



**HAL**  
open science

# Impact de la présence humaine directe sur l'ours brun d'Europe *Ursus arctos arctos* dans les Pyrénées : le cas des rencontres homme-ours et des activités récréatives

Samuel Longchamp

## ► To cite this version:

Samuel Longchamp. Impact de la présence humaine directe sur l'ours brun d'Europe *Ursus arctos arctos* dans les Pyrénées : le cas des rencontres homme-ours et des activités récréatives. Géographie. 2024. dumas-04720934

**HAL Id: dumas-04720934**

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04720934v1>

Submitted on 4 Oct 2024

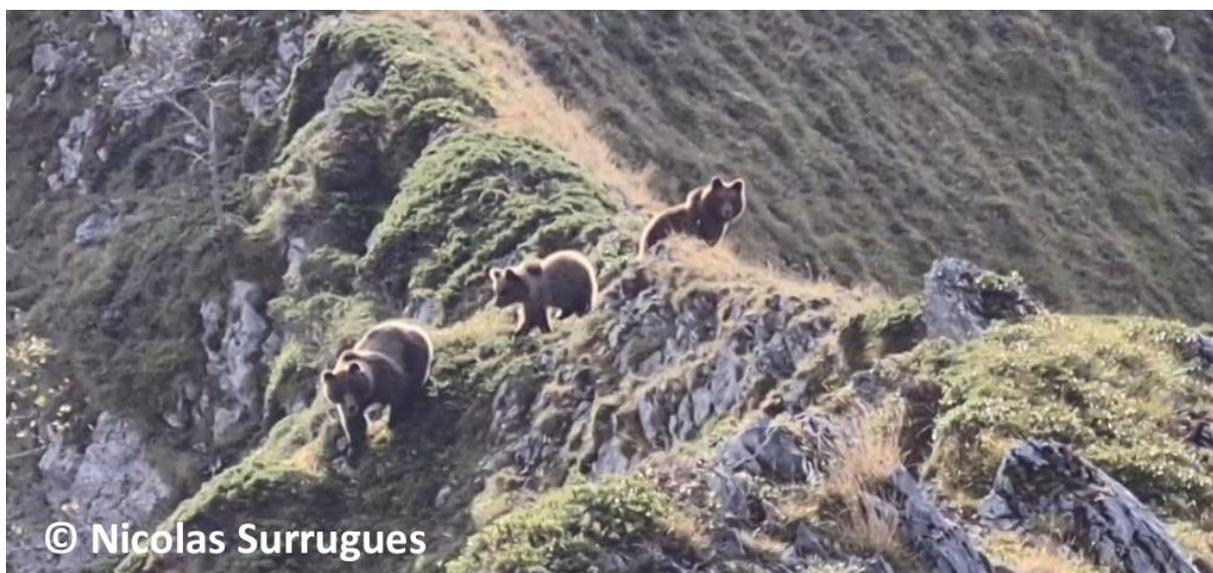
**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MASTER Domaines : **SHS et STS**

Mention : **GAED (Géographie, Aménagement, Environnement, Développement)**  
Parcours **GÉOÏDES (Géographie, Information, Interface, Durabilité, Environnements)**

## **Mémoire de stage** : Impact de la présence humaine directe sur l'ours brun d'Europe *Ursus arctos arctos* dans les Pyrénées : le cas des rencontres homme-ours et des activités récréatives



Stage réalisé à l'Office Français de la Biodiversité (OFB), encadré par Madame Cécile VANPÉ (Chargée de recherche, Cheffe de projets Grands Carnivores, OFB) et Monsieur Andréa CORRADINI (Chercheur, fondation Edmund Mach)

Mémoire soutenu le 02 juillet 2024 par **Samuel LONGCHAMP**, devant un jury constitué de :

Professeur référent : Monsieur Franck GIAZZI (Enseignant-Chercheur, UGA)

Examineur : Monsieur Simon MEYNIER (Enseignant, UGA)



## Résumé

Sur la chaîne des Pyrénées subsiste une population d'ours brun en danger critique d'extinction qui partage l'espace avec de nombreuses activités humaines. Ces activités humaines peuvent potentiellement entraîner des dérangements et impacter les comportements et mouvements de l'ours. Ces activités peuvent également affecter la reproduction ou la survie des individus. Afin de proposer des mesures de conservation et de gestion adaptées pour favoriser la coexistence entre l'homme et l'ours, il est donc important d'étudier l'impact des activités humaines sur les ours. Nous nous sommes intéressés ici plus spécifiquement à l'impact des dérangements induits par la présence humaine directe, en grande partie amenée par les activités récréatives de montagne. L'objectif de ce stage était ainsi de : (i) créer des cartes d'intensité de présence humaine directe dans les Pyrénées françaises en utilisant la « Strava's Global Heatmap » comme source de données, (ii) évaluer l'impact de cette présence humaine directe sur l'ours brun, à travers le prisme des rencontres-homme ours (objet important des débats sociétaux en France en lien avec la dangerosité potentielle de l'espèce pour l'homme et l'augmentation de l'effectif de la population ursine), et (iii) déterminer quelles sont les zones où les rencontres homme-ours sont les plus probables de survenir. Nos résultats montrent que l'ours s'adapte pour éviter cette source de nuisance diurne, en modifiant son utilisation de l'espace. De plus, nous avons mis en lumière le fait que les rencontres homme-ours se produisent plus souvent à proximité des zones les plus dérangées par l'homme. Cela suggère que la présence humaine produit un effet « vulnérabilité » au sens du risque naturel géographique. Ainsi, son effet dérangeant semble être plus faible que son effet vulnérabilité » qui amène le risque de rencontres à être plus probable dans les zones les plus fréquentées. Une cartographie de ce risque a donc pu être présentée, ce qui permet concrètement de cibler les chemins de montagne où il serait intéressant d'agir pour améliorer la cohabitation entre l'homme et l'ours brun en France.

Mots-clefs : *Ursus arctos arctos*, dérangement, nuisances fonctionnelles, rencontres homme-ours, Strava's Global Heatmap

## Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier Cécile Vanpé et Andréa Corradini de m'avoir accordé leur confiance pour réaliser ce stage. Un grand merci pour l'accompagnement qu'ils m'ont apporté, que ce soit pour définir l'orientation des analyses entreprises, pour leurs connaissances sur les méthodes à adopter, pour la littérature fournie, mais surtout pour la relecture et les suggestions de modifications à apporter à la rédaction de ce mémoire. Leurs expertises ont rendu nos échanges constructifs, et leurs qualités humaines ont permis de rendre chaque discussion très plaisante, encore merci.

Samuel, Jules et Tao, on aura bien vécu dans cette magnifique région.

Plus largement, je remercie l'ensemble des agents de l'OFB de l'antenne de Villeneuve de rivièrè avec qui la vie au quotidien était fabuleuse. Merci particulièrement à Françoise, Régis, Lucia, Pierre Luigi, Pierre Yves, Jérôme, Christophe, Laurent, Jordi, Fred, Jeanne, Jules, Kévin pour la bonne humeur et les super moments qu'on a partagés ces quelques mois.

# Sommaire

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....  | 3  |
| I. L'ours brun des Pyrénées : population, dérangement humain et rencontre homme-ours.....   | 7  |
| A. Les ours bruns du massif des Pyrénées .....  | 7  |
| B. Dérangement et perturbation induits par la présence humaine sur l'ours brun.....   | 9  |
| C. Les rencontres homme-ours en France .....  | 11 |
| D. Mesurer les dérangements induits par la présence humaine directe .....   | 12 |
| II. Données et analyses.....  | 14 |
| A. Données.....   | 14 |
| B. Analyses.....  | 20 |
| III. Résultats et discussion .....  | 27 |
| A. Détecter les schémas temporels des rencontres homme-ours pour comprendre l'effet des nuisances fonctionnelles sur l'ours.....                                  | 27 |
| B. Capturer les tendances spatiales des rencontres homme-ours en fonction des niveaux de nuisances fonctionnelles et prédiction de leur risque d'apparition ..... | 29 |
| Conclusion .....  | 33 |

## Sigles et acronymes

ANOVA : Analyse de la variance

COI : Cumulative Outdoor activity Index (Indice cumulé d'activité sportive de plein air)

DRAS : Direction de la Recherche et Appui Scientifique

GLM : Modèle Linéaire Généralisé

GPS : Global positioning system

OFB : Office Français de la Biodiversité

R<sup>2</sup> : Coefficient de détermination

ROB : Réseau Ours Brun

SEE : Service conservation et gestion des Espèces à Enjeux

# Introduction

## Contexte du sujet

Autrefois aussi bien présent en plaine qu'en montagne, les grands carnivores tels que l'Ours brun *Ursus arctos*, le Loup gris *Canis lupus* et le Lynx boréal *Lynx lynx* ont été cantonnées aux régions européennes les plus sauvages dans les années 50-70. Ils se sont ainsi conformés au modèle du « land sparing », qui prône l'exclusion entre les humains et la nature (López-Bao, Bruskotter, et Chapron 2017), notamment en raison de leurs persécutions par l'homme. Cependant, leur récente protection a permis l'augmentation de leurs populations, les poussant à recoloniser progressivement leur aire de répartition historique, des territoires qui ont été profondément marqués par l'empreinte de l'homme au cours des deux derniers siècles (Linnell et al. 2005).

Malheureusement, le partage de l'espace et la coexistence entre grands carnivores et humains constituent un véritable défi tant pour les premiers que pour les seconds. D'une part, la présence de ces espèces peut affecter négativement les activités humaines (disservices écosystémiques). Leur dangerosité potentielle et les déprédations sur troupeaux qu'ils occasionnent alimentent en particulier les vifs débats sociétaux sur le sujet de leur restauration et de leur conservation. D'autre part, les activités humaines peuvent impacter négativement la viabilité des populations de grands carnivores. Les infrastructures de transport et l'artificialisation des sols altèrent et fragmentent les paysages, ce qui contraint les mouvements et la colonisation des grands carnivores, voire constitue de véritables barrières à leur dispersion. La connectivité fonctionnelle entre sous-populations et les flux de gènes sont ainsi limités, et la viabilité démo-génétique des petites populations fragilisée (Morales-González et al. 2020). Les activités humaines (chasse, foresterie, élevage, circulation routière principalement) influencent aussi leurs mouvements, leur sélection d'habitat et leurs activités, ainsi que celles de leurs proies (Morales-González et al. 2020). Mais la simple présence occasionnelle de l'homme sur le territoire des grands carnivores (notamment via les activités récréatives) peut également être source de dérangements pour ces espèces.

La fréquentation de l'espace pyrénéen est conséquente, et ce phénomène pourrait probablement s'intensifier, spatialement et temporellement, du fait de l'engouement pour les activités récréatives en montagne (randonnée, trail, VTT, ski, raquettes, etc.). Cependant, une population d'ours brun en danger critique d'extinction y subsiste. Celle-ci fut autrefois proche de l'extinction avec seulement cinq individus détectés en 1995 (Vanpé et al. 2022). Si les programmes de translocation ont permis de relancer démographiquement la population (estimée à 83 individus en 2023 (Sentilles et al. 2024)), la viabilité démo-génétique à plus long terme de la population reste incertaine (Vanpé et al. 2022). Selon l'UICN, même si l'intérêt actuel du public et les actions de gestion semblent actuellement garantir la survie de la plupart des populations européennes d'ours brun (dont la population pyrénéenne) à court et moyen

terme, toutes les menaces actuelles et potentielles doivent être maîtrisées pour garantir leur survie à long terme : sont ciblées la perte d'habitat due au développement des infrastructures, les perturbations, la faible acceptation, les mortalités accidentelles et les persécutions. L'impact de l'Homme sur l'ours brun dans les Pyrénées fait notamment l'objet de débats portés par les associations naturalistes, et il est donc important de rationaliser les connaissances à ce propos. Par ailleurs, le Plan d'actions Ours brun 2018-2028 spécifie qu'« *Il est indispensable de poursuivre des travaux de recherche sur les ours* » et de notamment « *Évaluer l'impact des activités humaines sur l'ours* ».

Il est donc essentiel de mieux connaître l'impact potentiel des activités humaines sur l'ours brun des Pyrénées pour appuyer scientifiquement sa conservation. A ce jour, les effets des perturbations et dérangements amenés par la simple présence humaine directe (via notamment les activités récréatives) sur la population pyrénéenne d'ours brun n'avaient pas été encore étudiées.

## Présentation de la structure d'accueil

L'Office Français de la Biodiversité (OFB) est l'établissement public qui œuvre pour la protection et la restauration de la biodiversité en France. Cet organisme est sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires et du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. La Direction de la Recherche et Appui Scientifique (DRAS) est l'une des « branches » qui constituent l'OFB. La DRAS est elle-même divisée en cinq services ; c'est le Service Conservation et Gestion des Espèces à Enjeux (SEE) qui porte le stage présenté. Les agents de ce service travaillant sur l'ours brun sont implantés en Haute-Garonne à Villeneuve de Rivière (31), commune située au pied du massif pyrénéen. Ils ont la charge du suivi, des recherches et des expertises sur la population Pyrénéenne françaises. Ainsi, techniciens, animateurs du réseau ours brun, assistante administrative et chercheurs constituent « l'équipe ours » qui était présente au quotidien pour répondre aux besoins des travaux présentés dans ce mémoire. C'est plus particulièrement Cécile Vanpé (chercheuse et cheffe de projets grands carnivores au SEE) et Andrea Corradini (chercheur écologue grands carnivores affilié à la fondation Edmund Mach et à l'université de Trente) qui ont supervisé les travaux de recherche présentés.

## Cadre, questionnement et objectifs

Ces travaux de recherche s'inscrivent dans le projet Ecosybear 3, initié en 2022 et porté par la DRAS. Ce projet répond aux demandes du plan d'action Ours brun, et a été entrepris dans le but d'améliorer les connaissances sur les impacts des activités humaines sur l'ours brun des Pyrénées. A terme, le but est d'identifier des solutions pour favoriser une coexistence équilibrée entre ces activités humaines et l'ours dans les Pyrénées. Les conséquences

comportementales des dérangements sont notamment ciblées pour déceler leurs effets sur le rôle écologique de cette population (DRAS, SEE 2021). Ce sujet peut être étudié à travers le prisme des rencontres homme-ours, objet inhérent aux problématiques de dérangement en milieux anthropisés.

Cet objet est ciblé pour de nombreuses raisons. D'une part, le dérangement généré par ces rencontres peut potentiellement affecter la survie et la reproduction des ours (abandon de portée, dépense énergétique, etc.) (Gastineau, 2016). D'autre part car il est nécessaire de prévenir un accident potentiel en cas de rencontre à courte distance d'un homme avec un ours. Même si l'ours brun est plutôt discret et a tendance à éviter l'homme, sa force physique peut le rendre dangereux, comme tout animal domestique ou sauvage de grande taille, surpris ou se sentant menacé (ours blessé, rencontre à très courte distance avec une femelle accompagnée d'ours, etc.). Factuellement, seulement deux cas d'attaques physiques (morsures non mortelles) d'un ours sur un humain ont été recensées entre 1996 et 2022. Celles-ci ont chaque fois impliqué une femelle avec oursons dérangée lors d'une battue au grand gibier avec présence de chiens courants (Sentilles et al. 2024). Malgré tout, une partie des utilisateurs de la montagne craignent l'animal et souhaitent éviter de les rencontrer lors de leurs sorties en montagne. Les élus et gestionnaires de l'espace montagnard pyrénéen souhaiteraient ainsi connaître les zones où les rencontres avec l'ours sont les plus à même de survenir. Très concrètement, cela leur permettrait de cibler les itinéraires où il serait important d'informer les utilisateurs de la montagne sur les comportements à adopter en cas de rencontre, entre autres. Ce sujet est d'autant plus crucial en raison de : (i) l'augmentation de la fréquentation humaine dans les espaces où l'ours est présent, (ii) l'augmentation de la population pyrénéenne d'ours brun et l'expansion de son aire de répartition, ce qui amène les rencontres homme-ours à être de plus en plus fréquentes au fil des années (Sentilles et al. 2024).

Ainsi, les travaux présentés visent à mesurer l'effet des dérangements que la présence humaine directe induit sur l'ours brun des Pyrénées. Les résultats obtenus seront ensuite employés pour déterminer quelles sont les zones présentant un risque élevé de rencontre entre l'ours et les utilisateurs du massif des Pyrénées. L'une des questions sous-jacentes à cette problématique consiste à déterminer comment et à partir de quelle donnée est-il possible de quantifier l'effet dérangeant de la présence humaine directe sur l'ours brun en montagne.

## Méthodes et outils mobilisés

Ces travaux de recherche s'inscrivent dans une approche quantitative, et ont été réalisés en plusieurs étapes. Une première étape d'exploration des données spatiales a été réalisée à travers leur visualisation ou l'observation de leur distribution. Cette étape exploratoire était nécessaire pour donner une orientation aux travaux. Les analyses spatiales ont ensuite permis d'approfondir ceux-ci, d'extraire et de créer de nouvelles données

spatiales interprétables (calculs de distances ou de densités par exemple). Les méthodes de modélisation ont ensuite été employées (analyse de variance, modèle linéaire généralisé, prédiction) de manière à mesurer et comparer les effets des perturbations humaines sur l'espèce étudiée. Les méthodes cartographiques ont enfin permis de représenter les résultats et l'information géographique qui leur est associée.

Les travaux d'extraction, nettoyage et mise en forme des données spatiales ont nécessité l'utilisation du logiciel R 4.3.1 (R Core Team, 2023) et de diverses bibliothèques incluses dans son répertoire. Les analyses statistiques ont également été réalisées sur R. Le système d'information géographique (SIG) QGIS 3.32 (QGIS Development Team, 2023) a quant à lui été exploité dans les étapes de visualisation des données et de cartographie. Sa bibliothèque associée GDAL a enfin été utilisée pour mettre en forme de données spatiales en cas d'absences de traitements R adéquats.

## Articulation du mémoire

Ce mémoire de stage est structuré en trois parties principales. La première présente l'état l'art sur les différents axes qui structurent le sujet d'étude. La deuxième partie présente la méthodologie employée (données et analyses) pour répondre aux questionnements posés. La troisième partie présente les résultats et les discussions qui peuvent être faites à leur propos. Une conclusion referme enfin ce mémoire.

# I. L'ours brun des Pyrénées : population, dérangement humain et rencontre homme-ours

Cette première partie viens présenter l'état de l'art du sujet étudié. Une première sous-partie s'intéressera à la population d'ours bruns vivant sur le massif des Pyrénées. Une deuxième présentera un focus sur les effets dérangent et perturbant que peut induire la présence humaine. Une troisième sous partie présentera ce que l'on connaît des observations d'ours en France, puis une dernière sous partie traitera des moyens connus de mesurer ces dérangements induits par la présence humaine.

## A. Les ours bruns du massif des Pyrénées

L'ours brun présent dans les Pyrénées est rattaché à la sous-espèce Ours brun d'Europe (*Ursus arctos arctos*). Cette sous-espèce, avec une dizaine d'autres dont entre autres le Grizzli (*Ursus arctos horribilis*) et l'Ours du Kamtchatka (*Ursus arctos beringianus*) forment l'espèce Ours brun (*Ursus arctos*), elle-même inclue dans la famille des Ursidés. Celle-ci a été largement étudiée par les écologues depuis les années 70-80. La population d'Ours brun des Pyrénées est classé comme étant « en danger critique » d'extinction par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN; DREAL Occitanie 2023). Cet omnivore rattaché à l'ordre des Carnivores joue un rôle important dans les écosystèmes en tant qu'« espèce clé de voûte » (via notamment l'impact potentiel de ses prédateurs sur l'abondance et/ou le comportement de ses proies et les effets cascade sur la végétation) et « espèce ingénieuse des écosystèmes » (via notamment les carcasses qu'il laisse pour les espèces charognardes) (Gastineau et al. 2016). L'ours brun est également une « espèce mobile de liaison », c'est-à-dire qu'il génère des flux biotiques (ex. dispersion de graines par endozoochorie) et abiotiques (ex. flux de nutriments) à travers les paysages (DRAS, SEE 2021). Il est finalement considéré comme une « espèce parapluie » puisque sa protection permet de protéger de nombreuses autres espèces, du fait de sa sensibilité aux perturbations et de l'étendue de son domaine vital (Mukherjee et al. 2021).

Malgré l'interdiction totale de la chasse à l'ours brun en France au 15 mars 1973, l'état de la population Pyrénéenne atteint un point plus que critique en 1995. Seulement cinq individus avaient pu être détectés sur la chaîne des Pyrénées cette année-là ; cette taille de population ne permettait pas d'espérer un inversement de la tendance démographique, l'ours brun était amené à s'éteindre sur le massif pyrénéen. L'état français décida alors d'agir en transloquant entre 1996 et 2018 dans les Pyrénées onze ours bruns capturés en Slovénie (Quenette et al. 2019). En 2023, l'aire de répartition annuelle de la population ursine pyrénéenne couvre 7100 km<sup>2</sup> (Figure 1), et son effectif s'élève à 83 individus minimum (Figure 2). Son taux d'accroissement moyen annuel est estimé à près de 11 % depuis 2006 (Sentilles et al. 2024).

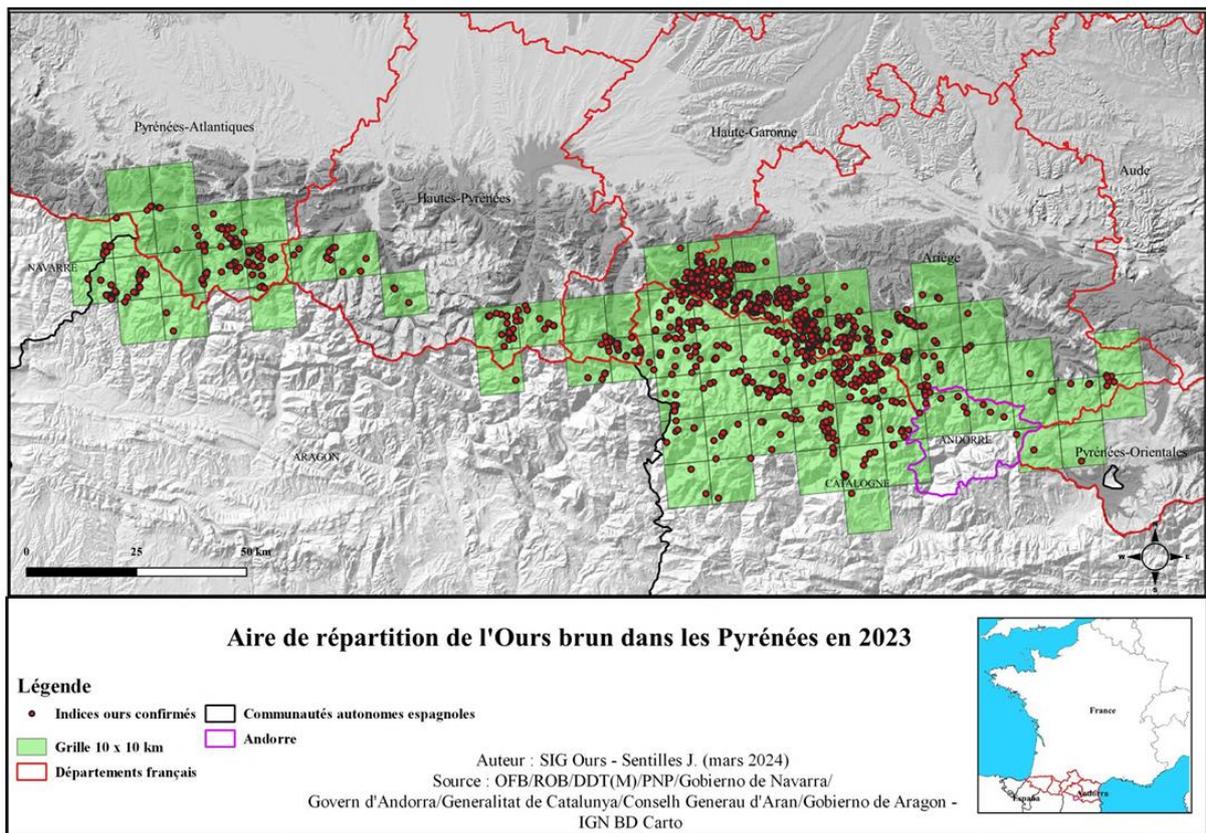


Figure 1 : Localisation des indices de présence d'ours "confirmés" et aire de répartition de l'espace dans les Pyrénées pour 2023, extraite du rapport annuel du réseau Ours Brun (Sentilles et al. 2024).

Si ces chiffres sont rassurants pour la viabilité à court terme de la sous-espèce sur le massif Pyrénéen, certains facteurs montrent que le danger d'extinction reste présent à plus long terme. En effet, de nombreux facteurs laissent cette population vulnérable aux aléas démographiques, environnementaux et génétiques (Chapron et al. 2009; Le Maho et al. 2013) cités par (Vanpé et al. 2022). Son isolement géographique (la population la plus proche étant celle des Cantabries située à environ 250 km de celle des Pyrénées), sa forte consanguinité, sa séparation en 2 noyaux historiques partiellement isolés l'un de l'autre, son faible effectif, l'existence de pressions anthropiques (ex. fragmentation du paysage, persécutions, dérangements) expliquent cette vulnérabilité.

Dans les Pyrénées, les ours préfèrent ainsi vivre en terrain accidenté, loin des fortes densités et des infrastructures humaines (Martin et al. 2012; Piédallu et al. 2019; Kervellec et al. 2023). Les résultats d'analyses sur les données télémétriques en Catalogne montrent que l'ours brun pyrénéen occupe principalement les espaces d'altitude comprise entre 800 et 1800 m d'altitude (évite les trop basses altitudes à cause de la forte anthropisation, évite les trop hautes altitudes à cause du manque de nourriture). Ils affectionnent les versants proposant une orientation nord-nord-est, une pente comprise entre 30 et 60° degrés, des forêts de hêtres, de sapins et de chênes humides. Le dérangement humain est également pris en compte par l'ours dans son choix de domaine vital puisqu'il affectionne une distance des villages supérieure à 1 kilomètre, une distance des routes comprise entre 0,5 m et 2 km, et

une distance des sentiers forestiers comprise entre 0,1 et 1 km (Sainz de la Maza et al. 2001). L'ours ne paraît quitter la forêt que pour rechercher certains aliments ou pour changer de secteur, et encore plus rarement durant le jour. La forêt confère en effet un lieu tranquille, couvert, très propice à aux phases de repos diurne de l'animal. Les habitats ouverts sont utilisés surtout durant les pics d'activité en début de nuit et début de matinée ou la nuit. Cependant, si l'ours a tendance à éviter l'homme, les Pyrénées restent un territoire de montagne anthropisé, avec une densité humaine de 5 habitants au km<sup>2</sup> en moyenne, une densité en routes de 1 km au km<sup>2</sup> (Martin et al. 2012), et la présence d'une grande diversité d'activités humaines toute l'année (ex. pastoralisme, foresterie, chasse, pêche, tourisme, cueillettes, randonnée et autres activités récréatives...).

L'ours est ainsi régulièrement confronté aux perturbations anthropogéniques, notamment à la présence humaine directe. La partie suivante viendra traiter des effets de celle-ci et des réponses comportementales qu'elle induit chez l'animal.

## B. Dérangement et perturbation induits par la présence humaine sur l'ours brun

Deux notions viennent catégoriser le degré de gravité d'un événement affectant l'ours. Il est question de dérangement lorsqu'il peut avoir pour conséquence d'interrompre l'activité habituelle de l'individu en provoquant une réponse comportementale ou physiologique. Ce dérangement n'a cependant pas de répercussions sur la population de l'animal. Au contraire, si l'événement affecte la dynamique des populations jusqu'à participer au déclin des populations à long terme, on parle alors de perturbation (Gastineau et al. 2016). La littérature affirme aussi que l'ours brun est une espèce généralement très sensible à la présence humaine. Cependant, celle-ci se manifeste de différentes manières, induisant également des effets divers sur l'animal.

Ainsi, dans certains cas, la présence humaine peut provoquer des perturbations sur l'ours brun. La mortalité d'origine humaine due aux collisions routières, à la chasse ou au braconnage ont évidemment des effets directs sur leur population en réduisant leurs effectifs et leur aire de répartition. Il faut aussi considérer les effets indirects amenés par ces événements, tels qu'une modification des comportements et de l'utilisation de l'habitat par l'ours (Darimont et al. 2009). Comme l'homme et les activités humaines sont une cause majeure de mortalité chez les ours, ceux-ci perçoivent les infrastructures et les activités humaines comme une menace. Ils ont alors tendance à éviter la présence humaine dans l'espace et dans le temps. Ainsi, les ours peuvent être considérés comme des proies évitant la prédation par les humains dans un "paysage de la peur" (Ordiz et al. 2011). Temporellement, les ours évitent les humains en étant actifs essentiellement la nuit, et en étant inactifs pendant la journée en se reposant à l'abri dans une zone tranquille sous couvert forestier (Parres et al. 2020). En général, les ours fuient

à l'approche de l'homme (Quenette 2011; Béteille 2023). Dans certaines populations d'ours, il a été montré que les individus ajustent ce comportement circadien davantage dans les zones habitées que dans les zones reculées, mais aussi pendant les saisons de forte activité (Ordiz et al. 2012). Ils réagissent également aux rencontres directes avec les humains en devenant moins actifs pendant la journée et ce, pendant plusieurs semaines après la rencontre, ce qui peut également affecter leur allocation optimale de temps pour le repos et la recherche de nourriture (Ordiz et al. 2013). Naturellement, le type de nuisance et son contexte affecte différemment l'animal. L'intensité de la nuisance, le type de topographie, la densité du couvert végétal et le type d'individus influent sur le niveau de perturbation. La distance maximale de sensibilité de l'ours a été estimée à 8 km (Aune et Stivers 1982). Par ailleurs, la tranquillité de l'ours est notamment essentielle lors de son hibernation. Toute perturbation par le tourisme hivernal dans un rayon de 1 km autour des tanières peut provoquer un abandon de la tanière, une perte énergétique et un risque accru pour les femelles de perdre leur progéniture. L'approche humaine à moins de 250 entraînerait un abandon inévitable de la tanière. Au-delà du risque de mortalité directe d'un ours par tir de défense d'un chasseur, l'activité de chasse (à travers le dérangement provoqué par les coups de feu, les chiens de chasse et le bruit des battues) pourrait entraîner un stress physiologique pour les ours et une modification de leurs mouvements, leur sélection d'habitat et leurs activités, avec des conséquences potentielles sur la survie et la reproduction des individus (Gastineau et al. 2016).

Hormis ces cas particuliers, la présence humaine directe semble simplement être synonyme de dérangement pour l'ours brun. Les loisirs de plein air, tels que la randonnée ou l'observation de la faune sauvage, sont par exemple décrits comme source de dérangement plus bénins que le dérangement lié aux activités de chasse au grand gibier (ours exclus), comme cela est le cas pour diverses autres espèces sauvages (Thorsen et al. 2022). La majorité des publications (entre 50 et 88%) traitant de l'impact des loisirs sportifs de plein air sur la faune sauvage affirment tout de même que ceux-ci ont plus d'effets négatifs que positifs ou absents (Gruas et al. 2023). Cette présence humaine entraînerait chez l'ours des réponses comportementales individuelles qui varient selon l'individu mais n'aurait pas d'impact à long terme sur les populations étudiées (Gastineau et al 2016; Tablado et al 2017). En général, les réponses de l'animal face à ces dérangements humains consistent en une fuite, une mise en place d'une activité plus nocturne, de l'évitement temporaire de la zone dérangée ou à son abandon définitif. Cela induit du stress et de la perte énergétique chez l'animal, puisque impliquant un déplacement vers des zones non dérangées moins optimales. Enfin, il a été observé que l'ours brun subit une diminution d'environ 10% de son temps d'alimentation sur les zones de randonnée. Mais la littérature souligne également que ces dérangements ont un effet variable selon la saison, l'âge et le statut reproducteur de l'animal. Les ours plus expérimentés toléreraient davantage la présence humaine que les autres catégories d'individus, et celle-ci entraînerait des conséquences plus graves sur les femelles accompagnées d'ours. Cependant, il est également relevé que ces mêmes femelles suitées peuvent avoir une attirance pour les zones occupées par l'homme. Par exemple, il a été

observé que des sites d'observations n'étaient utilisés par ces femelles uniquement lorsque des observateurs y étaient présents. En effet, ces derniers leur garantissent une faible probabilité de rencontre avec des mâles adultes, dangereux pour les oursons à cause des risques d'infanticides (Gastineau et al. 2016). De plus, la diversité des contextes et des types de présence humaine fait varier la réponse de l'ours face à la présence directe de l'homme. L'intensité du bruit qu'ils produisent, le type d'activité qu'ils entreprennent et les possibilités de fuite ou de cache pour l'animal sont autant de facteurs qui influencent également cette réponse (Tablado et al. 2017). Par ailleurs, l'absence visible de réponse comportementale n'implique pas qu'une indifférence de l'animal aux dérangements : des effets physiologiques internes non observables peuvent apparaître chez ces individus. Tous ces éléments indiquent que tenter d'établir un lien clair entre dérangement et réponse de l'ours brun reste compliqué malgré les nombreuses études réalisées sur ce sujet. Il semblerait tout de même que dans la grande majorité des cas, la présence directe humaine n'entraîne pas de conséquences graves sur dynamique de sa population, comme une perturbation le ferait.

### C. Les rencontres homme-ours en France

Des travaux récents se sont intéressés à l'évolution temporelle des observations visuelles d'ours dans les Pyrénées ainsi qu'à leurs caractéristiques et contextes (Béteille 2023; Sentilles et al. 2024) (Figure 2). Ces travaux montrent que depuis 2013 (où la population était estimée à 25 ours), le nombre annuel de rencontres homme-ours augmente linéairement avec la taille annuelle de la population. Ce nombre atteint actuellement une cinquantaine d'observations par an.

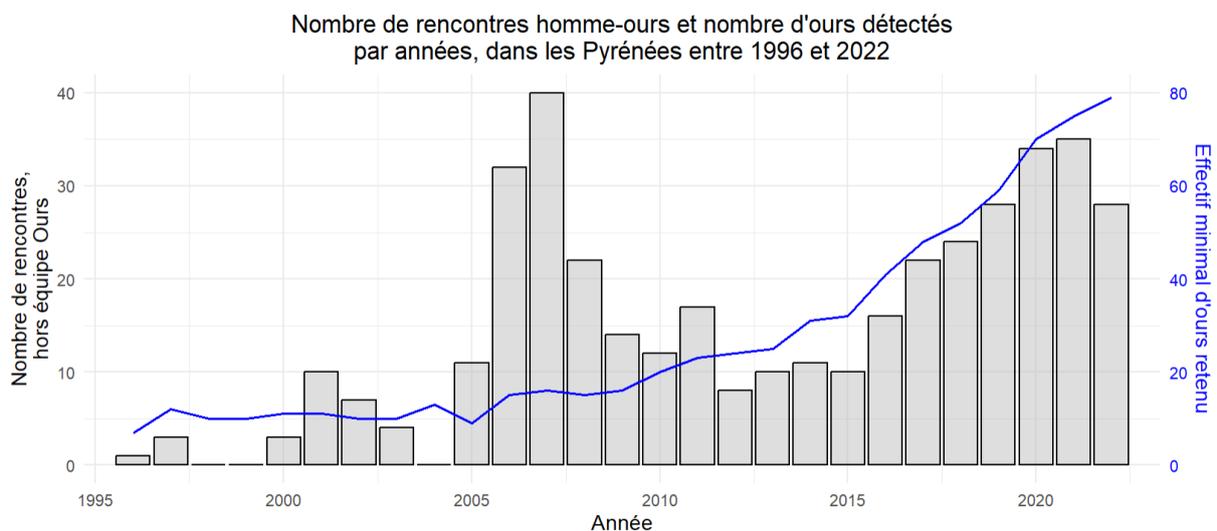


Figure 2 : Nombre de rencontres homme-ours et d'ours détectés par années dans les Pyrénées entre 1996 et 2022

Ces travaux montrent que 62% des observations visuelles (1161 recensées) ont lieu entre mai et août lorsque la fréquentation humaine est la plus importante dans le massif et que les ours sont en pleine période d'activité (rut, élevage des jeunes, alimentation). Le pic du nombre

mensuel d'observations visuelles a lieu en juin (21%). La majorité des observations (N = 667) ont lieu le matin entre 6h et 11h (39%, avec un pic du nombre horaire d'observations entre 7h et 8h) et le soir entre 19h et 21h (15%) aux pics d'activité journalière de l'ours. Aux heures les plus chaudes de la journée durant lesquelles les ours sont généralement en repos sous couvert forestier, et pendant les périodes d'obscurité, quand les ours sont peu visibles et les humains quasi absents, les observations sont moins fréquentes. Les observations visuelles ont été réalisées principalement par des randonneurs (28%), puis par les membres du ROB (22%), ou par les membres de l'OFB (18%). Viennent ensuite les observations réalisées par les éleveurs et bergers (14%), les chasseurs et pêcheurs (6%), et les autres catégories (12%, ex. automobilistes, habitants, naturalistes, forestiers et autres professionnels). Les observations de femelles accompagnées d'oursons (8%) et d'autres groupes d'individus (7%) sont minoritaires par rapport aux observations d'individus solitaires (86%). Enfin, le type de réaction de l'ours est dans 58% des cas la fuite, dans 26% des cas le déplacement sans courir, dans 11% des cas l'indifférence, dans 3% des cas la vigilance et enfin, dans 2% des cas l'agressivité (ex. grognements, charges d'intimidations). Il semble que la population ne se soit pas accoutumée à la présence physique d'humain au fil du temps. En effet, aucune évolution temporelle n'a pu être détectée quant aux distances d'observation minimum entre l'observateur et l'animal (une diminution aurait pu traduire une habitude à la présence humaine). Enfin, les réactions comportementales de ces ours Pyrénéens après avoir détecté la présence humaine n'ont pas évolué : ils ne sont pas plus indifférents, agressifs ou curieux année après année.

Les travaux décrits dans ce mémoire permettent notamment de compléter ces travaux antérieurs de Béteille (2023) en analysant plus en détail la dimension « présence humaine directe » et les dérangements des ours qui lui sont associés. Par ailleurs, les niveaux de dérangement humain sont ici estimés par une approche « fonctionnelle » ; ce point est présenté en détail dans la sous-partie suivante.

## D. Mesurer les dérangements induits par la présence humaine directe

Les perturbations et dérangements induits par l'homme sur la faune sauvage peuvent être quantifiées de deux manières différentes (Corradini et al. 2021; Nickel et al. 2020). D'un côté, elles peuvent être appréhendées à travers les nuisances « structurelles », également nommées passives : celles-ci sont alors décrites par l'effet des infrastructures humaines, de pollution lumineuse, d'utilisation spécifique de l'espace, de densité de population ou de réseau de déplacement sur son environnement (Ordiz et al. 2011; Tucker et al. 2018; Mohorović et al. 2017). La seconde manière est, à l'inverse, « fonctionnelle » (active) : elle correspond aux effets induits par la présence humaine directe. Elle est décrite par l'utilisation et la présence réelle, physique des humains (leurs déplacements par exemple) sur les entités

mentionnées précédemment. Bien que l'approche par les nuisances fonctionnelles semble être la plus à même de quantifier la perturbation de l'homme sur l'ours brun, elle est rarement utilisée (Corradini et al. 2021) car plus complexe à mesurer (Nickel et al. 2020). Cependant, on observe un accroissement rapide des activités récréatives de plein air (Boyle et Samson 1985; Balmford et al. 2009), cités par Tablado et al. 2017), sur des espaces qui n'étaient pas affectés par cette source de dérangement dans le passé (Cordell, Carter, et Green 2008) cité par (Nickel et al. 2020), (Balmford et al. 2009; Buckley 2009; Carney et Sydeman 1999) cité par (Tablado et Jenni 2017). Pour comprendre comment l'ours brun répond à ce nombre de plus en plus élevé d'utilisateurs de la montagne, il est nécessaire de mesurer et d'analyser l'effet de ces nuisances fonctionnelles présentes sur son domaine vital.

## II. Données et analyses

Considérant l'état de l'art sur l'ours et les dérangements précédemment décrits, la première étape de ces travaux de recherche a consisté à déterminer quelle source de données était la plus à même à estimer l'intensité de la présence humaine directe sur notre zone d'étude. C'est à partir de cette donnée qu'il a été alors possible de dériver des mesures d'intensité de nuisance fonctionnelle. Ensuite, cette donnée a été utilisée dans des analyses visant à répondre à nos questionnements. Ce cheminement est détaillé dans cette deuxième partie.

### A. Données

#### A.1. Sélection et extraction de donnée mesurant les niveaux de présence humaine directe

Le choix des données décrivant les niveaux de présence humaine directe, source de nuisances fonctionnelles, est d'une importance capitale. La fiabilité des résultats d'analyse qui en découlent en dépend grandement. Sur notre zone d'étude, cette donnée n'a jamais été estimée à l'échelle et au niveau de précision nécessaire pour nos travaux. L'objectif est donc de pouvoir estimer cette donnée le plus finement possible, en évitant un maximum de biais, dans une contrainte de temps (mais aussi de coûts) donnée. Les méthodes traditionnelles de mesure de présence humaine directe qui pourraient fournir la donnée désirée (comptage « manuel », tubes pneumatiques, capture photographique ou vidéo, enregistreurs automatiques de trafic (ATRs) ou encore capteurs Eco-compteurs « pyroélectriques ») ont été ainsi directement exclues en raison des nombreux freins à leur mise en place (temps, disponibilité matérielle, coût) et leur faible capacité à couvrir la large zone étudiée (Greg P. Griffin et Jiao 2019; Mourey et Ravanel 2017).

Une méthode de mesure de fréquentation basée sur la densité de photographies géoréférencées partagées par les utilisateurs d'un espace donné a récemment été établie, et permet d'éviter la majorité des limites relevées précédemment (Sessions et al. 2016). Cependant, les analyses comparant cette méthode à celle utilisant les « traces géonumériques » qui décrivent les trajets individuels parcourus par les sportifs en plein air donnent raison à cette dernière (Byczek et al. 2018). Ces données sont apparues avec l'essor de la technologie global positioning system (GPS) et son implémentation dans les objets connectés aujourd'hui démocratisés, comme les smartphones ou les montres connectées. De nos jours, de nombreuses plateformes proposent aux pratiquants de loisirs sportifs qui le souhaitent des services permettant l'enregistrement et la visualisation des données spatiales créées pendant les sorties de plein air (Runkeeper, Komoot, Runtastic, Adidas running, etc.). Ces plateformes connectent donc autant de données de fréquentation d'un espace donné que leurs utilisateurs leur fournissent. Il apparaît qu'aucune autre méthode ne permet d'obtenir de telles quantités de données de fréquentation (Griffin et Jiao 2019). L'une des plateformes collectrices de ce type de données la plus populaire est nommée Strava ('Strava | Application

running, vélo et randonnée - Entraînement, suivi et partage'). Malheureusement, l'accès aux données individuelles brutes créées et partagées par ses utilisateurs est à ce jour impossible. Cependant, deux produits dérivés de celles-ci le sont. Le premier correspond, pour une aire donnée, à toutes les traces individuelles se superposant aux entités linéaires recensées par OpenStreetMap (« OpenStreetMap »). Il a été démontré que bien que seule une fraction des pratiquants de loisirs sportifs de pleine aire participe à nourrir cette source de donnée participative, la relation entre nombre de ces traces collectées et le nombre de sportifs réels recensés par les autres méthodes de comptages traditionnelles était forte et positive : coefficient de détermination ( $R^2$ ) compris entre 0.815 et 0.997 pour de multiples points étudiés en zone rurales dans le Colorado aux Etats Unis d'Amérique, autocorrélation spatiale de Moran de 3.49 et  $R^2$  de 0.95 pour cinq chemins non goudronnés étudiés à Austin, dans l'état du Texas (Colorado Department of Transportation 2018; Griffin et Jiao 2019). Ces données permettent donc de comparer les valeurs de fréquentations entre différentes zones (mais en aucun cas de donner une valeur absolue de fréquentation). Pour accéder à ces données, il faut en demander l'accès au service « Strava Métro ». Si ce service estime que l'utilisation des données qu'il fournira aidera à l'amélioration des aménagements de transports, il peut donner une réponse favorable à la demande. Cela n'a pas été le cas dans le cadre des recherches présentées dans ce mémoire de stage. Cependant, le second produit, la « Strava's Global Heatmap » (Carte mondiale des activités Strava) est quant à elle laissée en accès libre par son fournisseur, jusqu'à un certain niveau de zoom. Cette couche de données géoréférencées est visualisable sur le site internet de la plateforme, et est également téléchargeable à travers différents flux d'extraction de données spatiales (flux Web Map Service par exemple). Cette carte de chaleur est le résultat de l'agrégation de toutes les données individuelles partagées publiquement sur Strava au cours des 12 derniers mois, quel que soit le type d'activité (ski alpin, surf, natation, randonnée, etc.). Cependant, Strava décline également son produit en différents sous-produits qui eux, ne regroupent que les activités d'un même type. Ainsi, la carte de chaleur « sport à pied » présente le résultat de l'agrégation des données individuelles que les utilisateurs ont enregistré comme course à pied, trail, randonnée ou marche (Figure 3).

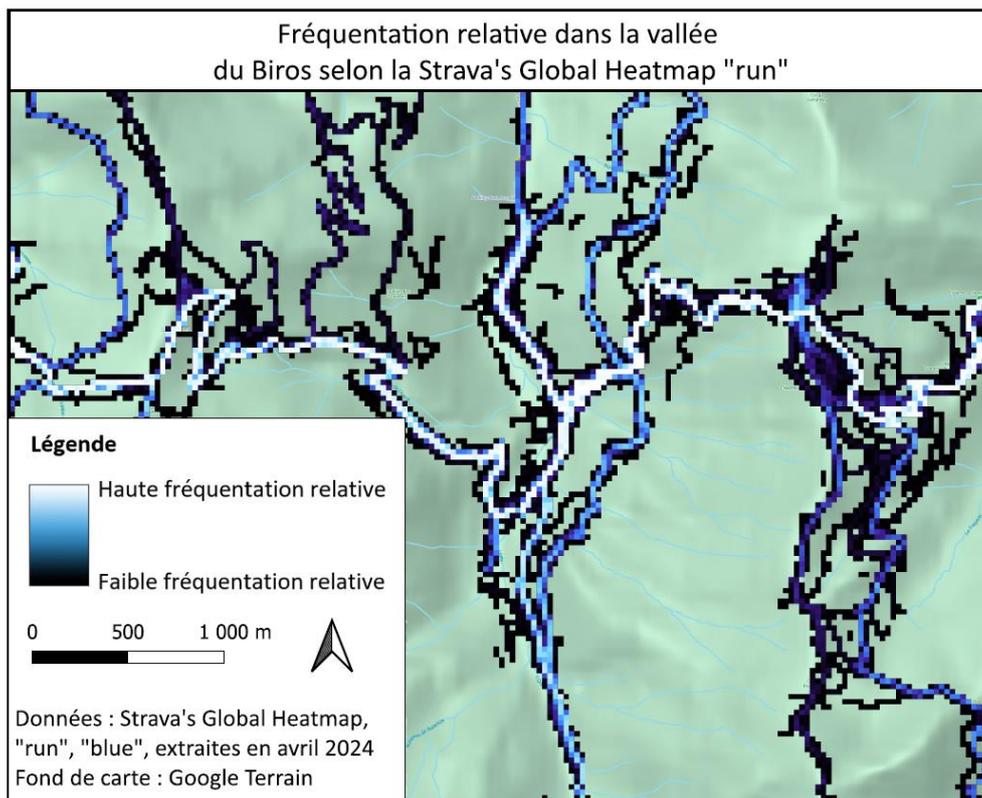


Figure 3 : Fréquentation relative dans la vallée du Biros selon la Strava's Global Heatmap « run » extraite en avril 2024. Le chemin d'intensité maximale traversant la zone d'Est en Ouest est une section du GR10, affectonnée par les randonneurs.

Le choix de la source de données qui a été utilisée dans les analyses pour rendre compte de la présence humaine directe sur le massif des Pyrénées s'est porté sur celle-ci. Nous faisons ainsi l'hypothèse que cette présence humaine est bien reflétée par les personnes pratiquantes de sports de loisirs à pied. Il est cependant vrai que certains utilisateurs de la montagne comme les éleveurs risquent de ne pas être détectés par cette carte de chaleur.

Ainsi, il est important de déterminer ce que cette donnée décrit. Premièrement, en aucun cas la Strava's Global Heatmap ne fournit l'information quantitative absolue du nombre d'individus passant sur un chemin donné. En revanche, elle fournit l'information spatiale des zones où les pratiquants de loisirs sportifs passent. D'autre part, l'intensité de couleur qui lui est appliquée mesure l'intensité de fréquentation relativement par rapport à son contexte local. Ainsi, une cellule de valeur non nulle sur la couche peut être identifiée comme fréquentée. S'il est d'une intensité de couleur plus vive, nous pouvons également savoir que la zone en question est plus utilisée que les chemins marqués d'une couleur plus froide autour de celui-ci. Additionnement, le potentiel de description de la fréquentation brute de cette donnée a récemment été testée ; ses valeurs ont été comparées à celles mesurées par de nombreux pièges photographiques. Les résultats montrent que les deux données sont corrélées (tests réalisés sur une zone d'étude aux caractéristiques similaire à celle utilisée dans ces travaux, mais moins étendue (Corradini et al. 2021). Pour mentionner les détails de ce que cette couche décrit, notons que seules les traces ne pouvant pas être agrégées en un groupe de traces multiples sont masquées pour des raisons d'anonymisation. Ainsi, un chemin

emprunté par seulement quelques sportifs au cours des 12 derniers mois ne sera pas représenté (Robb 2018). Cependant, contrairement au produit fourni à travers le service Strava Metro, les traces agrégées ne se trouvant pas superposées à une entité linéaire OpenStreetMap ne sont pas exclues de la carte de chaleur. Ceci est important lorsque cette donnée est utilisée dans le contexte qui est le nôtre ; la fréquentation des loisirs sportifs de plein air se produit parfois hors des sentiers répertoriés. Omettre cette information réduirait considérablement la qualité des résultats d'analyses. Par ailleurs, si cette donnée est mise à jour mensuellement, il a été démontré que la donnée Strava métró ne variait que très marginalement d'année en année ;  $R^2$  de 0.969 entre la fréquentation mesurée sur les chemins en 2016 et celle de 2019 (Thorsen et al. 2022, supplément d'information). Nous pouvons émettre l'hypothèse que la même relation existe pour la donnée « Global Heatmap » puisque ces deux produits sont majoritairement issus de la même base de données.

C'est donc à partir de la carte de chaleur regroupant les données de « sport à pied » issues de la plateforme Strava que l'intensité de fréquentation des loisirs sportifs de plein air est mesurée sur la zone d'étude. Pour être plus précis, c'est la valeur de la quatrième bande raster de la carte de chaleur extraite qui est ici utilisée. Celle-ci décrit initialement la transparence du rendu visuel, qui lui-même décrit la même information que l'image multi bande. L'extraction est réalisée à travers la fonction « get\_tiles » du package R « maptiles » (Giraud 2024) en suivant un script présenté sur la plateforme de partage git\_hub (PnMercantour 2022). La résolution la plus fine possible est sélectionnée, ainsi, l'information de l'intensité de fréquentation relative est extraite pour chaque carré de 28 mètres de côté qui compose notre air d'étude. Cette maille très fine est adaptée à la donnée de nuisance fonctionnelle que nous souhaitons ensuite estimer.

## A.2. Transformation en des niveaux de nuisance fonctionnelle

Les analyses que nous souhaitons entreprendre s'intéressent aux effets des nuisances fonctionnelles induites par la présence humaine directe. Il est donc nécessaire de dériver cette information à partir des niveaux de fréquentation fournis par la donnée sélectionnée. Deux métriques sont ainsi calculées pour mesurer ces niveaux de dérangements à fine échelle :

- La première décrit, pour chaque pixel de 28 mètres de côté, la valeur d'intensité de fréquentation relative du 90<sup>e</sup> percentile parmi les valeurs des pixels inclus dans un rayon de 100 mètres (Figure 4, à droite). Formulé différemment, chaque pixel décrit de manière focale l'intensité d'utilisation de son espace en prenant en compte la valeur du pixel de valeur quasi maximale parmi les pixels de son voisinage, dans un cercle de rayon de 3 pixels. Cette valeur est ensuite normalisée. Sa construction est similaire à celle du « Cumulated Outdoor activity Index (COI) développé dans une étude italienne (Corradini et al. 2021). La différence majeure de notre donnée avec ce COI réside dans le fait que ce dernier utilise la donnée Strava sans filtrer les activités autres que celles réalisées à pied. Cette source a montré que l'ours brun européen

évitait fortement les zones marquées par une forte valeur de cette variable dans la sélection de l'espace qu'ils utilisent. Cette donnée indique donc bien des niveaux de dérangement produits par les utilisateurs de la montagne, relativement à son contexte local. Elle est mentionnée sous le nom « Intensité de fréquentation focale » le long de ce mémoire.

- La seconde métrique construite décrit les niveaux de dérangement de chaque pixel à partir de la distance euclidienne qui les sépare du pixel de valeur de fréquentation non nulle le plus proche. Ce type de calcul est souvent utilisé dans la littérature pour décrire des effets dérangement (Corradini et al. 2021). La distance calculée est transformée par une formule de décroissance exponentielle, selon la formule présentée dans l'équation 1.

$$\text{Distance aux chemin transformée} = 1 - e^{-0.002 * \text{distance aux chemins}}$$

*Équation 1 : transformation exponentielle décroissante*

Ceci permet d'accentuer l'effet dérangement affecté aux courtes distances par rapport aux points situés à plusieurs centaines de mètres du plus proche chemin, qui eux auront une valeur de dérangement quasi-nulle. Autrement dit, plus la distance augmente, plus l'effet dérangement est exponentiellement réduit. Cette nouvelle variable ne prend pas en compte les niveaux de fréquentation relatifs au contexte local ; chaque pixel que la Strava's Global Heatmap considère comme fréquenté est pris en compte dans le calcul de distance, quel qu'en soit son niveau d'intensité. Nous appellerons cette variable la « distance au chemin le plus proche » pour la suite de ce mémoire, un extrait y est présenté dans la figure 4, à gauche.

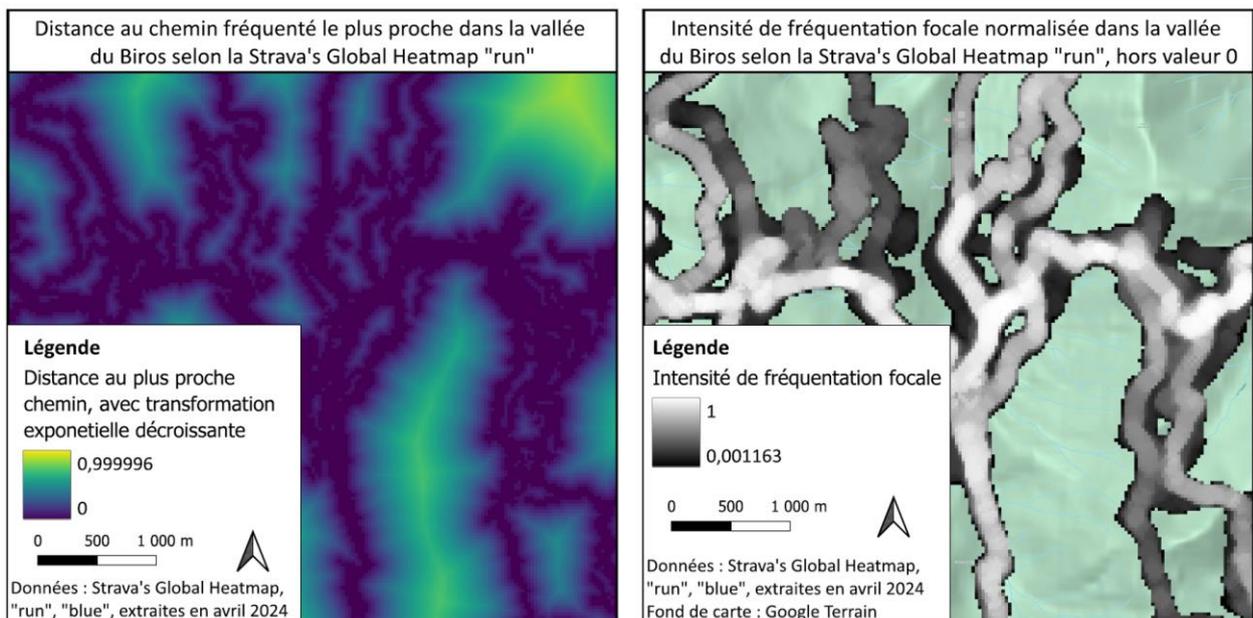


Figure 4 : Mesures de nuisances fonctionnelles « distance au chemin le plus proche » et « intensité de fréquentation focale normalisée » dans la vallée du Biros selon la Strava's Global Heatmap « run » extraite en avril 2024

Nous pouvons enfin ajouter qu'en raison de la source de données dont ces mesures sont dérivées et des connaissances que nous avons de l'utilisation de la montagne, il paraît évident que les niveaux de perturbation décrits sont estimés pour les phases de jour uniquement. La présence humaine directe est évidemment très négligeable la nuit en montagne.

### A.3. Récolte de témoignages de rencontres homme-ours

L'autre source de donnée importante à présenter est celle fournissant les informations concernant les rencontres homme-ours. Dans le cas d'une observation visuelle d'ours, une « Fiche témoignage observation visuelle » est complétée. Toutes celles dont le statut d'observation a été jugées « confirmée » ou « probable » entre 1996 et 2022 (1130 observations au total) ont été numérisées puis regroupées dans un tableau en 2023 (Béteille 2023). Depuis 2022, ces informations sont directement informatisées dans la base de données « BDROB ». C'est l'équipe ours qui s'assure de la fiabilité de l'information avant de l'enregistrer (vérification des témoignages à partir des propos ou des photos de l'observateur, voire recherche d'indices de passages d'ours à l'endroit où celui-ci aurait été vu). N'importe quel type d'observateur peut être amené à contribuer à cette source de données : chasseurs, professionnels travaillant sur le terrain, randonneurs, naturalistes, etc. Une part de ces observations provient également du travail du Réseau Ours Brun (ROB). Ce réseau de volontaires est encadré par « l'équipe ours » du SEE, et participe à la collecte d'indices de présence de l'animal sur les Pyrénées françaises. Sur chaque sous-massif constituant le domaine vital de l'ours, ils parcourent systématiquement des itinéraires pouvant présenter des indices (relevé de pièges photos ou de poils sur arbres par exemple) afin de les collecter.

Les données d'observations visuelles ont fait l'objet de travaux d'un premier stage de Master 2 en 2023 par Clémence Béteille (voir plus haut). Le mémoire de stage présenté ici utilise cette même source de donnée, mais en ciblant les données décrivant les rencontres lorsque l'ours avait détecté l'observateur humain. Ce choix est réalisé pour les besoins des analyses : il est nécessaire de ne travailler qu'à partir de données de rencontres « opportunistes ». Ainsi, selon un expert, le meilleur moyen d'exclure les observations réalisées par les personnes ayant cherché à observer l'ours (par affût par exemple) est celui de ne conserver que les rencontres lorsque l'ours a pris conscience de la présence de l'observateur. De plus, seules les rencontres réalisées sur le sol français sont conservées : celles collectées en Andorre ou en Espagne peuvent avoir un contexte d'apparition différent. Elles ne représentent qu'une faible proportion des observations, il est donc préférable de les exclure.

A noter qu'étudier les déplacements des ours pyrénéens est très compliqué. Très peu d'ours ont été équipés de colliers GPS ou VHF par le passé, et la plupart de ceux qui l'ont été étaient soit des ours relâchés, soit des oursons orphelins, soit des ours classés comme « à problèmes ». Ainsi, leurs déplacements ne reflétaient pas réellement ceux que les autres individus de cette population parcourent au quotidien.

Ainsi, ce sont ces données de rencontres homme-ours et leur relation avec les données de « nuisances fonctionnelles » présentées qui est analysé dans la sous-partie suivante.

## B. Analyses

Deux axes d'analyse sont explorés. Un premier travail est réalisé pour détecter si nos données de dérangement fonctionnel ont un effet, notamment temporel, sur l'utilisation de l'espace par l'ours. Une seconde approche est entreprise pour détecter l'effet de ces mêmes données dans un contexte de risque de rencontre homme-ours.

### B.1. Détecter les schémas temporels des rencontres homme-ours pour comprendre l'effet des nuisances fonctionnelles sur l'ours

Le but de cette première analyse est de tester si les ours modifient leur comportement d'utilisation de l'espace à l'échelle de la journée, en fonction des nuisances fonctionnelles qui fluctuent. Nous émettons l'hypothèse qu'en raison de la présence humaine diurne et des dérangements qu'elle induit, les zones à forts dérangements sont relativement plus utilisées la nuit qu'aux autres moments de la journée par les ours. Ceux-ci éviteraient ces zones pendant le jour mais profiteraient de la nuit pour les utiliser car ils savent que la probabilité de rencontre des humains à ce moment de la journée est bien plus faible. Le même effet pourrait également exister, à intensité différente, pour les autres moments de la journée que sont l'aube et le crépuscule.

Pour tester cette hypothèse, un test non paramétrique de Kruskal Wallis est réalisé. Il détectera des différences significatives de niveaux de nuisance entre les observations regroupées par différents moments de la journée. Dans ces analyses, les niveaux de nuisance sont mesurés par les deux métriques présentées en II.A.2., l'intensité de fréquentation focale et la distance au chemin le plus proche, toutes deux dérivées de la Strava's Global Heatmap). Le test de Kruskal Wallis est utilisé pour de nombreuses raisons : beaucoup d'observations possèdent des valeurs de dérangement proches ou égales à 0, donc une méthode non paramétrique est plus recommandée. De plus, ce test est recommandé lorsqu'une analyse de la variance classique (ANOVA) ne peut être réalisée en raison de la distribution non normale des résidus. Enfin, le test de Kruskal Wallis peut être réalisé avec ce jeu de données même si la taille des groupes indépendants n'est pas la même pour tous (le nombre d'observations en journée est logiquement plus important qu'aux autres moments de la journée), ce qui n'est pas toujours le cas avec d'autres tests.

Pour réaliser ces tests qui déterminent si les rencontres homme-ours se produisent en journée se trouvent dans les zones les moins dérangées, les données de rencontre sont préparées. Chaque observation dont l'information de sa temporalité est disponible est regroupée en

fonction de l'heure de la journée à laquelle elle s'est produite (aube, jour, crépuscule ou nuit). Pour se faire, les heures de coucher et de lever du soleil sont individuellement affectées à chaque observation grâce au package R « suncalc » (Thieurmél et Elmarhaoui 2022). Cette étape est nécessaire car ces deux événements quotidiens varient beaucoup selon que l'observation ait lieu à proximité du solstice d'été ou de celui d'hiver. Dans un second temps, les rencontres sont classées selon la logique suivante : les rencontres « aube » sont celles qui ont eu lieu entre 2 heures avant le lever du soleil et 1 heure après celui-ci. Le crépuscule suit le même schéma ; sont considérées comme observées au crépuscule les rencontres qui ont eu lieu entre 1 heure avant le coucher du soleil et 2 heures après celui-ci. Les rencontres de jour sont celles qui ont lieu entre l'aube et le crépuscule, et inversement pour qualifier les rencontres de nuit. Ensuite, certaines observations sont filtrées pour les besoins de nos analyses. Les rencontres réalisées par « l'équipe ours » du SEE sont exclues, car elles se sont déroulées dans un contexte très différent de celui des autres utilisateurs de la montagne (recherche d'ours avec télémétrie par exemple). De plus, nous souhaitons réduire le biais selon lequel la lumière du soleil peut conduire les humains à distinguer des rencontres à longue distance durant le jour, ce qui n'est pas réalisable une luminosité moindre, pendant la nuit par exemple. Ainsi, les rencontres où la distance minimale entre l'observateur et l'animal est supérieure à 250 m sont exclues. Ce seuil est justifié par le fait que c'est à partir de cette distance que les rencontres nocturnes ne représentent plus approximativement les 10 % du nombre total de rencontres observées par classe de distance précédente (Figure 5). Tous ces choix sont réalisés sous le conseil d'experts. Ainsi, 214 observations constituent l'ensemble de données qui sont finalement utilisées dans l'analyse.

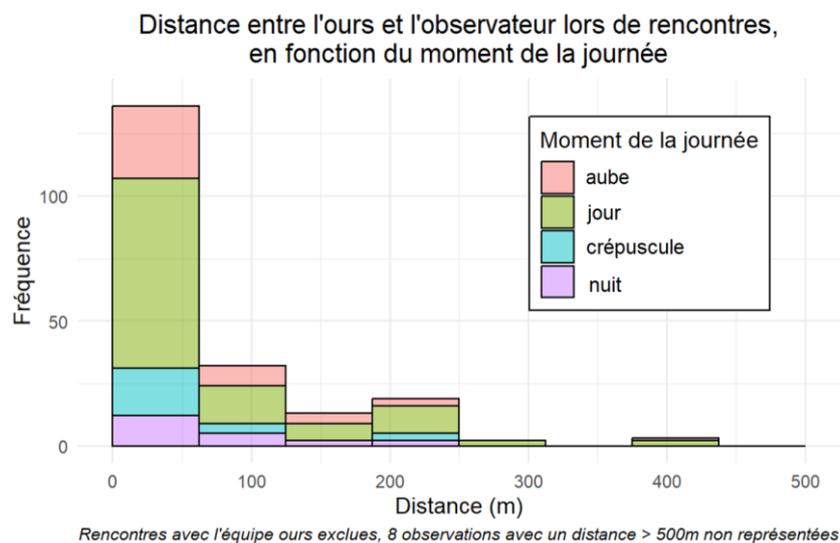


Figure 5 : Distance entre l'ours et l'observateur lors de rencontres, en fonction du moment de la journée.

Des analyses similaires ont été réalisées pour tester l'hypothèse de « l'effet week-end » : une augmentation du nombre d'activités récréatives pendant les jours de week-end aurait un effet sur l'ours. Dans ce cas, nous nous attendons à ce que les rencontres avec des ours pendant le week-end se produisent dans des zones où les niveaux de nuisances sont plus faibles qu'en semaine. Les jours de la semaine lundi, mardi, mercredi et jeudi sont regroupés pour

constituer le groupe des jours « semaine », tandis que samedi et dimanche sont classifiés comme les jours « week-end ». Les observations réalisées un vendredi sont écartées pour ces analyses en raison de son statut différent (Une augmentation des activités de plein air ce jour-là est possible par rapport aux autres jours de la semaine, mais peut-être trop faible comparé aux niveaux des jours de week-end).

## B.2. Capturer les tendances spatiales des rencontres homme-ours en fonction des niveaux de nuisances fonctionnelles et prédiction de leur risque d'apparition

Capturer les tendances spatiales des rencontres entre humains et ours dans les zones plus ou moins affectées par les nuisances fonctionnelles nous aidera à répondre à nos deux questionnements principaux : mesurer les dérangements induits par la présence directe humaine que subissent les ours, et déterminer où se trouvent les zones présentant les plus fortes probabilités de rencontre homme-ours. Une régression logistique (de la famille des modèles linéaires généralisés (GLM)) est utilisée à cette fin : cette méthode est adaptée lorsqu'on cherche à modéliser une probabilité d'occurrence, avec une variable à expliquer qui décrit une distribution binomiale des erreurs. Un cas d'étude similaire portant sur la présence et l'absence du lézard d'Uta est décrit dans la littérature (Quinn et Keough 2002). L'approche que nous utilisons peut également être considérée comme relevant de l'approche « risque naturel », au sens géographique du terme. Le risque peut être mesuré par la combinaison de l'aléa (ici, un aléa biologique) et de la vulnérabilité (Veyret et Reghezza 2005). Le danger est défini par « un phénomène dangereux [...] pouvant entraîner des pertes de vie, des blessures ou d'autres effets sur la santé [...], tandis que l'exposition est décrite comme « la présence de personnes [...] dans une zone sujette aux risques » (Voskaki 2020; « UNDRR »). Si l'une de ces composantes devient plus forte, le risque augmente (Formule 2). Ainsi, la probabilité de l'apparition d'une rencontre homme-ours peut simplement être considérée comme le niveau de risque de rencontre homme-ours. Ce raisonnement, une fois modélisé, s'apparente aux approches décrites dans d'autres cas d'étude (par exemple, les attaques de meutes de loups sur le bétail (Treves et al. 2011)).

$$\text{Risque} = \text{Aléa} * \text{vulnérabilité}$$

*Équation 2 : formule du risque naturel en géographie*

Nous pouvons désormais collecter les variables prédictives potentielles qui pourraient être incluses dans le modèle de risque de rencontre. Les hypothèses sur leurs effets attendus de chacune d'elles sont également présentées. Premièrement, puisque nous cherchons à capturer leurs effets sur les rencontres, les deux variables de mesure des niveaux de nuisance fonctionnelle que nous avons dérivées de la Strava's Global Heatmap sont incluses comme variables explicatives. L'hypothèse testée serait que les ours évitent les zones perturbées, ce qui rend les rencontres moins susceptibles de se produire là où ces mesures estiment des

niveaux de dérangements élevés (effet négatif significatif sur la variable à expliquer mesurée par le modèle). Cependant, malgré les transformations qu'elles ont subies pour passer de données présentant les fréquentations relatives à celles de dérangement fonctionnel, elles peuvent probablement toujours décrire ces niveaux d'intensité de fréquentation. Il ne serait alors pas impossible que l'effet inverse du dérangement soit détecté. En d'autres termes, les métriques de nuisances fonctionnelles créées pourraient être considérées comme des mesures de vulnérabilité si leur pouvoir de décrire la présence humaine directe est plus fort que celui de décrire le dérangement. Dans ce cas-là, un effet positif significatif serait détecté par le modèle pour ces variables explicatives. Deuxièmement, pour comparer les effets de ces mesures, et parce que notre objectif est aussi de prédire le risque de rencontre entre humains et ours de la plus robustement possible, les métriques de nuisances structurelles habituelles sont également incluses comme variables explicatives : l'altitude, la distance aux habitations les plus proches et la distance aux routes principales les plus proches. Les deux variables "distance" sont transformées suivant une formule de décroissance exponentielle pour affecter un effet de dérangement plus faible aux distances les plus longues (même transformation utilisée que pour construire la distance jusqu'au chemin Strava le plus proche, décrite en II.A.2). On s'attend à ce que ces variables aient un effet positif sur la probabilité de risque de rencontre, car les zones avec de faibles valeurs de dérangement sont plus susceptibles d'être utilisées par les ours (ce qui équivaut à un aléa accru dans la formule du risque). De plus, la densité d'ours lissée calculée pour l'année 2019 sur les Pyrénées est également incluse (Kervellec et al. 2023). Naturellement, nous nous attendons également à ce que la probabilité de rencontres soit élevée là où cette densité est élevée, puisque cela devrait maximiser la composante "aléa" de la formule du risque. Enfin, les variables environnementales de la densité du couvert arboré, de la présence de végétation ligneuse rase, de la rugosité et de la pente sont également utilisées comme variables explicatives pour obtenir un modèle complet. Pour ces dernières variables, il est difficile de prédire leur effet sur le risque de rencontre homme-ours. En effet, ils peuvent augmenter la composante "aléa" autant qu'ils peuvent minimiser celle de "vulnérabilité" (par exemple, les ours aiment utiliser les zones très pentues (Sainz de la Maza et Nunes Alonso 2001; Corradini et al. 2021) (plus de danger), mais la majeure partie de la présence humaine en montagne pourrait également chercher à l'éviter (moins de vulnérabilité sur ces espaces pentus)). Les informations relatives aux variables explicatives testées dans la régression logistique sont présentées dans l'annexe n°1. Toutes les couches raster mono-bande sont combinées en une couche multi-bande qui couvre l'ensemble de la zone d'étude et ses environs (Figure 6). Les valeurs de variables continues ont été transformées pour obtenir une distribution standard ayant les paramètres moyenne = 0 et écart type = 1. Ainsi, notre jeu de données raster est prêt pour les étapes suivantes de modélisation de la régression logistique.

## Variables explicative continues testées dans la régression logistique

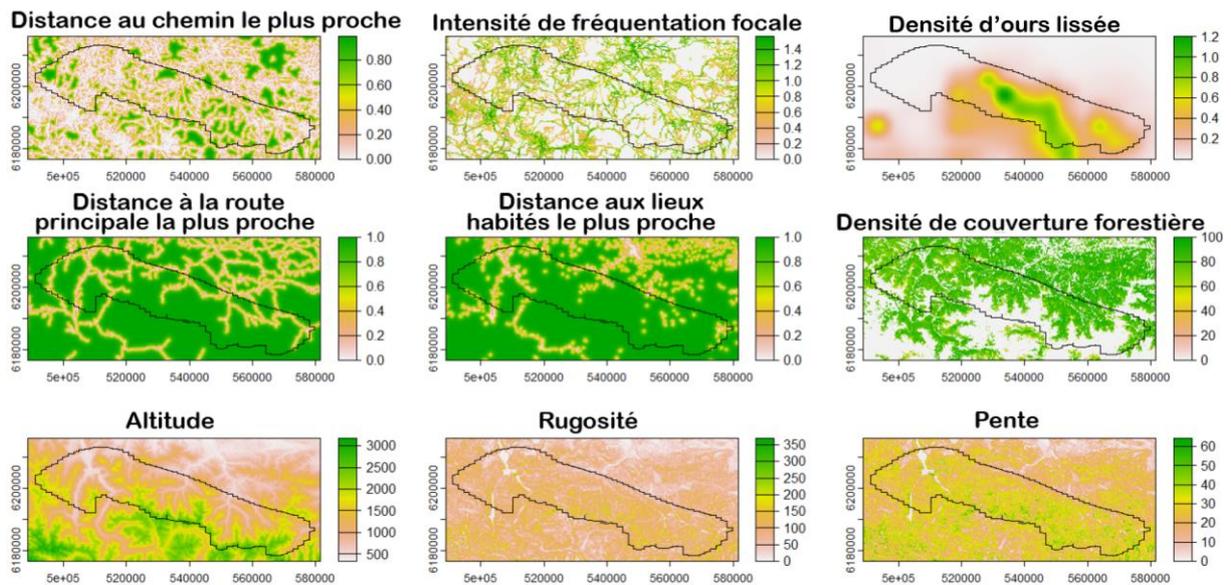


Figure 6 : Variables explicative continues testées dans la régression logistique utilisée pour prédire les probabilités de rencontres homme-ours. Le périmètre de la zone d'étude est représenté par la ligne noire.

Nous pouvons ensuite créer le jeu de donnée « rencontre homme-ours ». Toutes les observations disponibles ne peuvent malheureusement pas être utilisées pour fournir les données réelles de présence de rencontre que nous utilisons comme variable à expliquer dans le modèle. Une sélection doit être effectuée pour éviter un maximum de biais dans les résultats. Premièrement, il a été décidé de ne conserver uniquement les observations homme-ours observées après 2012. Les raisons sont multiples. Nous observons que c'est à partir de 2013 que le nombre d'observations d'ours commence à être corrélé au nombre d'ours détectés par an (Sentilles et al. 2024). Cela nous permet de minimiser la proportion de rencontres qui auraient pu avoir lieu en raison de l'introduction de nouveaux ours (les ours transloqués ont besoin de temps pour explorer et construire leur domaine vital). Nous pouvons supposer que lors de cette phase d'exploration, les ours ne savent pas à quel point une zone est habituellement perturbée, et quel est le risque d'y rencontrer un humain ; alors ce genre de rencontre pourrait fausser nos résultats. De plus, certains des prédicteurs testés dans le modèle peuvent évoluer avec le temps (densité des ours notamment) ; il est donc important de sélectionner les données de réponse qui ont été observées aussi près que possible de la même période. Sinon, les variables prédictives et de réponse ne seront pas associées par conception. Deuxièmement, les résultats de l'analyse précédente sont utilisés. Ils ont montré que les rencontres nocturnes se déroulent dans un contexte différent de celles qui ont lieu le jour, au crépuscule ou la nuit, cela sera détaillé dans la prochaine sous-partie. Ainsi, les rencontres nocturnes sont exclues. L'autre option serait d'adapter un modèle différent à partir de ces données spécifiques, mais leur nombre est trop faible pour le faire. Par souci de cohérence avec l'analyse précédente, les rencontres avec une distance minimale homme-ours supérieure à 250 mètres sont également exclues. Finalement, 77 observations

composent les points de présence de rencontre homme-ours qui vont être utilisés comme variable à expliquer dans la régression logistique.

Ces points servent dans un premier temps à construire le périmètre de la zone d'étude. Celui-ci est calculé par une méthode de kernel dans laquelle les zones dont la densité est inférieure à 10 % de la valeur maximum sont exclues. Le résultat approche l'air en France où le risque de rencontre homme-ours est non nul. A l'intérieur de ce périmètre, 770 (10 \* nombre de points de présence) points dit de "pseudo-absence" sont créés aléatoirement, comme cela se fait habituellement lors de la modélisation de régression logistique (Figure 7). Ils permettent de matérialiser les endroits où une rencontre n'a jamais été détectée, mais où ce phénomène peut se produire (en confrontation avec les points de présence, matérialisant les emplacements où une rencontre a déjà été détectée).

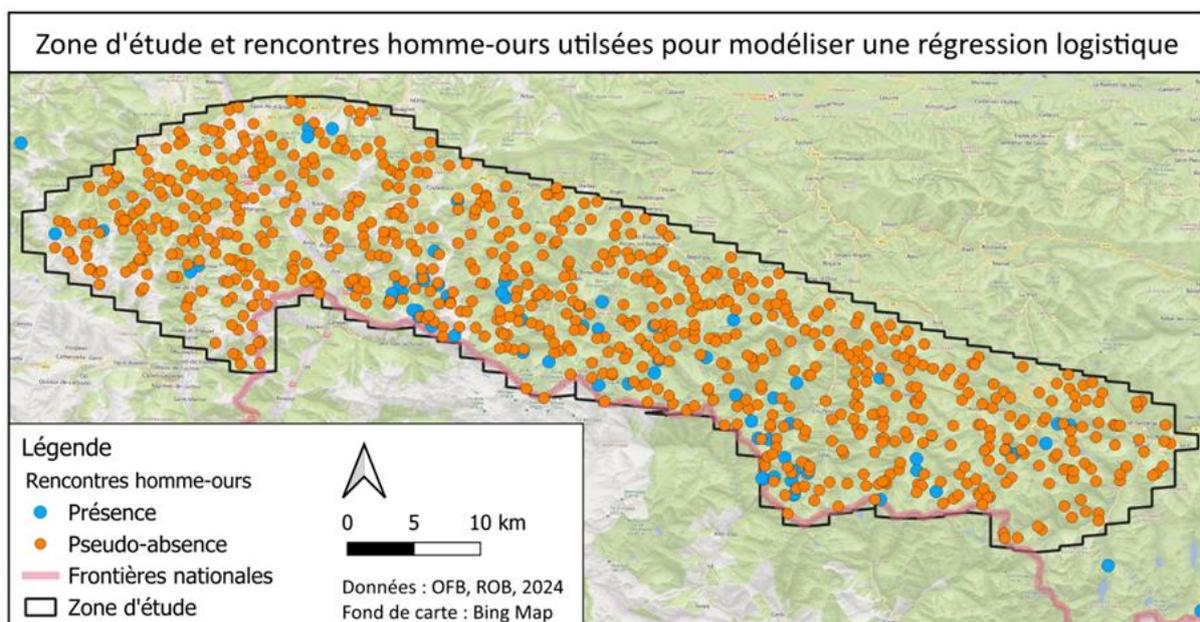


Figure 7 : Zone d'étude et rencontres homme-ours utilisées pour modéliser la régression logistique.

Les packages R « terra » (Hijmans, 2023), « raster » (Hijmans 2023) et « dplyr » (Wickham, 2023) ont principalement été utilisés pour toutes les étapes de traitement des données décrites. La dernière de celles-ci consiste à extraire, à partir de la couche raster créée, les valeurs des variables explicatives pour chacun des points de présence (et de pseudo-absence). Cela est réalisé via la fonction « extract » du package « raster ». L'étape suivante consiste à traiter la colinéarité entre variables prédictives. Dans cette analyse, elles sont exclues pour éviter des problèmes d'interprétation des effets du modèle. Les variables rugosité et pente sont très similaires par construction, ce qui les rend fortement corrélées ( $R^2 = 0,97$ ). La pente est alors écartée des analyses. De plus, la distance aux routes principales ne sera pas non plus incluse en raison de la forte association qu'elle partage avec la distance aux habitations les plus proches. La première des deux variables prédictives est exclue car elle est également corrélée à l'altitude ( $R^2 = 0,62$ ). La matrice de corrélation présentant les niveaux d'association entre chaque paire de variables explicative continue est présentée dans l'annexe n°2.

Nous pouvons enfin créer un premier modèle « total » (incluant toutes les variables prédictives) via la fonction « glm » disponible sur R. Ensuite, nous pouvons réaliser les étapes de sélection du meilleur modèle. La fonction de « dredge » du package R « MuMIn » (Bartoń, 2023) est utilisée dans ce processus. Cette fonction évalue toutes les combinaisons de modèle possibles (en incluant et excluant les variables prédictives du modèle total) pour révéler le modèle respectant le plus le principe de parcimonie selon le Critère d'Information d'Akaike (AIC) corrigé. Le principe de parcimonie implique qu'on préférera un modèle au nombre de variables explicatives réduits tout en conservant celle permettant d'expliquer au mieux la variable à expliquer.

Les analyses permettant de tester nos hypothèses ont à présent été effectuées, leurs résultats sont présentés dans la partie suivante. Ceux-ci sont également discutés dans cette même partie.

### III. Résultats et discussion

Les résultats et discussions des deux analyses sont présentés dans deux sections différentes, comme il a été fait pour la partie analyse.

#### A. Détecter les schémas temporels des rencontres homme-ours pour comprendre l'effet des nuisances fonctionnelles sur l'ours

A travers la première analyse, nous avons voulu vérifier une première hypothèse ; en raison de la présence humaine directe diurne et des dérangements qu'elle induit, les zones à forts niveaux de nuisances sont relativement plus utilisées la nuit qu'à d'autre moment de la journée par les ours. Lorsque l'on réalise le test de Kruskal Wallis, l'hypothèse nulle (la médiane de tous les groupes est égale) est rejetée si l'on considère le seuil habituel de p-value 0,05. Pour identifier quels couples de moment de la journée ont un des niveaux de variables à expliquer significativement différent, un test des rangs signé de Wilcoxon est également réalisé. Celui-ci, ajusté par la correction de Bonferroni, montre que les distributions diurnes et nocturnes sont différentes pour les deux métriques décrivant les niveaux de nuisances fonctionnelles testées (Figure 8).

| group1 | group2 | n1  | n2  | Test des rangs signés de Wilcoxon pour l'intensité de fréquentation focale |              | Test des rangs signés de Wilcoxon pour la distance au chemin fréquenté le plus proche |              |
|--------|--------|-----|-----|--|--------------|---|--------------|
|        |        |     |     | p.adj  | p.adj.signif | p.adj   | p.adj.signif |
| dawn   | day    | 46  | 113 | 1.000  | ns           | 1.000   | ns           |
| dawn   | dusk   | 46  | 27  | 1.000  | ns           | 1.000   | ns           |
| dawn   | night  | 46  | 28  | 0.532  | ns           | 0.021   | *            |
| day    | dusk   | 113 | 27  | 1.000  | ns           | 1.000   | ns           |
| day    | night  | 113 | 28  | 0.012  | *            | 0.005   | **           |
| dusk   | night  | 27  | 28  | 0.202  | ns           | 0.058   | ns           |

Figure 8 : Résultats des tests des rangs signés de Wilcoxon pour les deux métriques de dérangements testées.

Par exemple, une différence de 84 mètres existe entre le jour et la nuit lorsqu'on observe la distance médiane entre l'emplacement de l'ours et le chemin le plus proche. Nous pouvons également sereinement rejeter l'hypothèse nulle (qui consiste à dire que les médianes ne sont pas différentes) pour la paire "aube" et "nuit" lorsque le dérangement est mesuré par la distance jusqu'au chemin le plus proche identifié par la Strava's Global Heatmap. Les autres couples ne montrent pas de différences assez fortes entre les groupes pour rejeter

l'hypothèse nulle à un seuil de 5 %, probablement en raison de leur faible nombre d'observations (28 la nuit, 27 au crépuscule, 46 à l'aube). Cependant, si l'on visualise simplement leur distribution (Figure 9), nous comprenons que les rencontres nocturnes semblent à chaque fois se produire dans un contexte très différent de celui des autres moments de la journée (les valeurs p sont les probabilités que les données se produisent si l'hypothèse nulle était vraie (Hacking 2001) ; ainsi, lorsqu'elle est évaluée par la deuxième métrique, on estime à seulement 5,8 % la probabilité que le crépuscule et la nuit présentent ces différences sous l'hypothèse nulle).

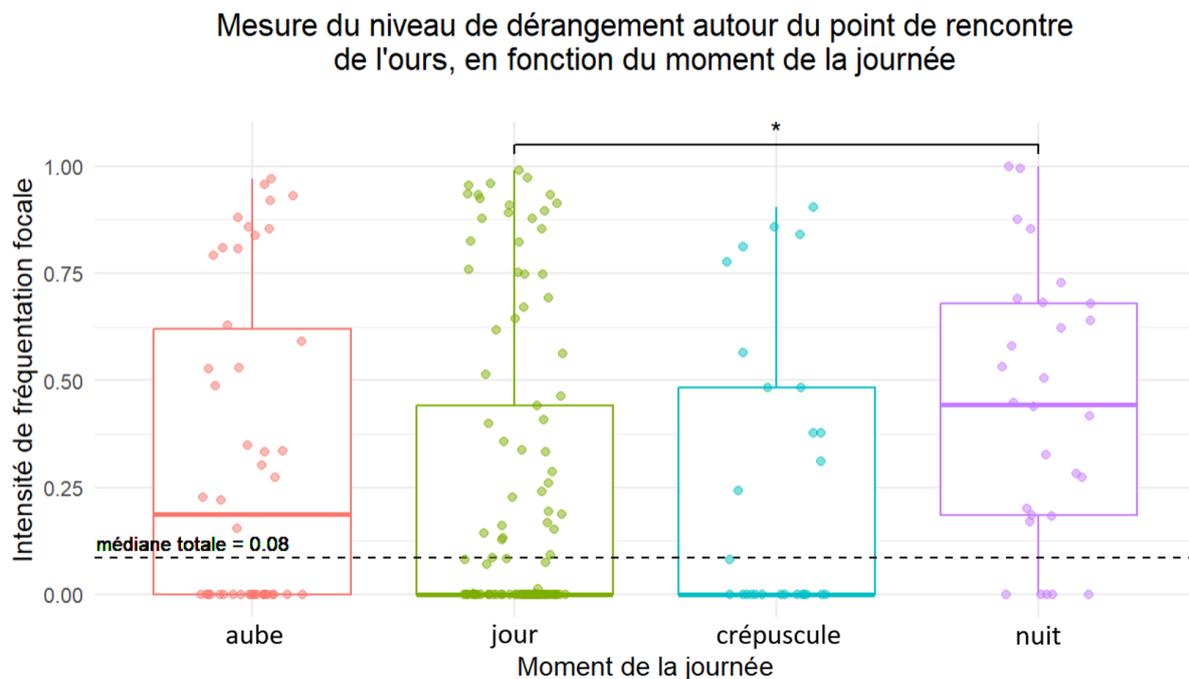


Figure 9 : Mesure du niveau de dérangement autour du point de rencontre de l'ours, en fonction du moment de la journée.

Les mêmes distributions des niveaux de dérangements présentés par la seconde métrique sont présentées dans l'annexe n°3. Ainsi, nous pouvons en conclure que les rencontres homme-ours qui ont lieu pendant la journée apparaissent dans des zones où les nuisances fonctionnelles apportées par les utilisateurs de la montagne sont moindres que celles observées autour des rencontres nocturnes. On détecte alors logiquement un évitement diurne de l'ours brun pour les zones où les sentiers sont fortement empruntés par les humains en journée. Bien entendu, ce dérangement n'existe pas la nuit. Ainsi, l'effet dérangent que nous pouvons détecter est que l'animal choisit d'utiliser ces zones de manière plus intensive la nuit. L'animal sait que la probabilité de rencontrer des humains est quasiment nulle à ce moment de la journée, ou du moins bien inférieure qu'à tout autre moment de la journée. L'information des nuisances fonctionnelles dérivées de la présence humaine directe nous ont permis de détecter cet effet sur l'utilisation spatio-temporelle de l'espace par les ours.

Les mêmes analyses ont été réalisées pour tester l'hypothèse de « l'effet week-end ». Compte tenu des distributions et des tests statistiques effectués, nous ne pouvons pas affirmer que

les ours adoptent un comportement différent dans leur choix d'utilisation de l'espace compte tenu des différences de nuisance fonctionnelle à l'échelle de la semaine. Les distributions respectives des deux groupes sont présentées dans l'annexe n°4.

Les résultats identifiés par ces premières analyses ont été utilisés pour participer à construire la seconde analyse. Pour rappel, nous avons écarté les observations réalisées pendant la nuit pour construire la régression logistique en raison de l'identification du contexte différent de l'utilisation de l'espace par l'ours pendant la nuit.

## B. Capturer les tendances spatiales des rencontres homme-ours en fonction des niveaux de nuisances fonctionnelles et prédiction de leur risque d'apparition

Pour cette seconde analyse, nous avons souhaité capturer de manière plus globale les effets des nuisances fonctionnelles sur les rencontres homme-ours, via une régression logistique. L'hypothèse suivante est testée ; les ours évitent les zones perturbées, ce qui rend les rencontres moins susceptibles de se produire là où ces mesures (intensité focale d'utilisation et distance jusqu'au chemin utilisé le plus proche) montrent des niveaux élevés de dérangement. Une hypothèse alternative a également été envisagée si celle-ci ne se vérifie pas.

Le meilleur modèle identifié par l'AIC corrigé préconise d'utiliser de cinq variables explicatives, dont l'une des métriques de nuisance fonctionnelle dérivée des données Strava. L'estimation de leurs tailles d'effets sont présentées dans la Figure 10, avec leur p-value et intervalle de confiance associé. Ainsi, les résultats montrent que les mesures de nuisance fonctionnelle calculées par la distance au chemin le plus proche identifiés par la Strava's Global Heatmap ne peuvent pas être utilisées pour déterminer la présence ou l'absence de rencontres. Les probabilités que les valeurs extraites soient celles obtenues sous l'hypothèse nulle du test sont trop élevées (p-value = 0,49 lorsqu'elle est incluse dans le meilleur modèle). Cependant, l'intensité focale de fréquentation semble avoir un effet significatif sur la variable à expliquer (p-value = 0,003).

## Effets des variables explicatives du modèle sélectionné

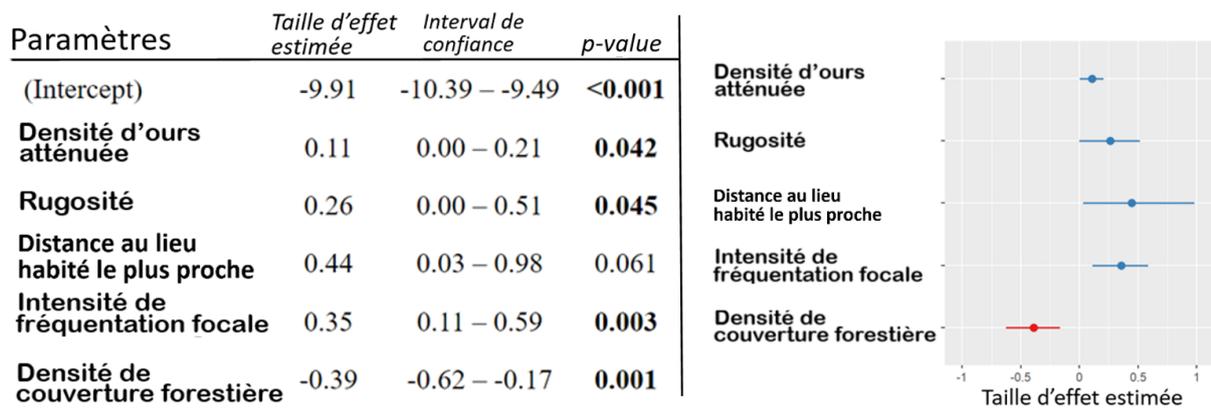


Figure 10 : Effets des variables explicatives du modèle sélectionné sur la variable à expliquer, tableau (figure de gauche), et représentation graphique (figure de droite)

Nous pouvons alors rejeter l'hypothèse nulle du test statistique (pas d'association entre la variable explicative et la variable à expliquer). Si nous interprétons le signe de l'effet estimé comme cela peut être fait lorsqu'on utilise un GLM, nous observons que l'intensité focale de fréquentation est associée positivement aux probabilités de rencontres. Plus il y a de nuisance fonctionnelle, plus une rencontre est susceptible de se produire. Ceci peut être décrit par la figure 11, décrivant l'effet isolé de la variable sur la variable à expliquer, la présence de rencontre homme-ours.

### Effet individuel de la variable « intensité de fréquentation focale » sur la variable à expliquer « présence »

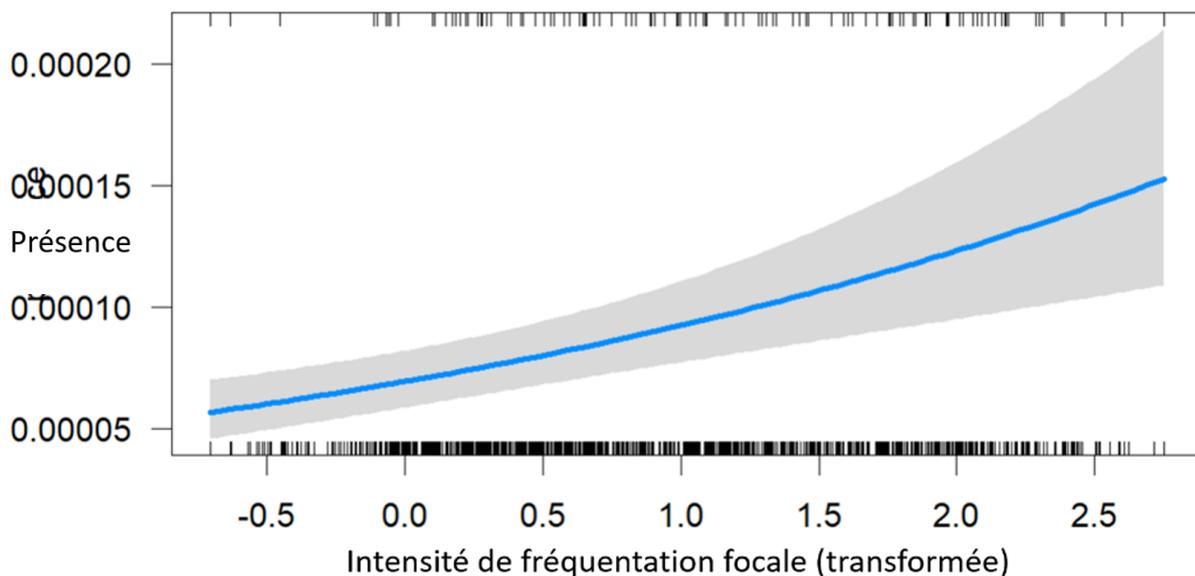


Figure 11 : Effet individuel de la variable « intensité de fréquentation focale » (transformé par une fonction sur la variable à expliquer « présence »). La bande grise présente l'intervalle de confiance dans lequel la droite se placerait dans 95% des cas si l'on renouvelle l'expérience.

Comme annoncé plus tôt, on aurait pu s'attendre à un effet inverse, que les rencontres se produisent là où les dérangements diurnes sont les plus faibles. L'étude qui utilise les données des colliers GPS et la même métrique de nuisance fonctionnelle pour déterminer ses effets

sur le domaine vital des ours avait montré l'évitement des ours pour celle-ci (Corradini et al. 2021). Il apparaît donc que l'étude du domaine vital des ours et des zones où les rencontres sont susceptibles de se produire sont deux approches très différentes. Ainsi, même s'ils essaient d'éviter les humains, l'utilisation des zones dérangées par l'ours et les utilisateurs de la montagne amènent les rencontres à être plus probables sur ces mêmes zones. L'effet détecté par l'analyse du modèle valide ainsi la deuxième hypothèse que nous avons formulée à propos de cette variable explicative : il décrit un effet de vulnérabilité, comme dans un contexte de risque naturel. Plus il y a de monde, plus le risque de croiser un ours est élevé. Cela est bien sûr très différent que d'affirmer que les ours sont attirés par la présence humaine directe. Ainsi, nous pouvons également estimer que la transformation des données fournies par la Strava's Global Heatmap n'efface pas son pouvoir de description de l'intensité relative d'utilisation dans notre contexte.

Si nous n'avons pas pu capturer l'effet dérangeant de ce prédicteur dans cette analyse multivariée, nous pouvons observer que ce n'est pas le cas pour une autre variable explicative de dérangement, la distance aux habitations les plus proches. Nous pouvons affirmer avec certitude que cette mesure de nuisance structurelle a un effet significatif sur le risque de rencontre homme-ours ( $p$ -value = 0,06, très proche du seuil de 0,05). L'estimation de son paramètre nous montre que son effet est celui que nous attendions ; comme dans la plupart des articles qui l'utilisent, plus nous sommes éloignés des agglomérations, plus les grands carnivores sont susceptibles d'être présents sur un espace donné. Ainsi, les ours utilisent davantage ces espaces faiblement perturbés, ce qui se traduit par un risque de rencontre plus élevé dans notre modèle. Naturellement, la même conclusion peut être faite à propos de l'effet de la variable densité des ours ( $p$ -value = 0,04). Enfin, si nous n'avons pas pu formuler d'hypothèses claires sur l'effet du couvert arboré et celui de la rugosité, notre modèle semble avoir tranché. Il apparaît que le couvert arboré a un effet négatif sur le risque de rencontre. Cela peut s'expliquer par le fait qu'il est beaucoup plus difficile pour les humains de détecter les ours dans les zones densément couvertes. L'animal fuit avant que l'observateur puisse les voir, ce qui aurait pour effet d'éviter qu'une rencontre soit détectée. Pour la rugosité, l'effet est positif. On peut expliquer cela par le fait que les ours préfèrent utiliser les zones où la rugosité est élevée (maximisant la composante danger dans la formule du risque), rendant les probabilités de rencontre plus élevées.

La figure 12 met en valeur les zones où les prévisions de risque de rencontre homme-ours sont les plus élevées (supérieures à un seuil arbitraire de 0,0003). Elle a été calculée par la fonction « predict » du package R « raster » à partir de la formule de prédiction du modèle le plus parcimonieux présenté précédemment.

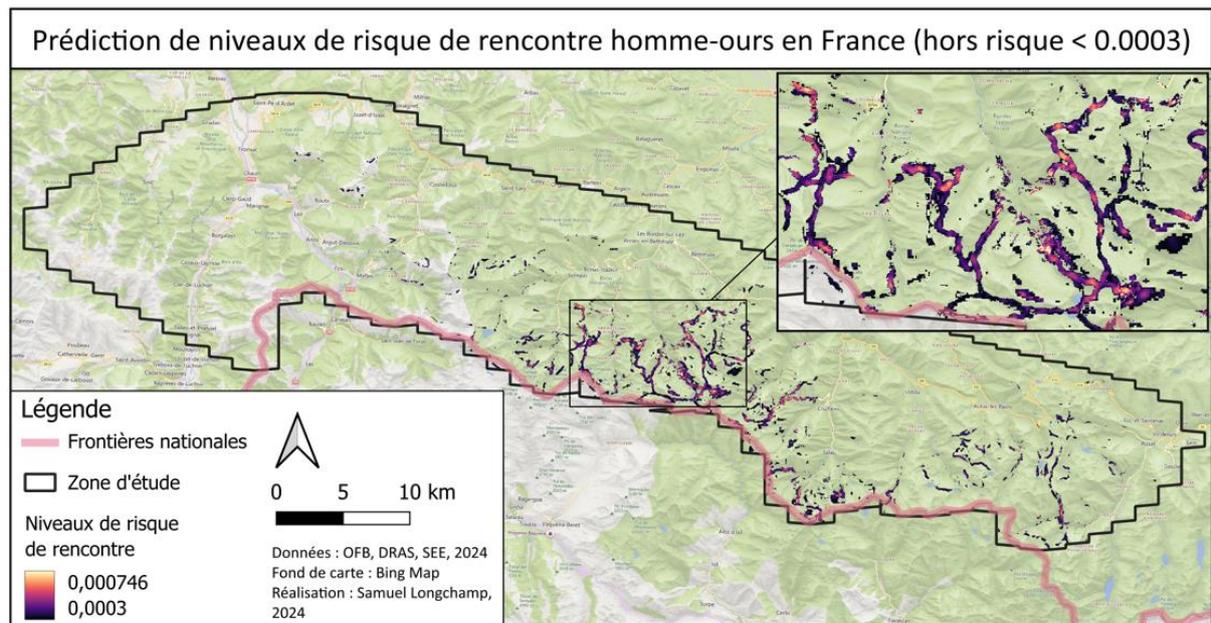


Figure 12 : Prédiction du niveau de risque de rencontre homme-ours en France, d'après la régression logistique présentée. Les valeurs inférieures au seuil arbitraire de 0.0003 sont masquées.

Les résultats doivent être interprétés avec précaution, car le pouvoir prédictif du modèle est très faible ( $\text{pseudo-R}^2 = 0,025$ ). Par construction, les valeurs présentées sont relatives. On ne prédit pas une probabilité théorique de rencontre, mais un niveau de risque relatif dont la valeur absolue n'est pas interprétable en elle-même. Les sentiers présentant les risques les plus élevés peuvent être ainsi directement identifiés, ce qui peut aider les décideurs à cibler où il serait le plus intéressant de prendre des mesures pour améliorer la cohabitation entre les l'homme et l'ours des Pyrénées.

# Conclusion

## Synthèse

Dans ce mémoire, nous avons traité des impacts de la présence humaine directe sur l'ours brun d'Europe, à travers le prisme des rencontres homme-ours et des activités récréatives. L'état de l'art a d'abord permis d'identifier que dans la majorité des cas, cette présence pouvait être cause de dérangement, mais pas de perturbation, puisque n'ayant pas d'implication sur la survie à long terme de la population. Cependant, des conséquences sur l'utilisation de l'espace ont notamment pu être mis en lumière dans la littérature. Ainsi, les travaux de recherches se sont orientés dans cette direction. L'effet dérangent de la présence humaine directe en montagne a été dérivé d'une source de données décrivant l'intensité de fréquentation relative, la Strava's Global Heatmap. A partir du croisement de cette donnée avec celles des rencontres homme-ours datées, il a été possible d'analyser les effets des dérangements fonctionnels sur l'ours. Des effets temporels et spatiaux ont d'abord pu être détectés. Nous avons pu montrer que l'ours adapte temporellement son utilisation des zones les plus sujettes aux dérangements humains diurnes. Il préfère les fréquenter en pleine nuit, lorsque la probabilité de rencontre avec un humain est la plus faible. Ensuite, nous avons pu travailler sur l'effet spatial de notre donnée de nuisance fonctionnelle de manière plus globale. Un modèle permettant d'expliquer les niveaux de risques de rencontres homme-ours a permis de mettre en valeur que l'effet de cette donnée n'était pas celui escompté pour une variable décrivant des niveaux de dérangement. Il apparaît que celle-ci rend les probabilités de rencontre avec l'animal plus élevées, en raison de son pouvoir descriptif de la fréquentation relative (celui-ci n'est pas incompatible avec l'effet dérangent diurne). Ainsi, nous avons pu conclure que dans ce contexte, la donnée dérivée de l'intensité de fréquentation est finalement interprétable comme un indice de vulnérabilité dans une approche de risques naturels géographique. L'effet dérangent est plus faible que l'effet qui amène le risque de rencontres homme-ours à être plus probable. Ce résultat et la prédiction que le modèle propose permettent de déterminer une cartographie de ce risque, qui trouve des applications concrètes. Les aménageurs et décideurs ont la possibilité de cibler les actions à mettre en place pour rendre la cohabitation entre utilisateurs de la montagne et population d'ours meilleure : optimiser le tracé des chemins de randonnée pour préserver la tranquillité de l'animal et prévenir des rencontres, ou simplement cibler spatialement l'information sur les comportements à adopter pour éviter tout risque d'attaque physique en cas de rencontre.

## Limites et questions en suspens

La diversité des modalités de rencontre de l'ours par l'homme et la diversité des comportements que l'ours a envers la présence de l'homme rendent la tâche d'établir un lien clair entre présence humaine et réponse de l'animal difficile. Pour élaborer une cartographie plus robuste des probabilités de rencontre avec l'ours plus robuste, il faudrait prendre en compte de nombreux autres facteurs qualitatifs : saisonnalité, zones de nourrissage (dépendant aussi de la saison), statut reproducteur des ours, etc. Cependant, d'une part, cela

multiplierait le nombre de cartographies du risque à utiliser pour cibler les zones à risque (une pour chaque combinaison de modalité qualitative possible). D'autre part, il est impossible de déterminer certaines de ces informations, comme celles liées aux caractéristiques et personnalités des ours. Ainsi, l'approche prédictive proposée peut donner une idée générale du risque de rencontre, mais n'as peut-être pas la robustesse nécessaire pour décrire précisément la donnée souhaitée. Un échantillon de données de rencontre homme ours plus large pourrait également rendre les résultats plus fiables. Plus de données auraient également permis de produire une prédiction du risque de rencontre nocturne.

## Perspectives

Il serait intéressant d'aller plus loin que l'identification des niveaux de risque de rencontre homme-ours. A partir de la cartographie du risque prédit, il est aisé d'identifier directement les chemins qui présentent les valeurs de risque les plus élevées dans un environnement SIG. On peut par exemple extraire les niveaux de risques moyens qui se superposent aux buffers créés à partir de chaque entité linéaire créée à partir des chemins identifiés par Strava. Il serait ensuite intéressant de valider ces résultats avec un technicien de terrain qui a une parfaite connaissance des variables les plus importantes de cet objet : la présence d'ours et celles des utilisateurs de la montagne.

Enfin, nous avons pu mettre en valeur qu'étudier les rencontres homme-ours et étudier leur domaine vital produit des conclusions différentes quant à l'effets des perturbations humaines fonctionnelles (effets identifiés dans ce mémoire opposés avec ceux observés par l'étude italienne sur le domaine vital de l'ours brun). Ce point est peut-être intéressant à creuser : à quel moment la donnée d'intensité de fréquentation relative, que l'on transforme, passe d'un indicateur de nuisance fonctionnelle à une mesure de vulnérabilité des utilisateurs de la montagne. Dans tous les cas, ces travaux prouvent une nouvelle fois que l'utilisation de données de fréquentations participatives ont un réel intérêt pour la recherche. Ainsi, il serait intéressant de pouvoir travailler avec celles collectées par le Pôle ressource national de sport de nature dans son service « Outdoorvision ». Celui-ci regroupe en effet toutes les traces géonumériques que les pratiquants de loisirs sportifs français partagent volontairement. Cela permettrait d'approfondir les différentes analyses spatiales liées à la problématique de la fréquentation de l'espace, puisque passer par la donnée Strava comme il l'a été fait dans ce mémoire mène à la perte d'une grande quantité d'information (les heures de passages notamment).

## Bibliographie

### Littérature

- Aune, Keith, et Tom Stivers. 1982. *Rocky Mountain front grizzly bear monitoring and investigation*. Montana Dept. of Fish, Wildlife and Parks.  
<https://doi.org/10.5962/bhl.title.69110>.
- Balmford, Andrew, James Beresford, Jonathan Green, Robin Naidoo, Matt Walpole, et Andrea Manica. 2009. « A Global Perspective on Trends in Nature-Based Tourism ». *PLOS Biology* 7 (6): e1000144. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000144>.
- Béteille, Clémence. 2023. « Caractéristiques des observations visuelles et réponses comportementales de l'Ours brun des Pyrénées (*Ursus arctos arctos*) face aux rencontres avec les humains. » Rapport de stage. Office Français de la Biodiversité. Rapport interne.
- Boyle, Stephen A., et Fred B. Samson. 1985. « Effects of Nonconsumptive Recreation on Wildlife: A Review ». *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)* 13 (2): 110-16.  
<https://www.jstor.org/stable/3781422>.
- Buckley, Ralf. 2009. « Parks and Tourism ». *PLOS Biology* 7 (6): e1000143.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000143>.
- Byczek, Coline, Pierre-Yves Longaretti, Julien Renaud, et Sandra Lavorel. 2018. « Benefits of Crowd-Sourced GPS Information for Modelling the Recreation Ecosystem Service ». *PLOS ONE* 13 (10): e0202645. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202645>.
- Carney, Karen M., et William J. Sydeman. 1999. « A Review of Human Disturbance Effects on Nesting Colonial Waterbirds ». *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology* 22 (1): 68-79. <https://doi.org/10.2307/1521995>.
- « Carte mondiale des activités Strava ». Strava. Consulté le 8 juin 2024.  
<https://www.strava.com/maps/global-heatmap>.
- Chapron, Guillaume, Robert Wielgus, Pierre-Yves Quenette, et Jean-Jacques Camarra. 2009. « Diagnosing Mechanisms of Decline and Planning for Recovery of an Endangered Brown Bear (*Ursus Arctos*) Population ». *PLOS ONE* 4 (10): e7568.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007568>.
- Colorado Department of Transportation. 2018. « Strava Metro Data Analysis Summary ». [https://www.codot.gov/programs/bikeped/documents/strava-analysis-summary\\_06-25-18.pdf](https://www.codot.gov/programs/bikeped/documents/strava-analysis-summary_06-25-18.pdf).
- Cordell, H. Ken, J. Betz Carter, et Gary T. Green. 2008. « Nature-based Outdoor Recreation Trends and Wilderness ». *International Journal of Wilderness* 14 (2): 7-13.  
<https://deltastate.edu/PDFFiles/hper%20outdoor%20program/Marywood/Nature-based.pdf>.

- Corradini, Andrea, Matthias Randles, Luca Pedrotti, Emiel van Loon, Gioele Passoni, Valentina Oberosler, Francesco Rovero, Clara Tattoni, Marco Ciolli, et Francesca Cagnacci. 2021. « Effects of cumulated outdoor activity on wildlife habitat use ». *Biological Conservation* 253 (janvier):108818. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108818>.
- Darimont, Chris T., Stephanie M. Carlson, Michael T. Kinnison, Paul C. Paquet, Thomas E. Reimchen, et Christopher C. Wilmers. 2009. « Human predators outpace other agents of trait change in the wild ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (3): 952-54. <https://doi.org/10.1073/pnas.0809235106>.
- DRAS, SEE. 2021. « Projet Ecosybear 3 V2 ». <https://ged.ofb.fr/share/page/site/projets-de-master-2023/onlyoffice-edit?readonly=1&nodeRef=workspace://SpacesStore/efaf23d1-8889-4c2b-988b-aab6414e9206>.
- DREAL Occitanie. 2023. « Statut de protection ». DREAL Occitanie. 16 mai 2023. <https://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/statut-de-protection-a18910.html>.
- Gastineau, Adrienne, Pierre-Yves Quenette, et Murielle Guinot-Ghestem. 2016. « L'Ours brun: Dérangement individuel ou perturbation de la population », avril. <https://ged.ofb.fr/share/page/site/projets-de-master-2023/onlyoffice-edit?readonly=1&nodeRef=workspace://SpacesStore/418989f1-c617-4a1c-a6ed-ee27d9fac4d2>.
- Griffin, Greg P., et Junfeng Jiao. 2019. « Crowdsourcing Bike Share Station Locations: Evaluating Participation and Placement ». *Journal of the American Planning Association* 85 (1): 35-48. <https://doi.org/10.1080/01944363.2018.1476174>.
- Gruas, Léna, Anne Loison, Moussa Ba, et Clémence Perrin-Malterre. 2023. « “If we really disturbed them, they would leave”: Mountain sports participants and wildlife disturbance in the northern French Alps ». *Journal of Outdoor Recreation and Tourism* 42 (juin):100610. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2023.100610>.
- Hacking, Ian. 2001. *An Introduction to Probability and Inductive Logic*. Cambridge University Press.
- « IUCN ». Consulté le 11 juin 2024. <https://www.iucn.org/fr>.
- Kervellec, Maëlis, Cyril Milleret, Cécile Vanpé, Pierre-Yves Quenette, Jérôme Sentilles, Santiago Palazón, Ivan Afonso Jordana, Ramón Jato, Miguel Mari Elósegui Irurtia, et Olivier Gimenez. 2023. « Integrating opportunistic and structured non-invasive surveys with spatial capture-recapture models to map connectivity of the Pyrenean brown bear population ». *Biological Conservation* 278 (février):109875. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109875>.
- Le Maho, Yvon, Luigi Boitani, Jean Clobert, Pierre-Yves Quenette, et François Sarrazin. 2013. « Expertise collective scientifique « L'Ours brun dans les Pyrénées » ». Muséum

National d'Histoire Naturelle.

[https://lci epub.nina.no/pdf/635379157217795378\\_2013-09-26-Expertise-CollectiveScientifique-Ours-Pyrenees-Museum-National-Histoire-Naturelle-MNHN.pdf](https://lci epub.nina.no/pdf/635379157217795378_2013-09-26-Expertise-CollectiveScientifique-Ours-Pyrenees-Museum-National-Histoire-Naturelle-MNHN.pdf).

Linnell, John D. C., Henrik Broseth, Erling J. Solberg, et Scott M. Brainerd. 2005. « The Origins of the Southern Scandinavian Wolf *Canis Lupus* Population: Potential for Natural Immigration in Relation to Dispersal Distances, Geography and Baltic Ice ». *Wildlife Biology* 11 (4): 383-91. [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2005\)11\[383:TOOTSS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2005)11[383:TOOTSS]2.0.CO;2).

López-Bao, José Vicente, Jeremy Bruskotter, et Guillaume Chapron. 2017. « Finding Space for Large Carnivores ». *Nature Ecology & Evolution* 1 (5): 1-2. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0140>.

Martin, Jodie, Eloy Revilla, Pierre-Yves Quenette, Javier Naves, Dominique Allainé, et Jon E. Swenson. 2012. « Brown Bear Habitat Suitability in the Pyrenees: Transferability across Sites and Linking Scales to Make the Most of Scarce Data ». *Journal of Applied Ecology* 49 (3): 621-31. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02139.x>.

Mohorović, Maja, Miha Krofel, et Klemen Jerina. 2017. « Brown bear (*Ursus arctos*) habitat selection in relation to anthropogenic disturbances ». *ResearchGate*, octobre. <https://doi.org/10.20315/ASetL.113.2>.

Morales-González, Ana, Héctor Ruiz-Villar, Andrés Ordiz, et Vincenzo Penteriani. 2020. « Large carnivores living alongside humans: Brown bears in human-modified landscapes ». *Global Ecology and Conservation* 22 (juin):e00937. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00937>.

Mourey, Jacques, et Ludovic Ravanel. 2017. « Mesure de la fréquentation d'itinéraires d'accès à la haute montagne dans le massif du Mont Blanc à l'aide de capteurs pyroélectriques ». *Collection EDYTEM. Cahiers de géographie* 19 (1): 263-70. <https://doi.org/10.3406/edyte.2017.1394>.

Mukherjee, Tanoy, Lalit Kumar Sharma, Vineet Kumar, Amira Sharief, Ritam Dutta, Manish Kumar, Bheem Dutt Joshi, Mukesh Thakur, Chinnadurai Venkatraman, et Kailash Chandra. 2021. « Adaptive spatial planning of protected area network for conserving the Himalayan brown bear ». *Science of The Total Environment* 754 (février):142416. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142416>.

Nickel, Barry A., Justin P. Suraci, Maximilian L. Allen, et Christopher C. Wilmers. 2020. « Human presence and human footprint have non-equivalent effects on wildlife spatiotemporal habitat use ». *Biological Conservation* 241 (janvier):108383. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108383>.

« OpenStreetMap ». OpenStreetMap. Consulté le 18 juin 2024. <https://www.openstreetmap.org/>.

- Ordiz, Andrés, Richard Bischof, et Jon E. Swenson. 2013. « Saving large carnivores, but losing the apex predator? » *Biological Conservation* 168 (décembre):128-33. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.09.024>.
- Ordiz, Andrés, Ole-Gunnar Støen, Miguel Delibes, et Jon E. Swenson. 2011. « Predators or Prey? Spatio-Temporal Discrimination of Human-Derived Risk by Brown Bears ». *Oecologia* 166 (1): 59-67. <https://doi.org/10.1007/s00442-011-1920-5>.
- Ordiz, Andrés, Ole-Gunnar Støen, Solve Sæbø, Jonas Kindberg, Miguel Delibes, et Jon E. Swenson. 2012. « Do bears know they are being hunted? » *Biological Conservation* 152 (août):21-28. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.04.006>.
- Parres, Aida, Santiago Palazón, Ivan Afonso, Pierre-Yves Quenette, Antoni Batet, Jean-Jacques Camarra, Xavier Garreta, et al. 2020. « Activity Patterns in the Reintroduced Pyrenean Brown Bear Population ». *Mammal Research* 65 (3): 435-44. <https://doi.org/10.1007/s13364-020-00507-w>.
- Piédallu, Blaise, Pierre-Yves Quenette, Nicolas Bombillon, Adrienne Gastineau, Christian Miquel, et Olivier Gimenez. 2019. « Determinants and Patterns of Habitat Use by the Brown Bear *Ursus Arctos* in the French Pyrenees Revealed by Occupancy Modelling ». *Oryx* 53 (2): 334-43. <https://doi.org/10.1017/S0030605317000321>.
- PnMercantour. 2022. « Heatmap ». GitHub. juin 2022. <https://github.com/PnMercantour/heatmap/tree/main/QGIS>.
- Quenette, Pierre-Yves. 2011. « Compléments d'information sur la sensibilité de l'ours brun au dérangement humain en période pré-hibernatoire ». Rapport interne. Office Français de la Biodiversité.
- Quenette, Pierre-Yves, Marko Jonozovič, A. Marincic, Jean-Jacques Camarra, Murielle Guinot-Ghestem, Jerome Sentilles, Julien Steinmetz, Cécile Vanpé, et Nicolas Alban. 2019. « First translocation of females in the French Western Pyrenees: a new step in the long process of brown bear restoration in the Pyrenees Mountains. » 28 (1): 11-13.
- Quinn, Gerry P., et Michael J. Keough. 2002. « Experimental Design and Data Analysis for Biologists ». Higher Education from Cambridge University Press. Cambridge University Press. 21 mars 2002. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511806384>.
- Robb, Drew. 2018. « Building the Global Heatmap ». *Strava-Engineering* (blog). 4 avril 2018. <https://medium.com/strava-engineering/the-global-heatmap-now-6x-hotter-23fc01d301de>.
- Sainz de la Maza, Pau, et Joan Nunes Alonso. 2001. « Los sistemas de información geográfica aplicados al estudio, la gestión y la conservación del hábitat del oso pardo (*Ursus arctos* L.) en una área del Pirineo catalán ». *Treballsde la Societat Catalana de Geografia* 52:(245-264). <https://www.raco.cat/index.php/TreballsSCGeografia/article/download/10272/301878>.

- Sentilles, Jerome, Pierre-Luigi Lemaitre, Cécile Vanpé, et Pierre-Yves Quenette. 2024. *Rapport annuel du Réseau Ours Brun Ours 2023*.  
<https://professionnels.ofb.fr/fr/doc/ours-infos-2023-rapport-annuel>.
- Sessions, Carrie, Spencer A. Wood, Sergey Rabotyagov, et David M. Fisher. 2016. « Measuring Recreational Visitation at U.S. National Parks with Crowd-Sourced Photographs ». *Journal of Environmental Management* 183 (Pt 3): 703-11.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.018>.
- « Strava | Application running, vélo et randonnée - Entraînement, suivi et partage ». Strava. Consulté le 8 juin 2024. <https://www.strava.com/>.
- Tablado, Zulima, et Lukas Jenni. 2017. « Determinants of Uncertainty in Wildlife Responses to Human Disturbance ». *Biological Reviews* 92 (1): 216-33.  
<https://doi.org/10.1111/brv.12224>.
- Thorsen, Neri H., Richard Bischof, Jenny Mattisson, Tim R. Hofmeester, John D. C. Linnell, et John Odden. 2022. « Smartphone app reveals that lynx avoid human recreationists on local scale, but not home range scale ». *Scientific Reports* 12 (mars):4787.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-08468-7>.
- Treves, Adrian, Kerry Martin, Adrian Wydeven, et Jane Wiedenhoef. 2011. « Forecasting Environmental Hazards and the Application of Risk Maps to Predator Attacks on Livestock ». *BioScience* 61 (6): 451-58. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.6.7>.
- Tucker, Marlee A., Katrin Böhning-Gaese, William F. Fagan, John M. Fryxell, Bram Van Moorter, Susan C. Alberts, Abdullahi H. Ali, et al. 2018. « Moving in the Anthropocene: Global reductions in terrestrial mammalian movements ». *Science* 359 (6374): 466-69. <https://doi.org/10.1126/science.aam9712>.
- « UNDRR ». Consulté le 17 juin 2024. <https://www.undrr.org/>.
- Vanpé, Cécile, Blaise Piedallu, Pierre-Yves Quenette, Jerome Sentilles, Guillaume Queney, Santiago Palazón, Ivan Afonso Jordana, et al. 2022. « Estimating abundance of a recovering transboundary brown bear population with capture-recapture models ». *Peer Community Journal* 2 (3): 1-23. <https://doi.org/10.24072/pcjournal.199>.
- Veyret, Yvette, et Magali Reghezza. 2005. « Aléas et risques dans l'analyse géographique ». *Annales des mines* 40 (octobre): 61-69.  
<https://annales.org/site/re/2005/re40/veyret.pdf>.
- Voskaki, Asimina. 2020. « The Concept of Risk ». *Natural Hazards* (blog). 30 octobre 2020.  
<https://blogs.egu.eu/divisions/nh/2020/10/12/natural-hazards-101-the-concept-of-risk/>.

*Logiciels et librairies :*

R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>.

Wickham H (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, <https://ggplot2.tidyverse.org>.

Wickham H, François R, Henry L, Müller K, Vaughan D (2023). dplyr: A Grammar of Data Manipulation\_. R package version 1.1.2, <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.

Bartoń K (2023). MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.47.5, <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>.

Giraud T (2024). maptiles: Download and Display Map Tiles. R package version 0.7.0, <https://CRAN.R-project.org/package=maptiles>.

Hijmans R (2023). terra: Spatial Data Analysis. R package version 1.7-55, <https://CRAN.R-project.org/package=terra>.

Hijmans R (2023). raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.6-26, <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.

QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project (2023)

Thieurmel B, Elmarhraoui A (2022). suncalc: Compute Sun Position, Sunlight Phases, Moon Position and Lunar Phase. R package version 0.5.1, <https://CRAN.R-project.org/package=suncalc>.

*La rédaction de ce mémoire a été réalisée sans l'aide d'une intelligence artificielle autre que la correction grammaticale proposée automatiquement par Microsoft Word.*

## Table des illustrations

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Localisation des indices de présence d'ours "confirmés" et aire de répartition de l'espace dans les Pyrénées pour 2023, extraite du rapport annuel du réseau Ours Brun (Sentilles et al. 2024).                       | 8  |
| Figure 2 : Nombre de rencontres homme-ours et d'ours détectés par années dans les Pyrénées entre 1996 et 2022  | 11 |
| Figure 3 : Fréquentation relative dans la vallée du Biros selon la Strava's Global Heatmap « run » extraite en avril 2024.   | 16 |
| Figure 4 : Mesures de nuisances fonctionnelles « distance au chemin le plus proche » et « intensité de fréquentation focale normalisée » dans la vallée du Biros selon la Strava's Global Heatmap « run » extraite en avril 2024 | 18 |
| Figure 5 : Distance entre l'ours et l'observateur lors de rencontres, en fonction du moment de la journée.   | 21 |
| Figure 6 : Variables explicative continues testées dans la régression logistique utilisée pour prédire les probabilités de rencontres homme-ours. .  | 24 |
| Figure 7 : Zone d'étude et rencontres homme-ours utilisées pour modéliser la régression logistique.  | 25 |
| Figure 8 : Résultats des tests des rangs signés de Wilcoxon pour les deux métriques de dérangements testées.   | 27 |
| Figure 9 : Mesure du niveau de dérangement autour du point de rencontre de l'ours, en fonction du moment de la journée.  | 28 |
| Figure 10 : Effets des variables explicatives du modèle sélectionné sur la variable à expliquer, tableau (figure de gauche), et représentation graphique (figure de droite) <b>Erreur ! Signet non défini.</b>                   |    |
| Figure 11 : Effet individuel de la variable « intensité de fréquentation focale ».   | 30 |
| Figure 12 : Prédiction du niveau de risque de rencontre homme-ours en France, d'après la régression logistique présentée.  | 32 |

## Table des matières

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....  | 3  |
| I. L'ours brun des Pyrénées : population, dérangement humain et rencontre homme-ours.....   | 7  |
| A. Les ours bruns du massif des Pyrénées .....  | 7  |
| B. Dérangement et perturbation induits par la présence humaine sur l'ours brun.....   | 9  |
| C. Les rencontres homme-ours en France .....  | 11 |
| D. Mesurer les dérangements induits par la présence humaine directe .....   | 12 |
| II. Données et analyses.....  | 14 |
| A. Données.....   | 14 |
| A.1. Sélection et extraction de donnée mesurant les niveaux de présence humaine directe .....   | 14 |
| A.2. Transformation en des niveaux de nuisance fonctionnelle .....  | 17 |
| A.3. Récolte de témoignages de rencontres homme-ours .....  | 19 |
| B. Analyses.....  | 20 |
| B.1. Détecter les schémas temporels des rencontres homme-ours pour comprendre l'effet des nuisances fonctionnelles sur l'ours .....                                 | 20 |
| B.2. Capturer les tendances spatiales des rencontres homme-ours en fonction des niveaux de nuisances fonctionnelles et prédiction de leur risque d'apparition ..... | 22 |
| III. Résultats et discussion .....  | 27 |
| A. Détecter les schémas temporels des rencontres homme-ours pour comprendre l'effet des nuisances fonctionnelles sur l'ours.....                                    | 27 |
| B. Capturer les tendances spatiales des rencontres homme-ours en fonction des niveaux de nuisances fonctionnelles et prédiction de leur risque d'apparition .....   | 29 |
| Conclusion .....  | 33 |
| Bibliographie.....  | 35 |
| Table des illustrations .....   | 41 |
| Table des matières .....  | 42 |
| Annexes.....  | 43 |

## Annexes

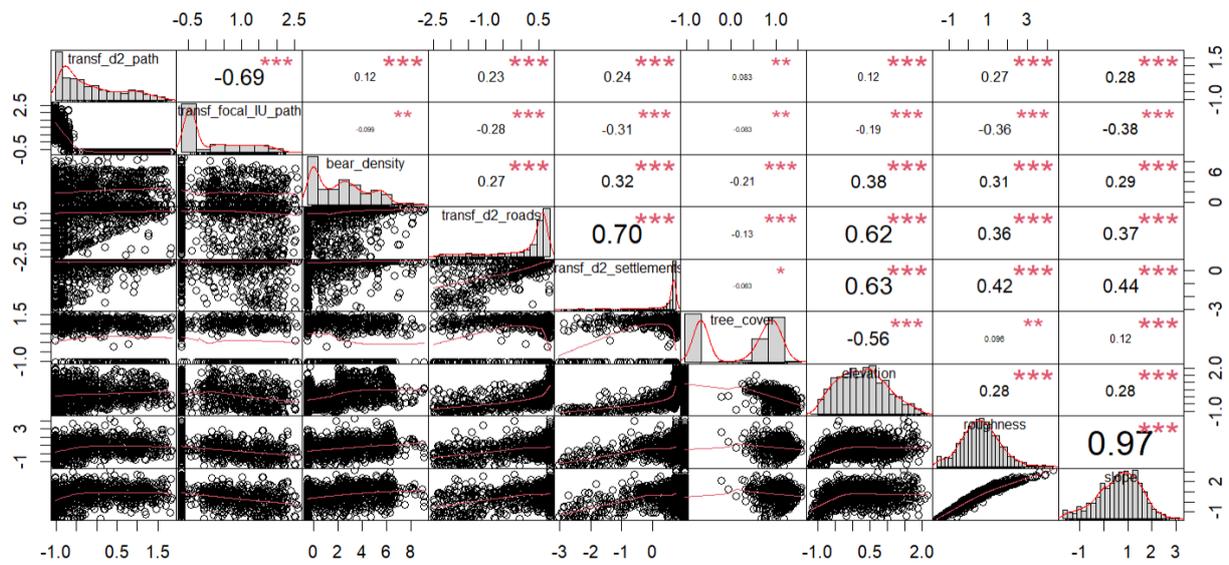
### Table des annexes

| <b>Numéro de l'annexe</b> | <b>Titre de l'annexe</b>  | <b>Pagination</b> |
|---------------------------|---|-------------------|
| Annexe n° 1               | Information à propos des variables explicatives testées dans la régression logistique                       | 23                |
| Annexe n° 2               | Matrice de corrélation présentant les niveaux d'association entre chaque paire de variables                 | 25                |
| Annexe n° 3               | Mesure du niveau de dérangement autour du point de rencontre de l'ours, en fonction du moment de la journée | 28                |
| Annexe n° 4               | Mesure du niveau de dérangement autour du point de rencontre de l'ours, en fonction du jour de la semaine   | 29                |

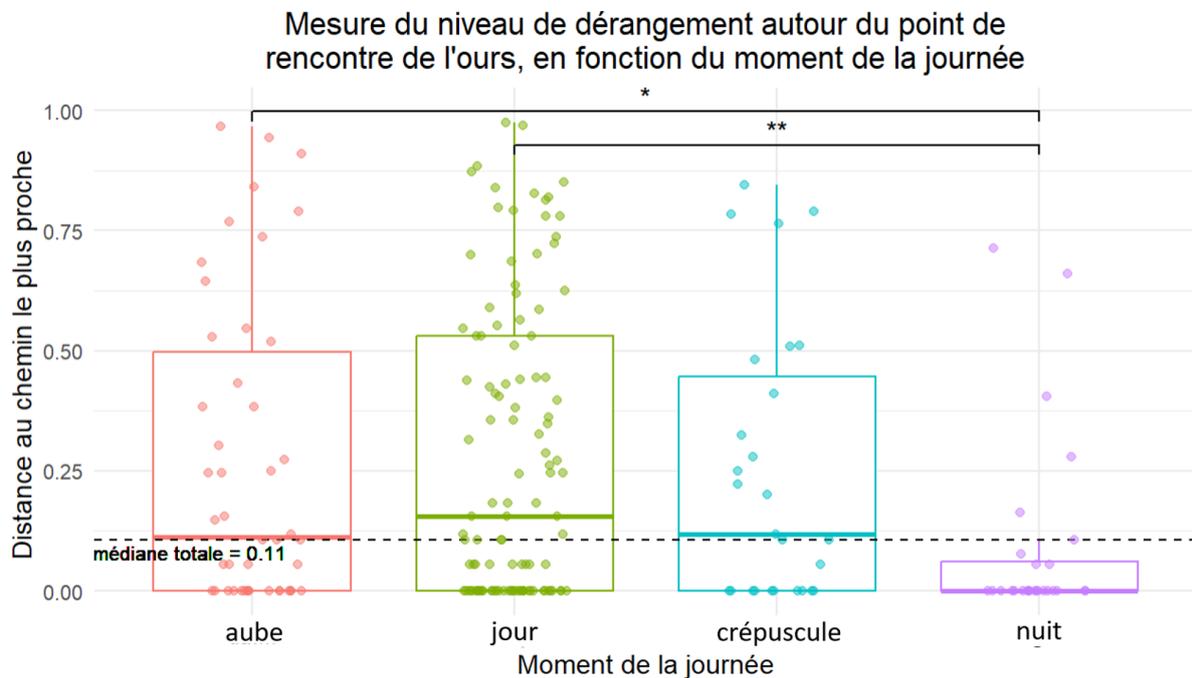
Annexe n°1 : Information à propos des variables explicatives testées dans la régression logistique (page 23)

| Nom de la variable                            | Résolution de la source initiale | Origine et construction de la variable  | Source de la donnée avant transformation   |
|---|----------------------------------|---|--|
| Distance au chemin le plus proche             | 28 m                             | Distance au chemin recensé par la Strava's Global heatmap le plus proche  | Strava's Global Heatmap<br><a href="https://www.strava.com/maps/global-heatmap">https://www.strava.com/maps/global-heatmap</a>   |
| Intensité de fréquentation focale             | 28 m                             | Intensité de fréquentation relative du 90 <sup>e</sup> percentile parmi les valeurs des pixels inclus dans un rayon de 100 mètres | Strava's Global Heatmap<br><a href="https://www.strava.com/maps/global-heatmap">https://www.strava.com/maps/global-heatmap</a>   |
| Densité d'ours lissée                         | 5000 m                           | Densité d'Ours brun lissée dans les Pyrénées en 2019  | Densité d'Ours brun dans les Pyrénées en 2019 (Kervellec et al. 2023)<br><a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320722004281">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320722004281</a> |
| Distance à la route principale la plus proche | Vecteur                          | Distance à la routes principales recensées par OpenStreetMap la plus proche   | OpenStreetMap<br><a href="https://www.openstreetmap.org/#map=19/48.75250/2.30821">https://www.openstreetmap.org/#map=19/48.75250/2.30821</a>   |
| Distance aux lieux habités le plus proche     | 10 m                             | Distance à l'entité recensée par la couche du bâti 2018 la plus proche  | Copernicus.eu<br><a href="https://land.copernicus.eu/en/map-viewer">https://land.copernicus.eu/en/map-viewer</a>   |
| Densité de couverture forestière              | 10 m                             | Densité de couverture forestière calculée par la « High Resolution Layer Tree Cover Density »                                     | Copernicus.eu<br><a href="https://land.copernicus.eu/en/map-viewer">https://land.copernicus.eu/en/map-viewer</a>   |
| Altitude                                      | 25 m                             | RGE Alti  | Institut national de l'information géographique et forestière<br><a href="https://geoservices.ign.fr/rgealti">https://geoservices.ign.fr/rgealti</a>   |
| Rugosité                                      | 25 m                             | Rugosité dérivée du RGE Alti  | Institut national de l'information géographique et forestière<br><a href="https://geoservices.ign.fr/rgealti">https://geoservices.ign.fr/rgealti</a>   |
| Pente   | 25 m                             | Pente dérivée du RGE Alti   | Institut national de l'information géographique et forestière<br><a href="https://geoservices.ign.fr/rgealti">https://geoservices.ign.fr/rgealti</a>   |
| Présence de végétation ligneuse rase          | 5m                               | Présence de végétation ligneuse rase recensé par la « High Resolution Layer Small Woody Feature »                                 | Copernicus.eu<br><a href="https://land.copernicus.eu/en/map-viewer">https://land.copernicus.eu/en/map-viewer</a>   |

Annexe n°2 : Matrice de corrélation présentant les niveaux d'association entre chaque paire de variables (page 25)

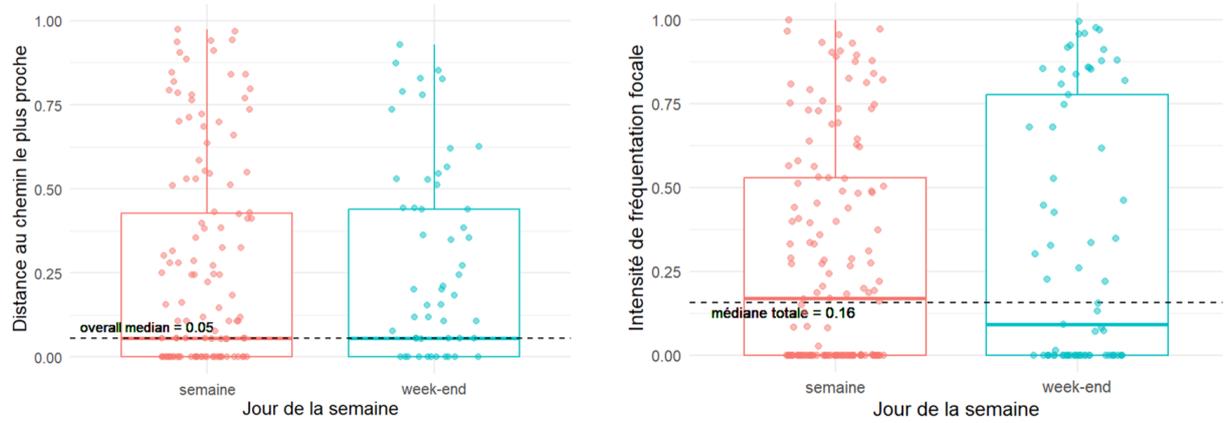


Annexe n°3 : Mesure du niveau de dérangement autour du point de rencontre de l'ours, en fonction du moment de la journée (page 28)



Annexe n°4 : Mesure du niveau de dérangement autour du point de rencontre de l'ours, en fonction du jour de la semaine (page 29)

Mesure du niveau de dérangement autour du point de rencontre de l'ours, en fonction du jour de la semaine



## Résumé en anglais

On the Pyrenees Mountain range, there remains a population of critically endangered brown bears which share space with numerous human activities. These human activities can potentially cause disturbances and impact the behavior and movements of bears. The reproduction or survival of individuals can also be affected by them. In order to propose conservation and management measures adapted to promote coexistence between humans and bears, it is therefore important to study the impact of human activities on the animal. We were interested here more specifically in the impact of disturbances induced by direct human presence, largely caused by mountain recreational activities. The objective of this internship was to: (i) create intensity maps of direct human presence in the French Pyrenees using “Strava's Global Heatmap” as a data source, (ii) evaluate the impact of this direct human presence on the brown bear, through the prism of human-bear encounters (encounters is an important subject of societal debates in France, linked to the potential danger of the species for humans and the increase in the number of the population ursine), and (iii) determine the areas where human-bear encounters are most likely to occur. Our results show that the bear adapts to avoid this source of daytime disturbance, by modifying its use of space. In addition, we highlighted the fact that human-bear encounters occur more often near areas most disturbed by humans. This suggests that human presence produces a “exposure” effect in the sense of geographical natural risk. Thus, its disturbing effect seems to be weaker than its vulnerability effect, which causes the risk of encounters to be more probable near highly used areas. A map of this risk could therefore be presented, which makes it possible to concretely target mountain paths where it would be interesting to work for improving cohabitation between humans and brown bears in France.

Keywords: *Ursus arctos arctos*, functional disturbance, human-bear encounters, Strava's Global Heatmap