



RAPPORT TECHNIQUE PIÈGES PHOTOS



Observatoire ORCHAMP - Laboratoire d'Ecologie Alpine (LECA)



Résumé

Le programme ORCHAMP a équipé en 2021 deux de ses gradients, Chamrousse et Pinsot, avec des caméras à détection de mouvement. L'objectif est de réaliser un suivi écologique de la faune sauvage des étages montagnards alpins, en estimant la richesse spécifique, l'abondance des populations et la diversité des communautés présentes sur les gradients. Avant de déployer à court terme le dispositif sur les gradients visités lors des campagnes de terrain annuelles d'ORCHAMP, il était nécessaire de déterminer un nombre de caméras à installer par placette, ainsi que la durée de fonctionnement des appareils. Le test mené en 2021 sur les deux gradients a permis de montrer que la mise en place de deux pièges par placette semble un excellent compromis entre observation représentative de la diversité réelle du gradient, quantité de données collectées et temps investi. De plus, nous avons pu montrer qu'une installation entre mi-juin et mi-juillet, avec un temps de prise de vue compris entre deux et trois mois, permettrait d'observer la plupart des espèces présentes sur les gradients tout en estimant avec précision leur abondance et la diversité.

Mots-clés

Piège photographique – ORCHAMP – Diversité – Faune alpine – Gradient - Placette

Auteurs/Contributions

Ce rapport a été rédigé par Guillaume TERPEREAU dans le cadre d'un stage de césure au sein du LECA, sur le tri/annotation/analyses statistiques des photographies et rédaction des rapports.

Version décembre 2021

Nous remercions, pour leur participation à ce projet et à la rédaction de ce rapport :

Lise BALAGUER¹, Marine CHALLAMEL³, Nathan DAUMERGUE¹, Sébastien DE DANIELI¹, Anne DELESTRADE², Adeline FRANÇOIS¹, Maya GUÉGUEN³, Georges KUNSTLER¹, Sophie LABONNE¹, Nicolas LE GUILLARME³, Clément LIONNET³, Vincent MIELE⁴, Marc OHLMANN³, Giovanni POGGIATO³, Julien RENAUD³, Amélie SAILLARD³, Pascal TARDIF¹, Guillaume TERPEREAU³, Wilfried THUILLER³

¹ Laboratoire Ecosystèmes et Sociétés en Montagne (LESSEM, INRAe, Grenoble)

² Centre de recherche sur les écosystèmes d'altitude (CREA Mont-Blanc, Chamonix)

³ Laboratoire d'écologie alpine (LECA, Grenoble)

⁴ Laboratoire de biométrie et biologie évolutive (LBBE, Lyon)



Table des matières

Résumé	2
Mots-clés	2
Auteurs/Contributions	2
Introduction	4
Protocole	4
Dispositif expérimental	4
Fonctionnement d'un piège photographique	4
Installation des appareils	5
Choix des réglages des appareils	6
Problèmes rencontrés	6
Traitement des images	6
Annotation des images et identification des espèces	6
Les photographies en quelques chiffres	7
Quelques considérations écologiques	8
Structure des communautés	8
Etude de l'influence humaine sur la présence des espèces	12
Analyses statistiques	12
Influence du nombre de caméras sur la richesse spécifique et la diversité	13
Evolution temporelle de la richesse spécifique et de la diversité	15
Détermination de la période d'échantillonnage	17
Discussion	20
Conclusion	22
Annexes	23
Annexe 1 : caractéristiques des sites d'installation des pièges photographiques	23
Annexe 2 : arbre phylogénétique des taxons observés	24
Annexe 3 : évolution de la richesse spécifique selon la date d'installation	25
Annexe 4 : évolution mensuelle de la présence des espèces	27



Introduction

Dans le cadre de l'observatoire ORCHAMP, en coopération avec le LESSEM (INRAe Grenoble), le Laboratoire d'Ecologie Alpine (LECA) a installé pour la première fois en 2021 des caméras infrarouges à détection de mouvement sur deux gradients des Alpes françaises. Ce programme a été financé par l'Office Français de la Biodiversité (OFB).

L'objectif de ce dispositif est d'estimer la diversité d'espèces présente dans ces biotopes montagnards. 2021 constitue par ailleurs une année « test » : l'analyse des images récoltées doit permettre d'identifier le nombre de caméras nécessaire pour observer une diversité représentative, ainsi que les périodes idéales d'installation et la durée de prise de vue.

A terme, ce programme sera étendu à l'ensemble des gradients ORCHAMP, et devra permettre de réaliser un suivi des populations et des communautés des grands vertébrés (mammifères et oiseaux) sur l'ensemble des Alpes françaises. Tous les sites n'étant pas visités chaque année, seuls ceux faisant l'objet d'une campagne d'échantillonnage intensive (et non d'un suivi régulier) seront équipés de pièges photographiques, avec un dispositif tournant d'année en année. Un partenariat avec le Centre de Recherche sur les Ecosystèmes d'Altitude (CREA) de Chamonix permet également de disposer de données sur trois gradients de la vallée d'Arve. Enfin, l'intégration de gradients pyrénéens au programme ORCHAMP depuis 2021 va également enrichir le dispositif de données dans un nouveau massif situé en-dehors des Alpes.

I. Protocole

1. Dispositif expérimental

Deux gradients de l'observatoire ORCHAMP, Chamrousse et de la Forêt du Bout, situés dans les Alpes iséroises dans le massif de Belledonne, ont été choisis pour installer les caméras. Au total, 28 appareils ont été répartis sur 11 placettes du dispositif ORCHAMP : 6 placettes avec 3 appareils à Chamrousse, et 5 placettes avec 2 appareils à Pinsot. Un tableau avec les caractéristiques des différents sites est présenté en annexe 1. Le dispositif s'étendait ainsi en 2021 sur un gradient altitudinal de 1240 m à 2180 m d'altitude.

L'installation des caméras a été effectuée entre fin mai et début juillet (sur une période s'étalant du 28/05/2021 au 06/07/2021). Un contrôle visant à vérifier le bon fonctionnement des appareils, ainsi qu'à changer les cartes SD (dans le cas où celles-ci étaient saturées), a été mené courant septembre. Enfin, les appareils ont été retirés entre mi et fin octobre. Ils ont ainsi été laissés sur site durant une période de 4 mois environ, pour un effort d'échantillonnage total de 3 184 jours-caméras, soit une moyenne de 177 jours-caméras par appareil. A noter que l'appareil CHAM42 a été volé ; sa période d'échantillonnage s'arrêtant donc au 09/09/2021.

2. Fonctionnement d'un piège photographique

Le mode de fonctionnement des pièges photographiques est basé sur une détection infrarouge du mouvement, via deux mécanismes. Premièrement, le passage d'un animal devant l'appareil va bloquer un certain nombre des rayons infrarouges émis par le capteur. De plus, la température corporelle de l'animal différant de celle du milieu ambiant, ceci indique là-aussi la présence de



l'animal dans le champ de vision de la caméra. Avec ces deux informations, l'appareil se déclenche et prend alors une série de trois photos (selon les réglages choisis par le LECA au moment de l'installation).

Durant cette campagne, deux modèles d'appareils ont été utilisés (Tableau 1).

Marque	Browning	Bolyguard
Modèle	Spec OPS ELITE HP4	SG2060-X
Vitesse de déclenchement	0.1 à 0.7s	< 1s
Résolution image	22 MP	14, 25, 36 MP
Etendue de détection	80 ft (24.4 m)	100 ft (30.5 m)
Délai entre 2 prises de vue	0.5 s	Non renseigné
Séquence programmable après 1 ^{er} déclenchement	Jusqu'à 8 photos	Non renseigné
Capacité carte SD	Jusqu'à 512 GB	Jusqu'à 64 GB
Batterie	8 AA	8 AA
Poids (sans batterie)	Non renseigné	250 g
Dimensions	127 x 89 x 51 mm	140 x 80 x 50 mm

Tableau 1 Caractéristiques techniques des pièges photographiques

Tous les appareils installés sur le gradient de Chamrousse étaient de marque Browning, tandis qu'un appareil de chaque marque a été placé sur chacune des placettes du gradient de Pinsot. Ainsi, les cinq appareils suivants étaient de la marque Bolyguard : BOUT11, BOUT21, BOUT31, BOUT42, BOUT52.

3. Installation des appareils

Afin de détecter une diversité importante d'animaux, il est indispensable d'identifier des sites fréquentés par les communautés. Les sites recherchés sont des sentes situées à l'écart des sentiers empruntés par les humains. Elles sont en général facilement repérables. Les « passages forcés », situés entre des barres rocheuses obligeant les animaux à emprunter ces sentes, constituent ainsi d'excellents emplacements pour poser des pièges photographiques.

Une fois ces lieux de passage de la faune repérés, il faut déterminer l'endroit où poser l'appareil pour prendre des photos optimales des animaux, ainsi qu'un support de fixation. En pratique, les pièges photographiques sont installés sur des troncs d'arbres ou bien fixés à des rochers. Afin de les rendre discrets et de les protéger, à la fois vis-à-vis de la faune mais aussi des possibles fréquentations humaines, ils sont le plus souvent contenus dans un boîtier métallique. Celui-ci est verrouillé par un cadenas et rattaché à un câble entourant le tronc de l'arbre. Les boîtiers étaient toujours vissés dans le tronc ou la roche afin de les maintenir le plus immobile possible. De plus, un camouflage avait été élaboré à l'aide de morceaux de mousse placés sur les boîtiers et les câbles des cadenas.

Les caméras ont été disposées de telle sorte qu'elles aient toutes un champ de vision différent, dans le but d'observer la plus grande diversité possible de milieux et donc d'espèces. Le positionnement des caméras a été fait en respectant un schéma de triangle sur les placettes, de telle sorte que chaque appareil soit, dans la mesure du possible, à égale distance du centre de la placette. Les pièges ont ainsi été disposés aux limites extérieures de chaque placette, leur objectif visant si possible en-dehors de l'aire du plot. En priorité, si une sente était repérable, un piège était installé à proximité de celle-ci, avec une orientation de profil aux 3/4 soit environ 67°.



Les caméras étaient ainsi toujours orientées de biais et non perpendiculairement par rapport aux sentes, afin de saisir l'animal en entier et non seulement son flanc. La hauteur de fixation au support est généralement proche de 50 cm (hauteur de genou), et à une distance d'une dizaine de mètres de la sente, ou du point de prise de vue ciblé. L'inclinaison des caméras est très faible, les appareils étant disposés à la verticale, ou alors inclinés afin de corriger la pente de la placette. Ces réglages permettent à la fois de capter une partie des micromammifères en visant le sol, tout en ayant un large champ de vision pour capturer la mégafaune comme les cerfs. Il faut cependant préciser que le principal facteur conditionnant le choix du site d'implantation des appareils reste la disponibilité en support (tronc d'arbre ou rocher).

Enfin, un dernier paramètre concerne la profondeur de champ des appareils. En effet, afin d'homogénéiser le protocole d'installation, il serait intéressant d'établir une profondeur de champ standard, de façon à ce que tous les pièges puissent a priori déclencher dans des conditions identiques en négligeant les caractéristiques du milieu. A noter qu'étant donnée l'étendue de détection limitée des pièges (cf. Tableau 1), une grande profondeur de champ n'a aucune utilité pratique.

Schéma explicatif ?

4. Choix des réglages des appareils

- o Formater les cartes SD sur l'ordinateur et bien vérifier qu'elles ne sont pas verrouillées
- o Allumer piège, insérer carte SD
- o Cliquer sur MODE puis CAMERA SETUP
 - o SET/UP data time mettre date (attention mois puis jour) et heure UTC
 - o OPERATION MODE : time laps plus
 - o PHOTO QUALITY : mettre high (12MP)
 - o PHOTO DELAY on met 1s
 - o MULTI SHOT MODE : 3 shot standard
 - o TEMP UNIT : Celsius
 - o IMAGE DATA STRIP : on
 - o MOTION TEST : off
 - o MOTION DETECTION : normal range
 - o BATTERY TYPE : lithium
 - o TRIGGER TYPE : fast
 - o TIMELAPS FREQ : 60 min
 - o TIMELAPS PERIOD : 1 HOUR
 - o DEFAULT SETTINGS : permet de remettre les paramètres initiaux
 - o IR FLASH POWER : economy
 - o SD MANAGEMENT : off
 - o CAPTURE TIMER : off
- o Sur place
 - o Nommer la caméra Plot code – plot numéro- numéro caméra installé sur plot.
Ex CHAM-31= Chamrousse- plot 3- caméra 1
 - o DELETE ALL : pour formater carte SD



5. Problèmes rencontrés

Quelques problèmes techniques sont survenus durant la période de prise de vue sur le terrain. En effet, plusieurs appareils ont vu leurs cartes SD saturer, ayant atteint le nombre maximal de photographies stockables dans la mémoire. Ce phénomène est dû à des déclenchements intempestifs des appareils, provoqués par le vent induisant des mouvements de végétation devant l'objectif, ou encore par un détachement du camouflage du boîtier venant se déplacer devant l'objectif. Au total, trois cartes ont été saturées. Cependant, il est difficile d'anticiper un tel problème : en effet, certaines caméras, pourtant placées face à des branches, n'ont que très peu de photos « vides », alors que d'autres pièges ont plus de 9 000 images « vides » dans une configuration similaire ! Il ne semble donc pas y avoir d'explication claire, et nous pouvons également envisager un dysfonctionnement de l'appareil.

L'un des appareils avait également été mal paramétré lors de son installation, ce qui a entraîné une erreur de réglage de la date et de l'heure des prises de vue. Enfin, nous avons constaté le vol de l'appareil CHAM42 lors de notre campagne de retrait des pièges.

Le choix des sites d'installation des appareils doit donc se faire en tenant compte du risque de saturation des cartes mémoire. Il est préconisé d'effectuer un débroussaillage du site, visant à tailler la végétation à proximité du champ de vision de l'appareil, en anticipant sa croissance. De plus, il est important de bien vérifier que l'ensemble des paramètres de réglages sont bien effectués lors de la mise en place des caméras.

II. Traitement des images

1. Annotation des images et identification des espèces

Une fois les images extraites des cartes SD, elles ont été copiées sur différents disques durs pour stockage, puis annotées manuellement via le logiciel digiKam. Les rangs taxonomiques suivants ont été indiqués dans les métadonnées : Classe, Ordre, Famille, Genre, Espèce (voir annexe 2 pour la liste précise des taxons observés).

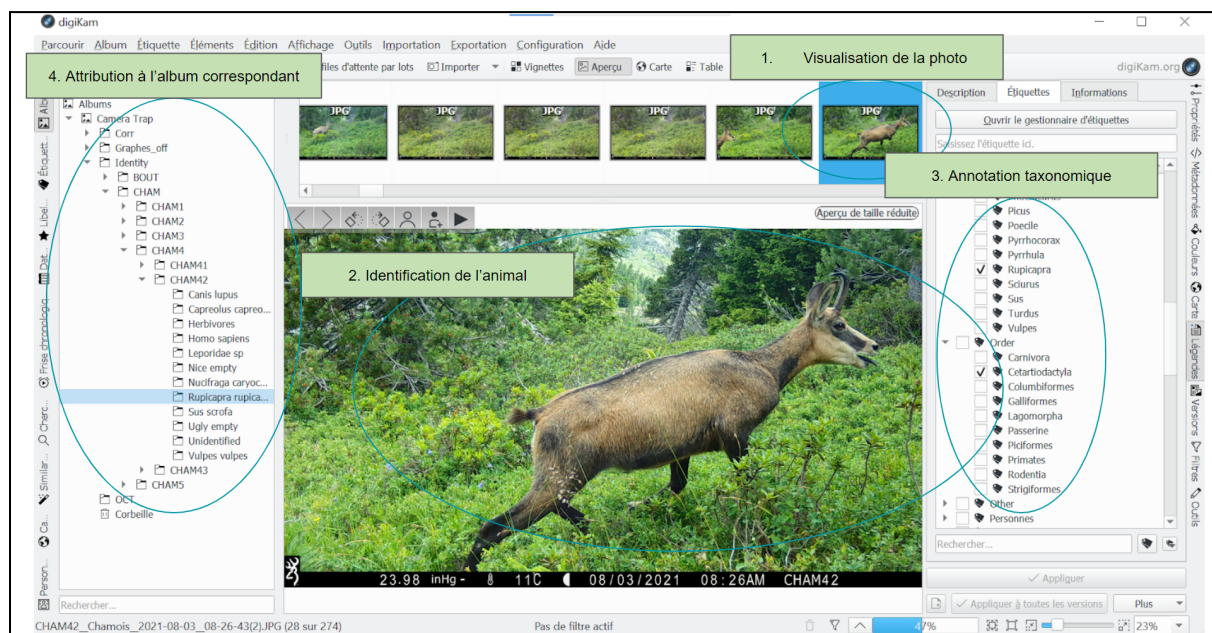


Figure 1 Méthodologie d'annotation des images de pièges photographiques sur le logiciel digiKam

Les animaux observés sur les photographies étaient donc annotés avec la plus grande précision possible, selon la configuration suivante :

- Lorsque cela était possible, les individus observés étaient identifiés au niveau spécifique. Le nombre d'individus présents n'a pas été comptabilisé.
- Dans le cas contraire, nous remontions au rang taxonomique supérieur le plus précis.
- Dans le cas où ce rang taxonomique contenait déjà d'autres espèces et que sa seule indication aurait été ambiguë, nous avons créé une espèce supplémentaire notée « Taxonomic group *sp* ».
- Dans le cas où le rang taxonomique identifiable le plus précis était l'ordre ou la classe, les individus ont été classés dans un groupe supplémentaire. Cela concerne : « Birds » (oiseaux non identifiés), « Herbivores » (grands herbivores : bouquetins, cerfs, chamois ou chevreuils, non identifiés), « Rodents » (petits rongeurs non identifiés).

Concernant les photos où les animaux étaient peu visibles et par conséquent non identifiables avec certitude, soit du fait de la faible luminosité, soit du fait de l'éloignement à l'appareil, la photo était classée dans la catégorie « Unidentified ». Enfin, les images vides étaient séparées et classées dans une catégorie « Empty ».

L'identification s'est faite à l'œil nu, en utilisant les séquences d'images afin d'avoir une plus grande précision sur le diagnostic apporté. Cet aspect est notamment utile face à d'autres outils comme les logiciels de reconnaissance automatique, qui analysent quant à eux les images individuellement.



Pour la suite des analyses, nous avons indiqué l'homme (*Homo sapiens*) et le chien (*Canis familiaris*) comme étant le témoin d'une présence humaine. Ces deux espèces, ne constituant de plus pas les espèces cibles du suivi par piège photographique, ont donc été exclues des calculs et indiquées séparément.

2. Les photographies en quelques chiffres

Tableau 2 Nombre d'images et proportion de « vide » sur les gradients échantillonnés

Gradient	Nombre d'images	Dont « vides »
Chamrousse	44 240	66%
Bout/Pinsot	19 588	79%
Ensemble	63 839	70%

Sur l'ensemble des deux gradients étudiés cette année, 63 839 photos ont été prises par les appareils, avec une proportion très importante de photos dites « vides » (tableau 2). Comme évoqué auparavant, ce problème est lié à un déclenchement intempestif de l'appareil.

III. Quelques considérations écologiques

L'ensemble des images récupérées sur les appareils, une fois annotées via digiKam, ont été traitées à l'aide du logiciel RStudio, grâce notamment au package camtrapR avec lequel les métadonnées ont été extraites des images. Une première série d'analyses simples a été effectuée afin de comprendre et décrire l'organisation des communautés d'espèces observées sur les deux gradients tests.

1. Structure des communautés

Dans un premier temps, nous avons représenté la richesse spécifique observée sur chacun des gradients (figure 2). Sur ces graphiques, nous remarquons qu'il n'y a pas d'évolution de la richesse spécifique selon l'altitude sur le gradient de Chamrousse, alors qu'une distribution normale de la richesse spécifique selon l'altitude s'observe sur le gradient de Pinsot, correspondant à une situation plus attendue.

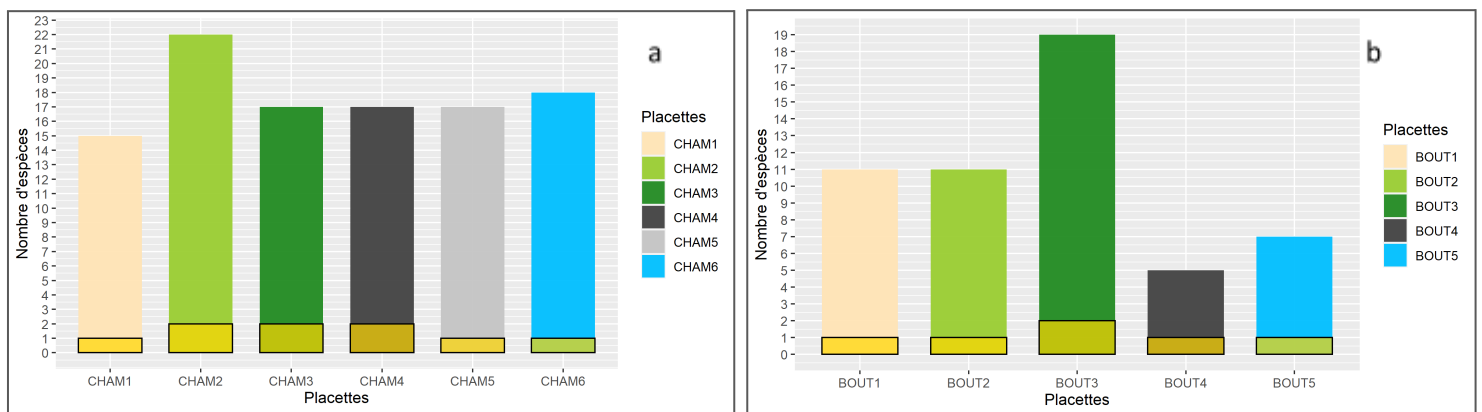


Figure 2 Richesse spécifique observée par placette

a Gradient de Chamrousse

b Gradient de Pinsot

Les encadrés jaunes soulignent la présence humaine (*Homo sapiens*, *Canis familiaris*)

Au total, 40 espèces ou groupes « cibles » ont été identifiés, dont 35 sur le gradient de Chamrousse et 21 sur le gradient du Bout. 16 espèces sont observées en commun sur les deux gradients (figure 3). Le gradient de Chamrousse est donc assez différent dans sa composition, en présentant quelques espèces majeures des Alpes françaises non observées à Pinsot, comme le bouquetin des Alpes ou la marmotte.

La liste des espèces observées sur chaque gradient, ainsi que le nombre de jours-caméras d'observation de ces espèces par placettes, sont indiqués sur la figure 5. Pour connaître la liste complète des taxons identifiés, se référer à l'annexe 2. Au total, 22 espèces de mammifères et 20 d'oiseaux ont été observées.

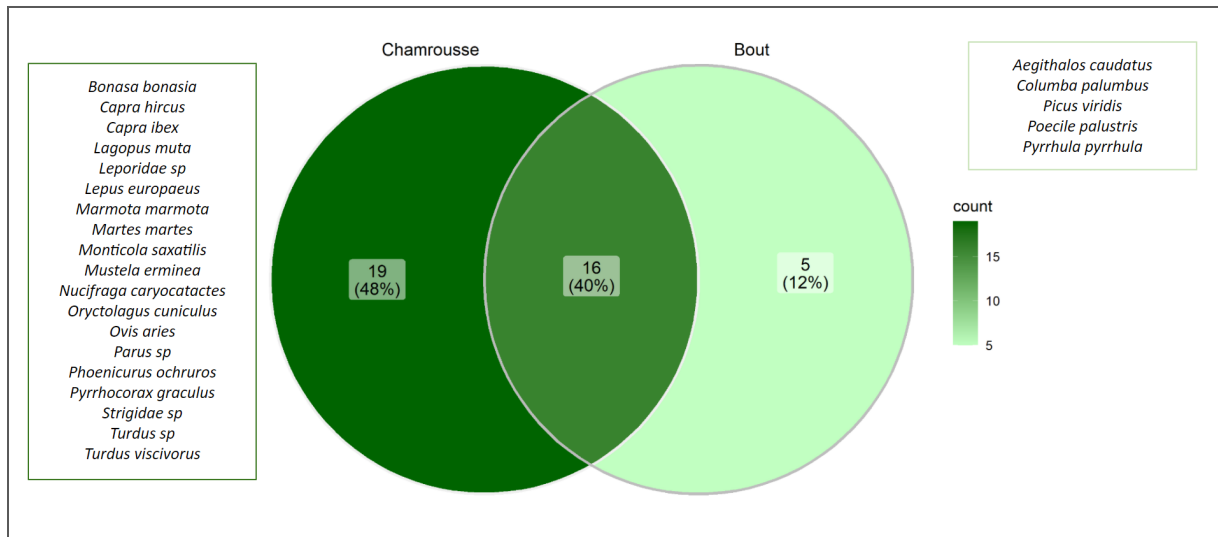
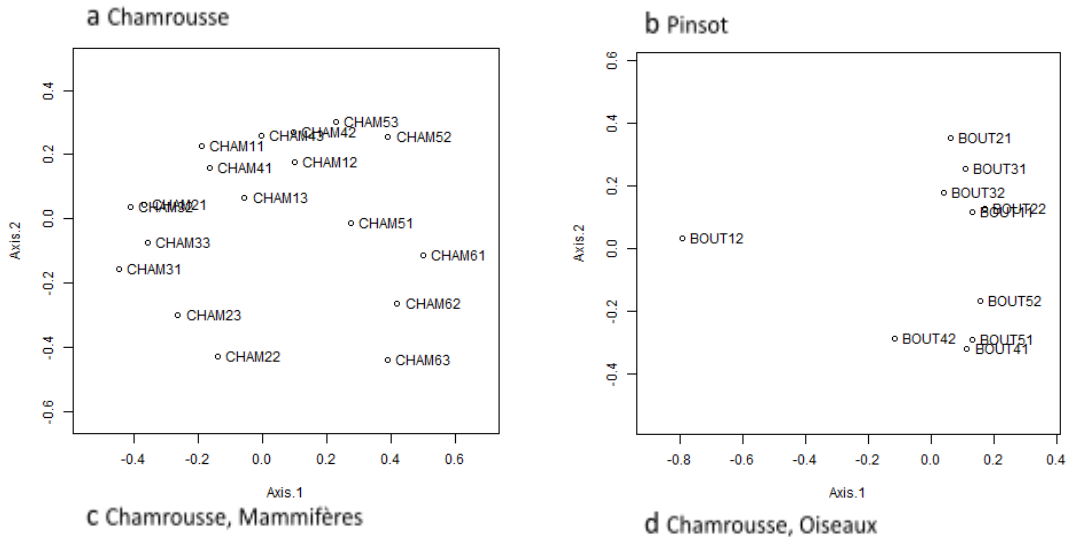


Figure 3 Différences de composition des communautés entre gradients

Les encadrés listent les espèces observées uniquement sur le gradient correspondant

Une étude plus précise de la structure des communautés a été menée en élaborant des analyses en correspondance principales (PCoA). Celles-ci ont été calculées en construisant une matrice de distance de Bray-Curtis sur la base du nombre de jours d'observations par espèce et par appareil (figure 4). Les PCoA placent les caméras dans un plan par leur similarité en termes de composition en espèces. En d'autres mots, des positions proches, par exemple les caméras CHAM 53 et 52, ont des observations similaires (c.a.d. des communautés de mammifères similaires).



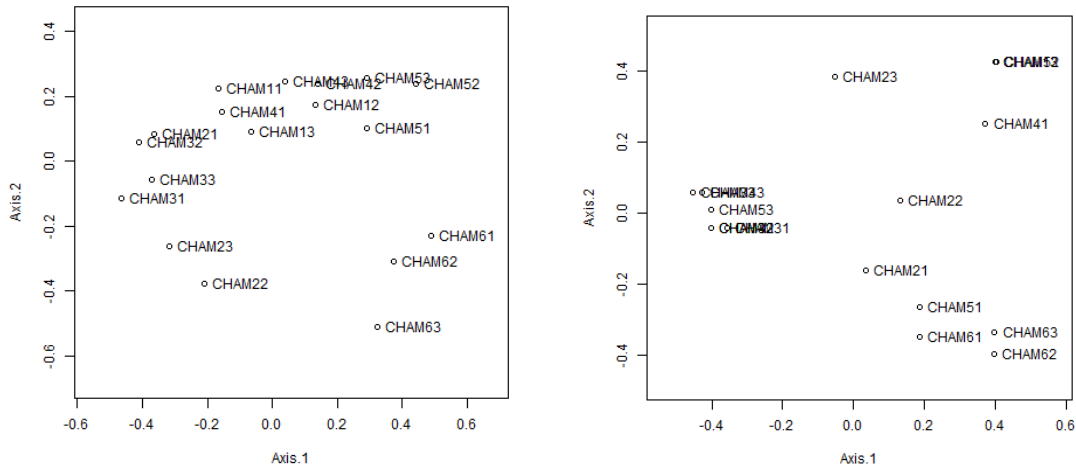
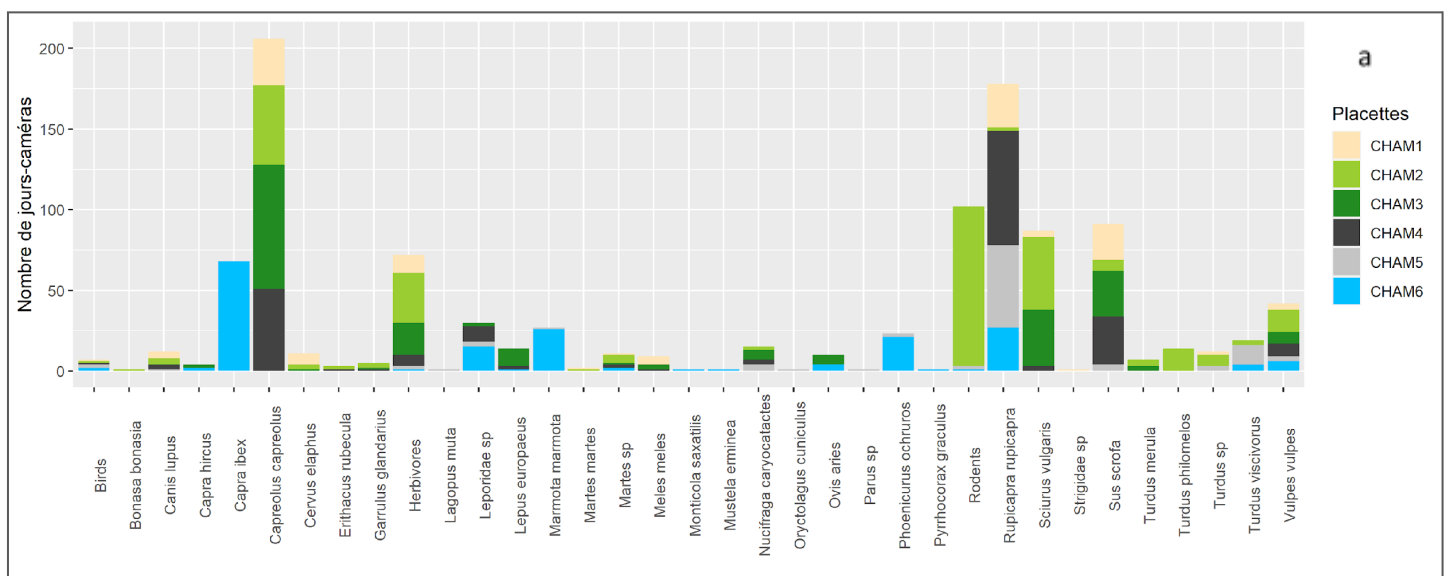


Figure 4 PCoA, pour les deux gradients (a, b) et les deux classes (mammifères et oiseaux) sur Chamrousse (c, d)

Nous observons une assez bonne structuration des communautés à l'échelle des placettes, à la fois sur le gradient de Chamrousse comme sur celui de Pinsot. En particulier, les deux placettes les plus hautes, présentant des habitats de type prairies, landes ou milieu rocheux d'altitude, sont assez bien regroupées à la différence des autres placettes, quant à elles essentiellement en forêt et sous-bois. Cette différence est surtout marquée pour les placettes CHAM6 et BOUT5. Toutefois, nous ne pouvons pas précisément discriminer les placettes selon l'altitude.

Si nous nous intéressons à chacune des deux classes observées sur le gradient de Chamrousse (Fig. 4c,d), nous constatons que la structure est quasiment identique pour les mammifères (Fig. 4c) de celles où les deux classes étaient considérées (Fig 4a). Au contraire, il y a une forte déstructuration pour les oiseaux. Celle-ci peut probablement être expliquée par la prévalence des événements rares dans cette classe (voir figure 6), ainsi que par la présence d'espèces essentiellement généralistes parmi celles observées, qui se retrouvent donc plus ou moins dans chacun des milieux étudiés. Cependant, la placette la plus haute conserve là-encore une structure précise : en effet, quelques espèces ont été observées quasi exclusivement sur cette placette car plutôt caractéristiques des milieux rocheux. Il s'agit du Chocard à bec jaune (*Pyrrhocorax graculus*), du Monticole de roche (*Monticola saxatilis*), ainsi que du Rougequeue noir (*Phoenicurus ochruros*).



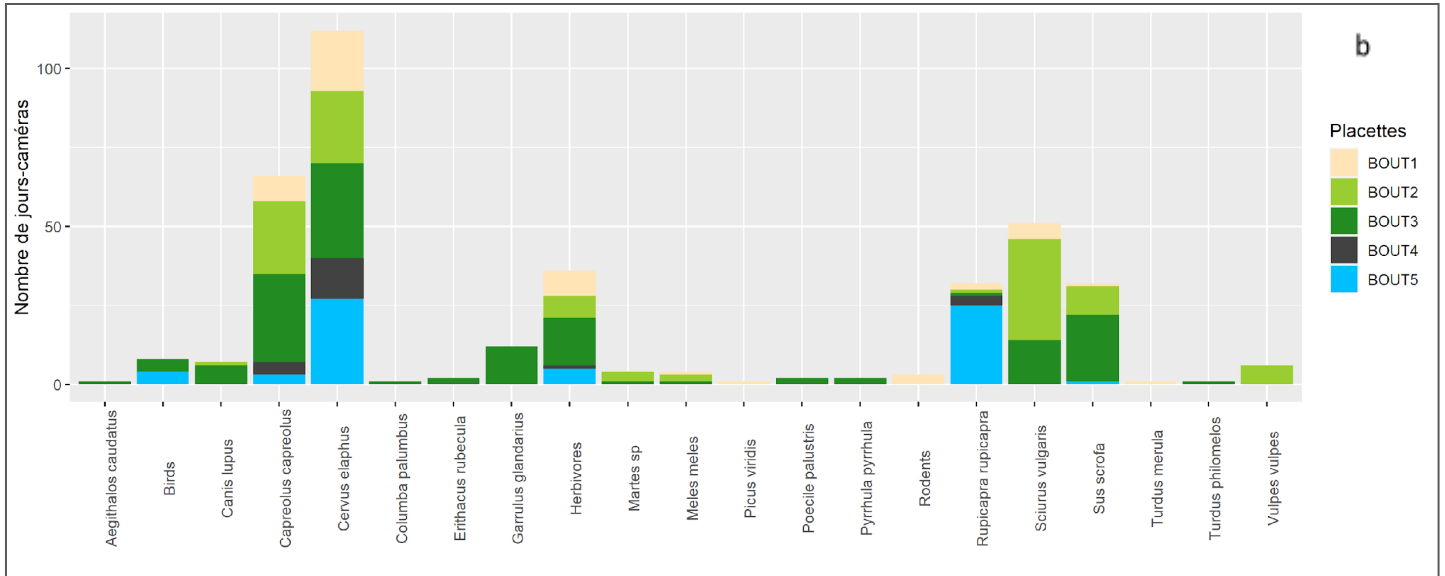


Figure 5 Nombre de jours-caméras par espèces et par placettes

a Gradient de Chamrousse

b Gradient de Pinsot

Un jour-caméra correspond à un jour où l'espèce a été observée par un appareil

Si l'on considère le nombre de jours-caméras comptabilisés par espèce (figure 5), cinq espèces sont essentiellement observées : il s'agit du chevreuil européen, du chamois, de l'écureuil roux, du cerf élaphe ainsi que du sanglier. De plus, il apparaît qu'un nombre conséquent d'espèces (15, soit 36 % de l'ensemble des taxons observés) n'ont été observées que cinq jours au maximum. La proportion d'événements rares est donc importante, principalement pour des espèces d'oiseaux (12 des 15 taxons concernés, figure 6).

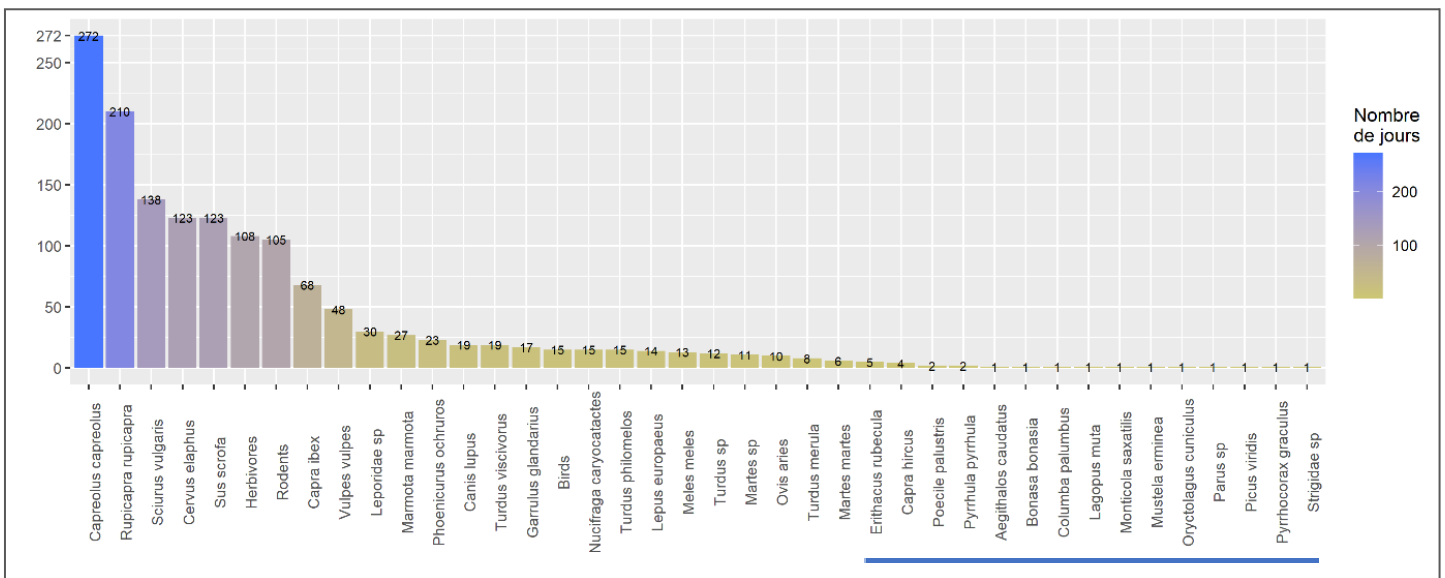


Figure 6 Nombre de jours-caméras par espèces, sur l'ensemble de la période et sur les deux sites d'échantillonnage (Chamrousse et Forêt du Bout).

Un jour-caméra correspond à un jour où l'espèce a été observée par un appareil

La barre horizontale souligne les 15 taxons observés 5 jours-caméras ou moins

L'annexe 4 présente l'évolution du nombre de jours où chaque espèce est observée, par gradient et par plot, et de façon mensuelle. Il apparaît alors que les espèces sont essentiellement présentes de juillet à septembre, avec une diminution au mois d'octobre. Ceci est confirmé par l'évolution de la

richesse spécifique journalière présentée en annexe 5. Nous pouvons observer un pic dans le nombre d'espèces photographiées quotidiennement au mois de juillet sur Chamrousse, et en août à Pinsot. Toutefois, sur le gradient du Bout, les cerfs sont majoritairement présents en septembre-octobre, période coïncidant avec le brame : les photos ont par ailleurs bien permis d'observer ce comportement, avec des groupes de biches accompagnées d'un ou deux mâles.

2. Etude de l'influence humaine sur la présence des espèces

Afin d'étudier une éventuelle influence de la fréquentation des sites par l'Homme ou le chien domestique sur le passage de la faune sauvage, nous avons envisagé deux approches. Dans un premier temps, nous avons comparé la richesse spécifique journalière observée entre journées avec détection humaine et journées sans présence humaine (figure 7). Aucune différence significative n'étant observée, le simple passage de l'Homme n'a donc pas d'influence directe sur le nombre d'espèces fréquentant la proximité directe des caméras au cours d'une journée.

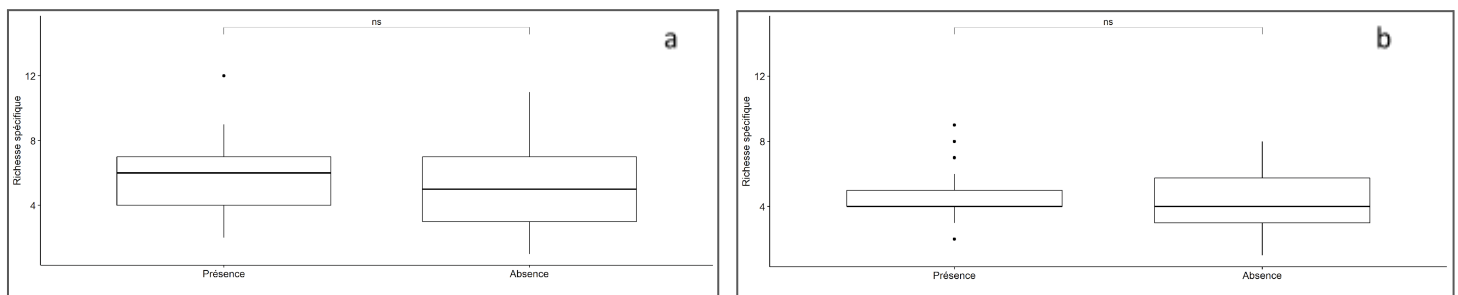


Figure 7 Richesse spécifique journalière observée selon la présence ou l'absence humaine

a Gradient de Chamrousse

b Gradient de Pinsot

Une seconde approche consisterait à mener une étude comportementale de la faune sauvage, pour étudier si le passage de l'Homme sur les placettes, essentiellement diurne, entraîne un décalage temporel de fréquentation de la placette par les animaux.



IV. Analyses statistiques

L'objectif principal du travail d'analyse des photos annotées était de déterminer le nombre de caméras à installer par placette pour observer une bonne diversité des communautés présentes sur les gradients, ainsi que la durée de la période d'échantillonnage. L'intérêt était de pouvoir préparer de manière logistique le déploiement à plus grande échelle du dispositif de pièges photographiques sur ORCHAMP dès 2022.

Les analyses statistiques ont ainsi été réalisées à l'échelle de la placette. Nous nous sommes centrés sur le gradient de Chamrousse, car il présente un plus grand nombre de caméras et donc de photographies, ce qui nous a semblé plus pertinent pour la significativité des résultats.

Pour cela, nous avons procédé en plusieurs étapes, en cherchant à répondre aux trois questions résumées dans le tableau 3.

Questions	Objectifs attendus	Méthodologie
Y a-t-il une différence significative dans la richesse spécifique et la diversité observées sur les placettes selon le nombre de caméras installées ?	Choisir entre 1, 2 et 3 pièges par placette	Tests de Wilcoxon sur la richesse spécifique et l'indice de Shannon-Wiener
Comment évoluent ces deux métriques au cours du temps selon le nombre de caméras installées par placette ?	Choisir entre 1, 2 et 3 pièges par placette	Elaboration de modèles statistiques simulant l'évolution du % de richesse spécifique et de diversité observés au cours du temps
Quelle durée de prise de vue choisir ?	Déterminer les périodes d'installation et de retrait et la durée d'échantillonnage	Projections des modèles pour différentes dates d'installation et comparaison des % observés à des dates repères (60, 75 et 90 jours)

Tableau 3 Méthodologie d'analyse statistique des données issues des photographies annotées

1. Influence du nombre de caméras sur la richesse spécifique et la diversité

De façon à déterminer le nombre de caméras à installer par placette, nous avons calculé la richesse spécifique et la diversité observées avec 1, 2 ou 3 pièges. Ainsi, un piège illustre les résultats obtenus avec chacune des caméras, deux pièges avec des associations par paires de ces caméras au sein des placettes, et trois pièges avec l'ensemble des caméras de la placette. Le choix de ces deux métriques nous permet d'estimer le nombre d'espèces présentes ainsi que leur abondance.

En comparant la richesse spécifique selon le nombre de pièges par placette, nous constatons que l'écart type observé avec une seule caméra par placette est conséquent, et qu'il se réduit en augmentant le nombre de caméras (figure 8a). En effet, il existe une forte variabilité entre les caméras, du fait principalement d'une dépendance aux événements rares et à de potentiels dysfonctionnements. Si les écarts de richesse spécifique observée sont tous significatifs, la différence est plus faible entre 2 et 3 pièges par placette (figure 8b).

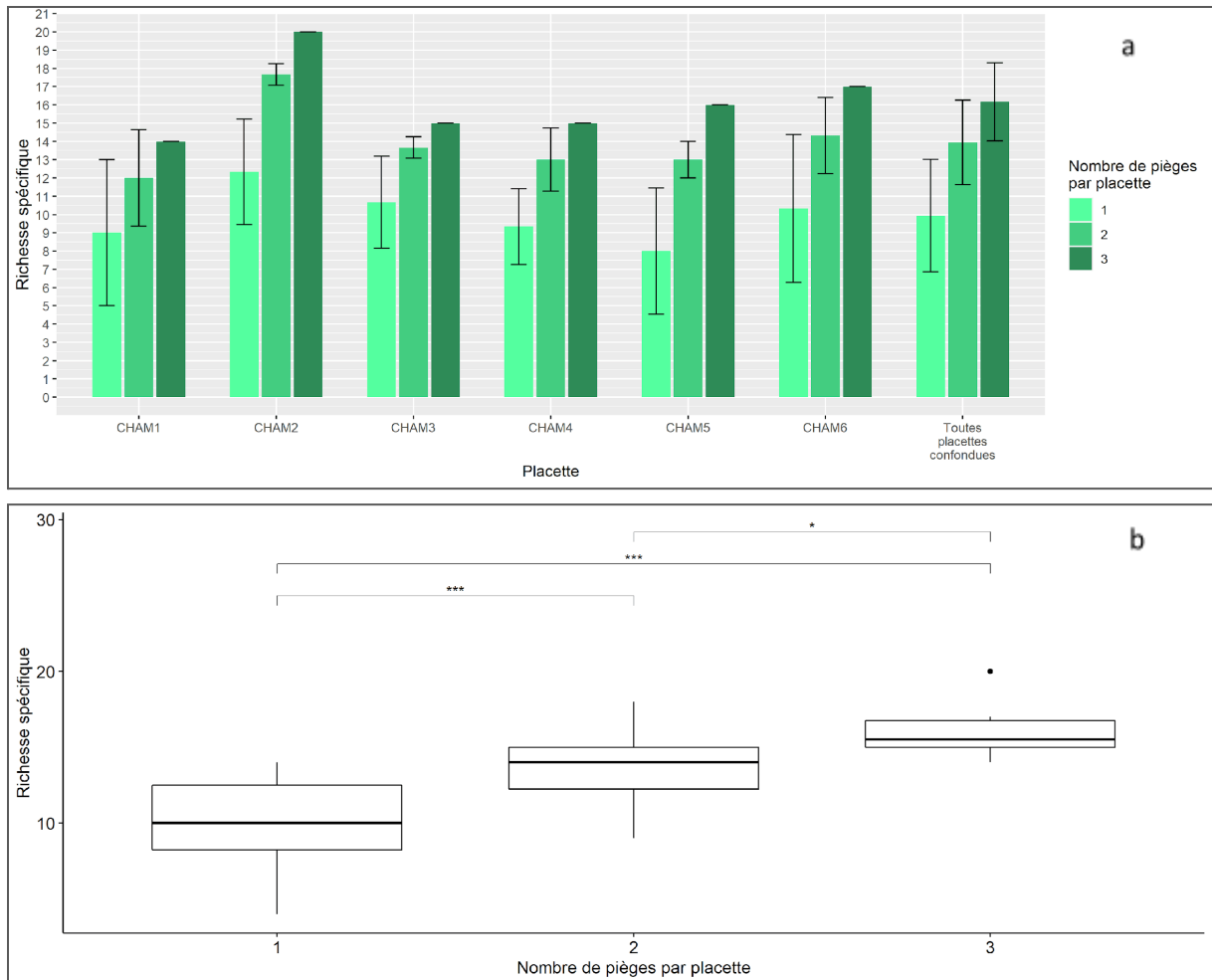


Figure 8 Evolution de la richesse spécifique observée selon le nombre de pièges par placette Chamrousse, période d'échantillonnage complète
Seuils de significativité : 0.05 * 0.01 ** 0.001 *** 0

La diversité a été calculée via l'indice de Shannon-Wiener. Cependant, pour calculer l'abondance de chacune des espèces, nous ne nous sommes pas basés sur le nombre d'observations (peu pertinent), ni sur les événements indépendants. En effet, certains individus restaient parfois de longues minutes, voire plusieurs heures, devant les appareils, ce qui rendait difficile la définition d'un intervalle unique entre deux événements indépendants. Ainsi, c'est en se basant sur le nombre de jours d'observations par espèce que nous avons travaillé. Nous avons choisi ce paramètre et non le nombre de jours-caméras afin de ne travailler que sur le nombre de jours où les espèces étaient présentes.

Les observations réalisées à propos de la richesse spécifique se confirment en calculant la diversité en fonction du nombre de caméras installées. Là-encore, l'écart type mesuré diminue en équipant les placettes avec un nombre supérieur de caméras (figure 9a). Cependant, l'écart entre 2 et 3 pièges n'est plus significatif. Les différences entre 1 et 2, et 1 et 3 pièges, restent quant à elles significatives, mais à un niveau moindre (figure 9b).

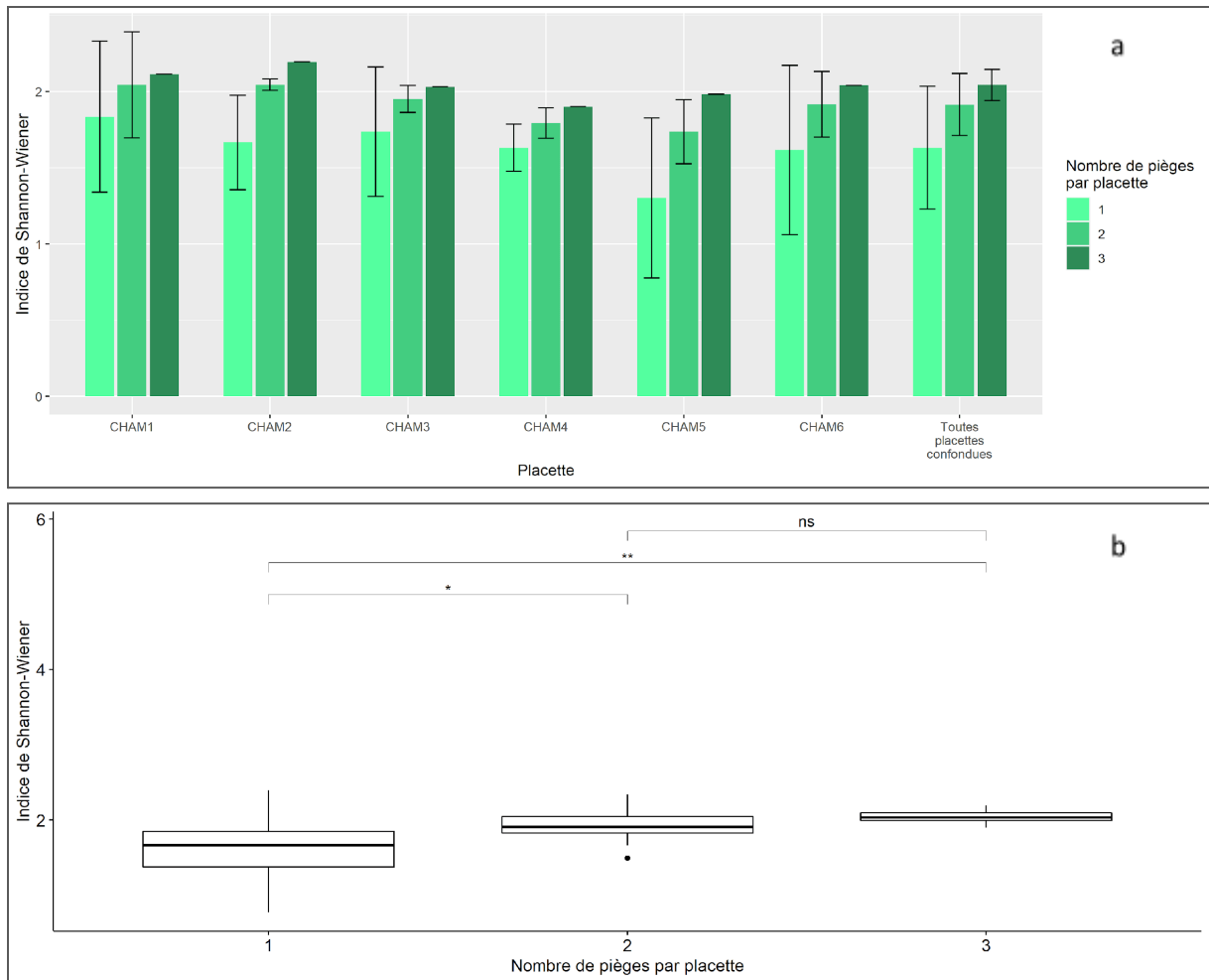


Figure 9 Evolution de la diversité observée selon le nombre de pièges par placette
Chamrousse, période d'échantillonnage complète
Seuils de significativité : 0.05 * 0.01 ** 0.001 *** 0

D'après ces résultats, il apparaît que le choix d'installer un seul appareil par placette est risqué, compte tenu des forts écarts types observés. De plus, la richesse et la diversité observées sont assez significativement inférieures à celles obtenues avec 2 ou 3 pièges. Il semble toutefois que ces différences soient assez peu sensibles avec 2 ou 3 pièges par placette.

2. Evolution temporelle de la richesse spécifique et de la diversité

Afin de confirmer ces résultats, nous avons élaboré des modèles mathématiques pour simuler l'évolution de nos métriques au cours de la période d'échantillonnage (figures 10 et 11). Un modèle a été construit pour chaque métrique à partir des données de la campagne 2021. Les modèles choisis sont de type $y = a + bz - iz/(x^2)$ avec y le pourcentage de richesse spécifique, z le nombre de caméras, x le nombre de jours et i un paramètre calculé. Le paramètre i retenu a été celui maximisant le coefficient R^2 du modèle, calibré sur les jours où l'ensemble des caméras étaient opérationnelles (soit à partir du 30/06 pour le gradient de Chamrousse).

Chaque point d'un graphique représente le pourcentage de richesse spécifique ou de diversité observée après x jours, exprimé relativement à la richesse spécifique ou à la diversité observée sur la même placette avec trois caméras et sur la période d'échantillonnage complète. Ainsi, si la courbe représentant l'évolution du pourcentage de diversité observée avec deux caméras passe par le point 12 jours – 50%, cela signifie que l'indice de Shannon-Wiener observé avec deux appareils sur une

placette après 12 jours est égal à la moitié de l'indice observé à l'issue de la période d'échantillonnage.

Concernant le modèle de diversité, l'indice de Shannon-Wiener calculé au jour x pouvait être supérieur à l'indice final : pour une question d'affichage, nous avons alors attribué la valeur 100% à ces données.

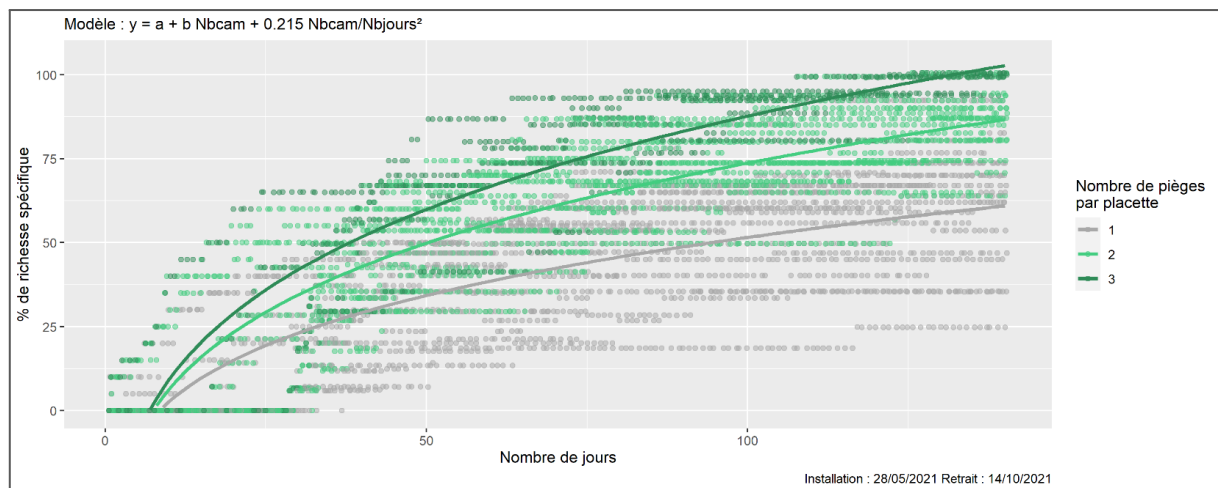


Figure 10 Modèle d'accumulation de richesse spécifique

Paramètres : $i = -0.215$ ($R^2 = 0.75$), période d'échantillonnage complète

Pourcentages exprimés relativement à la richesse spécifique observée par placette sur la période complète

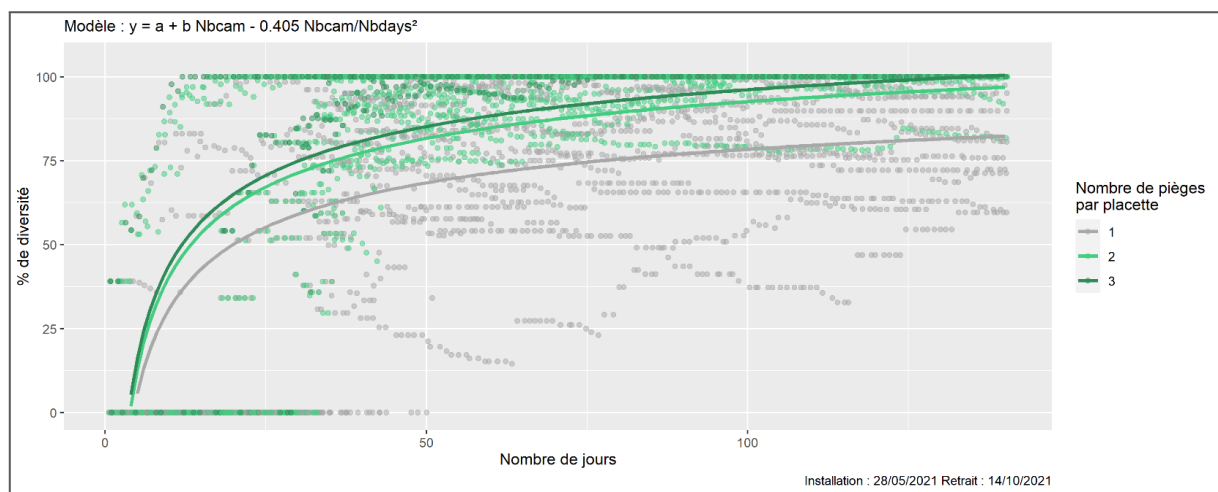


Figure 11 Modèle d'accumulation de diversité

Paramètres : $i = 0.405$ ($R^2 = 0.53$), période d'échantillonnage complète

Pourcentages exprimés relativement à la diversité observée par placette sur la période complète

Sur ces graphiques, le jour 1 correspond au jour d'installation du premier appareil, et non au premier jour de prise de vue de chaque appareil : autrement dit, tous les appareils ont le même « jour 1 », même s'ils n'avaient pas encore été installés ou n'avaient pas encore pris de photos. Si ce choix peut paraître surprenant, il reflète la réalité du terrain. En effet, tous les appareils ne peuvent parfois pas être installés le même jour sur un gradient ; de plus, il y a une forte hétérogénéité entre appareils concernant la date de la première photographie.

Ces deux modèles d'accumulation montrent eux-aussi une assez faible différence entre la richesse et la diversité observées avec deux et trois caméras, tandis que les résultats obtenus en installant un seul appareil par placette sont nettement inférieurs. Au bout des 140 jours d'observation, lors du



retrait des appareils, nous avons ainsi atteint une richesse spécifique proche de 90% avec deux caméras alors qu'elle atteint tout juste 60% avec deux appareils. Cette différence est également notable au niveau de la diversité, proche de 100% avec deux pièges, alors qu'elle dépasse légèrement les 80% avec une seule caméra. De plus, le calcul de la diversité étant moins soumis aux événements rares, nous constatons que le pourcentage cumulé de diversité observé croît rapidement, et finit par atteindre un niveau de saturation. La diversité est donc un indicateur pertinent dans le choix du nombre de pièges à installer sur les placettes.

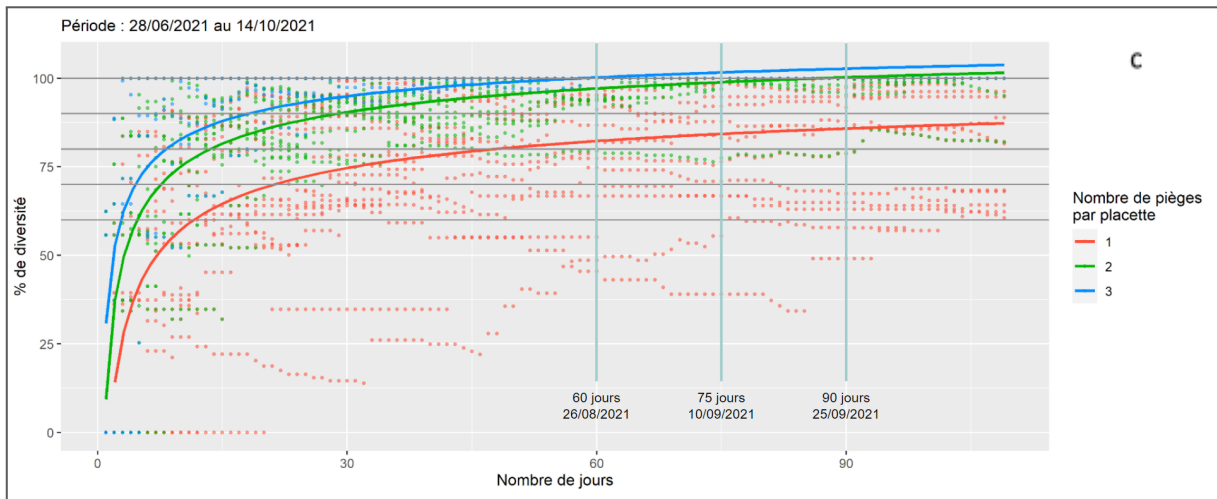
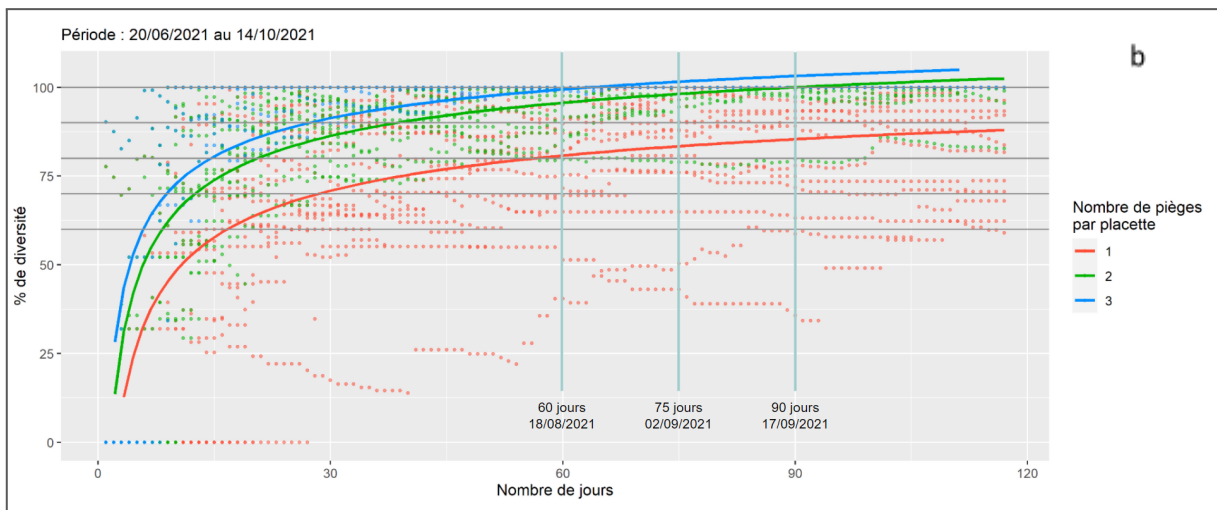
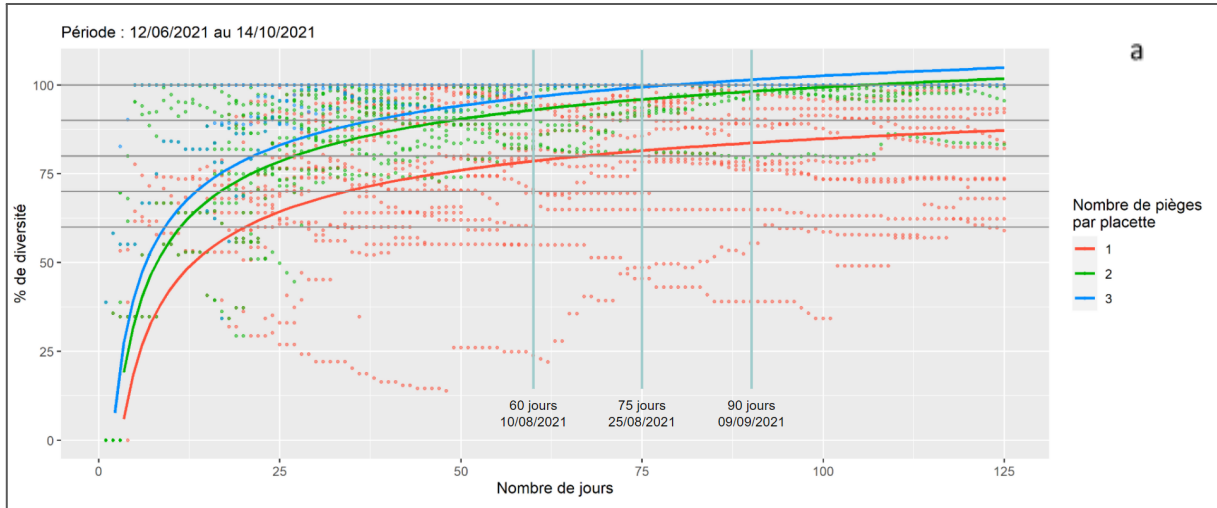
Par conséquent, en considérant à la fois les évolutions de richesse et de diversité observées selon le nombre de caméras et les modèles précédents, le choix d'installer deux caméras par placette semble permettre d'observer un niveau suffisant de la diversité.

3. Détermination de la période d'échantillonnage

La seconde problématique du projet est de déterminer à quelle période installer les appareils, et combien de temps les laisser en fonctionnement, afin d'observer une diversité représentative de l'état naturel réel. Nous nous sommes donc cette fois intéressés non plus à la période d'échantillonnage complète, mais à des périodes différentes variant selon la date d'installation des appareils.

Comme nous l'avons vu, une proportion importante d'espèces ne sont observées qu'un très faible nombre de jours (cf. figure 6). Considérer la richesse spécifique pour évaluer la période d'échantillonnage serait donc imprécis du fait des fortes fluctuations d'observations entre périodes. Au contraire, notre seconde métrique, à savoir l'indice de diversité de Shannon-Wiener, est plus précise car elle n'est pas influencée par les événements rares. Ainsi, pour la suite des analyses, nous avons choisi de nous seulement aborder les résultats en termes de diversité. Les données de richesse spécifique sont toutefois présentées en annexe 3.

A partir de nos données et des modèles préalablement établis, nous avons réalisé plusieurs simulations afin de déterminer la date la plus favorable à l'installation des pièges photographiques, ainsi que la durée d'échantillonnage la plus adaptée. Nous avons tenu compte pour cela des contraintes du programme ORCHAMP. Celles-ci sont à la fois d'ordre calendaire, l'installation et le retrait des appareils devant correspondre aux dates des campagnes de terrain, mais aussi géographique, l'éloignement des gradients échantillonnés obligeant à une installation des appareils étalée dans le temps. Ainsi, nous avons fait varier la période d'installation entre mi-juin et mi-juillet, par pas de huit jours. La période de retrait envisagée se situant entre fin août et mi-septembre, soit deux à trois mois plus tard, différents repères sont indiqués sur les graphiques, afin de visualiser les périodes suivantes : 60 jours (environ deux mois), 75 jours (deux mois et demi), et 90 jours (trois mois). Les projections obtenues sont présentées ci-dessous (figure 12).



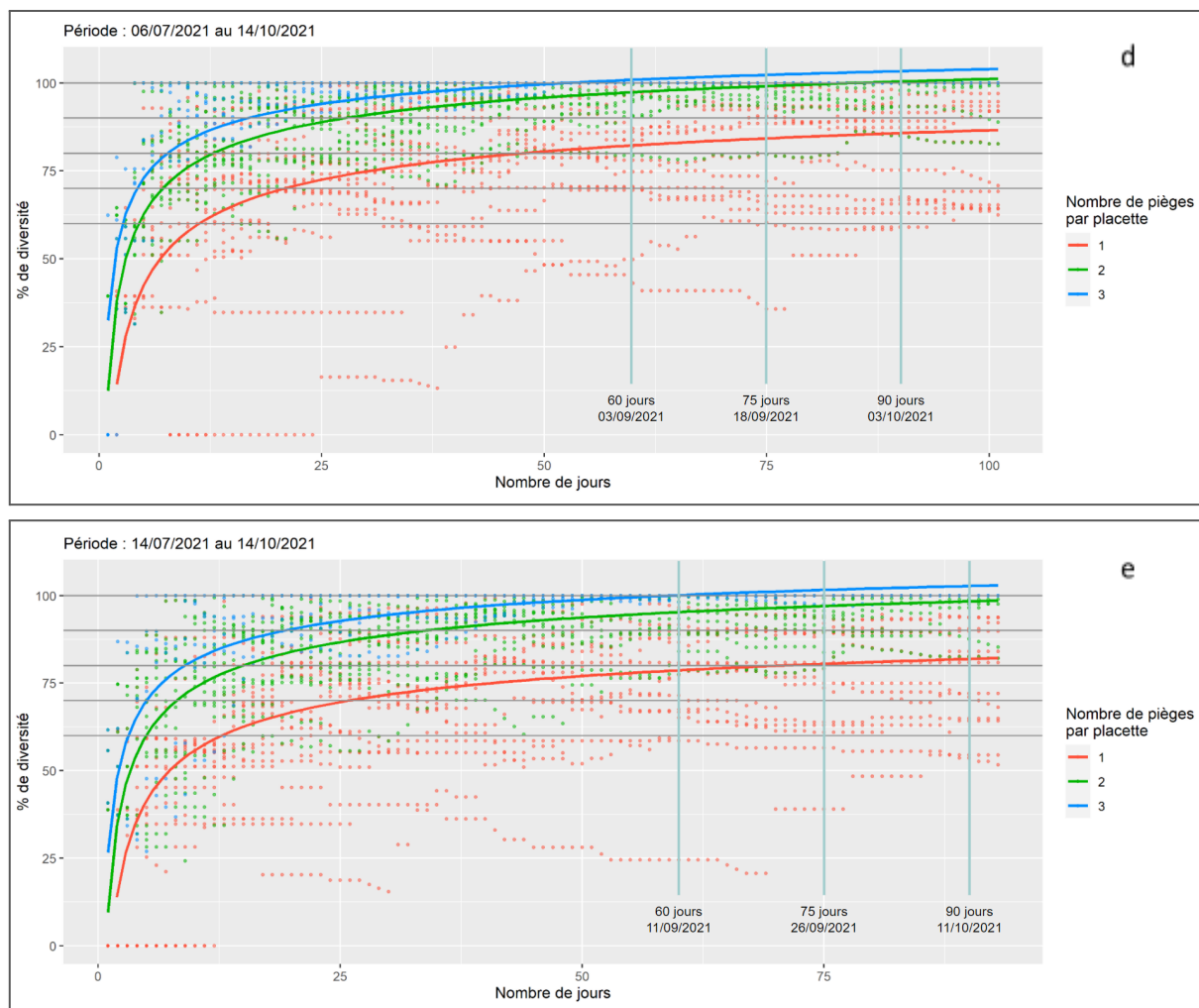


Figure 12 Evolution du pourcentage de diversité observée selon différentes dates d'installation

Un point représente la diversité (indice de Shannon-Wiener calculé sur la base du nombre de jours d'observations par espèce) observée au jour x suivant l'installation des pièges

Les barres horizontales indiquent des seuils de diversité (60, 70, 80, 90 et 100%), les barres verticales des dates repères (2 mois, 2 mois et demi, 3 mois)

a Installation le 12/06/2021 et retrait le 14/10/2021

b Installation le 20/06/2021 et retrait le 14/10/2021

c Installation le 28/06/2021 et retrait le 14/10/2021

d Installation le 06/07/2021 et retrait le 14/10/2021

e Installation le 14/07/2021 et retrait le 14/10/2021

L'atteinte d'un plateau entre 60 et 90 jours d'observations, bien marqué à partir d'une installation vers le 20 juin, montre que la perte de diversité observée est négligeable entre un choix de durée d'échantillonnage de deux ou de trois mois. Le pourcentage de diversité observée avec deux appareils par placettes dépasse toujours 90% après 60 jours de prise de vue, et se rapproche voire atteint 100% après 90 jours. Les résultats obtenus avec un seul appareil, s'ils fluctuent entre 75 et 90% de diversité, sont cependant une nouvelle fois à relativiser du fait de la forte variabilité observée, qui se retrouve dans la dispersion des points sur les graphiques. De plus, l'hétérogénéité des milieux présents à l'échelle intra-placette serait mal représentée en installant un unique appareil, ce qui aurait une conséquence directe sur la diversité d'espèces observée.

Par conséquent, la diversité observée avec deux caméras sur le gradient de Chamrousse pour une période de deux à trois mois de prise de vue, avec installation entre mi-juin et mi-juillet, semble



particulièrement représentative. Nous pouvons ainsi prétendre observer au minimum 90% de la diversité des placettes avec un tel protocole. En terme de richesse spécifique, un tel choix permet d'observer entre 60 et 80% du total estimé des espèces présentes, avec toutefois une bonne précision pour la mégafaune Mammifère (voir en annexe 3).



V. Discussion

Plusieurs aspects ont soulevé des discussions autour du protocole mis en place ou des résultats obtenus précédemment.

Concernant le choix des sites d'installation des caméras, une réflexion doit être menée afin de déterminer s'il est mieux d'adopter un schéma aléatoire pour diminuer le biais lié au choix de l'emplacement, ou bien s'il est au contraire préférable de choisir des emplacements « idéaux ». Ce choix semble s'avérer le plus pertinent, compte tenu de la nécessité de disposer les appareils dans des milieux suffisamment diversifiés pour capter une plus grande diversité d'espèces. De plus, une part d'aléatoire subsiste puisque l'aléa du terrain oblige à installer les caméras sur un arbre ou rocher pouvant supporter le dispositif.

D'après les résultats vus auparavant, il apparaît qu'un suivi de la faune avec deux caméras par placette soit suffisant pour observer une bonne diversité sur le gradient. Pour le gradient de Chamrousse, alors que les deux premières caméras étaient souvent placées de manière optimale face à des sentes ou lieux de passages évidents de la faune, le choix de l'emplacement pour le troisième appareil s'avérait plus difficile. Ainsi, cet appareil était en quelque sorte placé « par défaut ». Cet aspect, ainsi que le temps nécessaire à la mise en place, à l'entretien et au retrait d'un piège supplémentaire, renforcent le choix d'implanter deux caméras et non trois par plot. En effet, d'après les modèles élaborés, le gain de diversité obtenu en plaçant trois caméras est faible, et peu pertinent au regard de la perte de temps engendrée. De plus, il faut également prendre en compte le coût supérieur qui serait lié à l'achat d'un troisième appareil pour chacune des placettes. Enfin, la question du stockage des données photographiques se pose, un plus faible nombre de photos étant plus facilement gérable avec deux appareils. Par conséquent, le choix d'installer deux pièges photographiques sur chacune des placettes équipées représente un excellent compromis.

Au niveau de la période d'installation, il a été suggéré qu'une installation courant juin voire fin mai, après la fonte des neiges, pourrait être envisagée afin de mieux estimer les populations de micromammifères. Si notre expérience montre qu'il est possible de les détecter avec des appareils orientés vers le sol (ex. CHAM22 en particulier), le suivi par piège photographique des petits rongeurs s'avère peu adapté à leur identification spécifique, plutôt réalisable à un niveau anatomique. Essentiellement nocturnes, ils sont en également difficilement identifiables de par leur petite taille et leur éloignement à l'appareil. Les pièges photographiques du programme du LECA sont donc bien adaptés à l'observation de la mégafaune, les grands mammifères représentant le cœur des espèces cibles, mais moins aux oiseaux et micromammifères.

Pour ce qui est du retrait des appareils, l'effectuer début septembre permettrait d'éviter une période de fréquentation des placettes survenant au début de l'automne, et ainsi des vols potentiels. Or, d'après les résultats obtenus, il semble que le maximum de diversité observable soit alors atteint. La coïncidence de cette période avec le calendrier de terrain des prélèvements ORCHAMP rend donc les résultats d'autant plus satisfaisants d'un point de vue organisationnel.

Cependant, il est nécessaire de discuter les résultats obtenus. En ayant établi les modèles en pourcentages relatifs aux valeurs observées avec trois caméras, nous avons implicitement considéré que l'installation de trois caméras permettait d'observer la totalité de la richesse spécifique et de la diversité sur les placettes. S'il s'agit d'une approximation, nous pouvons toutefois postuler que les communautés observées sont assez représentatives de celles peuplant réellement les gradients aux périodes printanières et estivales, et donc les résultats fiables. Malgré tout, le manque de recul sur le projet en termes de quantité de données (seulement deux gradients pour 28 caméras et surtout une seule année), ne permet pas de dresser des conclusions certaines ni de les étendre à l'ensemble des



gradients. De plus, les résultats sont à nuancer par le fort biais lié au choix du site d'implantation des appareils, à la dépendance à une installation bien réalisée ou au hasard du passage des animaux et ainsi à la survenue d'événements rares. Les résultats obtenus sont également dépendants des événements météorologiques annuels survenant sur les gradients qui influent sur les périodes de présence des animaux, et seront soumis dans les années futures aux changements climatiques et globaux.

De même, il sera intéressant de définir des intervalles de temps entre événements indépendants, éventuellement propres à chacune des espèces observées, afin d'avoir des résultats de diversité plus précis. Annoter les photos en prenant en compte le nombre d'individus observés est une autre amélioration envisageable.

Enfin, les identifications ont été réalisées à l'œil nu à partir des photographies, ce qui a pu engendrer des erreurs et des imprécisions. Une réflexion est en cours sur l'utilisation de logiciels de reconnaissance automatique, faisant appel à des approches de deep learning. Ce travail sera poursuivi au cours des prochains mois par Vincent Miele notamment, autour du développement d'un outil performant d'identification automatique des espèces photographiées.



Conclusion

Un échantillonnage de deux à trois mois, mené avec deux appareils par placette entre mi-juin et mi-septembre, permet d'observer une diversité suffisamment significative, proche de 90% de celle estimée. Si les résultats sont supérieurs avec trois caméras, le seuil de significativité est faible voire absent, et ne constitue pas un investissement rentable au regard du coût matériel et humain engendré ainsi que du temps et du stockage nécessaires. De même, installer un seul appareil par placette pourrait être envisageable, mais donnerait des résultats moins significatifs et fortement soumis à de potentiels dysfonctionnements, sans représenter la diversité de milieux au sein même de la placette. Le choix de mettre en place deux pièges par placette représente donc le meilleur compromis entre ces différents paramètres, tout en donnant des résultats particulièrement intéressants.

D'un point de vue écologique, nous avons pu observer 42 espèces ou groupes, avec une diversité élevée sans espèce dominante dans les communautés recensées sur les placettes. Les plus abondantes sont le chevreuil, le chamois, l'écureuil, le cerf et le sanglier. Toutefois, nous constatons sur les deux gradients que la placette la plus haute présente des communautés assez distinctes, confirmant un résultat attendu lié à des habitats bien différents. Quelques espèces sont aussi plus ou moins caractéristiques d'un gradient comme le bouquetin ou la marmotte pour Chamrousse, et le cerf pour Pinsot, en particulier à l'automne lors du brame. Par ailleurs, des observations de loup gris ont pu être effectuées sur chacun des deux gradients.

L'installation de caméras à détection de mouvement sur les gradients de l'observatoire ORCHAMP permet donc de réaliser une bonne estimation de la richesse spécifique, de l'abondance des populations et de la diversité des communautés présentes. Le dispositif équipant deux gradients en 2021, Chamrousse et Pinsot, a permis de choisir le nombre d'appareils à installer par placette ainsi que la durée de fonctionnement. De cette façon, nous avons pu établir un protocole préalable au déploiement du programme sur l'intégralité des gradients qui seront visités les prochaines années.



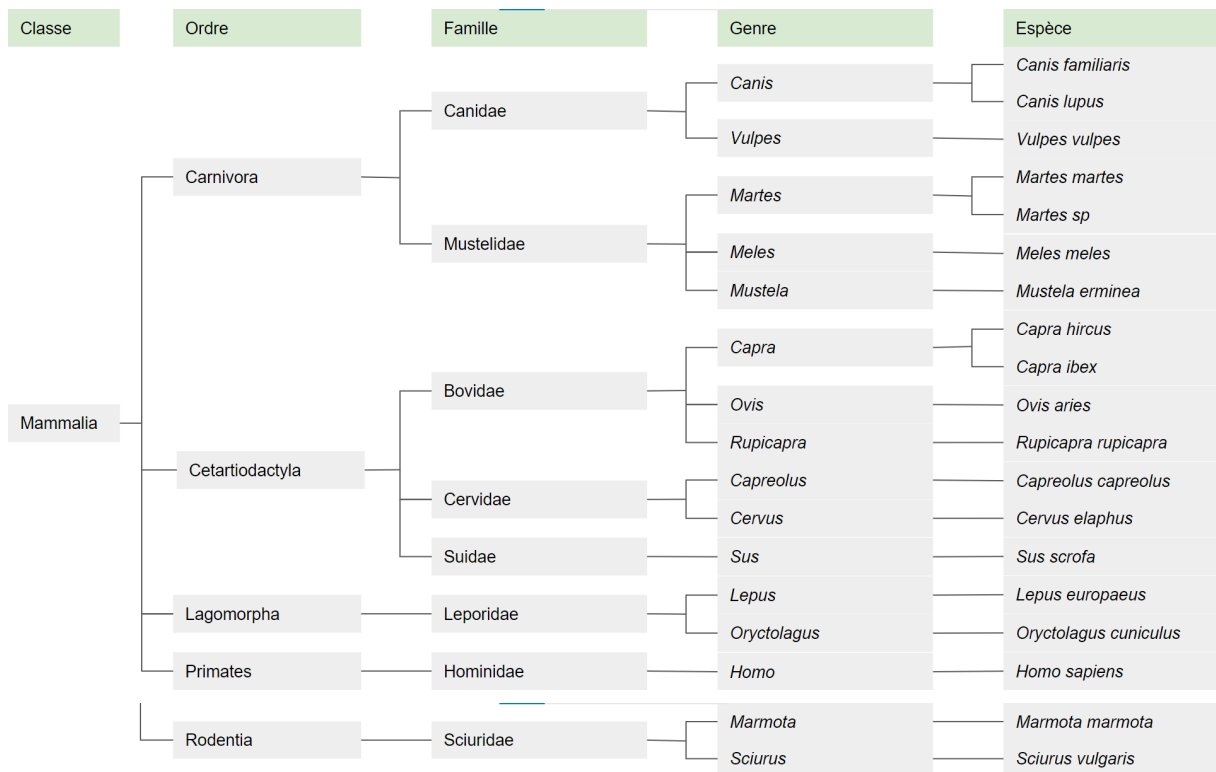
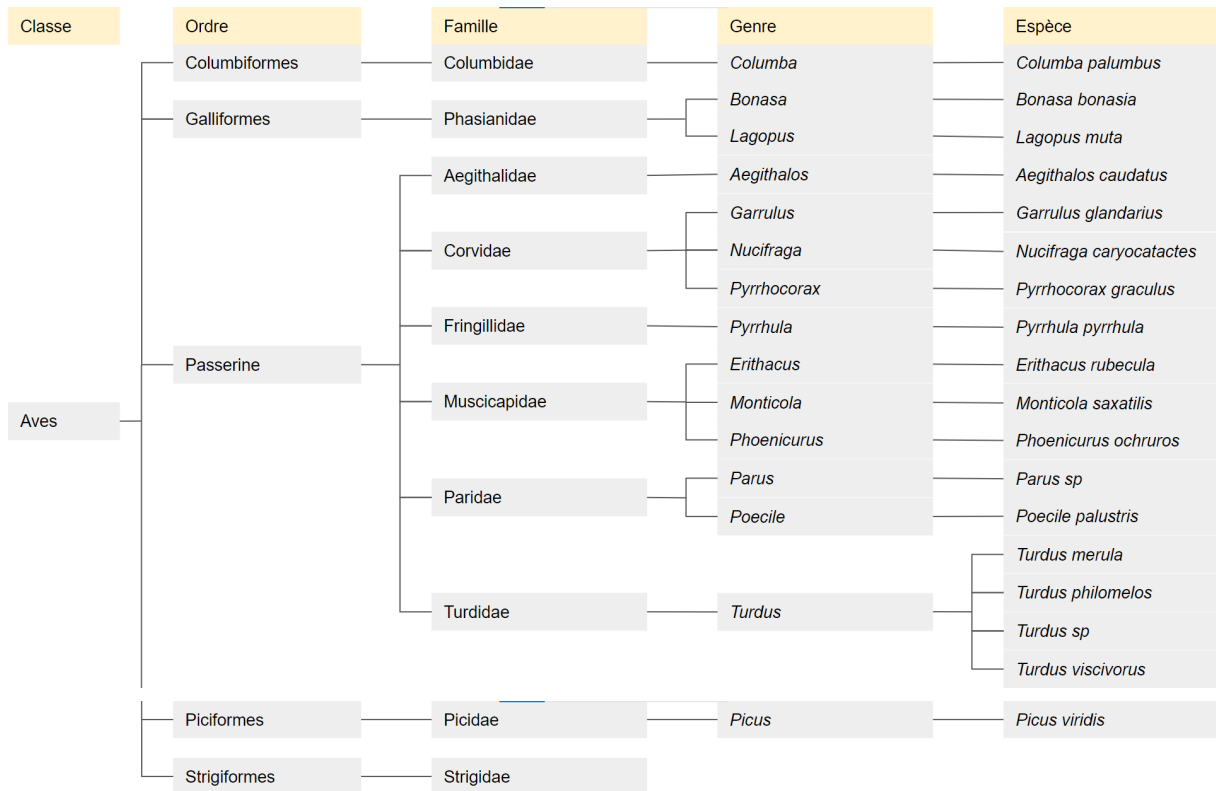
Annexes

Annexe 1 : caractéristiques des sites d'installation des pièges photographiques

Gradient	Caméra	Altitude	Habitat (typologie CESBIO)	Nombre d'images	Nombre d'espèces	Problème
Chamrousse	CHAM11	1 250 m	Forêts de conifères	1 725	10	
Chamrousse	CHAM12	1 250 m	Forêts de conifères	267	6	
Chamrousse	CHAM13	1 250 m	Forêts de conifères	567	14	
Chamrousse	CHAM21	1 470 m	Forêts de conifères	1 326	11	
Chamrousse	CHAM22	1 470 m	Forêts de conifères	1 644	15	
Chamrousse	CHAM23	1 470 m	Forêts de conifères	937	16	
Chamrousse	CHAM31	1 710 m	Forêts de conifères	1 341	13	
Chamrousse	CHAM32	1 710 m	Forêts de conifères	803	10	
Chamrousse	CHAM33	1 710 m	Forêts de conifères	1 018	15	
Chamrousse	CHAM41	1 890 m	Pelouses	1 528	13	
Chamrousse	CHAM42	1 890 m	Pelouses	1 419	9	Appareil volé
Chamrousse	CHAM43	1 890 m	Pelouses	1 707	12	
Chamrousse	CHAM51	2 020 m	Pelouses	9 030	11	SD saturée
Chamrousse	CHAM52	2 020 m	Pelouses	303	5	
Chamrousse	CHAM53	2 020 m	Pelouses	3 666	11	
Chamrousse	CHAM61	2 180 m	Surfaces minérales	9 922	7	SD saturée
Chamrousse	CHAM62	2 180 m	Surfaces minérales	3 554	14	
Chamrousse	CHAM63	2 180 m	Surfaces minérales	3 483	12	
Pinsot	BOUT11	1 240 m	Forêts de feuillus	443	11	
Pinsot	BOUT12	1 240 m	Forêts de feuillus	9 597	2	SD saturée
Pinsot	BOUT21	1 440 m	Forêts de conifères	583	10	
Pinsot	BOUT22	1 440 m	Forêts de conifères	1 051	8	
Pinsot	BOUT31	1 620 m	Forêts de conifères	482	11	
Pinsot	BOUT32	1 620 m	Forêts de conifères	1 140	14	
Pinsot	BOUT41	1 830 m	Landes ligneuses	705	4	
Pinsot	BOUT42	1 830 m	Landes ligneuses	3 953	4	
Pinsot	BOUT51	2 000 m	Pelouses	568	6	
Pinsot	BOUT52	2 000 m	Pelouses	1 066	7	Date incorrecte

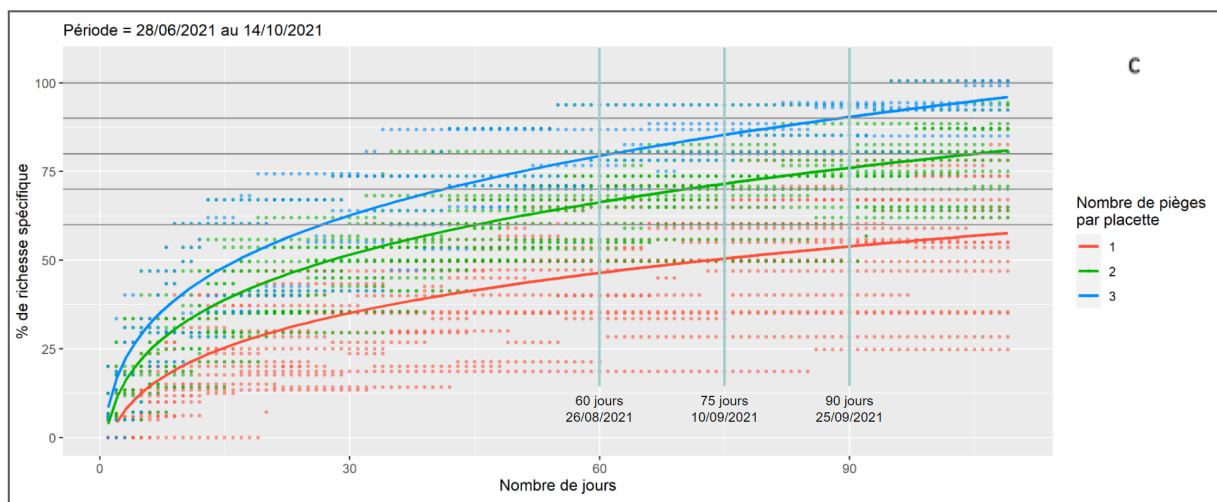
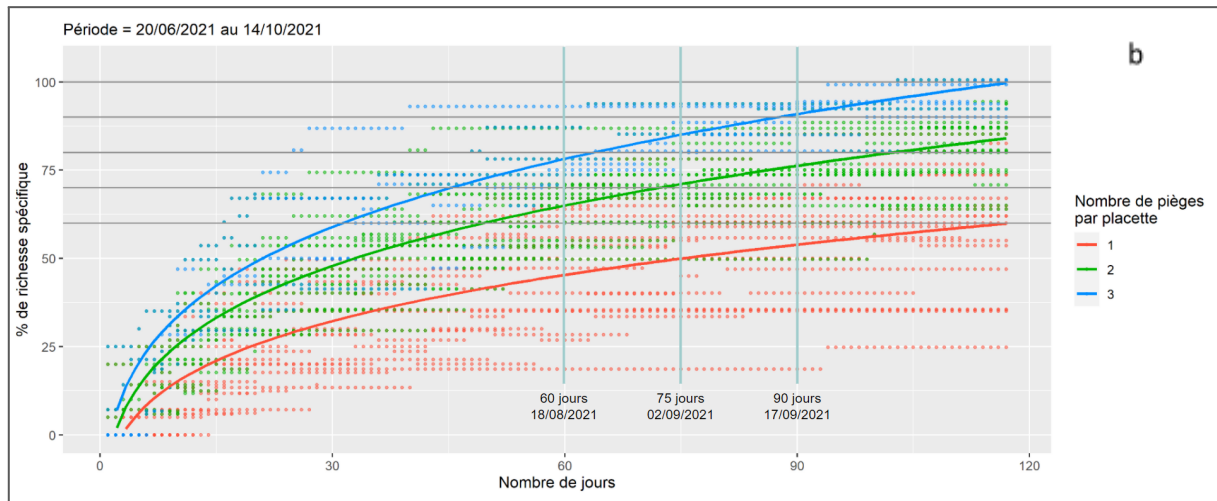
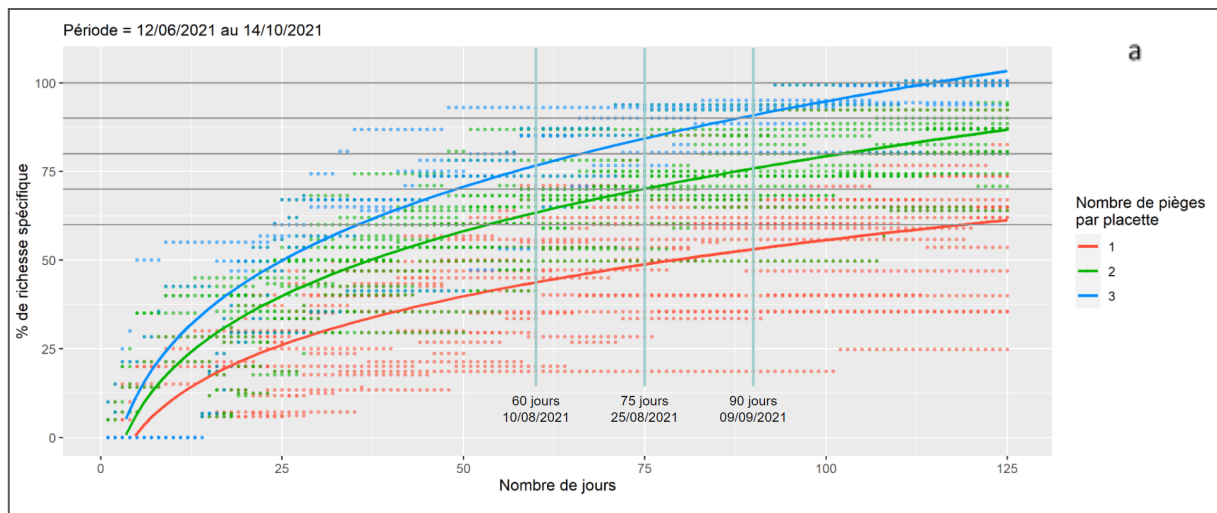


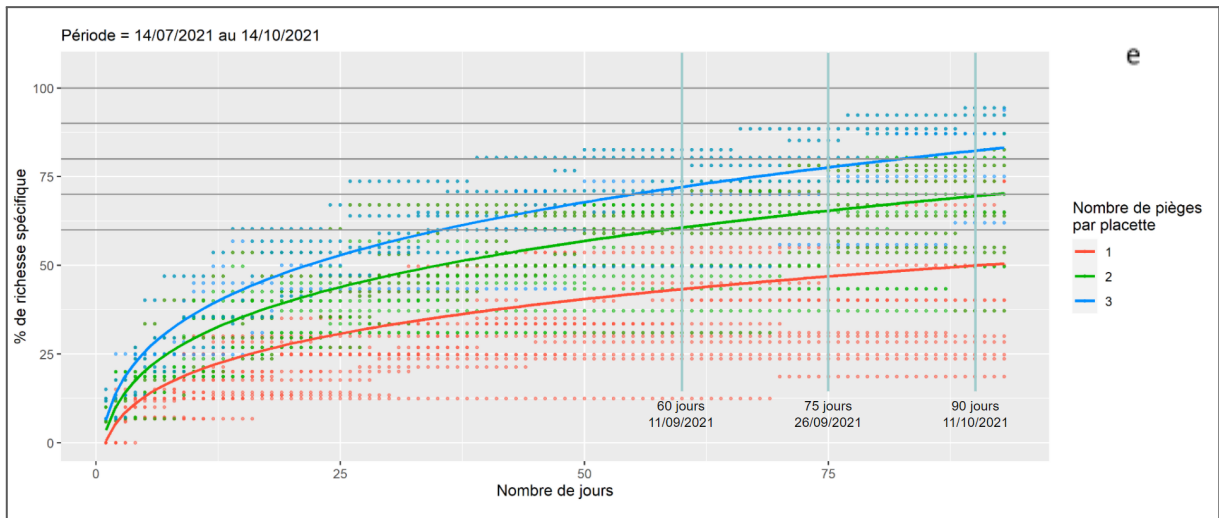
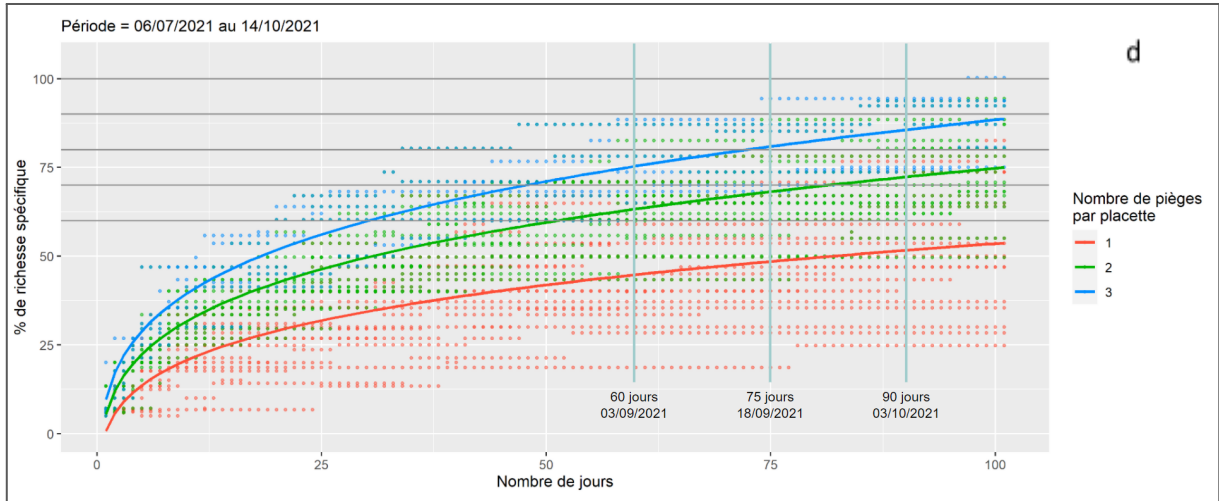
Annexe 2 : arbre phylogénétique des taxons observés





Annexe 3 : évolution de la richesse spécifique selon la date d'installation

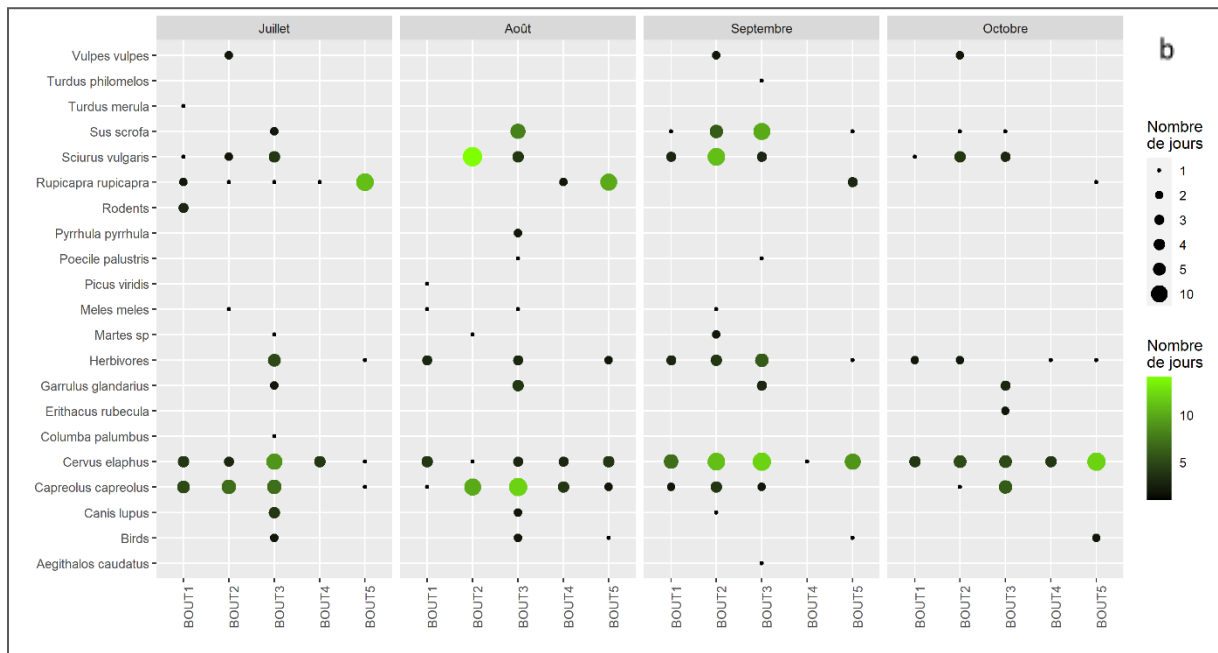
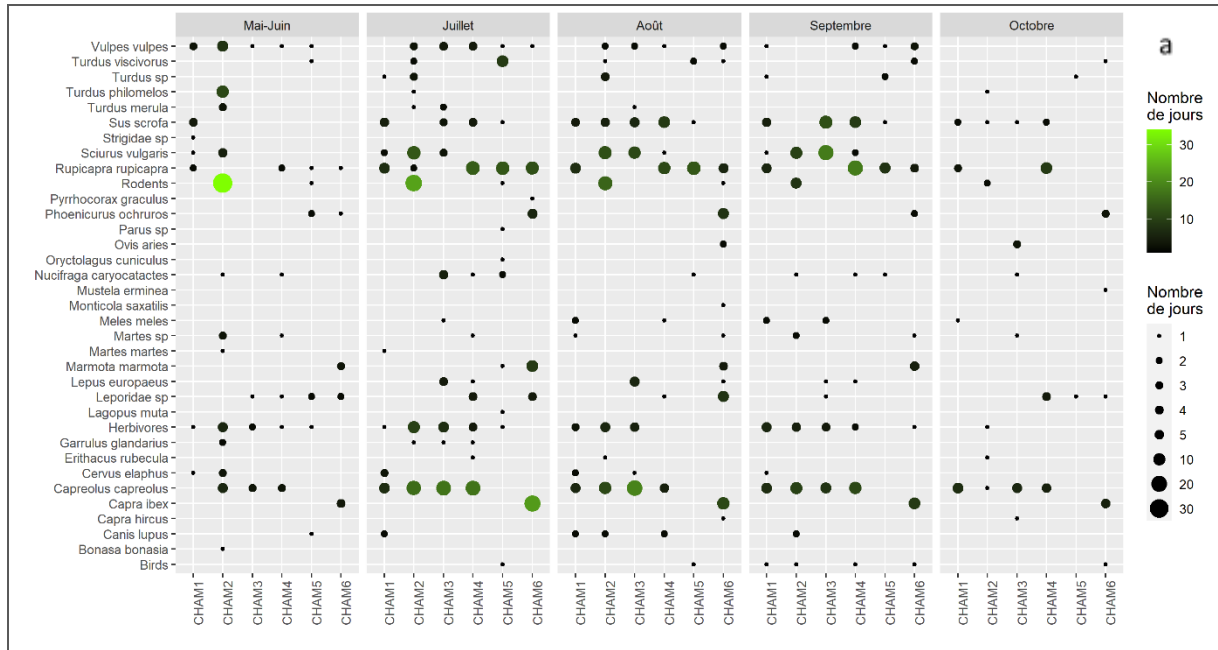




- a Installation le 12/06/2021 et retrait le 14/10/2021
- b Installation le 20/06/2021 et retrait le 14/10/2021
- c Installation le 28/06/2021 et retrait le 14/10/2021
- d Installation le 06/07/2021 et retrait le 14/10/2021
- e Installation le 14/07/2021 et retrait le 14/10/2021



Annexe 4 : évolution mensuelle de la présence des espèces

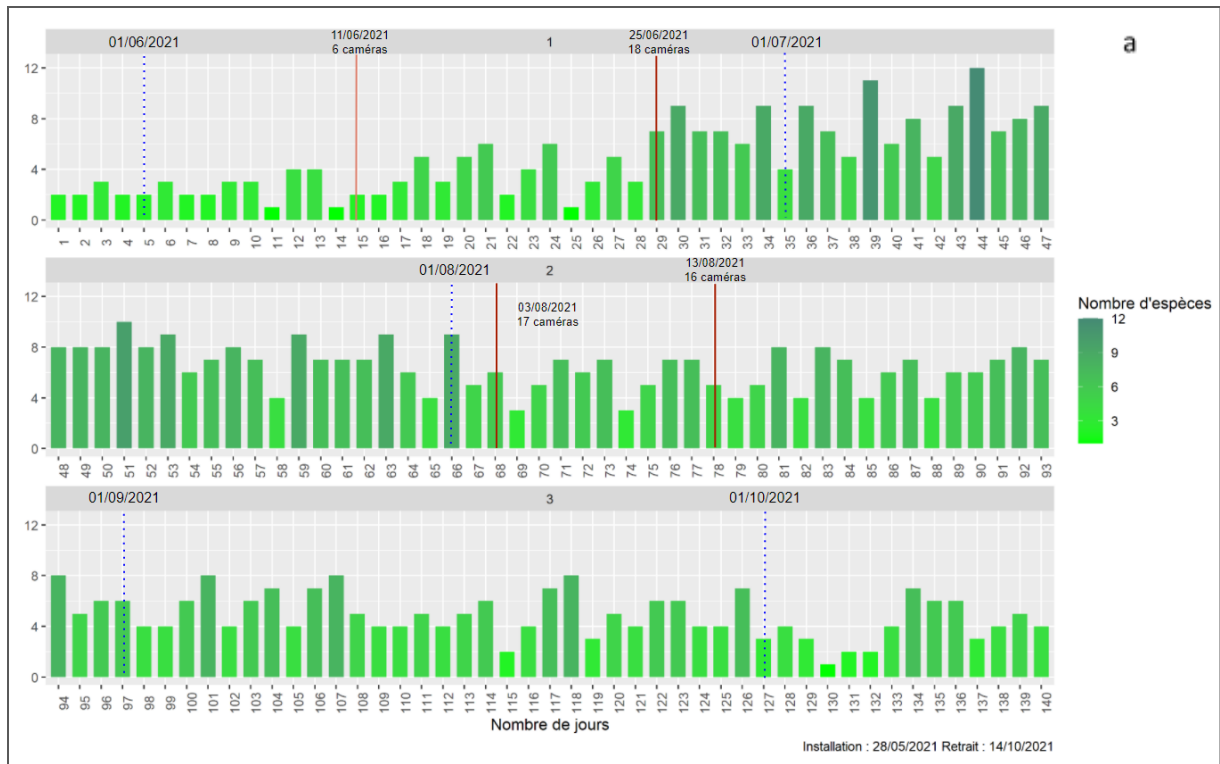


a Gradient de Chamrousse

b Gradient de Pinot



Annexe 5 : richesse spécifique journalière



a Gradient de Chamrousse

b Gradient de Pinsot

Les barres verticales bleues indiquent le 1^{er} jour du mois et les rouges le nombre d'appareils en fonctionnement à la date indiquée