), le nombre de Noctules communes est positivement corrélé avec la distance à une zone de chasse et à la température maximale et moyenne journalières de manière moins importante. Par ailleurs, le nombre de Noctules communes est négativement corrélé à la distance à un point d'eau, ainsi le nombre de Noctules communes est plus important dans les gîtes les plus proches de l'eau.

En période de swarming (Figure 5.d), le nombre de Noctules communes est positivement corrélé aux températures minimales, moyennes et maximales journalières, ainsi plus ces températures sont importantes plus le nombre de Noctules communes est élevé. Concernant les variables paysagères, les distances à un point d'eau et à une zone de chasse sont négativement corrélées avec le nombre de Noctules communes, ainsi plus ces distances sont faibles plus le nombre de Noctules communes est important dans les gîtes. Aucune Pipistrelle commune n'ayant été observé pendant cette période, cette espèce n'apparaît donc pas dans cette analyse.

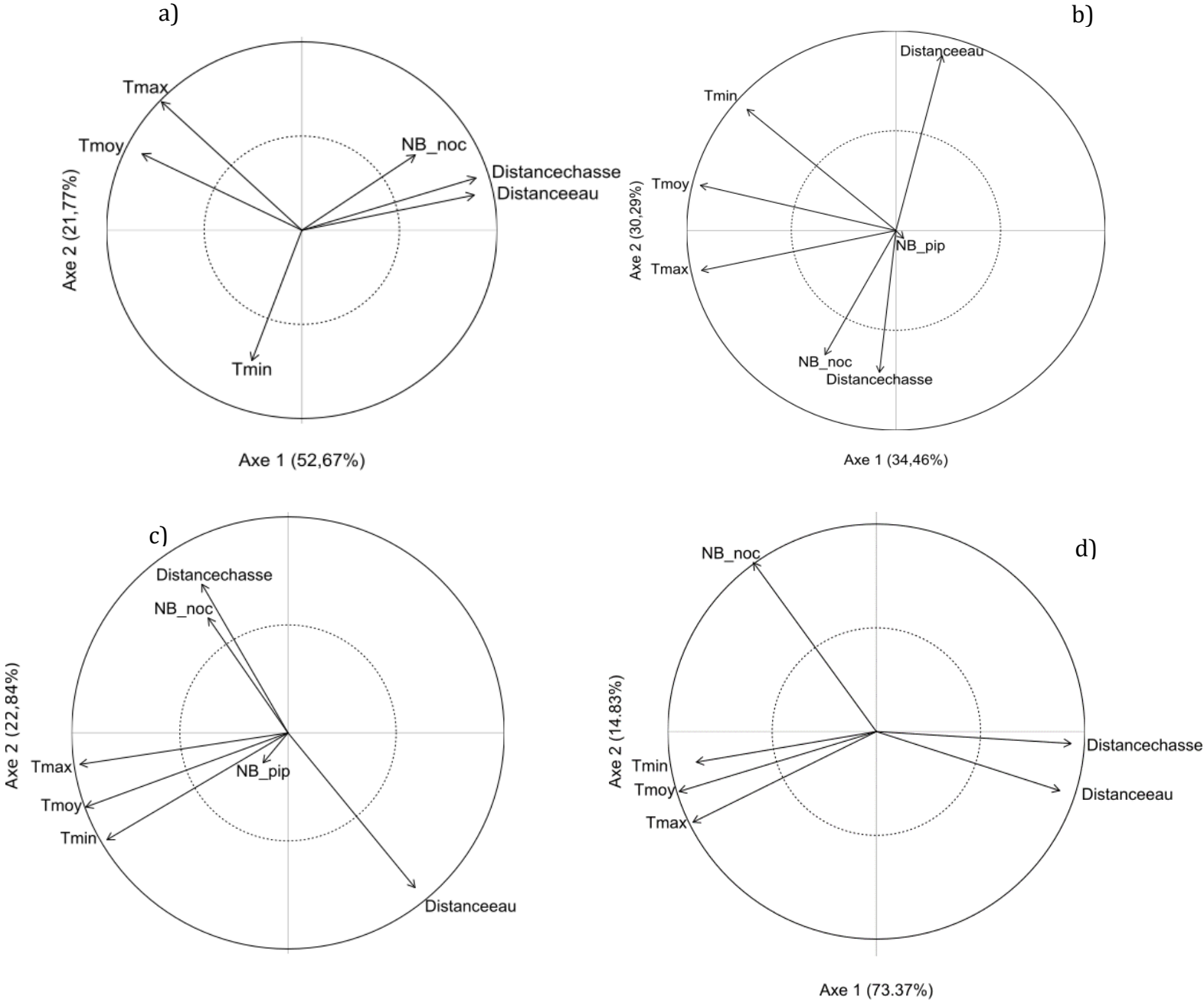


Figure 5 : ACP représentant les facteurs influençant l'utilisation des gîtes (températures journalières et variables paysagères) par les Noctules communes et les Pipistrelles communes en fonction des quatre périodes de leur cycle biologique : a) hibernation b) transit c) mise-bas d) swarming.

2) Caractérisation de l'occupation des gîtes

La stabilité de l'occupation des gîtes au sein des différentes périodes a été étudiée (Tableau 3.a). Au cours de la période de transit, sur 4 gîtes occupés par des Noctules communes, 1 était occupé au cours des différents suivis réalisés. Pour la période de mise-bas, 2 des 4 gîtes occupés l'ont été à chaque suivi. Enfin, pour la période de swarming, 2 des 5 gîtes occupés l'ont été à chaque suivi.

Concernant les Pipistrelles communes (Tableau 3.b), lors de la période de transit, aucun des 3 gîtes occupés par des Pipistrelles communes l'ont été de manière régulière. Pour les périodes de mise-bas et de swarming, 1 gîte a été occupé et ce de manière régulière uniquement pour la période de swarming.

Tableau 3 : Tableau de présence/absence et stabilité de l'occupation des gîtes au cours d'une même période pour les 2 espèces étudiées a) Noctule commune b) Pipistrelle commune. Une occupation est considérée comme stable lorsqu'un gîte est occupé au cours des différents contrôles d'une même période. Seuls les gîtes occupés figurent dans les tableaux. La présence d'au moins un individu est indiqué par un « 1 » et l'absence d'individu par un « 0 ».

a)

PERIODE	TRANSIT					MISE-BAS				SWARMING			
GITE	Suivi1	Suivi2	Suivi3	Suivi4	Occupation stable	Suivi1	Suivi2	Suivi3	Occupation stable	Suivi1	Suivi2	Suivi3	Occupation stable
GITE 1	1	0	1	0	Non	1	1	1	Oui	1	1	0	Non
GITE 2	1	0	1	1	Non	0	0	0	NA	1	1	1	Oui
GITE 3	1	0	0	1	Non	0	0	1	Non	1	0	1	Non
GITE 4	0	0	0	0	NA	0	0	0	NA	0	0	0	NA
GITE 5	0	0	0	0	NA	1	1	1	Oui	0	0	1	Non
GITE 6	1	1	1	1	Oui	1	1	0	Non	1	1	1	Oui

b)

PERIODE	TRANSIT				MISE-BAS				SWARMING			
GITE	Suivi1	Suiv2	Suivi3	Occupation stable	Suivi1	Suivi2	Suivi3	Occupation stable	Suivi1	Suivi2	Suivi3	Occupation stable
GITE 5	0	1	0	Non	0	0	0	NA	0	0	0	Non
GITE 6	0	0	1	Non	0	0	0	NA	1	1	1	Oui
GITE 7	1	1	0	Non	0	0	1	Non	/	/	/	Non

Afin de mieux connaître les températures d'hibernation des Noctules communes, la température journalière du gîte 3 où se trouvait une quarantaine d'individus le 25 mars 2021

a été représentée (Figure 6). Sur la période considérée, on observe que la température au sein du gîte varie de 18,5°C à -4,6° et est toujours supérieure à la température extérieure.

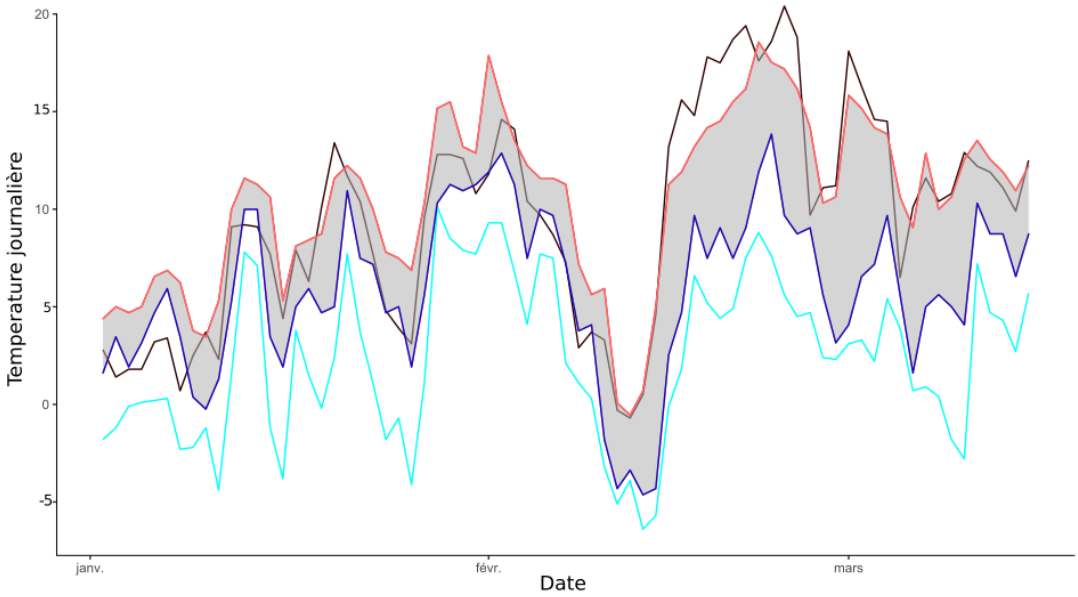


Figure 6 : Température journalière mesurée du 01 janvier 2021 au 15 mars 2021 dans le gîte 3 occupé par des Noctules communes en période d'hibernation. Courbe rouge : température maximale journalière dans le gîte ; courbe bleu foncé : température minimale journalière dans le gîte ; Courbe noire : température maximale journalière extérieure ; Courbe bleu clair : température minimale journalière extérieure ; surface grise : températures à l'intérieur du gîte

Discussion

Partie A : Impact de l'installation et de la conception des gîtes sur leurs températures internes

L'étude de la température des gîtes en fonction de leur conception a permis de mieux comprendre l'impact des différentes variables sur les températures horaires en général mais aussi plus finement sur les températures journalières minimales, moyennes et maximales mesurées au sein des gîtes.

Nous avons mis en évidence l'impact prédominant du type d'isolant par rapport à l'orientation sur les températures moyennes, minimales et maximales journalières. Concernant les résultats obtenus pour l'orientation des gîtes, ceux-ci coïncident avec les résultats attendus habituellement pour ces expositions (Fontaine *et al.*, 2021). En effet les gîtes orientés sud sont

davantage exposés aux rayonnements solaires que les gîtes exposés nord. L'absence d'efficacité des systèmes d'aérations a également été mise en évidence sur les températures maximales, alors qu'un effet rafraîchissant sur les températures les plus hautes était attendu pour les gîtes équipés de ces systèmes. Il pourrait donc être intéressant de prendre en compte ces éléments pour la pose de futurs gîtes, en adaptant le choix du type d'isolant lors de l'installation des gîtes afin d'optimiser les conditions thermiques des gîtes. Un système d'aérations plus performant pourrait par exemple être envisagé lorsque des gîtes doivent être installés sur des zones où les hautes températures risquent d'être défavorables pour les chauves-souris à cause de l'exposition ou de l'isolation, positionner les gîtes plus bas pourrait également permettre de diminuer la température interne des gîtes. Cela permettrait alors de gérer plus facilement les contraintes d'installation des gîtes à chiroptères qui ne peuvent pas toujours être positionnés de manière optimale en raison de contraintes techniques liées à l'architecture des bâtiments par exemple. Il pourrait être intéressant de continuer ces études thermiques sur davantage de gîtes afin de pouvoir étudier les interactions des différentes variables entre elles et en fonction des périodes de l'année. Dissocier l'effet des deux sites d'étude notamment pour les périodes de transit et mise-bas pour lesquelles les températures extérieures sont différents serait également nécessaire.

En effet, l'impact des sites d'étude et des périodes de l'année sur ces variables a pu être testé uniquement sur les températures horaires, dont le jeu de données permettait une telle analyse, cela ne permet pas de retranscrire finement les effets d'un point de vue biologique, les chauves-souris étant plus ou moins sensibles aux températures minimales, maximales et moyennes et non pas seulement à la température globale. Ceci a permis de mettre en évidence qu'entre les différentes périodes, les modalités des variables orientation, isolant et aération présentent des variations de la même nature mais dont l'amplitude varie selon la période considérée. Ainsi, les écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur des gîtes sont les plus importants pendant la période hivernale quelle que soit la variable considérée puis décroissent au cours de la période transit puis swarming et sont finalement les plus bas pour la période de mise-bas. Les gîtes sont donc relativement bien protégés des températures basses en hiver. Cependant, en été les gîtes sont moins isolés des températures extérieures et donc de la chaleur, ceci peut présenter un avantage pour les colonies de maternité notamment (Ruczyński, 2006) mais peut également être délétère pour les chauves-souris lorsque la température devient trop élevée (Flaquer *et al.*, 2014 ; Bideguren *et al.*, 2019). Ces

besoins varient également en fonction des individus occupant les gîtes à cette période, ainsi les mâles de Noctules communes observés dans les gîtes de l'IUT de Bouges ont des besoins de chaleur moins importants que les femelles allaitantes à cette période.

Concernant ces températures maximales supportées par les chauves-souris, nos prévisions coïncident avec nos résultats selon lesquels les gîtes sont relativement peu isolés de la chaleur, ainsi on prévoit donc des températures internes de 40°C lorsque les températures extérieures sont proches de cette température pour le site de Bourges. Pour le site de Saint-Amand-Montrond, les prévisions indiquent une température seuil atteinte pour des températures extérieures supérieures à 40°C. Ces prévisions semblent donc indiquer une meilleure isolation contre la chaleur ou une meilleure évacuation de l'air chaud. Cependant, les gîtes en question ne sont pas équipés d'évacuateurs d'air chaud. Cette différence peut être expliquée par la nature de l'isolant, puisque les isolants B et C de ce site d'étude isolent davantage que l'isolant A du site de Bourges et cette différence entre les types d'isolants utilisés coïncide avec la résistance thermique des ITE. En effet, les isolants B et C ont une plus grande résistance thermique que l'isolant A, cela signifie qu'ils laissent moins facilement passer la chaleur que le type A et sont donc davantage isolants vis-à-vis de la chaleur. Il est également possible que cela soit dû à une différence entre les sites d'étude autre que thermique, en effet un site plus venteux serait moins propice à l'installation de masses d'air chaud. Pour les gîtes 12, 13 et 14 installés en derniers sur le site de Saint-Amand-Montrond et dont les températures en saison chaude ont donc moins été relevées, il convient d'être prudents, leur modélisation étant par conséquent moins ajustée.

Partie B : Préférences thermiques, configuration paysagère et occupation des gîtes

L'étude des températures des différents gîtes en fonction des périodes en lien avec l'occupation des gîtes nous permet d'en apprendre davantage sur les préférences écologiques des Noctules communes.

En effet, l'occupation des gîtes en période hivernale indique que les Noctules communes s'installent dans les gîtes où les températures minimales et moyennes journalières sont plus basses, c'est-à-dire les gîtes les plus froids. En effet, le gîte de l'IUT ayant accueilli une quarantaine de Noctules communes sur cette période est celui dont les températures moyennes et minimales sont les plus basses avec des températures allant de 18,5°C à -4,6°C

au sein du gîte. Cette résistance aux températures négatives est probablement liée au groupe formé par la quarantaine d'individus. En effet, l'importance du regroupement a été constaté chez cette espèce pendant l'hibernation pour survivre aux températures négatives alors que des individus isolés ne pourraient y survivre (Sluiter 1973 dans Kunz & Fenton 2005). Les températures de référence concernant les températures pour lesquelles les Noctules communes hibernent n'étant pas connues, nos résultats apportent des premiers éléments de réponses. Compte tenu du niveau de léthargie profond observé lors du contrôle, l'absence d'indices de présence dans les autres gîtes et les connaissances sur le métabolisme de cette espèce, nous faisons l'hypothèse que les individus observés occupaient le gîte depuis janvier au moins (période à laquelle même les chauves-souris entrant tardivement en hibernation hibernent). Ainsi, les Noctules communes auraient été en léthargie pour des températures allant de -4,6°C et 18,5°C. Les observations de Pipistrelles communes étant moins nombreuses, il nous parait peu pertinent de tirer des conclusions les concernant.

Concernant le choix du gîte le plus froid, cette préférence peut être expliquée par une entrée en hibernation plus rapide mais également une plus grande stabilité d'hibernation dans des températures basses (Turbill & Geiser, 2008). En effet, lorsque les températures augmentent, les chauves-souris peuvent alors sortir d'hibernation afin de chasser ou s'abreuver, ces réveils doivent donc avoir lieu uniquement lorsque les températures extérieures sont suffisamment hautes pour que des proies soient en activité mais aussi pour limiter la consommation énergétique des chauves-souris. De tels réveils sont coûteux en énergie pour les chauves-souris et peuvent les mettre en difficulté s'ils ont lieu à des moment inappropriés (Speakman *et al.*, 1991 ; Lee *et al.*, 2002). C'est pourquoi la sélection de gîtes froids leur permet de s'assurer que l'éveil n'aura lieu qu'en cas d'augmentation de températures conséquentes.

Au printemps, lors de la période de transit, elles sont sensibles aux températures maximales journalières et moyennes, elles recherchent des températures hautes en occupant les gîtes les plus chauds, cela leur permet de se réveiller plus rapidement pour aller chasser après une période d'hibernation où elles doivent reconstituer leurs réserves énergétiques (Ruczyński, 2006). Le constat est le même pour la période estivale. On note toutefois que le gîte 6, le plus chaud a été quitté au moment d'un pic de température lors du suivi numéro 3 alors qu'il était jusque-là occupé. Il est probable que cela soit lié à une température du gîte trop élevé. Ceci pourrait alors expliquer l'instabilité d'occupation du gîte 6 (le plus chaud du site de Bourges où des évènements de surchauffe ont eu lieu) lors de cette période survenue pour le 3ème suivi

où ce gîte est probablement devenu trop chaud, conduisant l'individu à se déplacer possiblement vers le gîte 3 (le plus froid du site). En effet, l'hypothèse dominante visant à expliquer les déplacements réguliers entre plusieurs gîtes des Noctules communes est liée aux variations thermiques des gîtes (Kronwitter, 1988). Ces déplacements seraient alors moins fréquents lorsque les gîtes sont de grande taille comme dans les bâtiments, car ils offrent davantage de variations thermiques en permettant aux chauves-souris de se déplacer selon la température (Weigold 1973 dans Kronwitter 1988) alors que les gîtes arboricoles (utilisés par les Noctules communes) sont généralement de petite taille et ne permettent pas de telles variations. Nous avons effectivement observé que les chauves-souris étaient positionnées différemment selon les gîtes et suivis lors des contrôles avec l'endoscope. Nous avons noté que lors du suivi 3 où la température était particulièrement élevée, les Noctules communes étaient positionnées sur la partie basse des gîtes qui étaient exposés aux rayements solaires à ce moment-là, les chauves-souris situées dans les gîtes les plus frais étaient quant à elles positionnées dans la partie supérieure du gîte. Il est probable que les Noctules communes à la recherche de fraicheur soient descendues dans la partie inférieure du gîte pour y trouver des températures plus basses (i.e en se rapprochant de l'ouverture du gîte). Au cours des périodes de transit et de swarming, les chauves-souris explorent leurs territoires, c'est notamment le cas chez les jeunes individus, ainsi cela pourrait expliquer l'instabilité d'occupation des différents gîtes à ces périodes. De plus, la Noctule commune est une espèce connue pour exploiter un réseau de gîtes au sein duquel les individus se déplacent et ne sont pas fixés sur un gîte donné (Kronwitter, 1988). Enfin, les constats en termes de tolérance et besoins thermiques sont liés au sexe et au statut reproducteur des individus comme cela a pu être montré pour d'autres espèces de chauves-souris comme les murins (Kunz, 1974 ; Kurta *et al.*, 1989 ; Encarnação *et al.*, 2005). A la vue des connaissances sur cette espèce, des comportements observés ainsi que de la détermination du sexe d'un des individus lors d'un contrôle en période estivale avec l'endoscope, les Noctules communes observées en période estivale sont probablement des mâles, nos résultats pour la période estivale seraient alors probablement différents pour des femelles.

Pour la période de swarming, les Noctules communes ont sélectionné les gîtes aux températures minimales et moyennes les plus hautes. Ce choix leur permet d'entrer en activité rapidement afin d'effectuer des réserves pour l'hibernation et de s'accoupler.

Dans l'ensemble, les choix de gîtes des Noctules communes peuvent être expliqués par leur fonctionnement métabolique. En effet, à Bialowieza en Pologne, la température critique inférieure* des femelles de Noctules communes a été estimée à 28,8°C, impliquant alors la sélection de gîtes chauds pour les périodes d'activité leur permettant de rester normothermes* et la sélection de gîtes froids lors de période d'inactivité afin d'économiser de l'énergie et entrer en léthargie (Ruczyński, 2006).

L'étude des variables paysagères en lien avec l'occupation n'a pas permis de mettre en évidence des résultats en accord avec la bibliographie. En effet, nos analyses montrent pour certaines périodes des relations positives entre la distance à un point d'eau ou une zone de chasse et l'occupation des gîtes. Cela signifierait donc que les Noctules communes sélectionnent les gîtes les plus éloignés de ces lieux stratégiques, or un tel comportement serait contre-productif pour les individus. Nous pensons donc que ces résultats sont biaisés par la faible variation en termes de distance des différents gîtes. En effet, les gîtes sont séparés entre eux de quelques mètres à quelques dizaines de mètres ce qui induit une faible variation des variables paysagères. Pour évaluer l'effet de ces variables il faudra donc renouveler les analyses lorsque davantage de gîtes seront implantés et colonisés car il est tout à fait probable que ces variables impactent la sélection des gîtes par les chauves-souris. En effet, la Pipistrelle commune, une espèce de petite taille possédant de faible capacité de déplacement est connue pour être liée à ces variables paysagères (Verboom & Huitema, 1997 ; Davidson-Watts & Jones, 2006). La Noctule commune, bien que de plus grande taille et avec de grandes capacités de déplacement, est une espèce n'utilisant pas de gîtes temporaires lors de ses activités de chasse mais retournant au gîte qu'elle utilise en journée (Kronwitter, 1988), ainsi ses déplacements sont donc contraints par la distance de son gîte aux zones d'alimentation et d'abreuvement.

Partie C : Recommandations

L'utilisation de ces gîtes nous parait tout à fait favorable pour les Noctules et Pipistrelles communes. Les suivis d'occupation effectués au cours de cette étude sont encourageants. En effet, le site de l'IUT de Bourges après avoir subi une modification complète de l'offre en gîtes est occupé toute l'année par les Noctules communes. De plus, des comportements de swarming ont été observés alors que les sites de swarming sont sensibles aux perturbations

(Le Houedec *et al.*, 2008 ; Parsons *et al.*, 2003), ceci nous laisse donc penser que les nouveaux gîtes sont peu perturbants. Concernant le site de Saint-Amand-Montrond, bien qu'uniquement des Pipistrelles communes se soient approprié les gîtes de manière temporaire, ces résultats sont encourageants et on peut espérer une colonisation croissante à l'avenir. En effet, les chauves-souris sont habituellement connues pour s'approprier les gîtes artificiels parfois de nombreuses années après leur installation (Forget, s. d.). Dans notre étude, une colonisation a été constatée quelques semaines après la pose des gîtes ce qui est assez exceptionnel chez ces animaux. Ce qui nous laisse penser que les gîtes sont très attractifs.

Il faut toutefois veiller au risque de surchauffe des gîtes, en prenant en compte les orientations et isolants utilisés. En fonction de ces paramètres, la conception du gîte et son positionnement pourront être ajustés. Nous recommandons également de faire varier l'offre en gîtes ainsi la surchauffe pourra être évitée par la plupart des chauves-souris, nous ne recommandons pas d'installer des gîtes uniquement orientés sud contrairement à ce qui est souvent recommandé au grand public (Melbek, 2020). Celles-ci pourront trouver des conditions favorables tout au long de l'année, c'est pourquoi l'installation de 2 gîtes orientés nord et sud ou dans des isolants différents serait un minimum. La température seuil de 40°C au-delà de laquelle la température devient trop importante pour les chauves-souris peut également être ajustée. En effet, nous pouvons nous interroger sur la pertinence de ce seuil étant donné qu'il a été défini pour la Pipistrelle pygmée *Pipistrellus pygmaeus* (Lourenço & Palmeirim, 2004 ; Bartonička & Řehák, 2007). Bien que nous ayons effectivement observé le déplacement d'une Noctule commune vers un gîte plus frais lors d'une période de chaleur. Il serait pertinent de déterminer de manière plus robuste ces températures limites pour les espèces autres que la Pipistrelle pygmée.

.

Conclusion

L'installation de ces gîtes à des fins de conservation de Noctules communes, une espèce menacée, est un succès. Les gîtes ont été occupés dès les premiers mois suivant leur installation alors qu'il faut parfois attendre des années pour que les chauves-souris s'approprient de nouveaux gîtes. Il serait donc intéressant de poursuivre la mise en place de

tels gîtes tout en effectuant des suivis. Les suivis d'occupation des gîtes comme les diagnostics avant travaux doivent être anticipés car ils peuvent nécessiter des moyens humains et matériels importants. Afin de les faciliter, il serait envisageable d'automatiser les comptages d'individus occupant les gîtes avec par exemple des compteurs lasers à installer sur la planche d'accès des gîtes. Concernant les suivis thermiques, ils sont également à poursuivre et dans la mesure du possible à effectuer en même temps que les suivis d'occupations afin d'éviter les modélisations de température. Différents capteurs pourraient également être placés à différents endroits des gîtes afin d'étudier les variations thermiques au sein des gîtes. La poursuite des suivis permettra également de pouvoir étudier l'utilisation de ces gîtes par les Pipistrelles communes qui n'ont pu être étudiées dans la présente étude par manque de données.

Cette opération est également un succès sur le plan humain puisque ces gîtes implantés sur des bâtiments collectifs ont permis la mise en place de sensibiliser les habitants, les gestionnaires des logements et des personnes travaillant sur les chantiers de rénovation. C'est un aspect qui doit également être pris en compte pour la réussite de ce type de projets.

Cependant, bien que ces installations permettent de proposer des gîtes de substitution attractifs, il faut encore agir sur les autres causes de déclin des chauves-souris parmi lesquelles l'implantation de parcs éoliens ou la destruction de gîtes arboricoles.

Bibliographie

Arthur, L. (**2020**). *Le Plan Climat ne doit pas oublier les chauves-souris*. *38*, 1-2.

Arthur, L., & **Lemaire, M.** (**2009**). *Les Chauves-souris de France Belgique Luxembourg et Suisse*. Biotope.

Arthur, L., & **Lemaire, M.** (**2021**). *Les Chauves-souris de France Belgique Luxembourg et Suisse* (Biotope).

Augustin Soulard. (**2020**). *AuguPack: AuguPack. R package version 0.0.10.*

Bartonička, T., & **Gaisler, J.** (**2007**). Seasonal dynamics in the numbers of parasitic bugs (Heteroptera, Cimicidae): a possible cause of roost switching in bats (Chiroptera, Vespertilionidae). *Parasitology Research*, ***100***(6), 1323. https://doi.org/10.1007/s00436-006-0414-6

Bartonička, T., & **Řehák, Z.** (**2007**). Influence of the microclimate of bat boxes on their occupation by the soprano pipistrelle Pipistrellus pygmaeus: possible cause of roost switching. *Acta Chiropterologica*, ***9***(2), 517-526. https://doi.org/10.3161/150811007783528022

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.

Brittingham, M. C., & **Williams, L. M.** (**2000**). Bat boxes as alternative roosts for displaced bat maternity colonies. *Wildlife Society Bulletin*, 197-207.

Brooks, T. M., **Mittermeier, R. A.**, **Mittermeier, C. G.**, **Da Fonseca, G. A.**, **Rylands, A. B.**, **Konstant, W. R.**, **Flick, P.**, **Pilgrim, J.**, **Oldfield, S.**, & **Magin, G.** (**2002**). Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Conservation biology*, ***16***(4), 909-923.

Crawford, R. D., & **O'Keefe, J. M.** (**2021**). Avoiding a conservation pitfall: Considering the risks of unsuitably hot bat boxes. *Conservation Science and Practice*, ***3***(6), e412. https://doi.org/10.1111/csp2.412

Cubizolle, H., **Georges, V.**, & **Argant, J.** (**2004**). Changements environnementaux et sociétés humaines dans les moyennes montagnes granitiques du Massif Central oriental au cours de l'Holocène : les enseignements tirés du croisement des données géomorphologiques, palynologiques et archéologiques. *ArchéoSciences, revue d'Archéométrie*, ***28***(1), 57-70. https://doi.org/10.3406/arsci.2004.1062

Davidson-Watts, I., & **Jones, G.** (**2006**). Differences in foraging behaviour between Pipistrellus pipistrellus (Schreber, 1774) and Pipistrellus pygmaeus (Leach, 1825). *Journal of Zoology*, ***268***(1), 55-62. https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2005.00016.x

Davidson-Watts, I., **Walls, S.**, & **Jones, G.** (**2006**). Differential habitat selection by Pipistrellus pipistrellus and Pipistrellus pygmaeus identifies distinct conservation needs for cryptic species of echolocating bats. *Biological Conservation*, ***133***(1), 118-127. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.05.027

Encarnação, J. A., **Kierdorf, U.**, **Holweg, D.**, **Jasnoch, U.**, & **Wolters, V.** (**2005**). Sex-related differences in roost-site selection by Daubenton's bats Myotis daubentonii during the nursery period. *Mammal Review*, ***35***(3-4), 285-294. https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2005.00066.x

Flaquer, C., **Puig-Montserrat, X.**, **López-Baucells, A.**, **Torre, I.**, **Freixas, L.**, **Mas, M.**, **Porres, X.**, & **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), 7728. https://doi.org/10.1038/s41598-021-87327-3

Forget, F. (**s. d.**). *Des Nichoirs pour les chauves-souris*.

Geronimi, J. (**2016**). *Contribution à la sélection de variables en présence de données longitudinales* [PhD Thesis]. Conservatoire National des Arts et Métiers-CNAM Paris.

Gunnell, K., **Grant, G.**, & **Trust (London), B. C.** (**2012**). *Landscape and urban design for bats and biodiversity*. Bat Conservation Trust.

Hanski, I. (**2011**). Habitat Loss, the Dynamics of Biodiversity, and a Perspective on Conservation. *Ambio*, ***40***(3), 248-255. https://doi.org/10.1007/s13280-011-0147-3

Hermitte, M.-A. (**1992**). La Convention sur la diversité biologique. *Annuaire français de droit international*, ***38***(1), 844-870.

Højsgaard, S., **Halekoh, U.**, & **Yan, J.** (**2005**). The R Package geepack for Generalized Estimating Equations. *Journal of Statistical Software*, ***15***(1), 1-11. https://doi.org/10.18637/jss.v015.i02

Kark, S., **Iwaniuk, A.**, **Schalimtzek, A.**, & **Banker, E.** (**2007**). Living in the city: can anyone become an 'urban exploiter'? *Journal of Biogeography*, ***34***(4), 638-651. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01638.x

Kronwitter, F. (**1988**). *Population structure, habitat use and activity patterns of the noctule bat, Nyctalus noctula Schreb., 1774 (Chiroptera: Vespertilionidae) revealed by radio-tracking*.

Kunz. (**1974**). *Feeding Ecology of a Temperate Insectivorous Bat (Myotis Velifer)*. https://esajournals-onlinelibrary-wiley-com.passerelle.univ-rennes1.fr/doi/abs/10.2307/1934408

Kunz, T. H., & **Fenton, M. B.** (**2005**). *Bat ecology*. University of Chicago Press.

Kurta, A., **Bell, G. P.**, **Nagy, K. A.**, & **Kunz, T. H.** (**1989**). Energetics of Pregnancy and Lactation in Freeranging Little Brown Bats (*Myotis lucifugus*). *Physiological Zoology*, ***62***(3), 804-818. https://doi.org/10.1086/physzool.62.3.30157928

Kyheröinen, E.-M., **Aulagnier, S.**, & **Dekker, J.** (**2019**). *Guidance on the conservation and management of citical feeding areas and commuting routes for bats*. UNEP/EUROBATS.

Le Houedec, A., **Petit, E.**, & **Jamault, R.** (**2008**). *Etude complémentaire sur un site urbain de « swarming » Fougères (Ille et Vilaine, France)*. https://www.bretagne-vivante.org/content/download/2258/23009/version/1/file/Le%2520Hou%25C3%25A9dec%2520Arnaud%252C%2520Petit%2520Eric%2520et%2520Jamault%2520Roland.%25202007.%2520%25C3%2589tude%2520compl%25C3%25A9mentaire%2520sur%2520un%2520site%2520urbain%2520de%2520swarming%2520Foug%25C3%25A8res-Ille%2520et%2520Vilaine%252C%2520France.pdf

Lee, M., **Choi, I.**, & **Park, K.** (**2002**). Activation of stress signaling molecules in bat brain during arousal from hibernation. *Journal of neurochemistry*, ***82***(4), 867-873.

Limpens, H., & **Kapteyn, K.** (**1991**). Bats, their behaviour and linear landscape elements. *Myotis*, ***29***(6), 63-71.

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. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.11.006

LPO Touraine. (**2015, novembre 2**). Cycle biologique. *LPO Touraine*. https://www.lpotouraine.fr/chauves-souris/cycle-biologique/

Maxime Herve. (**2020**). *RVAideMemoire: Testing and Plotting Procedures for Biostatistics. R package version 0.9-78. https://CRAN.R-project.org/package=RVAideMemoire*.

Melbek, D. (**2020**). *Gîte à chauve-souris*. La Salamandre. https://www.salamandre.org/une-activite/gite-a-chauve-souris/

Nature France. (**2021, avril 29**). *La destruction des habitats*. Nature France. http://naturefrance.fr/la-destruction-des-habitats

Nowicki, F. (**2018**). *Pourquoi les chauves-souris utilisent-elles les bâtiments*. 46.

Parsons, K. N., **Jones, G.**, **Davidson-Watts, I.**, & **Greenaway, F.** (**2003**). Swarming of bats at underground sites in Britain—implications for conservation. *Biological Conservation*, ***111***(1), 63-70. https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00250-1

Plan National d'Actions Chiroptères. (**2016**). https://plan-actions-chiropteres.fr/les-chauve-souris/biologie/cycle-de-vie

QGIS Association. (**2021**). *QGIS Geographic Information System* (3.16.9) [Computer software]. http://www.qgis.org

R Core Team. (**2020**). *R: A language and environment for statistica* (4.0.3) [Computer software]. https://www.R-project.org/

Redman, C. L. (**1999**). *Human Impact on Ancient Environments*. University of Arizona Press.

Ruczyński, I. (**2006**). Influence of temperature on maternity roost selection by noctule bats (Nyctalus noctula) and Leisler's bats (N. leisleri) in Białowieża Primeval Forest, Poland. *Canadian Journal of Zoology*, ***84***(6), 900-907. https://doi.org/10.1139/z06-060

Rueegger, N. (**2016**). Bat boxes — a review of their use and application, past, present and future. *Acta Chiropterologica*, ***18***(1), 279-299. https://doi.org/10.3161/15081109ACC2016.18.1.017

Schmidt, A. (**1988**). Beobachtungen zur Lebensweise des Abendseglers, Nyctalus noctula (Schreber, 1774), im Süden des Bezirkes Frankfurt/O. *Nyctalus (NF)*, ***5***, 389-422.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (**2001**). *Global Biodiversity Outlook 1*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. https://www.cbd.int/gbo1/gbo-pdf.shtml

Silva, R. (**2009**). *Effet des conditions météorologiques sur l'activité de chasse des Chiroptères*.

Simon, M., **Hüttenbügel, S.**, & **Smit-Viergutz, J.** (**2004**). Ecology and conservation of bats in villages and towns. *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz*, ***77***, 1-263.

Speakman, J. R., **Webb, P. I.**, & **Racey, P. A.** (**1991**). Effects of disturbance on the energy expenditure of hibernating bats. *Journal of Applied Ecology*, 1087-1104.

Trimble. (**2021**). *Sketchup*.

Turbill, C., & **Geiser, F.** (**2008**). Hibernation by tree-roosting bats. *Journal of Comparative Physiology B*, ***178***(5), 597. https://doi.org/10.1007/s00360-007-0249-1

Verboom, B., & **Huitema, H.** (**1997**). The importance of linear landscape elements for the pipistrelle Pipistrellus pipistrellus and the serotine bat Eptesicus serotinus. *Landscape ecology*, ***12***(2), 117-125.

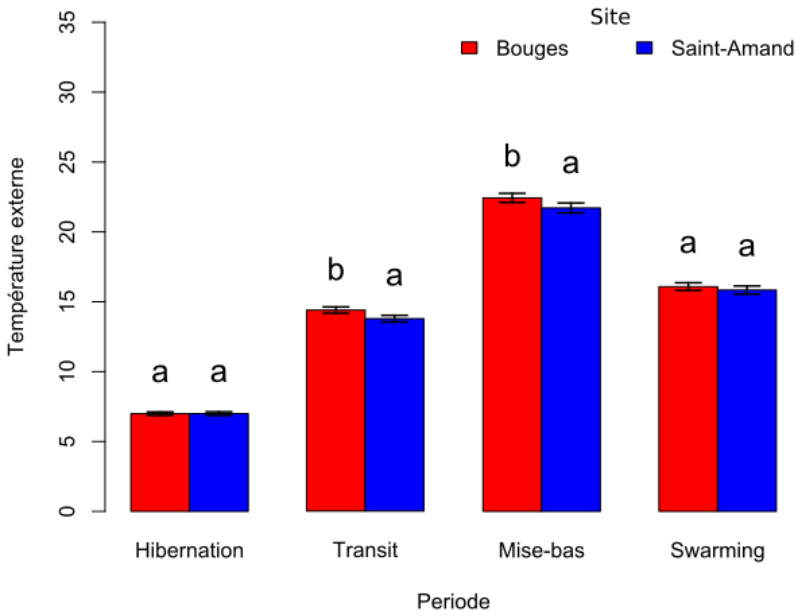
Voigt, C. C., **Phelps, K. L.**, **Aguirre, L. F.**, **Schoeman, M. C.**, **Vanitharani, J.**, & **Zubaid, A.** (**2016**). Bats and buildings: the conservation of synanthropic bats. In *Bats in the*

Anthropocene: conservation of bats in a changing world (p. 427-462). Springer, Cham.

Weigold, H. (**1973**). Jugendentwicklung der Temperaturregulation bei der Mausohrfledermaus, Myotis myotis (Borkhausen, 1797). *Journal of comparative physiology*, ***85***(2), 169-212.

Annexes

Annexe 1 : Comparaison thermique des 2 sites d'étude



Barplot représentant les températures horaires moyennes mesurées dans les deux stations météorologiques des 2 sites d'étude en fonction des périodes. La significativité du test de Wald réalisé est de p= 0.006582 ** pour le site (df=1), p= < 2.2e-16 *** pour la période (df=3). et p= 0.001518 ** pour l'interaction (df=3). R^2=0.45

Les températures horaires des deux sites d'étude sont très significativement différentes entre les différentes périodes. Le site de Bourges a une température moyenne plus élevée que le site de Saint-Amand-Montrond pour les périodes de transit et de mise-bas, ces différences sont inférieures à 1°C.

Annexe 2 : illustrations des étapes d'installation d'un gîte







La dernière illustration représente le gîte un fois l'installation terminée.

Annexe 3 : plans complémentaires des gîtes

Des plans complémentaires sont disponibles auprès du muséum d'Histoire naturelle de Bourges ainsi qu'une notice concernant l'installation des gîtes.

Adresse du muséum : Muséum d'histoire naturelle, Les Rives d'Auron (Parc des expositions), 18000 Bourges.

Annexe 4 : Illustration du système de bâche installé sous les gîtes pour repérer la présence de guano.



Glossaire

Biodiversité ou diversité biologique : Variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes (Hermitte, 1992).

Evènements de surchauffe : Un évènement de surchauffe correspond au dépassement d'une température seuil au sein des gîtes. Dans notre étude, la surchauffe d'un gîte est atteinte lorsque sa température interne dépasse 40°C (Lourenço & Palmeirim, 2004).

Isolation Thermique par l'Extérieur (ITE) : L'Isolation Thermique par l'Extérieure est un procédé d'isolation des bâtiments consistant à apposer un isolant directement sur les façades extérieures des bâtiments. Cet isolant est ensuite généralement recouvert d'un revêtement final, généralement un bardage.

Swarming : Le swarming ou essaimage correspond au regroupement d'individus à l'automne dans des gîtes intermédiaires avant l'hibernation. Ces regroupements peuvent être de tailles importantes. C'est également à ce moment-là qu'ont lieu la plupart des accouplements après des comportements de pariade. Selon les espèces ces comportements peuvent varier, et une période de swarming peut également avoir lieu après l'hibernation, avant que les gîtes d'été soient regagnés (*Plan National d'Actions Chiroptères*, 2016).

Normotherme : Un individu normotherme se trouve en situation de normothermie. La normothermie correspond à la température normale du corps, à laquelle l'activité cellulaire n'est ni stimulée ni ralentie.

Perte d'habitat : La perte d'habitat correspond à la diminution de la surface d'un habitat donné, elle est également liée à la fragmentation de l'habitat qui consiste en la division d'un habitat donné et à l'isolement des fragments résultants de cette fragmentation (Nature France, 2021)

Résistance thermique : La résistance thermique R désigne la capacité d'un matériau ou d'une paroi à s'opposer à la transmission de la chaleur qui la traverse. Elle est exprimée en m². K/W ou m². °C/W. Plus la résistance thermique est grande, plus le matériau est isolant.
La résistance thermique d'une paroi dépend de la conductivité thermique d'un isolant, mais aussi de son épaisseur.

Température critique inférieure (de la zone thermoneutre) : Température à laquelle l'activité métabolique d'un individu est la plus basse alors que l'individu est normotherme (Ruczyński, 2006).

Intégration de gîtes à chiroptères lors de la rénovation thermique des bâtiments : étude de la thermie des gîtes et leur colonisation par *Nyctalus noctula* et *Pipistrellus pipistrellus*

Résumé : La perte d'habitat d'origine anthropique est une des causes du déclin des chauves-souris. Dans le cadre du Plan Climat, 500 000 logements sont chaque année rénovés entraînant une perte d'habitat voire une destruction d'individus pour des espèces anthropophiles occupant les bâtiments comme les Noctules communes et les Pipistrelles communes. L'objectif de cette étude est d'étudier la conception et la colonisation de gîtes de substitution s'intégrant dans les bâtiments afin de fournir des préconisations concernant la mise en place de ces gîtes. Nos résultats nous permettent de valider ce type de gîtes qui ont été colonisés par les deux espèces. Nous avons pu mettre en évidence que les Noctules communes ne recherchent pas les mêmes conditions thermiques tout au long de l'année et il faut par conséquent fournir une offre en gîte suffisante pour répondre à ces besoins et écarter le risque de surchauffe de plus en plus présent dans le cadre du réchauffement climatique. Les éléments de conception des gîtes ont également été étudiés afin d'évaluer dans quelle mesure la conception des gîtes impacte les températures internes qui y sont mesurées. L'installation de gîtes doit être poursuivie pour mieux comprendre comment coïncider au mieux avec les besoins des chauves-souris.
Mots clés : gîtes, chauves-souris, rénovation, température, colonisation

Integration of chiropteran boxes during the thermal renovation of buildings : study of the thermicity of the boxes and their colonisation by *Nyctalus noctula* and *Pipistrellus pipistrellus*

Summary : Anthropogenic habitat loss is one of the causes of the decline of bats. With the Climate Plan, 500 000 buildings are renovated each year, resulting in a loss of habitat and the destruction of individuals for anthropophilic species occupying buildings, such as the Common Noctule and the Common Pipistrelle. The objective of this study is to analyse the design and colonisation of alternative nests that can be integrated into buildings to provide recommendations for the installation of these nests. Our results allow us to approve this type of shelter, which has been colonised by both species. We were able to highlight the fact that Common Noctules do not search for the same thermal conditions throughout the year and that it is therefore necessary to provide a sufficient number of shelters to meet these needs and to avoid the risk of overheating, which is increasingly present in the context of global warming. The design elements of shelters were also to assess the extent to which the design of lodges impacts on the internal temperatures measured in them. The installation of shelters should be continued to better understand how best to coïncide with needs of bats.
Keywords : bat box, bats, renovation, temperature, colonisation