

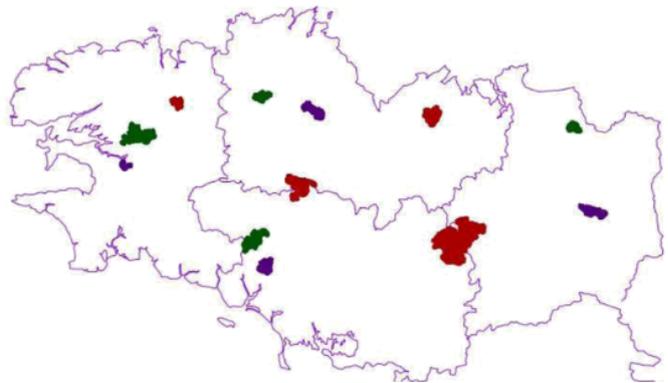
Synthèse des analyses d'évolution de l'activité des chauves-souris dans les forêts bretonnes

période 2014/2020

Contexte et rappel du protocole

Afin que les chauves-souris forestières, impossibles à dénombrer au gîte (cavités d'arbres dispersées), bénéficient d'un suivi des populations, il a été proposé en 2012 d'engager un **suivi temporel** par une méthode indirecte **reposant sur l'enregistrement de leur activité acoustique en forêt**.

Douze forêts ont été suivies en trois points d'enregistrement chacune, durant 7 ans de 2014 à 2020. Chaque enregistrement a été réalisé durant trois nuits consécutives au sol et à hauteur des frondaisons. Une forêt est suivie par mois estival (juin, juillet, août) par département. Pour éviter des variations d'activité liés aux habitats, les stations forestières d'enregistrement choisies le sont dans des milieux le plus stéréotypés et favorables aux chauves-souris forestières possibles : peuplements matures (>80 ans) majoritairement de feuillus, de structure irrégulière, au sous-étage développé. Les 3 postes du même massif sont éloignés d'au moins 1km les uns des autres, et éloignés d'au moins 50m de toute lisière ou allée et d'au moins 250m de points ou cours d'eau.



Département	Forêt ENS	Forêt dom.	Forêt privée
Côtes d'Armor	Bois d'Avaugour	Coat an Noz	La Hunaudaye
Finistère	Bois de Chap	Forêt du Cranou	Coatlosquet
Ille-et-Vilaine	Forêt de la Corbière	Villecartier	Paimpont
Morbihan	Bois de Trémelin	Pont Callek	Quénécan



L'analyse de l'évolution de l'activité de différentes espèces durant cette période au sein de ces douze forêts doit nous renseigner sur la tendance démographique des populations correspondantes. Pour ce faire **nous étudierons statistiquement l'évolution annuelle de cette activité chez 8 chauves-souris** aux affinités forestières plus ou moins marquées, en intégrant à nos analyses les effets de plusieurs covariables (géographiques, saisonnières, stationnelles, ou météorologiques) pour dissocier autant que possible la véritable tendance des différents biais affectant la mesure de l'activité.



Méthode d'analyse

Espèces traitées

Les 8 espèces analysées sont celles aux affinités forestières les plus marquées, pour lesquelles nous disposons d'un échantillonnage suffisant (en quantité de contacts acoustiques attribués) : La Barbastelle d'Europe (BARBAR), le Murin de Natterer (MYONAT), l'Oreillard roux (PLEAUR), le Murin d'Alcathoe (MYOALC), le Murin à oreilles échancrées (MYOEMA), et le Murin à moustaches (MYOMYS), complétées de deux espèces « témoin » moins spécifiques des habitats forestiers : le Grand rhinolophe (RHIFER) et la Pipistrelle commune (PIPCOM).

Quantité d'enregistrements

Durant les 7 années de cette première période d'échantillonnage, **610 nuits complètes d'enregistrements ont été collectées depuis 36 postes dans 12 forêts** (pour un maximum théorique de 756 nuits sans aléas matériels ou autres), ce qui représente approximativement **10 000 heures cumulées d'enregistrement** en considérant la durée des nuits en été en Bretagne.

FORET	POSTE	AOUT	JUILLET	JUIN	Total de nuits période 2014-2020
COAT AN NOZ (22)	22DOMCOAT-01	6	5	6	17
	22DOMCOAT-02	6	3	3	12
	22DOMCOAT-03	3	5	3	11
AVAUGOUR (22)	22ENSAVAU-01	6	6	8	20
	22ENSAVAU-02	6	6	5	17
	22ENSAVAU-03	6	6	8	20
HUNAUDAYE (22)	22PRIHUNA-01	3	9	6	18
	22PRIHUNA-02	6	6	3	15
	22PRIHUNA-03	5	6	6	17
CRANOU (29)	29DOMCRAN-01	4	5	6	15
	29DOMCRAN-02	3	8	6	17
	29DOMCRAN-03	5	0	6	11
BOIS DE CHAP (29)	29ENSCHAP-01	6	3	6	15
	29ENSCHAP-02	6	6	9	21
	29ENSCHAP-03	6	3	4	13
COATLOSQUET (29)	29PRICOAT-01	2	5	6	13
	29PRICOAT-02	3	6	6	15
	29PRICOAT-03	3	6	6	15
VILLECARTIER (35)	35DOMVILL-01	3	6	4	13
	35DOMVILL-02	6	6	6	18
	35DOMVILL-03	6	6	6	18
CORBIERE (35)	35ENSCORB-01	6	6	6	18
	35ENSCORB-02	6	6	9	21
	35ENSCORB-03	5	6	9	20
PAIMPONT (35)	35PRIPAIM-01	6	6	6	18
	35PRIPAIM-02	6	6	6	18
	35PRIPAIM-03	6	5	6	17
PONT CALLEK (56)	56DOMPONT-01	6	6	6	18
	56DOMPONT-02	6	6	6	18
	56DOMPONT-03	3	8	6	17
TREMELIN (56)	56ENSTREM-01	8	4	6	18
	56ENSTREM-02	8	4	9	21
	56ENSTREM-03	5	4	9	18
QUENECAN (56)	56PRIQUEN-01	5	6	6	17
	56PRIQUEN-02	8	6	6	20
	56PRIQUEN-03	8	6	6	20



Mesure de l'activité

La mesure de l'activité acoustique enregistrée consiste à dénombrer les contacts (tranches de 5 secondes avec détection d'au moins 1 cri sonar pour une espèce déterminée) au cours de la nuit. Au vu de la quantité d'ultrasons collectés durant la période, l'identification des espèces de chaque séquence a été faite de manière automatisée uniquement, grâce au logiciel Tadarida [BAS *et al.*, 2017] proposé par le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) sur la plate-forme du protocole VigieChiro, ce qui implique un certain taux d'erreur sur les identifications. Ce taux d'erreur est minimisé par la méthode de dénombrement des contacts proposée par le MNHN [BARRE *et al.*, 2019], et comme il est constant (tous les enregistrements ont été réanalysés par la dernière version de Tadarida en 2021), nous posons le postulat qu'il n'interfère pas sur l'évolution temporelle des activités. La méthode de dénombrement consiste ainsi à additionner, pour chaque nuit, toutes les séquences de 5 secondes (=1 contact) identifiées avec une probabilité supérieure à 50% à une espèce dès lors que cette espèce est au moins identifiée avec une probabilité supérieure à 90% au cours de la nuit.

Analyse statistique

L'analyse de tendance consiste, pour l'activité de chaque espèce, en la construction d'un modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) de loi négative binomiale qui supporte la structure spatiale imbriquée de notre échantillonnage (3 postes de mesures par forêt). En plus de l'effet de l'année sur l'activité qui nous intéresse, sont intégrées les variables de biais, non corrélées entre elles, les plus significatives identifiées lors des études précédentes [DUBOS, 2019] ou de nos propres tests : la longitude, le recouvrement du sous-étage (P_REC_SSETAGE), l'éloignement de la lisère la plus proche (P_DIST_LISIÈRE), l'éloignement de l'eau (P_DIST_EAU), l'éloignement de la route la plus proche (P_DIST_ROUTE), la surface du massif forestier (F_AIRE_REELLE), la proportion de zones ouvertes au sein du massif (F_PROPORTION_ZONES_OUVERTES), les températures minimale (MIN) ou moyennes (MEAN) du jour, les précipitations cumulées du jour (PRECIP) et le jour de l'année de l'enregistrement (JOUR) et son effet quadratique (étant donné que la relation entre l'activité et le jour de l'année est généralement avec une inflexion et non linéaire).

Pour chaque espèce, l'activité fait donc l'objet d'un modèle initial complet avec toutes ces variables, qui est réduit (méthode de réduction des valeurs d'AIC), pour ne conserver que la tendance annuelle et les covariables les plus explicatives.

Ces résultats sont, en définitive, exprimés pour chaque espèce par la valeur de la tendance sur la période, une représentation graphique de celle-ci, les éventuels effets des covariables (positif/négatifs et significativité) et éventuelles inflexions des effets de l'année ou du jour.



Résultats

Pour les résultats présentés ci-après, la significativité des effets est classée selon les codes suivants :
 *** : $\alpha < 0,001$; ** : $\alpha < 0,01$; * : $\alpha < 0,05$; - : $\alpha < 0,1$; NS : non significatif

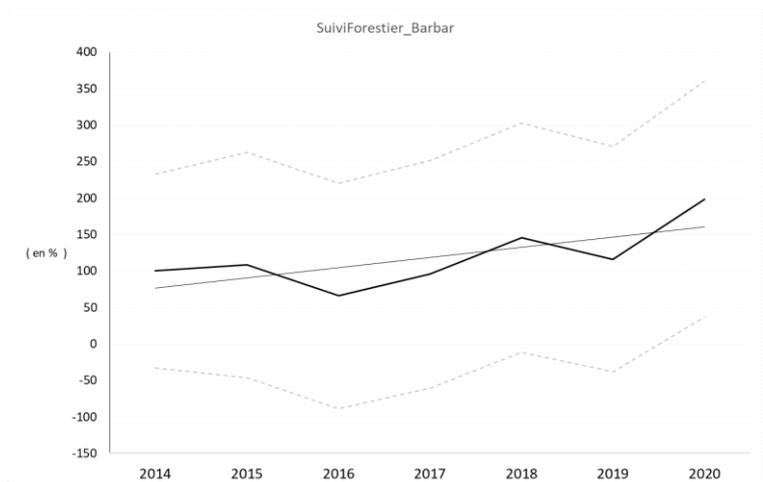
Notre premier résultat, très important, a été de mettre en évidence que l'activité enregistrée à hauteur des frondaisons était significativement inférieure à celle enregistrée en sous-bois (à hauteur d'homme) pour les 6 espèces à affinités forestières traitées. Seule la Pipistrelle commune avait une activité significativement plus importante en hauteur.

Par conséquent, **pour notre travail sur l'évolution temporelle de l'activité des chauves-souris forestières, seule sera traitée la mesure d'activité faite avec le micro en sous-bois.**

Ce résultat interroge notre protocole de suivi pour la suite, puisque le micro à hauteur des frondaisons complique sensiblement la mise en œuvre des enregistrements (matériel stéréo, mats, câbles...).

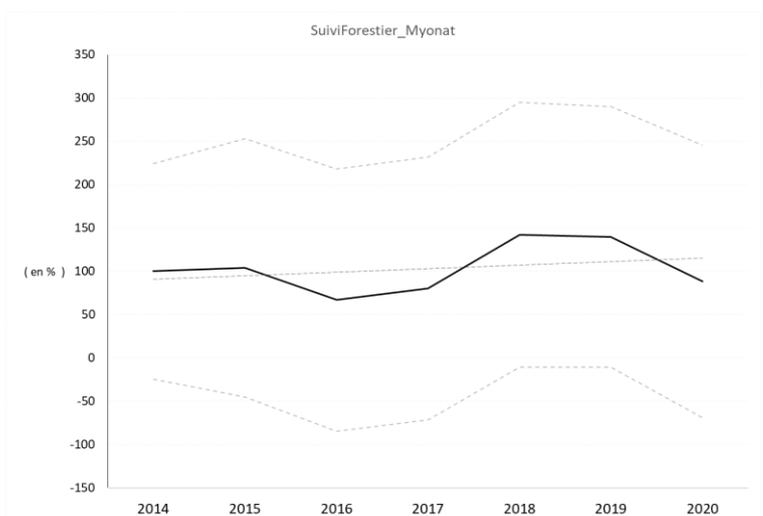
Barbastelle d'Europe

- Tendence : croissance annuelle de 7,01 % (**) de l'activité sans inflexion (*pas d'effet quadratique de l'année*)
- Effet du jour : activité croissante (**) en fonction du jour avec inflexion négative (***) au cours de l'été
- Effet de la météo : activité croissante (**) avec la température moyenne du jour
- Autres effets : effet négatif (NS) du recouvrement du sous étage sur l'activité



Murin de Natterer

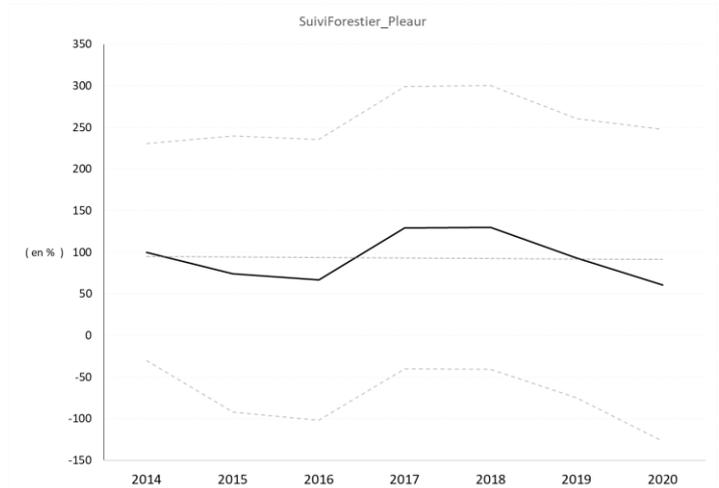
- Tendence : croissance annuelle de 4,84 % peu significative (-) de l'activité sans inflexion Effet du jour : effet positif mais non significatif (NS) du jour sur l'activité
- Effet de la météo : activité décroissante (**) avec les précipitations quotidiennes
- Autres effets : effet positif (NS) de la proportion des zones ouvertes sur l'activité



Oreillard roux

- Tendance : aucune tendance significative détectée sur la période
- Effet du jour : activité croissante (***) en fonction du jour avec inflexion négative (*) au cours de l'été
- Effet de la météo : activité croissante (*) avec la température moyenne du jour
- Autres effets : aucun autre effet significatif détecté sur l'activité

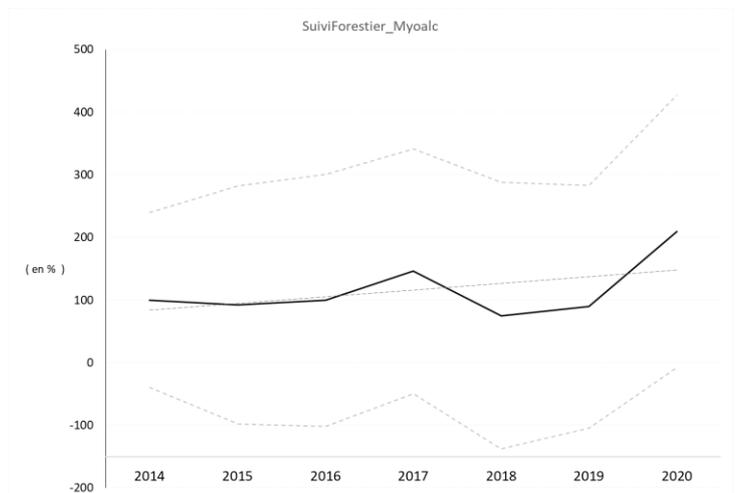
Pour cette espèce, l'échantillonnage semble insuffisant pour détecter de manière robuste la tendance. La période de suivi mériterait d'être allongée



Murin d'Alcathoe

- Tendance : aucune tendance significative détectée sur la période
- Effet du jour : pas d'effet significatif
- Effet de la météo : activité décroissante (NS) avec les précipitations quotidiennes
- Autres effets : effet négatif (NS) de la proportion des zones ouvertes sur l'activité

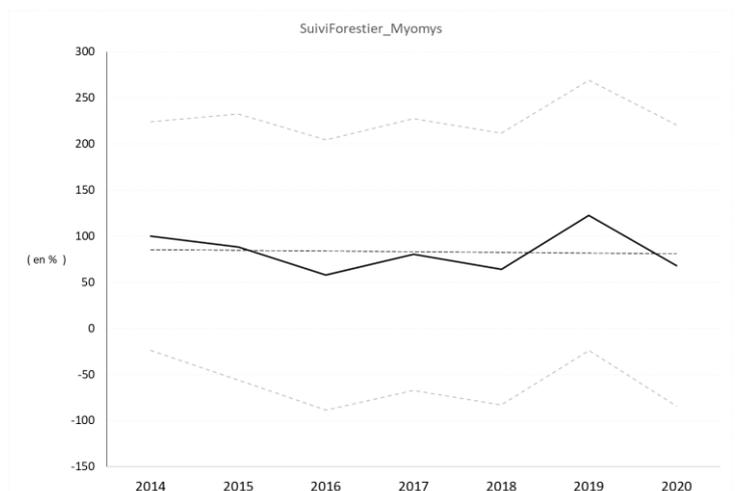
Pour cette espèce, l'échantillonnage semble insuffisant pour détecter de manière robuste la tendance. La période de suivi mériterait d'être allongée



Murin à moustaches

- Tendance : stabilité (+0,03%) non significative (NS) sur la période ?
- Effet du jour : activité croissante (-) en fonction du jour avec inflexion négative (*) au cours de l'été
- Effet de la météo : activité décroissante avec les précipitations quotidiennes (**) et la température minimale du jour (**)
- Autres effets : effet négatif (*) de la proportion des zones ouvertes sur l'activité

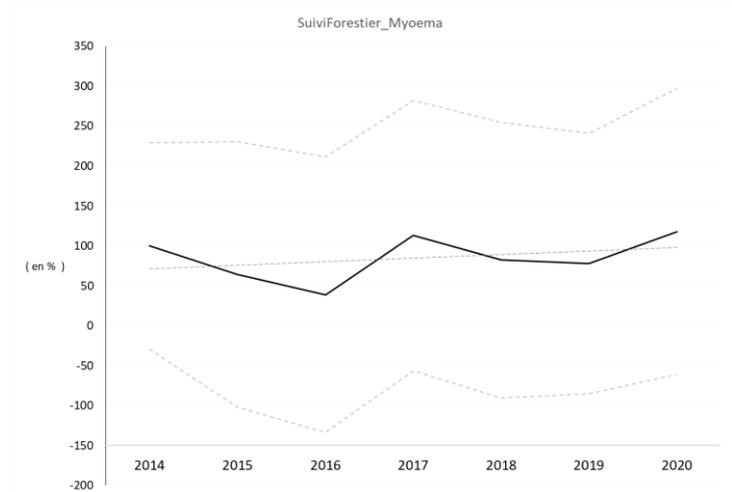
Pour cette espèce, l'échantillonnage semble insuffisant pour détecter de manière robuste la tendance. La période de suivi mériterait d'être allongée



Murin à oreilles échanrées

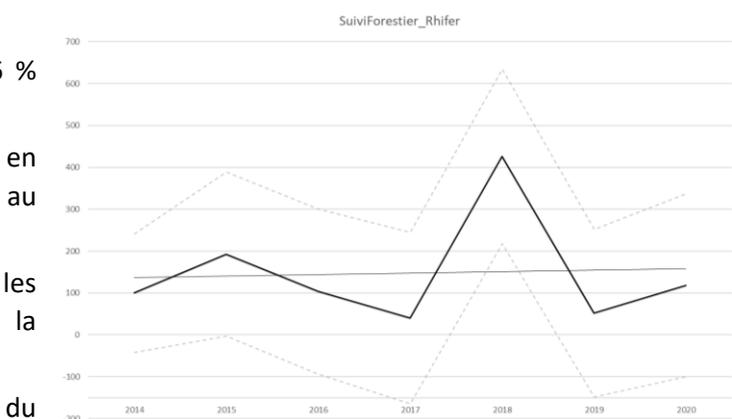
- Tendance : aucune tendance significative détectée sur la période
- Effet du jour : pas d'effet significatif
- Effet de la météo : pas d'effets significatifs des variables météo détectés
- Autres effets : aucun autre effet significatif détecté

Pour cette espèce, l'échantillonnage semble insuffisant pour détecter de manière robuste la tendance. La période de suivi mériterait d'être allongée



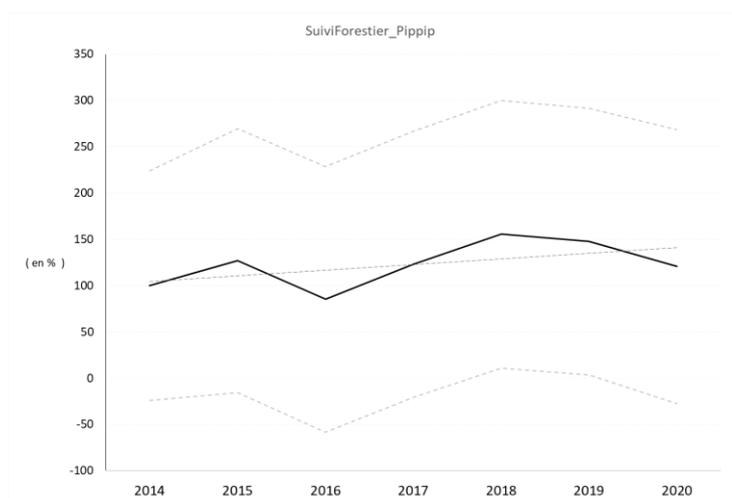
Grand rhinolophe

- Tendance : décroissance annuelle de 12,26 % peu significative (-) sans inflexion
- Effet du jour : activité croissante (ND) en fonction du jour avec inflexion négative (-) au cours de l'été
- Effet de la météo : activité croissante avec les précipitations quotidiennes (NS) et la température minimale du jour (NS)
- Autres effets : effet négatif (NS) de la surface du massif forestier sur l'activité



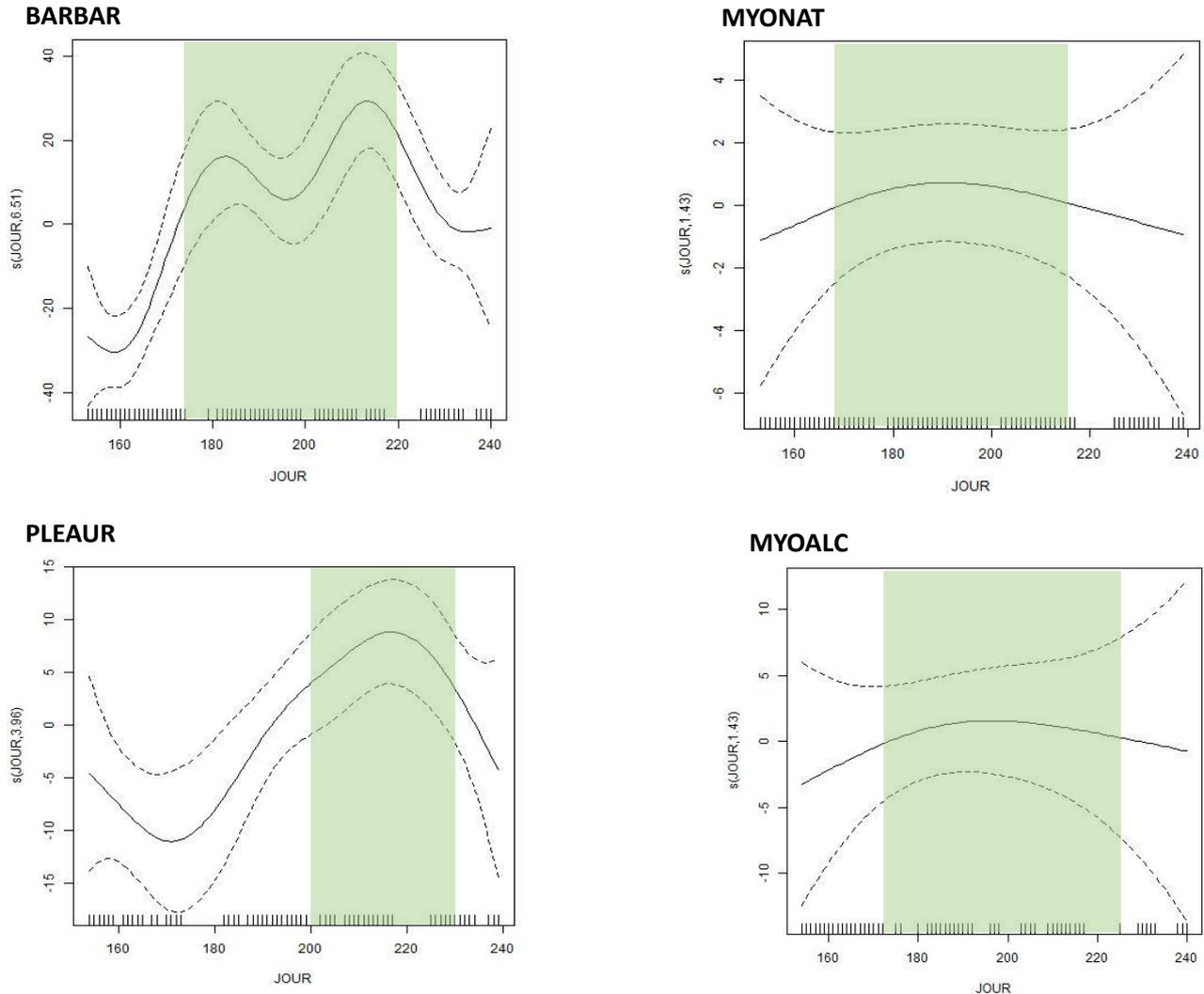
Pipistrelle commune

- Tendance : croissance annuelle de 6,37 % (*) de l'activité sans inflexion
- Effet du jour : activité croissante (-) en fonction du jour avec inflexion négative (*) au cours de l'été
- Effet de la météo : activité décroissante avec les précipitations quotidiennes (**) et croissante avec la température minimale du jour (-)
- Autres effets : effet négatif (***) de la proportion des zones ouvertes sur l'activité



Période optimale de suivi

En vue de reconduire et améliorer le protocole de suivi des espèces forestières, et au vu de nos analyses qui montrent un effet du jour de l'enregistrement sur l'activité de la plupart des espèces, nous avons exploré ces effets journaliers plus en détail à l'aide de modèles additifs généralisés (GAM).



Pour les 4 espèces à l'affinité forestière la plus marquée, la recherche de la période optimale (avec une activité forte, mais surtout la variation la moins importante de l'activité), montre une certaine disparité entre espèces avec des périodes optimales de mi-juin à mi-août, en juillet et début août, de fin juillet à fin août...

La période optimale pour toutes les espèces semble donc être entre le 15 juillet et le 15 août (qui correspond aussi, biologiquement à la période d'allaitement chez beaucoup d'espèces) **pour un suivi de l'activité des espèces forestières**. Néanmoins, il peut paraître délicat de parvenir à réaliser le suivi de 3 forêts par département, avec des conditions météorologiques propices, dans un délai aussi resserré. Dans cette optique, nous avons exploré l'effet « saisonnier » par mois, et non plus par jour, et il en ressort que seul le mois de juin montre un effet significatif (négatif) sur l'activité de l'ensemble des chauves-souris forestières. Un suivi élargi aux mois de juillet et août pourrait alors aussi être envisagé.



Synthèse

La synthèse des résultats présentés en détail plus haut est proposée dans le tableau suivant :

Espèce	Affinité forestière	Tendance 2014-2020	Effet du jour	Effet de la Température	Effet des précipitations	Effets stationnels
Murin de Natterer	très forte	➔ (-)	↗ (NS)	/	- (**)	proportion des zones ouvertes sur l'activité : + (NS)
Barbastelle d'Europe	très forte	➔ (**)	↻ (**)	+ (**)	/	recouvrement du sous étage sur l'activité : - (NS)
Oreillard roux	très forte	?	↻ (***)	+ (*)	/	/
Murin d'Alcathoe	très forte	?	/	/	- (NS)	proportion des zones ouvertes sur l'activité : - (NS)
Murin à moustaches	forte	➔ (NS)	↻ (*)	- (**)	- (**)	proportion des zones ouvertes sur l'activité : - (*)
Murin à oreilles échanquées	forte	?	/	/	/	/
Grand rhinolophe	moyenne	➔ (-)	↻ (NS)	+ (NS)	+ (NS)	surface du massif forestier sur l'activité : - (NS)
Pipistrelle commune	moyenne	➔ (*)	↻ (-)	+ (-)	- (**)	proportion des zones ouvertes sur l'activité : - (***)

Significativité des résultats : *** : $\alpha < 0,001$; ** : $\alpha < 0,01$; * : $\alpha < 0,05$; - : $\alpha < 0,1$; NS : non significatif

Les résultats du suivi de l'activité des chauves-souris dans les forêts bretonnes entre 2014 et 2020 indiquent donc que deux espèces très forestières, la Barbastelle d'Europe et le Murin de Natterer, semblent montrer une tendance positive, ainsi qu'une espèce plus ubiquiste, la Pipistrelle commune. A l'inverse, l'activité du Grand rhinolophe a baissé en forêt durant cette même période. Pour les quatre autres espèces étudiées, le suivi réalisé ne permet pas encore de dégager de tendance significative, et une poursuite des enregistrements devrait être envisagée pour en savoir plus.

Pour les deux espèces forestières pour lesquelles se dégage une tendance (favorable en l'occurrence), la question se pose de savoir si on assiste, au cours de cette période, à une démographie positive ayant sensiblement renforcé les populations actives en forêt, ou alors s'il s'agit d'un déplacement de l'activité depuis des zones plus perturbées au sein des massifs, ou même depuis l'environnement des massifs vers les forêts. En effet, les tendances de la Pipistrelle commune ou du Grand rhinolophe sont informatives à ce titre puisque, pour la première la tendance d'évolution régionale de l'activité ne montre pas d'accroissement en dehors des forêts [DUBOS *et al.*, 2016], et que pour le second, on constate même un accroissement des populations en Bretagne [BARBOSA & DUBOS, 2022] en parallèle de la baisse d'activité en forêt.

Il ressort aussi de ces analyses que, malgré un protocole qui visait des conditions météorologiques favorables d'enregistrement, ce biais n'est pas complètement maîtrisé puisque les températures et les précipitations ont un quand même un effet sensible sur l'activité de bon nombre d'espèces.



L'évolution des stations forestières doit aussi inviter à la prudence dans nos interprétations. En effet, si la stabilité des boisements des postes d'enregistrements durant 10 ans était une des conditions du protocole de suivi, quelques stations n'ont pas été complètement exemptes de toute intervention (éclaircies, coupes ponctuelles) ou de travaux dans les parcelles adjacentes. Il est donc possible que les modifications de l'activité constatées soient en partie dues à ces interventions sylvicoles.

La période d'échantillonnage affecte également la mesure de l'activité de la plupart des espèces, et notre protocole avec des enregistrements en juin, juillet et août n'est donc pas exempt de toute variabilité saisonnière. Un resserrement de la période de suivi entre le 15 juillet et le 15 août, ou à défaut en juillet et août, permettrait de mieux lisser cette variation de l'activité au cours de l'été.

Les autres biais sont relativement bien maîtrisés, puisque si quelques variations entre postes ou forêts échantillonnées apparaissent, elles deviennent non significatives en comparaison de l'évolution de l'activité dans le temps pour la plupart des espèces, et notamment les forestières.

Perspectives

Nos résultats démontrent l'intérêt de poursuivre et reconduire le protocole de suivi de l'activité des chauves-souris forestières en Bretagne. En effet, l'évaluation de l'évolution de l'activité est aujourd'hui possible pour 4 espèces dont deux des espèces aux affinités les plus forestières de la région, et semble également permise à condition de compléter l'échantillonnage pour 2 à 4 espèces supplémentaires à termes.

Le détail des analyses permet par ailleurs un ajustement du protocole : enregistrement uniquement à hauteur d'Homme en sous-bois, période d'enregistrement resserrée à juillet – août (idéalement du 15 juillet au 15 août).

Une interrogation demeure néanmoins sur la causalité de l'évolution constatée de l'activité des espèces les plus forestières : connaît-on un déplacement de l'activité de ces espèces vers les milieux forestiers particuliers (peuplement feuillus mûres avec un sous-étage développé) ou alors assiste-t-on à la conséquence d'une évolution démographique de ces populations. Les perspectives de travaux pour éclaircir cette interrogation doivent donc être explorées et interrogées vis-à-vis d'autres travaux conduits en Bretagne ou en France. La réflexion autour de la reconduction du suivi des chauves-souris forestières en Bretagne devra apporter une réponse et une perspective à ce sujet.

Références

- BARBOSA E. & DUBOS T. (2022). Synthèse des analyses d'évolution des populations de chiroptères dénombrées au gîte en Bretagne - période 1988/2020 (Observatoire des Mammifères de Bretagne). Rapport, Groupe Mammalogique Breton, Sizun, 11 p.
- BARRE K., LE VIOL I., JULLIARD R., PAUWELS J., NEWSON S.E., JULIEN J.F., CLAIREAU F., BAS Y., KERBIRIOU C., 2019. Accounting for automated identification errors in acoustic surveys. *Methods in Ecology and Evolution*
- BAS, Y., BAS, D., & JULIEN, J. F. (2017). Tadarida: a toolbox for animal detection on acoustic recordings. *Journal of open research software*, 5(1).
- DUBOS T., coord. (2016). Observatoire des Chauves-souris de Bretagne. Bilan final. Rapport, Groupe Mammalogique Breton, Bretagne Vivante, 35 p.
- DUBOS T., in SIMONNET F., coord. (2019). Observatoire des Mammifères de Bretagne - Bilan d'activité 2018. Groupe Mammalogique Breton, Sizun, 18 p. + annexes.

