



HAL
open science

Analyse spatio-temporelle des mobilités de randonneurs dans le PNR du Massif des Bauges

Colin Kerouanton

► **To cite this version:**

Colin Kerouanton. Analyse spatio-temporelle des mobilités de randonneurs dans le PNR du Massif des Bauges. Sciences de l'Homme et Société. Université de Savoie, Chambéry, FRA., 2020. Français. NNT: . tel-02967697

HAL Id: tel-02967697

<https://hal.science/tel-02967697v1>

Submitted on 15 Oct 2020

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.

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ SAVOIE MONT BLANC

Spécialité : **BIODIVERSITE – ECOLOGIE – ENVIRONNEMENT**

Arrêté ministériel : 25 Mai 2016

Présentée par

Colin MICOL KEROUANTON

Thèse dirigée par **Anne LOISON**,
coencadrée par **Clémence PERRIN-MALTERRE** et
coencadrée par **Laurence JOLIVET**

préparée au sein du **Laboratoire d'Ecologie Alpine - UMR 5553**
dans **l'École Doctorale Chimie et Sciences du Vivant**

Analyse spatio-temporelle des mobilités de randonneurs dans le PNR du Massif des Bauges

Thèse soutenue publiquement le **31 janvier 2020**,
devant le jury composé de :

Mme, Paule-Annick, DAVOINE

Professeure, CNRS, Présidente

Mme, Anne, RUAS

Directrice de Recherche, IFSTTAR, Rapportrice

M, Yves, PETIT-BERGHEM

Professeur, École Nationale Supérieure de Paysage, Rapporteur

Mme, Cécile, DUCHÈNE

Enseignant-chercheur, GN - ENSG, Examinatrice

M, Julien, DELLIER

Maitre de Conférence, Université de Limoges, Examineur

Mme, Anne, LOISON

Directrice de Recherche, CNRS, Directrice de thèse



Thèse réalisée par financement ARC Auvergne-Rhône-Alpes 2015-2018

Titre

Analyse spatio-temporelle des mobilités de randonneurs dans le PNR du Massif des Bauges

Résumé

La grande faune de montagne est actuellement abondante, mais ses effectifs pourraient baisser si la « qualité » et la surface des habitats disponibles diminuaient, par exemple en conséquences d'une hausse des pratiques touristiques. Or, si ces pratiques se diversifient, leurs impacts sur la faune et ses attraits vis-à-vis de la faune sont mal quantifiés et qualifiés. Les gestionnaires sont en manque d'informations quantifiées et cartographiées pour mettre en place des mesures de gestion des pratiques humaines.

Cette thèse a pour but l'analyse spatio-temporelle des mobilités de randonneurs, enregistrées par portage de GPS. Elle s'inscrit dans une perspective inter-disciplinaire entre écologie, sociologie, géographie et géomatique. Les connaissances issues des résultats de la thèse devront être employables par les écologues pour l'étude de l'interaction Faune/Humain, mais aussi par les gestionnaires du territoire.

La thèse se décline en deux parties, reprenant la définition d'une trajectoire (composée de pauses et de déplacements entre ces pauses) : (1) détecter les pauses par le biais d'un outil de géomatique, définir les paramètres de ce dernier, analyser les pauses selon les caractéristiques sociologiques des randonneurs, déterminer les espaces à forte probabilité de pause ; (2) comparer les vitesses de déplacement des randonneurs selon la pente et selon leur profil, et en déduire un modèle statistique de vitesse de marche en montagne, comparer ce modèle aux modèles déjà existants, simuler des scénarios de randonnées, analyser la variation spatio-temporelle de la fréquentation des sentiers, classifier automatiquement les trajectoires.

Mots-clés

Analyse spatio-temporelle ; Mobilités ; Activités récréatives ; SIG ; GPS

Title

Spatio-temporal analysis of hikers mobilities in the PNR du Massif des Bauges

Abstract

Big animals in mountainous areas are actually abundant, but the populations could decrease due to a loss of habitat and habitat quality. Such losses could be the consequences of tourism development in natural areas. Tourism activities diversify but their impacts on wildlife, and wildlife attractiveness are not well qualified and quantified. Nature areas managers could find helpful a spatial understanding of tourism mobility in order to adapt their actions.

The main goal of my PhD subject is the spatio-temporal analysis of hikers mobilities, recorded by GPS trackers. This PhD benefits from inter-disciplinarity, between ecology, sociology, geography and GIS science. The knowledge based on the results of the thesis will have to be replicable by ecologists for the study of human/wildlife interaction, but also by territorial managers.

The PhD is separated in two parts illustrating the definition of a trajectory (composed by pauses and displacements between those pauses) : (1) to detect hikers pauses thanks to a spatial analysis tool, to define the parameters of this tool, to analyze the pauses by sociodemographic characteristics of hikers and to map the spatial pauses density, (2) to compare walking speed of hikers by slope and sociodemographic values, to deduce a hiking function (walking speed model), to compare this model to pre-existants models, to simulate hiking scenarios, to analyze the spatio-temporal variation of the hiking path frequentation and to automatically classify the trajectories.

Keywords

Spatio-temporal analysis ; Movement ; Recreation ; GIS ; GPS

Remerciements

Je souhaiterais remercier en tout premier lieu, Anne Ruas et Yves Petit-Berghem, rapportrice et rapporteur de ce manuscrit. Lire vos remarques et appréciations m'ont beaucoup apporté. Préparer la soutenance par le prisme de vos rapports a été ma partie préférée du travail de thèse, merci. Merci également à Paule-Annick Davoine, Cécile Duchêne et Julien Dellier, d'avoir accepté d'examiner mon travail, et pour vos commentaires lors de la soutenance. Les échanges à l'issue de la soutenance m'ont conforté dans mon attrait pour la géographie et plus généralement pour la démarche scientifique.

Je voudrais ici témoigner toute ma reconnaissance à Anne Loison, qui m'a permis de mener à bien ce travail de recherche grâce à son ouverture d'esprit sur la pluridisciplinarité et sur mes choix de spécialisation - notamment au sujet des pauses de randonneurs - mais aussi grâce à la rigueur qu'elle a su me transmettre. Écologue, tu t'es complètement investie dans mon sujet sur les mobilités humaines et sur les activités récréatives, pour mieux partager autour de ce projet. Pour cela, merci beaucoup à toi.

J'ai pu aussi bénéficier de toute l'aide de Clémence Perrin-Malterre, sur le pan sociologie de ma thèse. Grâce à tes conseils, j'ai pu découvrir une discipline et y prendre fortement goût. La sociologie est devenue au fil de cette thèse l'orientation de mes lectures personnelles. Je tiens à te remercier pour tes conseils et pour ta grande disponibilité, qui ont facilité la dernière ligne droite et la rédaction.

J'aimerais remercier Laurence Jolivet, qui m'a encadré au sein du COGIT. Tu as été d'un grand soutien tout au long de la thèse, infaillible, et surtout lors des longues périodes estivales. J'ai bénéficié de ton expertise en géomatique et de ta démarche scientifique, pour apprendre et progresser. Merci aussi pour ta confiance, ton humanité, et pour tout le temps que tu m'as consacré, parfois juste à m'écouter.

Merci à Jean-François Lopez, pour le temps que tu m'as consacré lors des comités de suivi, et pour les échanges autour des problématiques sur la randonnée dans le PNR. Merci aussi à Pascal Erba. Je souhaiterais remercier Mathieu Garel, pour toutes les discussions et pour son sens du partage autour des thématiques pluridisciplinaires qui nous ont réunis.

Je tiens à remercier Jean-Christophe Foltête, pour ses conseils et son expertise, et ses déplacements à Chambéry pour les comités de suivi de thèse.

Merci beaucoup aux membres du LECA-CARRTEL de Chambéry, pour votre accueil et toute votre sympathie. Une pensée aux collègues doctorant-e-s et post-doctorant-e-s Antoine, Pascal, Marjorie, Tiphaine, Léna, Juliette, Kamal. Je tiens à remercier particulièrement Jean-Noël Avrillier, qui a consacré plusieurs journées à digitaliser des cartes dessinées. Merci aussi aux stagiaires que j'ai eu la chance d'encadrer à Chambéry et à Saint-Mandé : Lucie, Rose, Camille, Arnaud et Antoine.

J'ai passé la première période de ma thèse, accueilli à l'IGN au COGIT, ce qui a été l'occasion de bénéficier des compétences et des conseils avisés de tous les membres. Les pauses de la salle

café et les petits-déj du vendredi furent des moments conviviaux qui permettaient de souffler et d'échanger (je ne pourrai pas passer à côté des thèses d'Imran et du "blabla", dans ces remerciements). J'ai énormément apprécié travailler au sein de la structure et partager le bureau avec Sidonie, Julien et, avec une mention spéciale, Abdel. Merci à toutes et tous, excusez moi si je ne vous cite pas exhaustivement.

Je voudrais aussi remercier mes proches, de ma famille à ma belle famille, jusqu'à mes amis. Merci d'avoir été là, et merci pour les relectures. Je suis très heureux d'être aussi bien entouré, et de l'avoir toujours été.

Je consacre ces derniers mots à la petite famille avec qui j'ai l'immense chance de vivre. Lou, Susanne et Viggo priment et primeront toujours.

Analyse spatio-temporelle des mobilités de randonneurs dans le PNR du Massif des Bauges

Colin Micol Kerouanton

Ecole Doctorale Chimie et Sciences du Vivant

Université de Savoie Mont-Blanc

Janvier 2020

Table des matières

Liste des communications	21
Préambule	23
I. Introduction	25
1. Contexte général et problématique	27
1.1. Contexte	27
1.2. Problématique	31
2. État de l'art	37
2.1. La région, espace de mobilité des individus	37
2.2. Les mobilités humaines à large échelle : le cas de la mobilité de loisir	46
2.3. Les outils pour le suivi des mobilités humaines et de la fréquentation des sites semi-naturels	68
3. Objets d'études et méthodes	79
3.1. Site(s) d'étude	79
3.2. Protocole des enquêtes de mobilité	83
3.3. Méthodes d'analyse et objectifs thèse	84
3.4. Objectifs de la thèse	88
4. Analyses préliminaires des questionnaires et indices de la sociologie des randonneurs	91
II. Les pauses de randonneurs : objets géographiques	99
5. Article I – ST-DBSCAN application on mountain hikers' GPS tracks, an analysis of sensitivity for pause detection	101
Summary	101
Introduction	102
Material and methods	105
Results	111
Discussion	117
Conclusion	120

6. Article II – Eye-catching or breath-catching : role and landscape attributes of pauses differ among hikers’ profile when rambling in the mountains	125
Introduction	127
Material and Methods	129
Results	135
Discussion	142
Appendix	149
Résultats clés	159
III. Analyses de trajectoires de randonneurs	161
7. Article III – Walking speed of hikers in mountains : the importance of slope, hikers characteristics, and hike time budget inferred from combining GPS-tracker data and socio-demographic questionnaires	163
Summary	163
Introduction	165
Material and methods	167
Results	171
Discussion	176
Appendix	180
8. Article IV – Path frequentation in mountains depends on terrain dangerousness, hiker’s gender and group size	187
Summary	187
Introduction	188
Material and Methods	190
Results	195
Discussion	196
Appendix	200
Résultats clés	207
IV. Conclusion générale	209
9. Synthèse des résultats : analyses de trajectoire	211
9.1. Les pauses de randonneurs : détection et explication	211
9.2. Les comportements spatio-temporels et variables socio-démographiques : vitesse de marche, itinéraires, différences entre randonneurs	212
9.3. Sur la production d’entités spatio-temporelles, propres au ré-emploi	213

10. Discussion et perspectives	219
10.1. Sur la détection des pauses	219
10.2. Eléments de réponses aux questionnements sur la mobilité humaine dans les activités récréatives	220
10.3. Sur un protocole de questionnaires spécifiques	223
10.4. Sur les autres jeux de données de fréquentation humaine à traiter	226
10.5. Applicabilité en géographie et perspectives	230
Appendix	231
Bibliographie	251

Table des figures

1.1. Comparaison de fréquentations horaires humaines d'un sentier et mouvements de cerfs élaphe en Ecosse (Sibbald et al. 2011)	29
2.1. « Les coquilles de l'Homme » par Moles and Rohmer (1972) cité par Frémont (1999)	40
2.2. Carte de la typologie des espaces selon leur usage temporel jour et nuit par les différentes classes sociales (issue de Le Roux, Vallée, and Commenges (2017)) . .	44
2.3. Les contraintes de la time-geography appliquées aux multi-mobilités pour la pratique de la randonnée	47
2.4. Diversification des activités récréatives en espace semi-naturel, issue de Augustin, Bourdeau, and Ravenel (2008). Les nouvelles activités s'ajoutent aux anciennes. .	50
2.5. Cartes topographiques IGN illustrant la complexité et la variété des objets géographiques liées aux mobilités des usagers en espace semi-naturel montagnard et dues à l'historique et aux caractéristiques du site (altitude, proximité d'une grande ville, activités possibles)	55
2.6. Accueil du site web de promotion du GR70 de la Fédération Française de Randonnée	58
2.7. Conceptualisation des patrons de déplacements de touristes dans un territoire (issue de Lew and McKercher (2006))	61
2.8. Exemples de mobilités pour les deux profils <i>returners</i> et <i>explorers</i> de Pappalardo et al. (2015)	62
2.9. Nombre de décès dans le massif du Mont-Blanc selon le genre et l'âge (Soule et al. 2017)	65
2.10. Illustration de l'objet numérique des points GPS et de sa déclinaison en objets calculés et enrichis jusqu'au concept de trajectoire, selon Buard (2013)	72
2.11. Synthèse des approches pour la segmentation des trajectoires et la découverte de patrons spatio-temporels, issue d' Edelhoff, Signer, and Balkenhol (2016)	76
2.12. Classification de trajectoires de pigeons avec la distance de Fréchet, issue de Devogele et al. (2017)	77
3.1. Carte de situation du Massif des Bauges et isochrones de durée d'accessibilité en voiture aux sites d'étude (1 h et 2 h)	80
3.2. Localisation des accès principaux du Massif des Bauges sur la carte de situation du massif.	81
3.3. Catégorisation des groupes selon la composition en âges	85

3.4. De la trace GPS à la trajectoire sémantique : schéma résumant les étapes du traitement géomatique	89
4.1. Répartition temporelle de la distribution de questionnaires pendant les étés de 2014 et 2015	92
4.2. Répartition hommes-femmes chez les pratiquants de randonnée dans le massif des Bauges (ronds : données Bauges, losanges : données françaises 2014 de l'Institut National d'Etudes Démographiques)	93
4.3. Pyramide des âges pour les données issues des questionnaires du protocole mis en oeuvre	94
4.4. Revenus déclarés selon les âges des répondants	95
4.5. Répartition des catégories socioprofessionnelles chez les répondants	96
4.6. Carte de la provenance des randonneurs à l'échelle nationale	96
4.7. Carte de la provenance des randonneurs à l'échelle régionale, sur un maillage hexagonal	97
4.8. Temps d'accès aux sites d'étude et fréquence de pratique des répondants	97
5.1. Map of the study sites and their slopes in degrees (hiking paths are in yellow) . .	106
5.2. Measure of relevance of the GPS points detected as pauses by ST-DBSCAN . . .	109
5.3. 3D histogram of Fmeasure results	112
5.4. 3D histogram of overestimations and underestimations of the right number of clusters	113
5.5. Detection of an optimum of the combination of Eps and MinPts using F-measure and number of clusters detected success (distance to 100% of clusters detected). The blue rectangle contains values within the 97-100% quantile of both metrics (6 combinations).	114
5.6. Comparison between expert pauses detection (green points) (A) and two combinations (75% and 91% of success, respectively yellow and blue points) of ST-DBSCAN parameters (B). Each point is a pause.	116
5.7. Standard deviations of the standard errors between the numbers of detected clusters, according to the GPS tracks sample size gathered by interval of two-fold increase from 2 to 50.	118
6.1. Map of the study area with its location in France. Insert : schematic representation of the 2 study sites with their summits and passes	130
6.2. Schematic representation of pause by category (A), possible combinations of pauses categories (B) and proportion of the total duration of pauses spent in the categories(C)	133
6.3. Pauses characteristics ($\pm se$) by pause category. (A) Duration (log-scaled); (B) Altitude; (C) Slope; (D) Visibility; (E) Proportion of pauses within 30 m of a summit; (F) Proportion of pauses within 30 m of a pass.	137

6.4.	Pauses categories positioned according to (A) average slope ($\pm se$) and visibility ($\pm se$) and (B) Probability to be within 20m of a top vs probability to be within 30m of a pass. Vertical and horizontal dashed lines indicate the average values X and Y axes over all pauses. Shapes correspond to pause ranking (circle= P1, square : P2, triangle : P3) and colors to the position relative to P1 (red : P1, yellow : close to P1, blue : far from P1) – see Fig. 6.2.	138
6.5.	Effects of Age group, Group size, and Group gender composition on the Number of pauses, Duration of the longest pause P1 (min), probability to make an eye-catching pause, probability to make a breath catching pause and duration of breath catching pauses (min). Predicted values from the retained model (Table 6.3) are displayed with the confidence interval of the predicted values. The panel is empty (a cross is displayed instead) for factors that had a non-significant effect on the response variable.	140
6.6.	Locations of the longest pauses (P1 in red), the eye-catching pauses and (in yellow) and of the beath-catching pauses (in blue) in the 2 study sites.	141
6.7.	Categories of age defined based on the ages of the group of hikers where one carried the GPS-tracker	149
6.8.	A. Distributions of distances to the closest P1, for P2 and P3 pauses. The threshold value chosen to determine whether a pause was close or far away from P1 was 30 meters.. B. Distributions of distances between a pause and a Point of Interest (POI) defined as a summit, pass, or mountain refuge. P1 are in grey, P2 in orange and P3 in green. The threshold used in the analyses was 30 meters. C. Classification of pauses categories proposed in our ms (P1, P2, P3, based on within-trajectory ranking) in the 5 quantiles of pause duration estimated from the whole pause data set.	150
6.9.	Same as Figure 6.4A from main text (mean visibility versus mean slope for pauses of the different categories, P1 : circle, P2A : squares in grey or yellow, P2B : squares with light or dark blue, P3A : triangle with grey or yellow, P3B : triangle in light or dark blue), but with different threshold value to distinguish P2A from P2B and P3B, from P3B. In grey and light blue : threshold of 20 meters. In yellow and dark blue : with a threshold value of 50 m.	151
6.10.	Between-Principal Component Analyses (bPCA) of all pauses by pause category, according to 5 environmental variables : Slope, Visibility, Altitude, Proximity to a summit (Summit), and Proximity to a pass (Pass). A : position of the variables. B. Average values and standard deviation of bPCA scores on the 2 first axes per pause category. C. Histogram of the 999 simulated values of the randomization test of the bPCA. The observed value is given by the vertical line, at the right of the histogram. Given its position far away from the histogram of simulated values, we concluded the categories of pauses differed significantly one from another ($P < 0.01$).152	

6.11. Correlation plot among variables (number of pauses : « Nb Pauses », Total time spent in pause : « Total Duration » ; Duration of P1 : « Duration P1 » ; Duration of eye catching pauses : « Duration Eye » ; Duration of breath catching pauses : « Duration Breath »). The intensity of the ellipse colour indicate the value of the Pearson correlation coefficient (scale on the right, blue for positive correlation, red for negative correlation). A cross is added where the correlation is non significant ($P < 0.05$).	153
7.1. Situation maps : overview and focuses on the two study sites showing the hiking path sections classified according to their mean slope ($^{\circ}$).	167
7.2. Classification ad hoc of hikers itineraries by maximum altitude (the colours represent itinerary difficulties)	170
7.3. Effects of hikers profiles on the TBI : group age (A), group composition (B), frequency of frequentation (C), group gender composition (D), pauses behaviour (E), and interactions with the choice of itinerary difficulty (C, D and E), the dashed line represents the mean TBI (75,92%).	172
7.4. Walking speed as a function of slope for descent model and ascent model, by considering the different values of three socio-demographic variables.	174
7.5. Comparison for uphill and downhill speeds between our general linear mixed model (in black) and four models from the literature : Tobler's (in red), the corrected Naismith-Langmuir's (in green), Rees' (in blue), Irmisher's (in purple).	175
7.6. Distances covered in 60 and 75 minutes simulated from our walking speed model/function. Two scenarios are considered : one concerning a speeder young individual hiking only every holiday (in blue) compared to a scenario concerning a rester old group of frequent hikers (in red)	177
7.7. Classification of hikers profiles by pausing behaviour	180
8.1. Situation map : classification of the hiking path sections by proximity to the summits through the network. On site 2, a part of the hiking path network (No data part) has been recently added without the computation of the proximity to the summit	191
8.2. (1) Semantic enrichment of GPS trajectories, (2) Sequence creation (string of characters) with hiking path sections id, (3.1) Hiking path sections counting with number of id detected, (3.2) Automatic classification of trajectories by Jaccard distance	193
8.3. Mean frequentation by hour as predicted from a generalised linear model, for 3 values of path distance to summit score (red = section by the summit, green = quite close to the summit, blue = far from the summit)	196
8.4. (A) Group gender composition by group size (dashed line is the mean percentage of men presence in groups), (B) Group gender composition whether their itinerary passed by classified dangerous sections or not, (C) Summit choice as a hiking goal, by women absence/presence in groups	197

8.5. Map of two trajectories : a man hiking alone (red) and a group with a majority of women (yellow). NB : we only labelled the pauses superior or equal to 12 minutes of duration.	198
8.6. Hierarchical clustering dendrogram for the 187 trajectories on a Jaccard distance matrix (20 clusters selected)	200
8.7. Itineraries profiles produced by Jaccard distance and hierarchical clustering (n = 20). Red profiles are for site 1, blue ones for site 2. The colour intensity reveals a transparency set to 30% for every profile.	201
9.1. Probabilité de s'éloigner d'un sentier par heure, pour un chamois (les 7 couleurs correspondent à 7 périodes de la journée, les heures sont indiquées à côté des points), issue de Duparc (2016)	214
9.2. Clusters de pauses (polygones jaunes), leurs proximités 50m et 150m (buffers jaunes avec pointillé) et les enveloppes convexes (50% et 95%) des points GPS de trois chamois, par jour (en rouge) et par nuit (en bleu), pour le site 1 et 2	217
10.1. Carte des zones de fréquentation en montée et en descente en ski de randonnée. Les zones hachurées représentent l'union de mailles intersectant plus de 5% des traces GPS sur le site	229

Liste des tableaux

2.1.	Methodes de suivi de la fréquentation humaine.	69
3.1.	Precision GPS de la puce de l'I-gotU GT120	83
5.1.	General description of the 15 GPS tracks characteristics	107
5.2.	The 6 optimal parameters combinations for ST-DBSCAN	115
6.1.	Summary statistics for the trajectories collected by GPS-trackers for the two study sites (Mean and standard errors [min ; max]). The contrast between Sites was tested for pause duration with a t-test of log-transformed pause duration. . .	135
6.2.	Post-hoc pairwise comparisons among the different categories of pauses for temporal and landscape characteristics. Z-score and P values (in brackets) from Tukey pairwise comparisons based on linear mixed models (with pause category as a fixed variable, and trajectory ID and Site as random effect variables) are provided for Duration (log-transformed), Slope, Altitude and Visibility (logit-transformed). Bold text cells correspond to non-significant Z-score tests.	147
6.3.	Model selection for 6 pause variables (Number of pauses, Total duration, Proportion of time in pause, Duration of P1, Duration of eye-catching pauses, Duration of breath-catching pauses) with group size (« Size » : 4 categories), age group (« Age » : 4 categories), frequency of practice (« Frequency » : 2 categories), gender group (« Gender » : 2 categories). Number of pauses was analysed with a Poisson generalized linear model. Durations were log-transformed and the proportion of time in pause was logit transformed. AICc = corrected Akaike Information Criteria ; K = degrees of freedom ; dAICc = difference between a model's AICc and the lowest AICc ; AICcw = weight of the model within the set of tested models. All models dAICc <2 are included in the Table, as well as null models.	147
7.1.	General results on the trajectories set, on both sites	171

- 7.2. Model selection for TBI with group size (« Size » : 4 categories), age group (« Age » : 4 categories), frequency of practice (« Freq » : 2 categories), gender group (« Gender » : 2 categories), pause profile (« Pause » : 4 categories) and itinerary difficulty (« Diff » : 3 categories). TBI was analysed with a log-link beta regression model. AICc = corrected Akaike Information Criteria; df = degrees of freedom; delta = difference between a model's AICc and the lowest AICc. All models $\Delta AICc < 5$ are included in the Table, as well as null models. 181
- 7.3. Model selection for uphill walking speed with slope, group size (« Size » : 4 categories), age group (« Age » : 4 categories), frequency of practice (« Frequency » : 2 categories), gender group (« Gender » : 2 categories). Uphill walking speed was analysed with a general linear mixed model. AICc = corrected Akaike Information Criteria; df = degrees of freedom; delta = difference between a model's AICc and the lowest AICc. All models $\Delta AICc < 5$ are included in the Table, as well as null models. Bold model is the model selected. 182
- 7.4. Model selection for downhill walking speed with slope, group size (« Size » : 4 categories), age group (« Age » : 4 categories), frequency of practice (« Frequency » : 2 categories), gender group (« Gender » : 2 categories). Downhill walking speed was analysed with a general linear mixed model. AICc = corrected Akaike Information Criteria; df = degrees of freedom; delta = difference between a model's AICc and the lowest AICc. All models $\Delta AICc < 5$ are included in the Table, as well as null models. Bold model is the model selected. 183

Liste des communications

Kerouanton, Colin, Laurence Jolivet, Clémence Perrin-Malterre, et Anne Loison. 2017. « Obtention d'une typologie d'itinéraires de randonnée à partir de données GPS ». In Journées de la Recherche. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01522884/>. -> **Appendix C**

Kerouanton, Colin, Antoine Duparc, Laurence Jolivet, Clémence Perrin-Malterre, et Anne Loison. 2017. « Détecter les pauses de randonneurs par l'usage de ST-DBSCAN : analyse de sensibilité ». In Treizièmes Rencontres de Théo Quant. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01554542/>. -> **Appendix D**

Kerouanton, Colin, Jean-Noël Avrillier, Laurence Jolivet, Clémence Perrin-Malterre, et Anne Loison. 2017. « Construction d'un SIG, outil facilitant le suivi d'activités touristiques en milieu non-aménagé ». In Tourisme (s) et adaptation (s), 7e édition du colloque pluridisciplinaire & international AsTRES. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01545849/>. -> **Appendix E**

Préambule

Sur le mémoire de thèse. Le manuscrit se présente sous la forme d'une thèse sur articles (au nombre de 4, en anglais). J'ai écrit une introduction afin de décrire le contexte du sujet de la thèse et afin de formuler les problématiques et les objectifs. Bien qu'il y ait une discussion pour chaque article, une conclusion et une discussion générales viendront clore le manuscrit.

Sur l'état de l'art. Une partie spécifique présente un état de l'art général lié aux problématiques de mon sujet. Un état de l'art spécifique est écrit pour chaque chapitre des deux parties centrales de la thèse, chapitres écrits sous la forme d'articles à vocation de publication. Ces états de l'art spécifiques auront entre autres pour sujets : les analyses de sensibilités appliqués aux algorithmes, la détection des pauses, le paysage en randonnée, les fonctions de vitesse. . .

Sur la formalisation du traitement de données. Je ne viens pas des sciences de l'informatique, mais de la géographie avec une spécialisation en géomatique. J'ai appris en quasi-autonomie des langages de programmation au cours de mon doctorat, langages dont j'ignorais tout (jusqu'à l'existence de certains). Vous ne trouverez donc pas, dans ce manuscrit, de formalisation du traitement de données comme des diagrammes UML, ou d'explications détaillées (ou très peu) sur les algorithmes que j'ai utilisés, ni leur code. J'ai essayé de justifier à chaque fois l'emploi de ces algorithmes et d'expliquer en quoi la combinaison de ces algorithmes est importante à l'étude des patrons spatio-temporels. Cette thèse s'inscrit dans une démarche applicative – développer/proposer des outils en science de l'information géographique – à l'étude des phénomènes de mobilité des pratiquants d'activités récréatives en espaces semi-naturels.

Sur la production d'entités spatiales réutilisables. J'ai essayé, tout au long de cette thèse, d'éviter toute forme d'interpolation pour le traitement des points GPS. Les points GPS étant déjà la résultante d'une triangulation et n'ayant pas d'information de précision pour notre modèle de traceur GPS, il était préférable de privilégier les traitements qui conservent les coordonnées spatiales des points d'origine. Par exemple, pour les clusters de pauses plutôt que de généraliser un ensemble de points à un centroïde qui sera un nouveau point (moyen), j'ai préféré utiliser pour représenter un ensemble de points, le médoïde qui est le point le plus proche de la médiane d'un nuage de point¹, plutôt qu'un centroïde qui est un point fictif. Dans notre thèse, le but était de produire des entités qui soient réutilisables par les gestionnaires du PNR, par les écologues et les géographes qui eux, produiront des interpolations avec ces entités (raster de proximité, kde). Mon approche d'éviter les interpolations pourra ensuite s'assouplir lorsque les imprécisions des

1. Autre exemple avec l'algorithme de simplification Douglas-Peucker qui conserve les points saillants d'une ligne

points GPS seront davantage identifiées. Ce travail sur les imprécisions fait l'objet de recherches à part entière, notamment en géomatique ou en écologie.

Sur les cartes de cette thèse. J'ai essayé d'illustrer le plus possible mes propos et mes résultats par des cartes. J'ai très souvent utilisé la carte IGN « ScanExpress Niveaux de gris », que je trouve très appropriée comme fond de carte à la représentation de résultats. Ce fond de carte gêne peu la lisibilité des données représentées et fournit les informations nécessaires à la contextualisation des lieux (reliefs, réseaux de transport, toponymes). De plus, afin de rendre plus lisibles encore certaines cartes complexes, j'ai construit un fond de carte allégé s'appuyant sur la sémiologie du fond de carte ScanExpress (en m'inspirant des travaux de Jérémie Ory) et avec les informations du ScanExpress (BD TOPO). Certaines cartes ne possèdent pas de légendes. Je le sais, c'est une enfreinte à la loi des géographes. Si tel est le cas, ce n'est pas dans le but de transgresser, mais pour alléger le contenu des cartes contenues dans les articles. Ces articles ayant pour objectif d'être soumis, je les ai rédigés en jouant le jeu. Parfois donc, les légendes simples (couleurs discrètes) apparaissent dans les titres des figures et non comme des objets de la carte.

Sur l'écriture inclusive. Parfois je pensais à l'écriture inclusive, parfois pas. J'ai pu lire les nombreuses remarques de Clémence Perrin-Malterre à ce sujet lors des corrections, et je ne pouvais être que d'accord avec elle : soit tout le temps, soit jamais. Aussi ai-je le regret de vous annoncer que ce manuscrit de thèse ne comprend pas l'écriture inclusive. Mais tout de même, je vais essayer de témoigner ici mon profond enthousiasme pour cette écriture égalitaire. . .

Cher · e lecteur · rice, j'espère que vous apprécierez ce manuscrit.

Première partie

Introduction

1. Contexte général et problématique

1.1. Contexte

Les humains et leurs impacts

Il y a depuis 2010, consensus sur le fait que le changement climatique soit d'origine anthropique (Anderegg 2010 ; Cook et al. 2013 ; Cook and Lewandowsky 2016). L'impact humain sur la planète et sur les écosystèmes s'est accéléré avec l'industrialisation. Celle-ci s'est accompagnée pendant les deux derniers siècles d'un exode rural massif, notamment en France (Molinier 1977). Les différentes vagues d'urbanisation ont de plus en plus éloigné les humains des espaces ruraux (Bell and Lyall 2002 ; Frémont 1999 ; Reclus 1866 ; Schirpke, Tasser, and Tappeiner 2013). La perte des espaces riches en biodiversité (Weissgerber et al. 2019), par l'urbanisation (Antrop 2004 ; Vannier et al. 2016) s'est couplée à une agriculture intensive (Geiger et al. 2010 ; Rollin et al. 2013 ; Wolff et al. 2001), soumettant la biodiversité à d'importants stress. Les infrastructures de transport servant à acheminer les productions, mais servant aussi aux citoyens à se déplacer, ont fragmenté le paysage (Bennett 1999) et présentent des risques forts pour la faune sauvage (Bruinderink and Hazebroek 1996 ; Seiler 2004 ; Tewksbury et al. 2002). Ces réseaux de transports ont permis l'essor des activités récréatives en espaces semi-naturels (Cordell 2008 ; Hartmann and Cordell 1989 ; Kerlinger et al. 2013 ; Manning 2010), espaces attirants pour les utilisateurs (Augustin 2007 ; Augustin, Bourdeau, and Ravenel 2008 ; Bourdeau and Mao 2004 ; Schirpke et al. 2019).

Les activités récréatives en espaces semi-naturels ont des impacts sur les sols et sur la végétation par piétinement et par érosion, par arrachement et par destruction (Ballantyne and Pickering 2015 ; Barros and Pickering 2017 ; Hammitt, Cole, and Monz 2015 ; Pickering and Barros 2015 ; Törn et al. 2009), sur les ressources en eau par pollution (Hammitt, Cole, and Monz 2015), et enfin sur la faune sauvage par dérangement, stress ou bien plus directement par prélèvement direct (Arlettaz et al. 2007 ; Beale and Monaghan 2004a ; Boyle and Samson 1985 ; Duffus and Dearden 1990 ; Gander and Ingold 1997 ; Stankowich 2008 ; Tablado and Jenni 2015).

Le dérangement de la faune par les activités récréatives

La faune se déplace dans son habitat selon les obstacles physiques (relief, hydrologie, infrastructures de transport, etc.), ses recherches de nourriture, mais également selon ce qui est appelé un paysage de la peur, c'est à dire les endroits où les animaux peuvent percevoir un risque plus ou moins élevé de prédation. Les déplacements d'un animal constituent à l'échelle de sa vie

son domaine vital (Burt 1943). L'animal doit composer en permanence entre risque de prédation et recherche efficace de nourriture (Brown, Laundré, and Gurung 1999). Ces deux actions ont des coûts énergétiques pour l'animal. Par exemple, les animaux en bonne forme choisissent plus rapidement de fuir à l'approche d'un prédateur tandis que les animaux en moins bonne forme ont davantage tendance à risquer une proximité plus forte avec les prédateurs, afin de maximiser leur apport énergétique (Beale and Monaghan 2004a ; Brown, Laundré, and Gurung 1999). Le concept de paysage de la peur (Brown, Laundré, and Gurung 1999) a notamment été démontré par l'exemple d'une réintroduction de loups (*Canis lupus*) dans le parc de Yellowstone aux Etats-Unis (Laundré, Hernández, and Altendorf 2001), où les biches (*Cervus elaphus*) et les femelles bisons (*Bison bison*) ont élevé leur niveau de vigilance dans les zones où le loup est apparu. La présence d'un faon pour les biches fut un facteur augmentant la vigilance. Ce paysage de la peur a des conséquences sur les régimes alimentaires des animaux et peut entraîner des changements en chaîne (cascade trophique) modifiant le paysage. C'est le cas toujours dans ce parc de Yellowstone, où la présence de loups modifia la préférence des cerfs pour les trembles de ripisylve (Fortin et al. 2005 ; Ripple et al. 2001). La présence/absence des loups a donc un effet sur la ripisylve et peut entraîner des modifications des cours d'eau (Beschta and Ripple 2006).

D'après une publication – centrale pour les études du dérangement de la faune par les activités humaines –, sur la perception de l'homme comme un prédateur, Frid and Dill (2002) exposent trois arguments pour l'hypothèse que l'humain provoquerait des stimuli similaires à la présence d'un prédateur pour les proies : i) il est très probable que « les animaux aient évolué avec des réponses à des stimuli comme du bruit ou du mouvement », ii) « le risque de prédation est différent de la prédation » elle-même et entraîne donc une réponse des proies différente (stress et non fuite par exemple), iii) « la chasse par les humains a représenté une véritable menace pour les espèces sur le temps long ». Les effets des activités récréatives et notamment la randonnée sur les mammifères sont négatifs (Boyle and Samson 1985) : vigilance et stress, fuites, sélection d'habitats (Frid and Dill 2002 ; Gander and Ingold 1997 ; Hamr 1988 ; Jayakody et al. 2011 ; Jayakody et al. 2008 ; Marchand et al. 2014). Même chez les mammifères habitués à la co-présence de l'homme, les réponses aux comportements de l'humain varient selon la présence ou non sur un sentier par exemple (Bateman and Fleming 2014).

Frid and Dill (2002) reviennent aussi sur les effets, dans une revue bibliographique, que peut avoir le dérangement humain sur les individus et les groupes d'individus. Leur recommandation ? Formaliser les études et les protocoles sur le dérangement de la faune.

1.1.1. Besoin de connaissances sur les interactions

Afin de quantifier l'interaction¹ entre humains et faune sauvage, la priorité est l'augmentation des connaissances sur la répartition spatio-temporelle de la faune sauvage, mais également

1. l'interaction ici n'est pas définie comme la rencontre directe entre humains et faune sauvage, mais englobe plutôt les conséquences que peuvent avoir des co-présences indirectes, comme l'évitement d'un sentier que les animaux ont intégré comme étant fréquenté sur une plage horaire précise

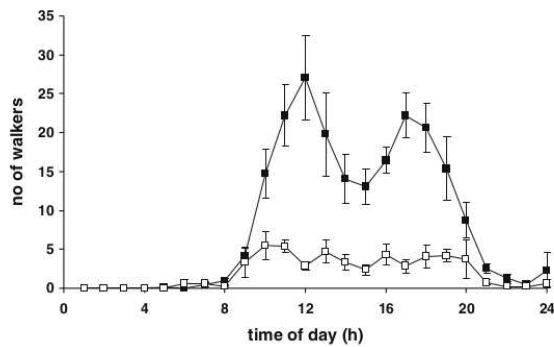


Fig. 4 Mean number of walkers recorded each hour of the day (counted during the preceding hour) on Sundays (*black square*) and Wednesdays (*white square*) during the study period, with *SE bars*

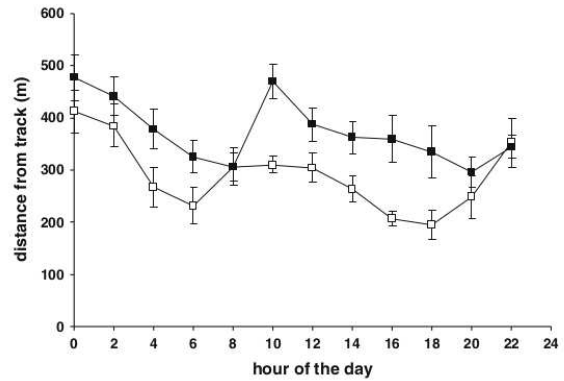


Fig. 5 Mean distance of deer GPS fixes from the track every 2 h on Sundays (*black square*) and Wednesdays (*white square*), with *SE bars*

FIGURE 1.1. – Comparaison de fréquentations horaires humaines d’un sentier et mouvements de cerfs élaphe en Ecosse (Sibbald et al. 2011)

des humains dans les milieux où humains et faune sauvage se croisent. Les méthodes de suivi des mobilités de la faune et d’humains ont pu grandement s’améliorer en précision spatiale et temporelle, avec l’arrivée des GPS.

Mesures du proxy humain en écologie ?

Basille et al. (2009) étudient à une petite échelle la répartition des lynx selon la densité de routes et la densité humaine. Bien souvent, le référentiel utilisé dans la quantification des réponses de la faune sauvage à la présence humaine est le réseau de sentiers ou de routes (Braunisch, Patthey, and Arlettaz 2011 ; Duparc 2016 ; Jayakody et al. 2011 ; Marchand et al. 2014 ; Sibbald et al. 2011 ; Whittington, St. Clair, and Mercer 2005). Dans l’étude de Sibbald et al. (2011) en Écosse, l’intensité de la fréquentation horaire est mesurée par des éco-compteurs sur un tronçon de sentier afin de caractériser l’ensemble de la fréquentation, puis comparée aux mouvements de cerfs élaphe observés par GPS comme illustré sur la figure 1.1. La densité de sentiers dans les espaces naturels est également une variable pour mesurer les effets de probable sur-fréquentation humaine sur les ongulés (Westekemper et al. 2018).

Marchand et al. (2014) quant à eux, mesurent les mouvements et la sélection d’habitat de mouflons méditerranéens selon les jours de la semaine, selon les périodes touristiques, selon les jours chassés. Ces variables temporelles sont utilisées pour pallier le manque de données spatio-temporelles humaines, données qui sont très compliquées à récolter (définitions d’un protocole adapté pour comprendre la fréquentation, besoins humains pour la récolte) lorsque les objectifs de recherche sont orientés vers l’écologie où les protocoles de suivi de la faune sauvage sont encore plus compliqués (capture, poids des capteurs GPS, limite temporelle des capteurs, batterie).

La mesure de l’interaction faune sauvage et humains est rendue compliquée par le besoin de combiner projets de recherches en sciences humaines et en écologie. La géographie peut représenter

ici une solution au verrou du suivi et de l'analyse spatio-temporelle des mobilités humaines, puisqu'elle a pour sujet d'étude l'interaction de l'humain et des milieux dans lesquels il évolue.

La spatio-temporalité de l'humain, apports de la géographie

Les mobilités sont une thématique à part entière de la géographie (Christaller 1964 ; González, Hidalgo, and Barabási 2008 ; Goodchild and Janelle 1984 ; Lew and McKercher 2006 ; Tobler 1993) et les nouvelles technologies de suivi comme le GPS sont un vecteur de développement de la discipline (Andrienko et al. 2010 ; Depeau et al. 2017 ; McKercher et al. 2012 ; Shoval and Isaacson 2009 ; Shoval and Isaacson 2007). La géographie et ses méthodes d'enquêtes et de suivis de terrain (par le biais de questionnaires, d'entretiens, de l'observation, de mesures) est la discipline appropriée à l'étude des mouvements d'humains sur des sites complexes : des villes aux réseaux de rues complexes, aux sites de montagne où les contraintes physiques conditionnent l'observation². Fennell (1996) dans son étude sur les *time-budgets*³ pour mesurer la fréquentation touristique aux îles Shetland, appelle à l'utilisation des techniques déjà mobilisées en écologie pour le suivi spatio-temporel des humains. L'utilisation de la technologie de suivi serait indiquée pour mieux caractériser les aires de pression touristique, économique ou écologique. La méthode du *time-budget* a été utilisée pour suivre les humains dans le temps et dans l'espace (Pearce 1988), mais elle comporte beaucoup de biais puisqu'elle est basée sur les dires des humains observés et de leur exhaustivité ou non-exhaustivité lorsqu'ils remplissent les *time-budgets*.

Les GPS permettent une exhaustivité spatiale et temporelle lorsque la résolution et la précision sont fortes. Ils permettent également une représentativité des comportements spatio-temporels des humains à la condition que les appareils traceurs soient distribués en masse, ou bien que les traces GPS soient récupérées par d'autres moyens (smartphones ou réseaux sociaux par exemple).

Les sciences de l'information géographique ont développé des méthodes d'analyse élaborées de ces traces GPS (Demšar et al. 2015 ; Dodge, Laube, and Weibel 2012 ; Étienne 2013 ; Zheng and Zhou 2011) et ont défini les termes et les usages autour des traces GPS (Bogorny, Heuser, and Alvares 2010 ; Buard 2013 ; Dodge, Weibel, and Lautenschütz 2008 ; Spaccapietra et al. 2008) : les traces GPS doivent être décomposées en pauses et déplacements. La géographie est une discipline clé dans la compréhension des patrons spatio-temporels des mobilités d'humains dans un contexte d'étude de leurs activités, ici récréatives, dans un milieu particulier/contraint, ici en espaces semi-naturels (Cole 1989).

2. En ville, les infrastructures urbaines rendent l'observation visuelle de la fréquentation difficile, ou la fréquentation des réseaux de transports est complexe à quantifier car il existe peu de points de passage très centraux d'où l'on pourrait distribuer des questionnaires, des *time-budgets* ou des GPS. En montagne, les sites d'études sont difficiles d'accès, surtout l'hiver. Il est complexe d'organiser une campagne de récolte de données de ski de randonnée spatialisées en alpages

3. Le *time-budget* est un protocole pour lequel les pratiquants sont amenés à transmettre leur emploi du temps avec les activités, les lieux d'activités et les horaires de ces activités

Historique de la recherche locale : le sujet du Massif des Bauges et les recherches du Laboratoire d'Ecologie Alpine de Chambéry

Le massif des Bauges est un massif montagneux des Alpes françaises et Parc Naturel Régional (PNR) et il est également un sujet d'étude pour les chercheurs de l'Université Savoie Mont Blanc.

Plusieurs thèses ont été réalisées en écologie à propos de ce site d'étude et notamment sous la direction d'Anne Loison : les stratégies de coexistence entre ongulés sauvages (Darmon 2007 ; Redjadj 2010), l'interaction entre ongulés et ressources végétales (Babad 1997 ; Bison 2015 ; Lefebvre 2016), la sélection d'habitat par les ongulés sauvages et les facteurs d'influence de cette sélection – notamment d'origine humaine – (Duparc 2016 ; Marchand 2013).

Le massif est aussi étudié en tant qu'objet patrimonial géologique (Hoblea, Cayla, and Renau 2011 ; Hoblea 2013) et en tant qu'objet d'attractivité touristique ou récréationnelle (Perrin and Mounet 2004 ; Perrin-Malterre and Chanteloup 2018). Les usagers des activités récréatives sont étudiés avec attention, notamment par les travaux se focalisant sur les profils d'usagers d'une part et sur la perception de la faune sauvage d'autre part (Chanteloup 2013 ; Gruas, Perrin-Malterre, and Chanteloup 2016 ; Perrin-Malterre, Chanteloup, and Gruas 2019). La présence d'une Réserve Nationale de la Chasse et de Faune Sauvage (RNCFS) permet la collaboration entre scientifiques et gestionnaires de la RNCFS⁴.

Comme il a été dit auparavant, les études de l'interaction entre faune et activités humaines souffrent du manque de données spatio-temporelles des activités récréatives. Il se trouve nécessaire de compléter les informations déjà connues par des données plus exhaustives aux endroits où la faune sauvage est elle, déjà suivie par le biais de colliers GPS (Chanteloup et al. 2016). C'est dans ce cadre que se situent les projets ANR MoveIt et ANR Humani respectivement portés par Anne Loison sur les mouvements des ongulés sauvages et sur le dérangement par les activités humaines et Clémence Perrin-Malterre sur les activités récréatives au regard de la grande faune sauvage. C'est aussi dans ce cadre que se place le sujet de ma thèse, dont j'expose la problématique ci-après.

1.2. Problématique

Dans ce contexte mêlant réduction des habitats par urbanisation, perte de biodiversité, développement des infrastructures de transport et donc augmentation des mobilités, essor du tourisme et des activités récréatives de pleine nature, je vais dessiner ici les problématiques de ma thèse sur l'analyse spatio-temporelle des mobilités de randonneurs sur site (dans le but d'étudier les interactions avec la faune sauvage).

4. La réserve est co-gérée par le PNR, l'ONF (Office National des Forêts) et l'ONCFS (Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage)

Argument 1 : la faune sauvage orientée par les activités humaines ?

Je suis revenu précédemment dans le contexte, sur les conditions qui déterminent les mobilités animales dans l'espace : contraintes topographiques et paysagères (ex. relief), contraintes climatiques, nourriture, interactions avec les animaux de la même espèce ou autre et pour finir les interactions avec les humains et leurs activités. Les questions en écologie animale portent sur les évolutions démographiques des populations. Les liens entre interactions faune-humain et les effets sur la santé des individus animaux sont des verrous que l'écologie cherche à ouvrir. Les études sur le paysage de la peur s'inscrivent dans ces questions scientifiques, où la perception de l'humain comme prédateur serait validée. Ma thèse s'est construite sur ces hypothèses préalables, ou plutôt s'est construite dans l'objectif futur de caractériser plus précisément les interactions humain-faune sauvage dans un contexte d'activités récréatives en milieu montagneux.

Ces interactions avec les ongulés de montagne sont difficiles à caractériser pour des raisons diverses : i) le suivi spatio-temporel de ces ongulés est complexe (poids et longévité de la batterie des GPS, capture des animaux), ii) il n'existe pas de zones où l'on puisse stopper la fréquentation humaine de telle sorte que la zone devienne une zone témoin de non-dérangement, iii) les métriques de mesure d'un éventuel dérangement (distance au sentier, distance parcourue dans une journée, éloignement/rapprochement du sentier, sélection/évitement spatio-temporel des zones de présence humaine) sont variées et ne peuvent individuellement caractériser un dérangement.

C'est donc une première pierre dans l'élaboration de ma problématique : la perspective de l'étude des interactions humains-faune dans un contexte montagneux entre ongulés de montagne et activités récréatives. Comment aboutir à une caractérisation des zones de dérangement des animaux, à des effets de dérangement spatio-temporels ? Il y a là une nécessité de connaissance des mobilités humaines lors de leurs activités récréatives en montagne, mais également une nécessité de formalisation pour que les données de mobilités soient utilisables par les écologues : cartes de présence humaine dans le temps, entités spatiales et spatio-temporelles (clusters d'individus, de localisations, réseaux de transport, flux de personnes).

Argument 2 : Les mobilités de randonneurs

Afin de caractériser les interactions, objectif futur décrit brièvement dans l'argument précédent, il est indispensable de connaître d'un côté les mobilités animales (travaux encadrés par Anne Loison pour le chamois et le mouflon : Darmon (2007), Marchand (2013), and Duparc (2016)) et de connaître d'un autre côté les mobilités humaines. C'est ici la principale problématique : quels sont les patrons spatio-temporels des déplacements de randonneurs ?

Pour les comprendre, il faut étudier qui se déplace, quand, comment et où. Les mobilités humaines ont été conceptualisées par la théorie de la *time-geography* de Hägerstrand (1970). Je reviendrai d'ailleurs sur cette théorie et son utilisation partielle par les géographes lorsqu'ils ne retiennent que la représentation 3D et omettent les termes de la théorie. La théorie décrit des contraintes dessinant les possibles de la mobilité de chaque individu humain. D'un autre côté, la méthode des

time-budgets a permis d'étudier pour la géographie, la sociologie, l'anthropologie mais aussi pour l'économie, la manière dont les humains organisent leurs activités dans l'espace en fonction de leur temps disponible. Ces *time-budgets* ont permis de mettre en avant des patrons spatio-temporels dans les comportements humains, des sur-fréquentations ou des sous-fréquentations de lieux.

Les GPS utilisés depuis peu, comparativement aux autres méthodes de suivi comme le *time-budget*, peuvent augmenter considérablement notre connaissance des mobilités au sens des espaces utilisés et non utilisés et la variation de cette utilisation dans le temps. C'est donc en mobilisant cet outil, que je tâcherai d'acquérir des connaissances sur les comportements des randonneurs dans l'espace (limité aux sentiers du PNR du Massif des Bauges) et dans le temps (limité lui aussi à la saison d'été et sur deux ans). Il existe déjà des connaissances, par le biais d'études aux Etats-Unis d'Amérique (D'Antonio and Monz 2016), dans les pays scandinaves (Korpilo, Virtanen, and Lehvävirta 2017; Svensson, Pettersson, and Zakrisson 2011), en Autriche (Taczanowska et al. 2014), en Allemagne (Schamel and Job 2017), mais aussi à Hong-Kong (McKercher et al. 2012) ou encore sur les îles Galapagos (Orellana et al. 2012). Parmi ces études, peu utilisent les outils appropriés de la géomatique. Les résultats sur les mobilités de randonneurs obtenus par ces études sont donc pour la plupart biaisés et sont à interpréter avec précaution⁵.

Argument 3 : Le traitement des données de mobilités

Dans la littérature sur les mobilités liées aux activités récréatives en espaces semi-naturels, ou sur les mobilités touristiques régionales, utilisant les GPS comme moyens de suivi, peu de recherches utilisent les outils de géomatique appropriés aux analyses spatio-temporelles.

L'état de l'art d'Elodie Buard (2013) sur le concept de «trajectoire» explique comment doit être décomposée une trace GPS afin qu'elle devienne compréhensible⁶ et que l'on puisse exploiter toutes les informations relatives au comportement de l'individu transportant le GPS. Le concept de trajectoire – et je reviendrai sur ce concept dans l'état de l'art – est défini selon des pauses (le départ, l'arrivée et les éventuelles pauses entre) et des déplacements entre celles-ci. Il serait imprécis d'aborder les vitesses de randonneurs pour une trace GPS, lorsque l'on peut décomposer la trace GPS en séquences de vitesses variables. Cette décomposition nécessite l'usage d'outils, de fonctions – les algorithmes –, qui auront pour objectif de détecter les pauses, simplifier les traces, enrichir les traces GPS d'informations géographiques, réduire les erreurs de localisation, enrichir les référentiels géographiques comme le réseau de sentiers par des statistiques de fréquentation.

Comme dit auparavant, les outils de la géomatique sont très peu mobilisés dans les études en géographie, écologie et sociologie du loisir. J'utiliserai ces outils dans cette thèse et je montrerai qu'ils permettent l'obtention de résultats inédits. Il me sera important de faciliter l'utilisation de

5. Je fais surtout référence ici aux études nord-américaines : Beeco and Hallo (2014), Beeco, Hallo, and Brownlee (2014), Hallo et al. (2012), and D'Antonio and Monz (2016)

6. Une trajectoire se décompose par les éventuelles pauses de l'individu mobile et les déplacements entre ces pauses. Les entités spatio-temporelles issues des GPS sont simplifiées, interpolées. Ces trajectoires peuvent être enrichies d'informations géographiques pour devenir des trajectoires sémantiques. J'illustrerai cette définition dans l'état de l'art

ces outils par les scientifiques et les gestionnaires qui m'ont accompagné lors de cette thèse, ou qui prendront la suite de mes analyses pour étudier l'interaction humain-faune et c'est l'objet de la problématique suivante.

Argument 4 : Interdisciplinarité et transdisciplinarité autour des données

Les sites d'études sont situés dans le PNR du Massif des Bauges. Afin que les gestionnaires du PNR puissent s'emparer des résultats et des méthodes de l'analyse spatio-temporelle des mobilités de randonneurs, j'ai attaché une importance à toujours parler des lieux du PNR. C'est une problématique du travail en transdisciplinarité⁷ : ancrer des concepts sur le terrain, ancrer les mobilités de randonneurs à des noms de sommets ou à des passages connus, ancrer les pauses des individus à des points d'intérêt comme les chalets de montagne. Garder les lieux géographiques comme grille d'analyse pour l'étude des mobilités – pouvant devenir par le biais des méthodes d'analyse spatio-temporelle, très abstraites – est une problématique liée à la transdisciplinarité. Plus directement, les résultats et ma recherche doivent parler aux gestionnaires, mais aussi aux futurs usagers. Armand Frémont (1999) dans « La région, espace vécu » résume cette contrainte transdisciplinaire aux lieux : « Comme le dit fort bien le mot, par les lieux, les hommes et les choses se localisent » (p. 150) . Encadré par Anne Loison écologue, par Clémence Perrin-Malterre sociologue, Laurence Jolivet géomaticienne, en échange avec Mathieu Garel écologue, Laine Chanteloup géographe, Antoine Duparc écologue, Jean-Christophe Foltête géographe, Julien Perret géomaticien, j'ai dû adapter mon travail afin qu'il soit compréhensible de tous et reproductible.

L'interdisciplinarité⁸ autour du sujet des mobilités de randonneurs nécessite un lexique similaire, des outils d'analyse et des résultats formalisés ré-employables et des objectifs scientifiques communs. En d'autres mots, les résultats et les méthodes de cette thèse devront pouvoir être utilisés par écologues, géographes, géomaticiens et sociologues dans leur étude des interactions humain-faune (projet ANR Humani, coordonné par Clémence Perrin-Malterre).

Cette dernière problématique suppose une interdisciplinarité et une transdisciplinarité des méthodes et des résultats de ma thèse : par un rapport aux lieux, par un langage commun et par une ré-employabilité des approches, des méthodes et des résultats.

Argument 5 conclusif : résumé des arguments, problématique générale

Les arguments que je viens de décrire illustrent les grands enjeux de ma thèse sur l'analyse spatio-temporelle des mobilités de randonneurs dans le PNR du Massif des Bauges. Ces enjeux

7. « La transdisciplinarité a l'ambitieux objectif de rassembler les savoirs au-delà des disciplines », plus d'éléments de définition ici : <https://www.usherbrooke.ca/litt-et-maths/fondements/inter-trans-multi-pluri-ou-intradisciplinarite/>

8. L'interdisciplinarité au sens de la mobilisation d'au moins deux disciplines et d'un ancrage dans le réel, selon les définitions trouvées ici : <https://www.usherbrooke.ca/litt-et-maths/fondements/inter-trans-multi-pluri-ou-intradisciplinarite/>

sont imbriqués les uns avec les autres : l'objectif d'étudier les interactions humain-faune (argument 1) dépend d'une connaissance très fine des mobilités de randonneurs (argument 2), connaissance rendue possible par l'utilisation d'outils de géomatique et de statistique (argument 3), qui se doivent d'être ré-employables et dont les résultats seraient compris, par les chercheurs d'autres disciplines ou par les acteurs du territoire (argument 4). J'essaierai donc, par la suite, de garder les contraintes suivantes pour l'analyse spatio-temporelle :

- **étudier l'interaction humain-faune** est l'objectif post-thèse, pour celles et ceux qui utiliseront mes résultats.
- l'objet de mon étude est **l'analyse fine des mobilité de randonneurs** par le biais de traceurs GPS
- les outils utilisés doivent être adaptés aux données GPS et je dois **faciliter leur utilisation future par les autres acteurs**
- le lexique scientifique que je mobiliserai visera **l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité**, ce qui passe par l'évitement autant que possible d'un jargon disciplinaire trop technique
- **Les lieux**, leur étude et l'étude des liens entre eux, seront prioritaire afin de s'inscrire dans une approche géographique.

2. État de l'art

2.1. La région, espace de mobilité des individus

Pourquoi parler de région – Définition de l'espace régional - Théorie de la time geography

2.1.1. Pourquoi parler de région ?

J'aborde dans ce sous-chapitre la notion d'espace régional et j'aimerais m'attarder sur la définition au sens des géographes du mot « région ». Si je choisis de discuter sa définition, c'est pour deux raisons que je vais développer ci-après.

La région, espace sollicité par les mobilités et traité par les géographes

La première raison est que la géographie mobilise le concept d'espace régional pour traiter le sujet de la mobilité des individus. Je reviendrai dans ce sous-chapitre sur ces mobilités par le biais de multiples exemples : réseaux de transports, mobilités domicile-travail, tourisme. Le principal auteur qui aborde la mobilité des individus au prisme de l'espace régional est Hägerstrand (1970), par son concept de *time-geography* qui fera ensuite des émules parmi les géographes pour quantifier les potentiels espaces atteignables par les individus, induisant d'éventuelles inégalités. Je reviendrai sur sa définition de la mobilité. J'établirai aussi la connexion qui existe entre la définition de l'espace régional et la théorie de Torsten Hägerstrand, en abordant la définition d'Armand Frémont (1999) sur « la région, espace vécu » et la hiérarchisation des lieux.

Les mobilités de randonneurs et leur inscription dans une mobilité à plus petite échelle

La deuxième raison à définir ici la région est la raison principale pour cette thèse qui rend compte de l'étude des mobilités de randonneurs dans le Parc Naturel Régional du Massif des Bauges. Si l'échelle étudiée n'est pas l'échelle de la région, car les randonnées sont des marches à la journée localisées sur deux sites d'études dont les itinéraires ne vont rarement au-delà d'une vingtaine de kilomètres, les mobilités ne s'inscrivent pour autant pas seulement dans cet espace protégé. Notre méthodologie consistait à enregistrer la mobilité pour l'activité de randonnée, mais les randonneurs ont une mobilité avant cette randonnée ainsi qu'après. Pour comprendre ces mobilités locales et qualifier les comportements spatio-temporels des usagers, il faut les intégrer dans une mobilité plus large. Un individu qui part à 8 h d'un parking situé à 1400 m

d'altitude et habitant à 30 kilomètres doit prévoir sa sortie à la journée : préparation du sac, planification du trajet routier, examen précis de la randonnée, coordination avec d'éventuels autres randonneurs notamment pour un covoiturage. La mobilité de randonnée se transforme en mobilité multi-modale : marche, transports en commun, vélo, voiture, co-voiturage, puis randonnée. Puis trajet inverse. Étudier la mobilité de randonnée par son intégration dans une mobilité multi-modale, c'est s'en représenter les coûts économiques, énergétiques, temporels, pour les individus. Utiliser l'approche multi-modale, c'est permettre de quantifier les inégalités d'accès, les coûts d'accès, les contraintes des individus. L'approche multi-modale de la mobilité de randonnée donne une autre vue pour l'élaboration de profils de randonneur¹. L'espace régional prend donc tout son sens pour la compréhension des pratiques d'activités récréatives en espaces semi-naturels.

2.1.2. Définition de l'espace régional

2.1.2.1. Définitions

D'après la définition du glossaire de Géoconfluences² (ENS de Lyon), la notion de région peut revêtir plusieurs sens, dont les principaux : identitaire par « un caractère commun à l'espace concerné (...) historiques, naturelles, industrielles, agricoles, etc », administratif par territorialisation ou administratif par gestion (« jeu des acteurs, ses compétences et les politiques qui s'y déploient »). Les auteurs incitent à examiner l'espace régional par « son fonctionnement au travers des localisations, des polarisations et des flux, ses dynamiques (...) ».

Brunet (1972) refuse l'idée d'un espace géographique continu. Il donne trois raisons à la discontinuité de l'espace géographique : l'existence de frontières, « l'existence de collections d'espaces disjoints » et « l'existence des régions ». La région est ainsi une preuve, au sens de Roger Brunet, de la discontinuité de l'espace géographique. Il spécifie plus loin ce que n'est pas une région, avec un exemple qui m'intéresse puisque appliqué au tourisme : « Une région « touristique » peut être seulement le groupement sur une carte des points où le tourisme est une activité notable apparente ; mais une grande source de confusion est justement de baptiser région ce qui n'est que l'aire d'extension d'un phénomène » (p. 6). Sa définition de la région porte sur l'idée que l'espace régional se distingue des autres espaces, par des différences en son sein moins importantes que les différences avec les autres espaces : « un espace qui se définit par des caractères communs, en rapport les uns avec les autres, tels que les variations de ces rapports à l'intérieur de l'espace considéré sont moindres que leurs variations à l'extérieur de l'espace » (p. 6). Roger Brunet voit dans la région une structure pour laquelle des relations existent et occupent l'espace. Bien qu'il ne mentionne pas la définition de Juillard (1962) dans sa « théorie de la géographie régionale », Roger Brunet emprunte des concepts similaires tels que la fonctionnalité de la région, structure de l'espace.

1. Je ne développerai pas dans le cadre de cette thèse d'étude d'accessibilité, ou d'inégalités d'accès aux espaces de randonnée

2. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/region>

Etienne Juillard (1962) dans son « essai de définition » sur le terme de la région, distingue la région du paysage qu'il évoque comme pouvant être parfois un facteur de délimitation de cette première. Il nuance « M. Sorre indique que le développement économique et social détermine une hiérarchie des espaces organisés, que « chaque région a sa fonction propre, ou plutôt ses fonctions » » (p. 487).

Juillard ajoute que la région n'est pas unitaire visiblement (« physionomie »), mais qu'elle peut se définir par des actions humaines similaires, c'est à dire un espace fonctionnant avec un « critère de cohésion », c'est « l'espace fonctionnel ». Déjà ici, dans cette définition, les mobilités sont abordées comme pouvant structurer un espace régional, voire même comme pouvant le définir. Etienne Juillard insiste sur l'idée que la région serait structurée par des flux et des centres : « L'analyse régionale ne s'appuie plus sur la découverte d'espaces uniformes, mais sur l'étude de la hiérarchie des centres, de la densité et de l'intensité des flux. » (p. 489).

La définition de l'espace régional par Etienne Juillard est majeure pour la suite du développement de mon sujet et elle appuie les théories de time-geography, puisqu'elle fait ressortir des lieux centraux à atteindre et une hiérarchisation de ces lieux. La mobilité multi-modale des individus randonneurs se place dans cette région ainsi définie, qui relie des lieux d'habitation à des lieux de pratique d'activités. Ces liens entre lieux peuvent être fréquents lors de la pratique de la randonnée en été et du ski de randonnée en hiver, dans les agglomérations urbaines montagnardes (Rech, Mounet, and Paget 2011). Ces pratiques illustrent parfaitement la distinction entre paysage, dont la physionomie varie selon les massifs et région, dont la cohérence se définit par les intensités et les fréquences de flux et les types d'acteurs.

Dans un article sur les sciences régionales Walter Christaller (1964) – théoricien des lieux centraux en géographie et définissant le tourisme comme une recherche des « sommets les plus hauts, des bois les plus solitaires, des plages les plus éloignées » – oppose les lieux d'activité touristique aux centres régionaux comme étant des lieux « d'évitement des lieux centraux et de l'agglomération des industries » (p. 95). Cette vision du tourisme comme d'un évitement des lieux centraux est erronée, ou en tout cas n'est pas généralisable à toutes les formes de tourisme actuelles, citons pour exemple le tourisme des grandes métropoles telles que Paris, Rome, Londres, New-York, Tokyo, etc.

Dumolard (1975) synthétise les définitions de la région et utilise pour cela la définition de Roger Brunet ainsi que celle d'Etienne Juillard. Il reprend les principaux traits structurant la région : fonctionnalité, cohésion, homogénéité/hétérogénéité.

2.1.2.2. Définition d'Armand Fremont : « la région, espace vécu »

Armand Fremont (1999) dans « La région, espace vécu » , donne la définition de l'espace régional d'après Moles and Rohmer (1972) : « l'ensemble des lieux où l'homme peut aller et revenir en moins d'une journée, c'est à dire sans découcher, c'est à dire encore sans faire de réservations, donc pas de plans à l'avance... La région existe dans la mesure où il n'y a pas de contrôle légal

de son passage » (p. 71-72) et mentionne les coquilles de l'Homme pour parler de l'espace familial (figure 2.1).

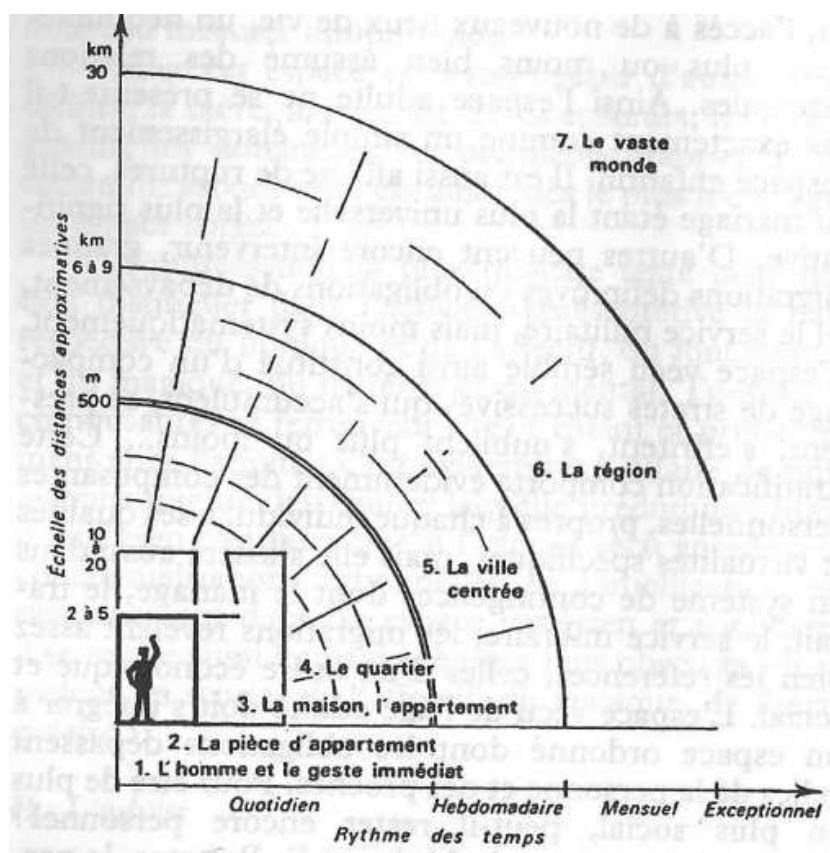


FIGURE 2.1. – « Les coquilles de l'Homme » par Moles and Rohmer (1972) cité par Frémont (1999)

Armand Frémont (1999) ajoute que « la région conduit hors du quotidien et du familial mais sans contrôle extérieur ni sentiment d'insécurité ; elle s'arrête aux limites de l'exceptionnel, de l'aventure » (p. 72). Il dresse un état des lieux des différentes définitions autour du terme polysémique région. La région, espace vécu, car c'est un espace aux limites floues, un espace de lieux utilisés et mémorisés, de préférences. Les PNR à proximité des grandes agglomérations sont une illustration de la définition de la région au sens de Frémont : hors des coquilles proches de l'humain (en tout cas pour le randonneur) ; producteur d'expériences, d'émotions et donc de souvenirs ; constructeur d'attachement (au sens du ressenti) aux lieux. González, Hidalgo, and Barabási (2008) en étudiant 16 millions de données de déplacements humains pour 100 000 individus d'une région, concluent que « les individus sont bien attachés à des régions, définies par un lieu de vie et un lieu de travail où ils peuvent être trouvés la plupart du temps » (p. 781).

Les PNR du Massif des Bauges, de Chartreuse et du Vercors, sont autant d'espaces pour lesquels il est aisé d'accéder dans une fenêtre temporelle courte (journée), pour les habitants des vallées alpines autour de Grenoble et Chambéry (Perrin-Malterre, Chanteloup, and Gruas 2019 ; Rech, Mounet, and Paget 2011). Il en va de même pour les forêts domaniales (Rambouillet,

Fontainebleau, PNR de la Chevreuse) autour de la région parisienne, ou de parcs urbains dans les grandes métropoles européennes comme le LOBAU de Vienne (Arnberger and Brandenburg 2002 ; Granet and Dobré 2009 ; Hörnsten 2000 ; Lepillé et al. 2017). La distinction d'Armand Frémont « hors du quotidien et du familier » apparaît comme très appropriée pour les activités récréatives en espaces semi-naturels. La randonnée ou le ski de randonnée sont des activités qui permettent une extraction au quotidien et l'exploration d'espaces à valeurs paysagères différentes des paysages quotidiens (par exemple les paysages urbains des citadins).

En abordant l'espace urbain et les processus de standardisation de cet espace, Frémont explique que l'humain pourrait se sentir en manque d'espaces semi-naturels :

« Et ce manque, selon les classes sociales, se traduit en succédanés nostalgiques des lieux effacés : résidences secondaires et villages de goût rustique pour les catégories aisées, jardinets, fleurs, balcons, pelouses des classes moyennes, »espaces verts" sanctifiés par les urbanistes (...)» (p. 244)

Si l'espace vécu par les humains est aliénant, ils peuvent être amenés à se déplacer, à rechercher un espace plus approprié, ou à pratiquer des activités récréatives dans un espace semi-naturel. Il ajoute, à propos de la mobilité des humains et toujours à propos de ces mécanismes d'aliénation de l'espace, que « l'accessibilité de l'espace se hiérarchise en fonction des possibilités matérielles et intellectuelles dont disposent les classes sociales » (p. 248).

Le sujet des mobilités de randonneurs au sein d'un espace comme un PNR ne peut être abordé sans qu'il soit inscrit dans une réflexion géographique régionale, car la randonnée dans ces espaces est le reflet de mobilités régionales, de classes sociales pouvant accéder à ces randonnées et d'éventuelles motivations qui seraient propres à un espace régional (exemple : les motivations à pratiquer le ski de randonnée de manière hebdomadaire est propre aux régions montagneuses). De plus, les flux de mobilités vers les activités de loisirs s'inscrivent dans une cohérence fonctionnelle de l'espace composé du milieu urbain et des milieux de pratique du PNR, correspondant à la définition de la région comme d'un espace fonctionnel (Juillard 1962). Dans les points suivants, j'exposerai la théorie de la *time-geography* aussi inscrite dans un espace régional et incluant les différences d'accessibilités selon les individus.

2.1.3. Théorie de la géographie temporelle ou *time-geography* par Hagerstrand

2.1.3.1. Théorie de la mobilité humaine

Le suédois Torsten Hägerstrand fait une communication (1970), « What about people in regional science ? », dans laquelle il image :

« When Robinson Crusoe found himself alone on his island, he could make up his program without regard to a pre-existing socio-economic system. (...) An individual who migrates into an established society, either by being born into it or by moving

into it from outside is in a very different position. He will at once find that the set of potentially possible actions is severely restricted by the presence of other people and by a maze of cultural and legal rules. » (p. 11)

Il conceptualise les mobilités humaines comme étant contraintes dans l'espace et dans le temps. Les contraintes sont définies en trois grands types :

- de capacités ou *capacity constraint* : elles sont les capacités des individus à se déplacer, c'est à dire leur forme physique, leur vitesse de déplacement, les outils de mobilité à leur portée (vélo, voiture, transports en commun).
- de couplage ou *coupling constraint* : ce sont les contraintes qu'un individu doit respecter pour intégrer les autres individus dans sa mobilité. Cela va du rendez-vous à une heure précise, à la personne que l'on doit aller chercher à un endroit et à une heure³. Dans le cas des mobilités de randonnée en montagne, la contrainte de couplage revient à la contrainte de capacité de la personne la plus lente dans un groupe si le groupe a la volonté de rester uni, ou bien la personne à aller chercher lorsque l'on organise un covoiturage pour accéder au parking de randonnée.
- d'autorité ou *authority constraint* : contraintes d'ordre physique comme la propriété privée que l'on ne peut traverser, le bâtiment public mais réservé à une certaine catégorie d'individus (fonctionnaires par exemple) où l'on ne peut pénétrer. La contrainte d'autorité, dans le cadre des espaces semi-naturels protégés, serait l'interdiction de sortir des sentiers, ou les conseils de ne pas franchir un torrent en dehors d'un pont, car trop dangereux.

Di Méo (1999) reprend les contraintes d'Hägerstrand pour aborder une réflexion sur la mobilité quotidienne et émet une critique envers cette théorie, ou plutôt un manquement :

« A. Giddens souligne que l'addition des contraintes de « capacité » et de « couplage » se révèle un facteur structurant (la plupart du temps limitant) de l'interaction sociale dans sa rencontre avec l'espace-temps. » (p. 80)

En fait Di Méo explique que la *time-geography* serait construite uniquement sur le rapport des individus entre eux et non dans un cadre social. Ceci dit, dans son analyse de la *time-geography*, Di Méo omet de mentionner la dernière contrainte, celle d'autorité. Cette contrainte relève davantage d'autorités matérielles que de constructions sociales. Je montrerai plus loin (dans la section sur les patrons spatio-temporels), par le biais des études de genre, que les constructions sociales sont également à ranger dans les contraintes pour la mobilité des individus et que l'analyse de Di Méo marque un point.

3. un rendez-vous peut être ponctuel et annulable donc une contrainte faible, tandis qu'une personne à aller chercher, comme un enfant à la crèche, peut être une contrainte très forte

2.1.3.2. Utilisation du prisme 3D comme concept « time geography »

La *time-geography* empruntant son nom au concept d'Hägerstrand défini ci-dessus, est très utilisée en géomatique et en géographie et bien souvent uniquement pour l'illustration en 3D (Andrienko et al. 2010; Buard and Brasebin 2012; Chardonnel and Thévenin 2012; Demšar and Virrantaus 2010; Demšar et al. 2014). En effet, dans son article, Hägerstrand (1970) utilise une représentation en trois dimensions (longitude, latitude et le temps) de ce que pourrait être un parcours de mobilité spatio-temporelle d'un individu, avec des latences et des mouvements. Mais cette représentation est devenue au cours des publications l'essence de la théorie alors qu'elle n'en est que son illustration. En voici plusieurs exemples :

« Another well-known technique is the interactive space-time cube implementing one of the ideas of time geography (Hägerstrand 1969), which considered space and time as inseparable and suggested a three-dimensional representation where two dimensions represent space and the third dimension represents time » (p. 11) (Andrienko et al. 2010)

« In 1970s, a branch of geography called time geography established one of the most frequently used visual representations of interlinked geography and time : the space-time cube (STC) [153]. In an STC, the spatio-temporal data are shown in a 3-D space, where the bottom 2-D plane represents the 2-D geographic space and the third axis represents time. The main assumption of time geography is that geographic space and time are inseparable and the STC was developed to portray this assumption in a visual manner. » (p. 12) (Demšar et al. 2015)

Neutens, Schwanen, and Witlox (2010) résumant bien la distinction faite entre l'étude du prisme 3D et l'étude de l'accessibilité rendue possible par la time geography dans la littérature scientifique en géographie.

2.1.3.3. Accessibilités et inégalités : classes sociales et genre

Hägerstrand (1970) dans son article, exprime les inégalités d'accessibilité selon les facteurs sociaux : « It is obvious that a low-income job, compared to a higher income job, gives access to fewer or inferior domains. » (p. 17).

En effet, les études d'accessibilité par le biais de la *time-geography* et ses contraintes, permettent de mettre en lumière quantitativement les différences entre différentes classes sociales, ce qu'avait déjà commencé à faire Engels (1892) en son temps pour étudier les différences d'état de santé selon les quartiers. Les ségrégations ethniques aux Etats-Unis ont pour conséquence des contraintes sociales et spatiales dans l'accessibilité aux lieux de travail des individus (Ellis, Wright, and Parks 2004). Dans leur étude, Ellis, Wright, and Parks (2004) trouvent que les « native-born black » à Los Angeles, sont les plus réunis en lieu de résidence et à part des autres communautés ethniques, mais également les plus nombreux à travailler avec les autres communautés. Les quartiers dans

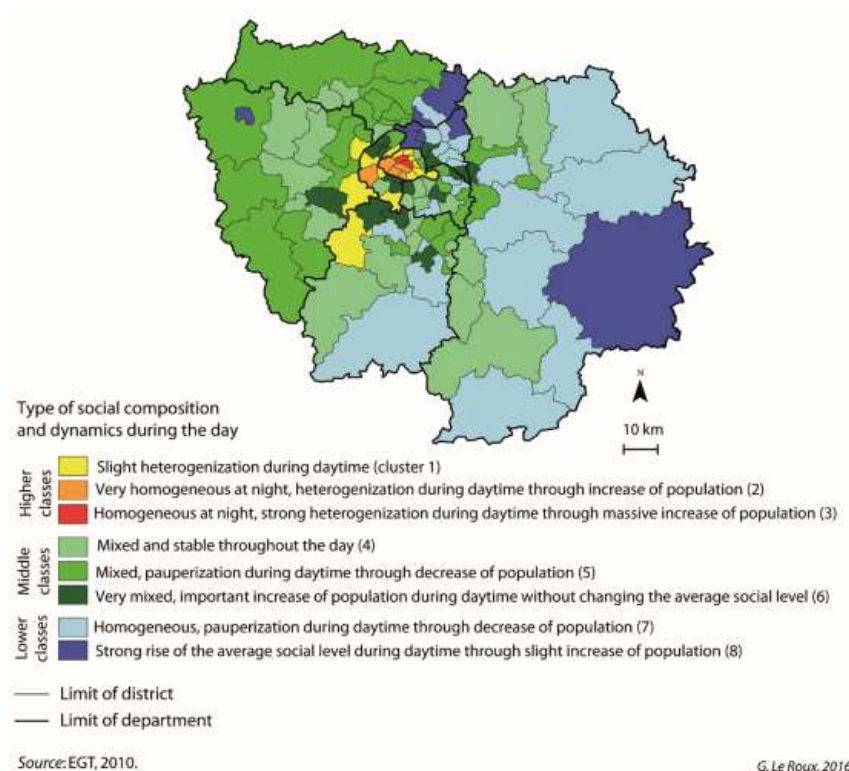


FIGURE 2.2. – Carte de la typologie des espaces selon leur usage temporel jour et nuit par les différentes classes sociales (issue de Le Roux, Vallée, and Commenges (2017))

lesquels ils résident sont à l'écart et leur lieux de travail distribués de façon hétérogène. En appliquant la théorie d'Hägerstrand, leurs coûts de déplacement sont donc plus élevés que pour les autres communautés.

Le Roux, Vallée, and Commenges (2017) montrent qu'à Paris intra-muros, les classes sociales sont plus mixtes en journée et sont très homogènes la nuit. En effet, les résidents de Paris intra-muros sont les classes supérieures et les activités du soir sont principalement des activités de socialisation « réservées » aux classes supérieures. Les auteurs constatent que pendant la nuit, les classes supérieures sont les classes qui mettent le plus de distances avec les autres classes. Il existe également des zones (à la périphérie) qui en journée, se paupérissent et redeviennent hétérogènes la nuit. Cette publication indique qu'il y a des processus de mobilités entre lieux de résidence et lieux de travail et que les classes sociales ne sont pas toutes égales face à la mobilité et face à l'accessibilité aux lieux de travail (figure 2.2).

Les régions considérées ici n'ont pas des emprises spatiales égales. Une région peut être une ville (ex. Paris) ou plus large et pas forcément en lien avec les limites administratives, même si cela a une influence (ex. ville de Préfecture).

La perception de l'accessibilité est également différentes selon les classes sociales, selon des facteurs socio-démographiques. En questionnant des individus tirés au hasard dans deux quartiers aux structures sociales différentes (revenus et statut socio-démographique), Wang, Brown, and

Liu (2015) ont comparé les distances réelles et les distances perçues au parc le plus proche. Tandis que 10.6 % des interrogés du quartier le plus aisé déclarait que l'accès n'était pas facile, pour le quartier le moins aisé ce chiffre montait à 38.1 %. Les auteurs constatent que les facteurs significatifs d'influence pour la perception de l'accessibilité ou d'inaccessibilité sont : la perception de sa propre santé, le salaire, le langage parlé à la maison. Les auteurs déclarent : « non-native English speakers were more likely to report lower levels of access to neighbourhood parks » (p. 63).

Kwan (1999 ; 2000 ; 2002), Kwan and Kotsev (2015), and Ta et al. (2016) abordent les contraintes spatio-temporelles sur l'accessibilité aux espaces urbains selon le genre, bien que ces sujets soient un peu éloignés des nôtres.

Les inégalités d'accessibilités des sujets sont surtout des inégalités matérielles telles que les moyens de transport. Si j'aborde les inégalités de genre dans la mobilité des randonneurs, c'est qu'elles sont bien les résultantes de constructions sociales sur l'exploration de l'espace, ou le choix des activités, par les hommes ou par les femmes. Dans les études d'accessibilité aux infrastructures, les contraintes principales pour les femmes sont la garde des enfants (Kwan 1999) et réduisent l'aire d'accessibilité des femmes (64 % de celle des hommes). De plus cette aire d'accessibilité inférieure à celle des hommes vaut également pour l'accès aux activités récréatives en espaces semi-naturels.

Les activités contraignantes qui fixent les individus sont soit spatiales (impossibilité de réaliser l'activité ailleurs⁴), soit temporelles,⁵ soit spatio-temporelles (un rendez-vous avec un proche, déposer un proche, un enfant). Ces activités contraignantes, ou « fixed activities », sont supérieures en nombre chez les femmes toutes catégories confondues (spatiales, temporelles et spatio-temporelles) (Kwan 2000). Ce surcroît d'activités contraignantes aurait pu être expliqué par le sous-emploi féminin et donc davantage de rendez-vous, de temps consacré aux enfants, d'activités de loisirs mais ce n'est pas le cas : « women face higher levels of fixity constraint in both absolute and relative terms when compared to men » (p. 151) (Kwan 2000).

Enfin, si l'accessibilité est similaire à moyens de transports égaux entre hommes et femmes (voiture ou transports en commun), l'inégalité réside dans le fait que les hommes ont davantage accès aux voitures que les femmes (Kwan and Kotsev 2015), les temps d'accès étant plus longs par le biais des transports en commun. Kwan and Kotsev (2015) ont trouvé que les hommes par cet avantage, avaient en moyenne 12,2 services accessibles de plus que les femmes, pour des secteurs déterminés.

Les mobilités humaines à l'échelle régionale ont des buts diverses : aller au travail, aller récupérer des personnes, pratiquer des activités. Ces mobilités dirigées par les contraintes, sont résumées

4. Appliqué aux activités récréatives en espaces semi-naturels : louer du matériel de ski dans un magasin adapté, demanderait de faire un détour du chemin le plus court vers l'activité

5. En continuant l'exemple sur les activités récréatives, si l'activité récréative est la marche à pied, alors il n'est possible de la pratiquer que sur son temps libre

par la théorie de la time-geography. Cette théorie vaut pour les mobilités à l'échelle de la région, mais peut également valoir pour les mobilités à une échelle locale, comme un réseau de sentiers par exemple. Si j'ai insisté sur la notion de région ici, c'est bien parce que les mobilités sur un réseau de sentiers ne peuvent être déconnectées d'une mobilité préalable. Pour pratiquer l'activité, l'utilisateur doit pratiquer une mobilité.

Il y a de fortes disparités d'accès aux espaces semi-naturels (Granet and Dobré 2009). En effet, l'accessibilité aux forêts franciliennes est dépendante de la proximité des individus à ces espaces, leur âge, leurs revenus et des moyens de mobilité à leur disposition. Lefèvre (2004b) expose d'ailleurs une stratégie mise en place par les retraités, consistant à se rapprocher (lieu de résidence) des espaces semi-naturels, afin de profiter des activités récréatives plus facilement.

Aussi, si il y a contraintes pour la mobilité régionale et contraintes pour la mobilité locale, alors les activités éloignées combinant donc mobilité régionale et mobilité locale peuvent devenir très coûteuses pour les individus. L'addition des coûts déterminés par les contraintes peut avoir des conséquences sur la pratique, comme une distance de randonnée réduite pour revenir au parking à une heure précise, afin d'éviter ensuite les embouteillages. C'est le cas des activités récréatives en espaces semi-naturels : ski, randonnée, vtt, canyoning. . . Au delà de nécessiter du matériel de pratique (bien que la randonnée ne soit pas très exigeante de ce point de vue), ces activités demandent un déplacement sur les lieux de pratique. La figure 2.3 illustre la multiplicité des mobilités pour la pratique de l'activité récréative et la multiplicité des contraintes qui s'exercent sur les individus à la fois pour la mobilité régionale et à la fois pour la mobilité locale.⁶

Cette multiplicité des mobilités doit être prise en compte dans l'étude des activités récréatives en espaces semi-naturels et surtout dans la construction de profils d'utilisateurs, car elles pourraient déterminer un degré de motivation pour les individus à pratiquer l'activité. Les déplacements d'utilisateurs vers les activités récréatives déterminent la fonctionnalité de régions, comme la région grenobloise avec des mobilités d'individus habitant en agglomération et se déplaçant vers les espaces semi-naturels voisins, avec des comportements variables (Rech, Mounet, and Paget 2011).

2.2. Les mobilités humaines à large échelle : le cas de la mobilité de loisir

En espace semi-naturel – Patrons spatio-temporels de la mobilité en milieux semi-naturels

J'ai montré précédemment que les mobilités locales s'inscrivent dans des mobilités plus globales (comme les mobilités régionales), souvent multi-modales. Ce déplacement de pratiquants se fait dans un espace que j'ai caractérisé de régional. J'ai repris des éléments de définition de la région, comme un espace fonctionnel, dans lequel il est envisageable d'avoir une mobilité à la journée, un espace dans lequel il y a cohésion de plusieurs phénomènes (lieux d'attraction,

6. le terme « locale » est ici entendu comme une très grande échelle spatiale ou emprise spatiale faible, propice à l'activité récréative comme la randonnée

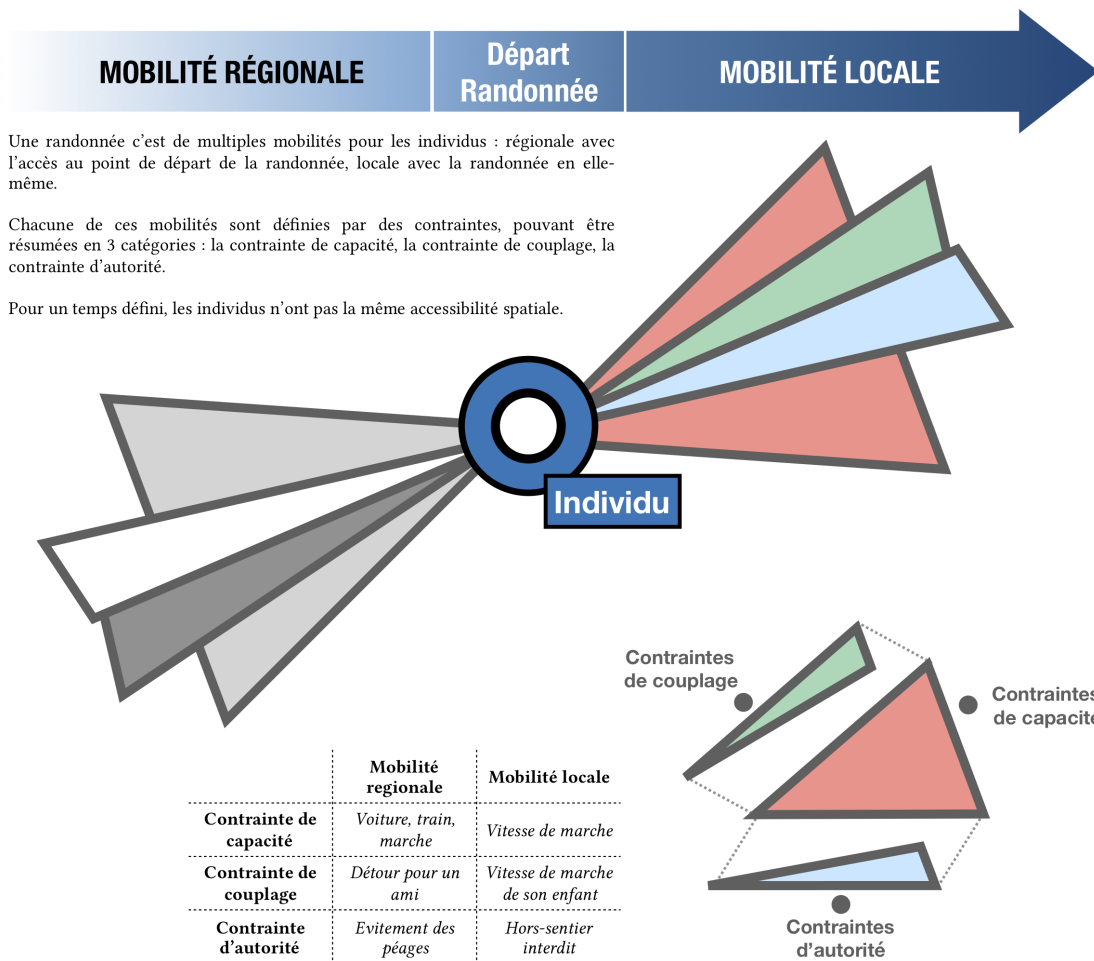


FIGURE 2.3. – Les contraintes de la time-geography appliquées aux multi-mobilités pour la pratique de la randonnée

paysages, culture, mobilités). Cet espace régional est l'espace de définition pour Hägerstrand (1970) dans sa conceptualisation de la mobilité humaine. Cette définition des mobilités convient particulièrement aux mobilités plus locales comme les activités de loisirs, car elle délimite un espace potentiellement accessible aux individus selon des contraintes. Dans ce sous-chapitre, je discuterai des mobilités à une échelle très locale, celle des espaces semi-naturels.

2.2.1. En espace semi-naturel

J'ai débuté cette partie par les mobilités en espaces urbains, qui nous apportent des éléments de compréhension de la motivation et des patrons spatio-temporels des usagers. Je souhaiterais maintenant aborder les mobilités non-urbaines. Je les qualifie de non-urbaines car le terme approprié pour les espaces cibles n'est pas trivial : espaces naturels, milieux naturels, espaces ruraux, pleine-nature, *outdoor*, les expressions peuvent être nombreuses et ne caractérisent pas le même espace. Je souhaite donc prioritairement, m'arrêter sur le terme que j'utiliserai par la suite dans le développement de la thèse. Une fois cet espace cible défini sémantiquement, il m'apparaît important de définir les activités de loisirs qui s'y pratiquent. Ces activités de loisirs ne sont pas choisies au hasard par les pratiquants et ceux-ci pour la plupart ne s'y dirigent pas aléatoirement et ce sera mon second point. J'aborderai l'organisation du territoire et la planification par les pouvoirs publics et privés, qui conduisent les individus à utiliser un espace plutôt qu'un autre. Je montrerai alors que l'intensité de fréquentation pourrait être étroitement liée à l'aménagement du territoire et à la mise en valeur de ce dernier. Une fois ce point discuté, je terminerai par le coeur du sujet : les comportements et les patrons spatio-temporels des usagers en milieux naturels ou semi-naturels⁷. Je reviendrai tout particulièrement sur la pratique de la randonnée à la journée et l'usage de l'espace dans ce cadre.

2.2.1.1. De quel espace parle-t-on ?

Je vais discuter le terme que j'utiliserai par la suite et qui semble adapté aux espaces que j'étudie dans le cadre de cette thèse. Ce terme peut être débattu car il délimite un espace comme objet d'étude et ses limites sont floues. Par exemple, pour l'étude des activités de loisir, la dichotomie des termes espace urbain versus espace rural est restrictive dans la mesure où existent des espaces qui ne conviennent ni à l'un ni à l'autre (les espaces non-habités et non cultivés) ou qui conviennent à l'un et à l'autre comme le péri-urbain qui possède une définition floue⁸. Elisée Reclus (1866) aborde les espaces ruraux et le tourisme comme une échappatoire à la ville. Plus récemment, à propos de cet attrait pour le naturel, Bell and Lyall (2002) évoquent une volonté de verdissement psychique des humains conscients des extinctions et de la déforestation. Elle évoque également une représentation sublimée des espaces dits naturels. Mais de quels espaces parle-t-on ici ? Les campagnes s'urbanisent avec l'agrandissement des villes et notamment par le biais de la métropolisation. Les zones péri-urbaines sont pro-éminentes dans les vallées alpines,

7. Ce terme sera précisé par la suite

8. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/periurbain>

comme autour de Grenoble avec la Vallée du Grésivaudan, mais également autour de Chambéry. La métropole Lyonnaise, elle, s'agrandit au fur et à mesure que les entreprises colonisent les zones d'activité. A contrario, les espaces dits naturels ne l'ont jamais vraiment été. Le pastoralisme de montagne eut pour effet pendant plusieurs siècles une déforestation massive des versants montagnards et l'anthropisation des milieux sur un long temps a été démontrée (Métaillé 2006). Les bocages normands ou bourbonnais sont des espaces ruraux qui possèdent un fort témoignage de l'utilisation de l'espace par la présence de haies et de talus (Pitte 1989). Le littoral français et les landes furent des espaces d'exploitation agricole (Petit-Berghem 2003), ou de production pour le massif forestier des Landes de Gascogne (Pottier 2014). Il est donc difficile de faire des distinctions dualistes urbain/rural ou naturel/artificiel⁹, bien qu'il existe certains espaces sur terre pouvant être considérés comme naturels (déserts, fonds sous-marins).

Dans ces espaces non-urbains, dits naturels, certains sont protégés des aménagements humains et des activités humaines. Les espaces sont mis en protection par les législations à différentes échelles spatiales et politiques : Parc Naturel Régional pour l'échelle régionale, Parc National pour l'échelle nationale, Natura 2000 à l'échelle européenne et label Unesco pour l'échelle internationale (Héritier and Laslaz 2008). Certaines protections se superposent parfois, comme c'est le cas du Massif des Bauges où se superposent un PNR, des zones Natura 2000, un label Geopark et une réserve nationale de chasse et de faune sauvage. Les dénominations de protections régulent les agissements et les interventions humaines sur les espaces, y compris le tourisme et son développement, par un ensemble de règles mais également par des plans de gestion qui conduisent les acteurs locaux à mener des actions de protection, de suivi scientifique, de développement économique. Ces espaces protégés ont une importante activité touristique et donc une importante offre d'activités de loisirs : escalade, *canyoning*, randonnée, vtt etc. Ces espaces sont à inclure dans la terminologie que j'utiliserai. Dans la littérature anglophone c'est le terme *outdoor* qui prédomine (Augustin, Bourdeau, and Ravenel 2008) pour caractériser les activités récréatives dans un espace qui connaît peu d'aménagements (Augustin 2007). Augustin, Bourdeau, and Ravenel (2008) distinguent d'après Bourdeau and Mao (2004), une échelle d'espaces de pratiques allant de l'*indoor* au *wildoor*, en passant par l'*aroundoor* et l'*outdoor*. Cette échelle d'espaces aux limites floues impliquerait des usagers différents selon les espaces. Le terme approprié en français pourrait être : espace semi-naturel. Ce terme permet d'englober les activités récréatives de plein-air, en rapport à un milieu que l'on peut se représenter comme naturel. C'est ce terme que je mobiliserai. Ainsi, je parlerai d'activités récréatives en espaces semi-naturels pour les généralisations sur ces activités et je serai plus spécifique sur l'espace lorsque le contexte le permettra, espace protégé par exemple lorsque j'aborderai le site d'étude, ou des écrits s'y rapportant.

Ce terme maintenant choisi et l'espace d'étude ainsi défini, il est temps de consacrer quelques lignes aux activités dont il est question lorsque l'on parle d'activités récréatives en espaces semi-naturels. Afin de les introduire, je vais développer dans le prochain point la diversification et l'intensification des pratiques.

9. On parlera plutôt de gradient urbain/rural, gradient d'anthropisation des milieux

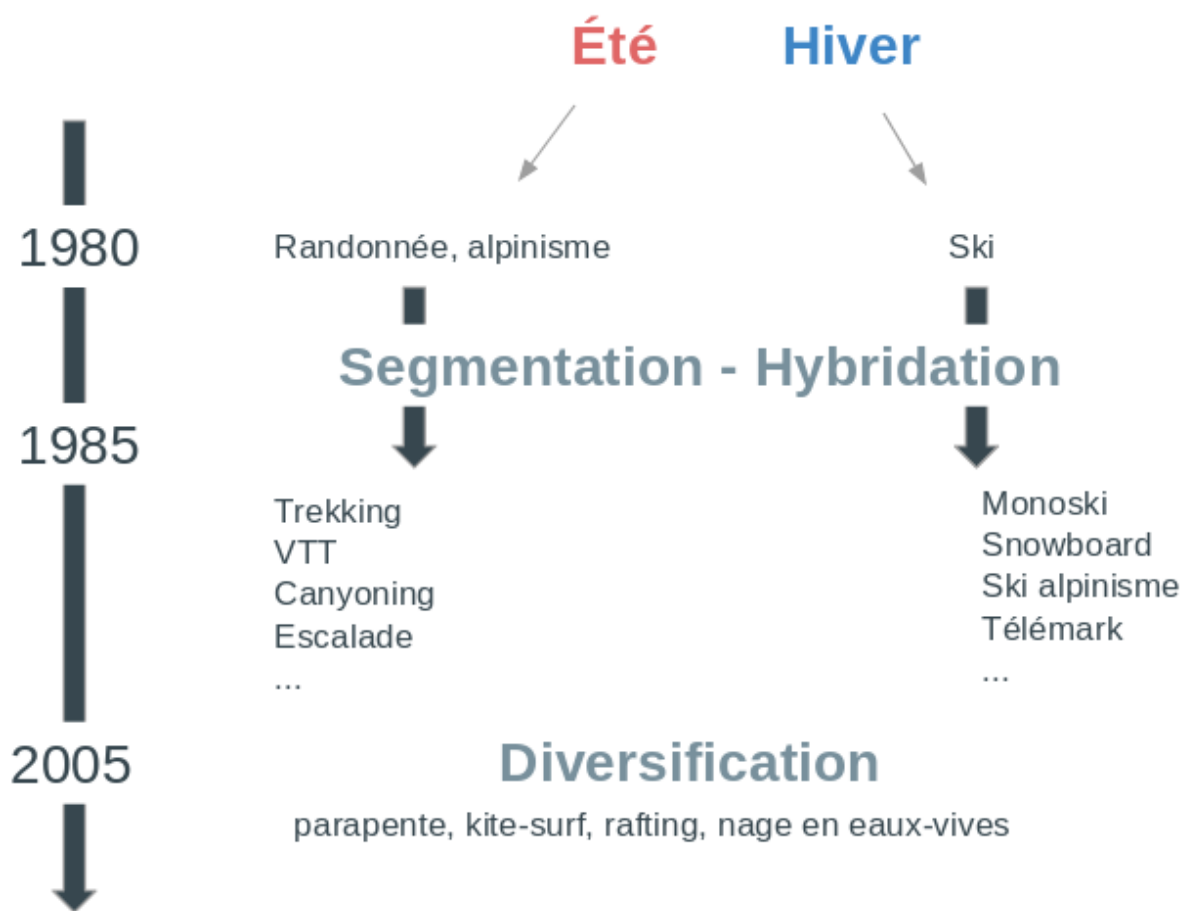


FIGURE 2.4. – Diversification des activités récréatives en espace semi-naturel, issue de Augustin, Bourdeau, and Ravenel (2008). Les nouvelles activités s’ajoutent aux anciennes.

2.2.1.2. La diversification et l’intensification des activités récréatives en espaces semi-naturels

C’est principalement par le plan Neige français que les activités récréatives en espaces semi-naturels se sont développées dans les espaces montagnards français (Augustin 2007). Ces activités récréatives se sont développées à un point tel que des plans de gestions ont été mis en place (Mounet 2007), comme le PDESI (Plan Départemental des Espaces, Sites et Itinéraires), qui a intégré le PDIPR (Plan Départemental des Itinéraires de Promenade et de Randonnée), plan entré en vigueur en 1986 et dont le but était de « favoriser la découverte de sites naturels et de paysages ruraux »¹⁰. Augustin, Bourdeau, and Ravenel (2008) notent que le développement des activités récréatives est passé par une période de diversification des activités (1980-2005) et tout en citant Christian Pociello, illustrent cette diversification par ce qu’ils nomment une « segmentation/hybridation », puis une diversification des pratiques, comme l’indique la figure 2.4.

10. (“Plan départemental des itinéraires de promenade et de randonnée” 2019)

Je retiendrai et généraliserai ici uniquement le terme de diversification pour les activités récréatives. La randonnée et l'alpinisme, activités d'été, se diversifient en pratiques de trekking, VTT, canyoning, escalade. Les pratiques des activités se sont également intensifiées depuis les années 1980 (Breivik 2010 ; Green, Thurston, and Vaage 2015 ; Mackintosh, Griggs, and Tate 2018) et ce, parallèlement à l'augmentation croissante du tourisme (Gartner and Lime 2000). Certaines activités ont augmenté grâce aux progrès technologiques (Kerlinger et al. 2013), comme c'est le cas pour le VTT dont les vélos se sont allégés et peuvent maintenant être électriques, ou encore les technologies vestimentaires pour l'alpinisme.

Les activités récréatives se structurent par le biais de processus d'institutionnalisation des pratiques (Club Alpin Français pour le ski de randonnée, Fédération Française de Randonnée pour la randonnée) ou de développement économique local (Perrin-Malterre 2016) comme le notent Rech, Mounet, and Briot (2009) : « *Toute nouvelle activité sportive cherche nécessairement à s'approprier un espace de pratique, condition sine qua non de son implantation sur un site* » (p. 168).

2.2.1.3. Les pratiquants des activités de ces espaces

Premièrement il m'apparaît essentiel d'exclure le terme de touriste afin de définir les pratiquants des activités récréatives en espaces semi-naturels, bien que les touristes en fassent majoritairement partie et bien que l'organisation du tourisme en France et à l'étranger catalyse le développement des activités récréatives sur le territoire. Ce terme n'a pas sa place ici car la définition du tourisme, même si plusieurs débats sont à l'oeuvre quant à son exacte définition, est précise.

— Définition par Rémy Knafou (Lévy and Lussault 2013) :

« Système d'acteurs, de pratiques et d'espaces qui participent à la "recréation" des individus par le déplacement et l'habiter temporaire hors des lieux du quotidien »

— Définition de l'INSEE¹¹ :

« Le tourisme comprend les activités déployées par les personnes au cours de leurs voyages et séjours dans des lieux situés en dehors de leur environnement habituel pour une période consécutive qui ne dépasse pas une année, à des fins de loisirs, pour affaires et autres motifs non liés à l'exercice d'une activité rémunérée dans le lieu visité. »

— Définition de l'OMT¹² :

« Un visiteur (...) est qualifié de touriste (ou visiteur qui passe la nuit) s'il passe une nuit sur place, et de visiteur de la journée (ou excursionniste) dans le cas contraire. »

11. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1094>

12. Organisation Mondiale du Tourisme, (OMT 2008)

Notre pratiquant n'est pas exclusivement touriste. Et dans la littérature anglophone, la définition pour les *nature-based tourists* conviendrait (Mehmetoglu 2007) :

« A nature-based tourist was considered to be someone who visited a particular nature-based attraction (see Holden and Sparrowhawk, 2002; Lang and O'Leary, 1997), while the latter was defined as an attraction that provided a range of experiences that were primarily dependant on nature. » (p. 652)

J'utiliserai donc, pour aborder la littérature sur les activités récréatives et pour développer mes travaux ensuite, un terme plus généraliste : pratiquant d'activités en espace semi-naturel, ou *outdoor recreationist* en anglais. Ici donc je mets sous ce terme, les usagers qui pratiquent une activité physique en espace semi-naturel qu'ils soient touristes ou non touristes ; très locaux, locaux ou régionaux ; s'inscrivant dans le loisir.

Il y a plusieurs typologies pour définir les profils sociologiques des randonneurs en espace semi-naturel (Chhetri, Arrowsmith, and Jackson 2004; Hvenegaard 2002; Kim and Song 2017; Mehmetoglu 2007) et en France celle de Corneloup (2003), réutilisée dans plusieurs autres travaux (Lefèvre 2004b; Perrin-Malterre and Chanteloup 2018; Suchet and Jorand 2007).

Les pratiques diffèrent selon les profils socio-démographiques (Corneloup 2003). Dans son étude sur le massif du Mont-Blanc, Lefèvre (2004b) distingue 8 profils de pratiquants de la haute-montagne. L'âge des pratiquants est un facteur déterminant des types de profils, car l'âge est lié à une expérience de pratique, mais également à un lieu d'habitat proche d'espaces semi-naturels. Dans ces profils, les personnes davantage dotées en capital économique ont une approche « lourde » de la montagne qui s'oppose à une approche « légère » par celles qui sont davantage dotées en capital culturel¹³. Il cite notamment l'usage plus important de l'hélicoptère chez les usagers à capital économique fort.

Le facteur surtout utilisé dans les typologies de pratiquants ou de touristes, est celui de la motivation à pratiquer (par exemple traits du paysage, effort, repos). Ces profils basés sur la motivation sont appelés les *cognitive-normative* (Murphy (2013)¹⁴ cité par Hvenegaard (2002)). Le deuxième grand type de catégories de profils sont les *interactional*, se basant principalement sur les activités des pratiquants. Ces deux types de typologies sont même utilisées pour regrouper les usagers en trois profils généraux (Mehmetoglu 2007) de pratiquants d'espaces semi-naturels : *nature activity oriented*, *culture and pleasure activity oriented* et *low activity oriented*. Les usagers à profil *nature activity oriented* ont des revenus supérieurs aux autres profils et seraient davantage motivés par l'activité physique.

La spécialisation rentre également en compte dans les typologies (Kim and Song 2017). Cette spécialisation serait, la tendance à s'éloigner des sentiers battus lorsque l'expérience de la pratique augmente (Bryan (1977) cité par Kim and Song (2017)). Kim and Song (2017) définissent 4 profils

13. légère et lourde s'oppose par la mobilisation de moyens techniques pour pratiquer, comme l'exemple suivant l'illustre pour les pratiques lourdes

14. Réédition

de randonneurs : *novices, behaviour oriented, veteran, potential veteran*. Ces profils ressemblent également aux profils définis par analyse des caractéristiques sociologiques des individus – surtout les motivations – mais également spatio-temporelles par Schamel (2017) : *mountaineer, ambitious hiker, pleasure hiker, walker*. Je reviendrai sur cette dernière typologie plus loin, lorsque j’aborderai les patrons spatio-temporels. Raadik et al. (2010) étudient également les motivations des usagers mais aussi leurs représentations de la nature.¹⁵ Les principales motivations ressortant de leurs questionnaires sont : *seeking solitude, experiencing places, challenging self*.

A propos de la méthode des questionnaires autour des activités récréatives, Hvenegaard (2002) explique que les questionnaires utilisés dans les études sur les pratiques des usagers d’espaces semi-naturels peuvent être biaisés par les idées que les chercheurs ont sur les représentations et les motivations des usagers. Les questionnaires à researcher-based typology seraient plus éthiques car les interrogés auraient la possibilité de se définir par eux-mêmes et non selon des pré-concepts amenés par l’interrogeant, en demandant aux interrogeants de définir leur typologie a priori, puis de comparer cette typologie avec la typologie issue des résultats des questionnaires. Il conclut : « Tourist’s motivations and activities may be too complex to collapse into rigid categories (Lowyck, Langenhove, and Bollaert 1992) » (p. 9). Manning (2010) ainsi que Hvenegaard (2002) insistent sur l’idée que les typologies des pratiquants d’espaces semi-naturels ne sont pas fixes dans le temps et dans l’espace.

Dans ce premier enchaînement d’arguments, j’ai montré ce à quoi il faut s’attendre lorsque je mentionnerai les termes d’activités récréatives, d’espaces semi-naturels. Ces brefs points de définitions me servent pour discuter ensuite des comportements spatio-temporels des randonneurs en espaces semi-naturels. Ceci étant dit, il me reste à discuter un point m’apparaissant comme essentiel pour bien cadrer le sujet avant d’aborder l’aspect spatio-temporel : l’organisation et l’aménagement de l’espace qui canalisent les mobilités.

2.2.1.4. Organisation du territoire pour les activités de loisirs et mobilités inter-activités

Les mobilités des pratiquants d’activités récréatives en espaces semi-naturels ne se font pas aléatoirement. Je vois deux manières d’encadrement de ces pratiques : un encadrement physique par l’aménagement de l’espace (routes, parkings) et une communication des possibilités d’activités. Plus simplement : les pratiquants iront là où ils savent qu’il est possible d’aller. Ici je généralise, en omettant volontairement les comportements erratiques hors-sentiers pour la randonnée, d’ouvertures de voies pour l’escalade, ou pour le ski de randonnée. Il est à noter d’ailleurs que ces exceptions restent très rarement des exceptions dans le temps, car une voie ouverte appelle à une fréquentation future.

15. par exemple le *friluftsliv* en Norvège et en Suède, conception de la nature comme une entité familière aux humains et non comme un échappatoire, définition à trouver dans l’article de Gelter (2000)

L'aménagement du territoire au profit des activités touristiques

L'aparté qui suit permet de montrer comment l'espace est aménagé et comment l'organisation de l'espace est représentée cartographiquement, de manière à faciliter la pratique d'activités récréatives en espaces semi-naturels. L'aparté reviendra sur les infrastructures de transports et d'accueil du public mises en oeuvre sur le territoire et reviendra également sur la représentation cartographique aux moyens de symboles appropriés (parfois la carte est couverte de ces symboles) qui facilite l'appropriation mentale de l'espace et ainsi faciliterait l'usage du territoire à des fins de loisir.

Aperté : les cartes IGN et la représentation des infrastructures liées aux activités récréatives en espaces semi-naturels

La figure 2.5 illustre les formes d'aménagement du territoire qui composent les espaces de montagne patrimoniaux. D'après la cartotheque de Paris 8 et sa base de méta-données de cartes topographiques, j'ai pu collecter quelques extraits de 6 lieux de montagnes, représentant trois des massifs montagneux principaux français : les Pyrénées avec le Pic du Midi de Bigorre (A) et Bagnères-de-Luchon (B), les Alpes avec l'Alpe d'Huez (C) et les alentours de Courchevel (D), le Massif Central avec le Puy Jumel voisin du lac de Chambon (E) et le Puy de Sancy (F). Les symboles violets dans ces extraits de cartes représentent majoritairement les activités de loisirs ou touristiques possibles. On retrouve dans ces symboles : aires de pique-nique, sites d'escalade, sites de parapente, golfs, refuges, éléments paysagers particuliers (comme la cascade de la Voissière sur l'extrait E), musées, campings. L'omniprésence de la représentation de ces symboles pour certains de ces extraits (D et F) démontre la volonté institutionnelle de faire connaître et organiser ces activités de loisirs dans des espaces fragiles (comme le Puy de Sancy et sa réserve). L'appropriation de ces cartes par le public participera alors de fait à la haute fréquentation de ces lieux. La structuration du territoire est réfléchi de telle sorte que l'accès du public aux lieux de loisirs puisse se faire grâce à la présence d'infrastructures d'accueil : auberges, campings et parkings.

Les parkings représentés dans toutes les cartes (sauf la A même si la présence de l'observatoire présuppose un stationnement) peuvent parfois même être installés à 2000 m d'altitude, non pour faciliter l'accès des pâturages aux agriculteurs mais pour accéder aux lieux d'activités de parapente. Les parkings révèlent également la réflexion pré-existante à l'aménagement de ces espaces montagnards sensibles, autrement dit révèlent l'existence d'une planification territoriale.

Pour aller de parking en parking, les extraits de cartes font ressortir la présence d'un réseau de routes, de chemins et de sentiers qui permettent la libre circulation des

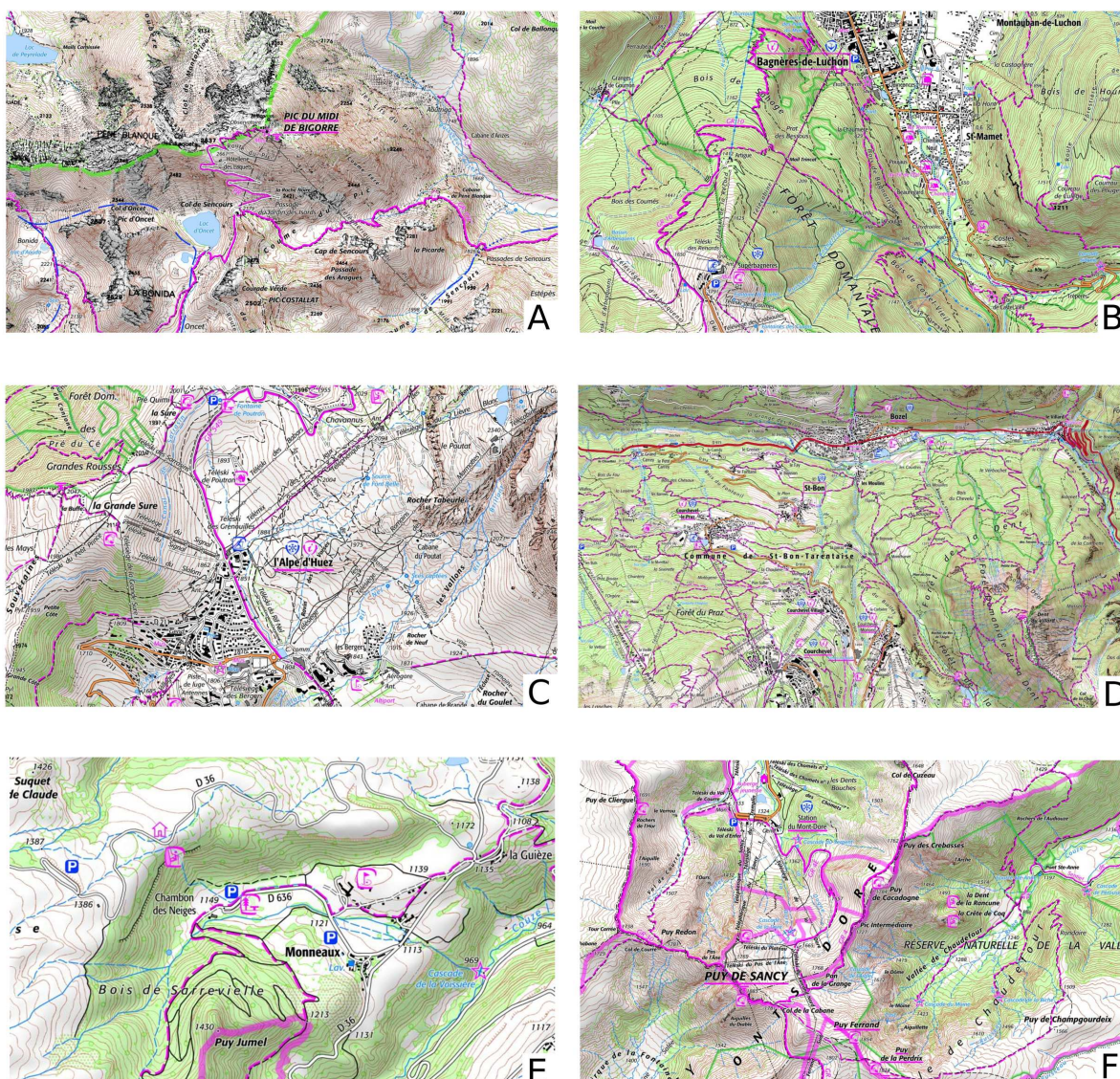


FIGURE 2.5. – Cartes topographiques IGN illustrant la complexité et la variété des objets géographiques liées aux mobilités des usagers en espace semi-naturel montagnard et dues à l'historique et aux caractéristiques du site (altitude, proximité d'une grande ville, activités possibles)

usagers et ce même à haute fréquentation. Le territoire de l'Alpe d'Huez (C) est organisé avec un maillage très dense d'infrastructures de transports à ski (téléski, téléphérique, télésiège et télémix). L'espace montagnard très contraint par son relief et parfois par la dangerosité devient accessible à un large public, dans une plage temporelle étendue (hiver comme été). Le Pic du Midi de Bigorre (A) est lui accessible à un large public par le biais de son téléphérique qui comme son site web le rappelle parcourt un dénivelé de 1000m en 15 minutes. Le Puy de Sancy (F) qui est ouvert aux skieurs de la station de Super-Besse située en aval, propose également un téléphérique

aux visiteurs ne pouvant ou ne voulant pas faire l'ascension. Le site web promotionnel du lieu mentionne : « si vous êtes à la recherche de grands espaces et de nature, vous serez comblés »¹⁶. À Bagnères-de-Luchon (630 m d'altitude), il est possible d'accéder à Superbagnères (1791 m) par le biais d'un téléphérique à partir du centre-ville qui bénéficie d'un parking.

Ces divers symboles graphiques témoignent donc bien d'une organisation territoriale planifiée de la mobilité des usagers dans le but de favoriser la pratique d'activités de loisirs ou touristiques. Les aménagements des espaces jadis agricoles ou semi-naturels ou naturels sont nombreux. Cet aménagement spatial dirige les pratiquants vers les activités, de leurs lieux de résidence permanente aux lieux de résidence touristique ou aux lieux de pratique. Les stations de ski sont un exemple de développement politique et économique qui a pour conséquence la mise en place d'un réseau de moyens de transports multi-modaux (train, route, bus, taxis, télé-cabines inter-station).

Certaines études sur les pratiques en espaces semi-naturels s'inscrivent dans un développement de l'aménagement de l'espace autour des pratiques récréatives. Svensson, Pettersson, and Zakrisson (2011) ont produit une étude de suivi des mobilités de randonneurs autour d'une station de ski affichant un but clair : « devenir la station de montagne hiver-été la plus attractive en Europe d'ici 2020 » (p. 4). L'article a pour objectif de développer les innovations autour du tourisme en espaces semi-naturels et que « business and researchers » interagissent : « this article is the result of close interaction between business and researchers and illustrates how the interests of the two may coincide when method development is linked to product development » (p. 2). Ils travaillent à comprendre les perceptions que les usagers des espaces semi-naturels peuvent avoir pendant leur activités, afin de pouvoir cibler les améliorations à apporter. Les mobilités et les sentiments des usagers autour de ces mobilités sont des facteurs clés pour le développement touristique et économique.

Institutionnalisation des activités récréatives en espaces semi-naturels

Comme nous l'avons vu avec le point précédent sur les aménagements spatiaux profitables à la pratique des activités récréatives en espaces semi-naturels, les lieux sont cartographiés dans un objectif de fréquentation. Les usagers repèrent facilement la sémiologie violette pour les activités touristiques sur une carte au 1/25000e. Cette représentation relève d'une institutionnalisation des lieux à fréquenter. Je m'attarderai dans ce point-ci sur les attraits touristiques construits (au sens sociologique) par le biais des politiques publiques, mais également par le secteur économique. Je prends pour exemple les espaces semi-naturels de montagne. Dans un premier temps, je résumerai l'institutionnalisation des activités récréatives par un enchaînement : mise en protection des espaces puis patrimonialisation. J'illustrerai cet enchaînement par l'exemple du chemin de Grande Randonnée (GR) Stevenson dans les Cévennes.

16. <https://www.sancy.com/destination/toutes-les-communes/le-mont-dore/puy-de-sancy/>

Les espaces montagneux font l'objet d'une protection publique, par le biais notamment de l'instauration de Parcs Nationaux ou de Parc Régionaux, dont je n'expliciterais pas les différences ici. Sur 10 Parcs Nationaux, 5 sont situés sur des massifs montagneux et 2 ont un fort relief (La Réunion et la Guadeloupe). L'ensemble des massifs montagneux métropolitains sont également couverts par des Parcs Naturels Régionaux. La mise en protection de ces espaces montagneux s'accompagne de structures publiques comme les maisons de parc qui seront responsables de la dynamisation du territoire sur plusieurs thématiques (environnement, mobilités, cartographie...) et notamment sur le développement touristique, souvent appelé tourisme durable. Les produits locaux, les paysages, les activités possibles, sont mis en avant sur les sites web. Plus spécifiquement sur le sujet de la randonnée pédestre, les parcs entretiennent avec la fédération française de randonnée des réseaux d'itinéraires balisés. Ces réseaux sont eux aussi rendus disponibles sur les sites web et accessibles à tous. Pour exemple, le Parc National des Cévennes valorise les hébergements du territoire, les activités de pleine nature, les animations et les possibilités de « séjours 100 % écotouristiques », sur son site web.¹⁷ C'est la patrimonialisation de l'espace rural (Delaplace and Simon 2017; Delaplace and Gatelier 2014). Ces stratégies de patrimonialisation sont mises en place afin de promouvoir une culture locale dans un objectif d'attractivité touristique. La patrimonialisation des pratiques touristiques dans les espaces semi-naturels, Delaplace and Gatelier (2014) le résumant ainsi (en citant deux autres auteurs) : « Tout ou presque aujourd'hui peut ainsi être visité et tout ou presque est patrimoine ou peut être patrimonialisé (...) » (p. 38). Les auteurs notent par exemple un nouveau phénomène événementiel touristique : participer à une activité agricole. Les stratégies commerciales touristiques vont donc jusqu'à proposer au consommateur de payer pour une expérience : travailler. Bell and Lyall (2002) utilisent le terme de « commercialisation » de l'espace semi-naturel. Ces pratiques sont fréquentes autour du woofing, du tourisme à la ferme, de l'agrotourisme.

Afin d'illustrer la patrimonialisation, je choisis d'exposer l'exemple du sentier GR 70. Ce sentier a été parcouru par Robert Louis Stevenson en 1878 et raconté dans son livre « Voyage avec un âne dans les Cévennes » en 1879. La renommée de l'écrivain donne à son itinérance une valeur, qui va être utilisée par les institutions organisatrices des activités de randonnée : le Parc National des Cévennes, IGN, FFRando. L'itinéraire est ainsi décrit dans un site web associatif¹⁸, mettant en concordance les lieux d'hébergement, de restauration, tout au long du sentier. Le site web de « Lozère tourisme » évoque une « invitation au voyage » à propos du GR¹⁹. Le site web de l'IGN propose également une carte topographique spéciale pour l'itinéraire à petite échelle comprenant toutes les étapes²⁰, ou un pack de cartes à l'échelle 1/25000e²¹. La Fédération Française de Randonnée propose un site web (voir figure 2.6²²) à l'instar du site associatif, organisant toutes

17. <http://destination.cevennes-parcnational.fr/>

18. <https://www.chemin-stevenson.org/chemin-stevenson2.html>

19. <https://www.lozere-tourisme.com/blog/sports-nature/invitation-au-voyage-sur-le-chemin-de-stevenson-gr70>

20. <https://ignrando.fr/boutique/chemin-de-stevenson-carte-ign.html>

21. <https://ignrando.fr/boutique/pack-gr70-de-cartes-ign-1-25-000.html>

22. la figure illustre toutes les stratégies mises en place pour développer l'activité touristique autour d'espaces semi-naturels : traversée d'espaces protégés et préservés, patrimonialisation autour de l'image de Stevenson et de son ânesse, commercialisation avec la vente de produits dérivés, communication par le biais de site web ou

les informations relatives au GR 70²³ et va jusqu'à mettre en valeur le sentier par le biais d'une vidéo de promotion (FFRandonnée 2017).



FIGURE 2.6. – Accueil du site web de promotion du GR70 de la Fédération Française de Randonnée

Plus encore, les médias communiquent sur cette activité d'itinérance par le biais de reportages sur France 3²⁴, ou encore par le biais des guides topographiques et du site du Routard qui classe le sentier dans les plus belles randonnées de France.²⁵

Ce dernier exemple montre à quel point la promotion des espaces semi-naturels est développée et à quel point ces espaces sont patrimonialisés puis commercialisés : d'abord par une création identitaire (utilisation de la renommée de Stevenson), des aménagements (signalétique, hébergements, ...) puis par un relais médiatique. Je pars du postulat que ces patrimonialisation et commercialisation du paysage, de l'espace semi-naturel, tendent à augmenter et à orienter la fréquentation humaine des espaces promus, vers certains lieux bien balisés. Ce postulat serait à confirmer par les études économétriques régionales.

d'articles de presses. La photo illustre cela : deux ânes ; une famille mononucléaire ; un paysage alliant rivière, plage, pins, champs.

23. <https://www.mongr.fr/trouver-prochaine-randonnee/itineraire/gr-70-le-chemin-de-stevenson>

24. <https://france3-regions.francetvinfo.fr/occitanie/lozere/lozere-le-chemin-de-stevenson-classe-au-patrimoine-europeen-740531.html>

25. <https://www.routard.com/contenu-dossier/cid136390-les-plus-belles-randonnees-de-france.html?page=6>

Dans ce sous-chapitre, j'ai défini l'espace dont il est question dans cette thèse, l'espace semi-naturel et les activités récréatives qui s'y déroulent. Ces espaces sont organisés pour le tourisme et également pour les activités récréatives : avec la présence d'infrastructures de transports et d'accueil, avec une communication autour de ces activités. J'ai abordé également la manière dont la sociologie et la géographie se sont emparés des questions autour des usagers d'activités récréatives. Les profils d'usagers issus de questionnaires sont bien souvent soit basés sur les motivations à pratiquer, soit sur les activités effectivement pratiquées.

Désormais, je m'intéresserai davantage aux lieux traversés par les usagers et aux moments de la journée. Pour le dire avec des termes plus spécifiques, mon intérêt autour des activités récréatives porte sur les patrons spatio-temporels de mobilités d'usagers. Dans la sous-section suivante, je relèverai les différents exemples d'études de patrons spatio-temporels pour la mobilité autour des activités récréatives. J'élargirai parfois mes mentions aux études des pratiques touristiques en espace urbain, car elles font ressortir des comportements qu'il serait imaginable de retrouver en espaces semi-naturels. J'ajouterai enfin, que ces études sont tout de même peu nombreuses car elles nécessitent une mesure technologique des suivis de mobilités comme le GPS et nécessitent ainsi une analyse technique. Ces deux facteurs, appliqués au champ des études de la *outdoor recreation*, déterminent le nombre restreint d'études à cet instant.

2.2.2. Patrons spatio-temporels de la mobilité en milieux semi-naturels

Dans ce sous-chapitre, je montrerai que la mobilité humaine ne se fait pas aléatoirement dans le temps et dans l'espace. Les mobilités humaines sont culturelles, les motivations des individus dessinent les patrons spatio-temporels (par exemple selon qu'ils préfèrent contempler ou qu'ils préfèrent la performance). Culturelles parce que les constructions sociales influent sur notre manière de pratiquer l'espace, avec les peurs d'être seul(e) dans la nature par exemple. En randonnée, les réseaux de sentiers sont fréquentés selon des facteurs géographiques et les vitesses de marche varient selon les profils d'usagers. J'explore ces thèmes ci-après.

2.2.2.1. Prévisibilité de la mobilité humaine

La fréquentation pour les activités récréatives d'un espace semi-naturel est principalement dépendante du nombre de points d'accès à cet espace et de l'accessibilité à ces points d'accès (Taczanowska et al. 2014). A contrario des espèces animales et de leurs déplacements difficiles à modéliser, les mobilités humaines sont très régulières et prévisibles (González, Hidalgo, and Barabási 2008 ; Pappalardo et al. 2015 ; Taczanowska et al. 2014). Selon González, Hidalgo, and Barabási (2008), les humains consacrent leur temps à peu d'endroits et ont une forte tendance à retourner aux endroits déjà visités. Sonia Chardonnel a étudié la répartition spatio-temporelle des activités de touristes en stations de montagne (Chardonnel 1999 ; Chardonnel and Van der Knaap 2002) et a démontré une concentration des activités commerciales dans le temps et dans l'espace. Cette concentration varie selon les saisons, plus diffuse en été. Sonia Chardonnel

emploie le terme de «massification» des pratiques pour certaines des activités (1999). Elle décrit également l'organisation des pratiques spatio-temporelles des touristes comme étant «fort ressemblantes à celle de la vie courante, montrant que le temps des vacances n'implique sûrement pas déstructuration et rupture des rythmes quotidiens» (p. 193).

L'accessibilité d'un réseau de sentiers de randonnée en montagne varie selon les catégories socio-démographiques (Kim and Song 2017; Schamel 2017; Schamel and Job 2017) car les vitesses de marche mais également les motivations varient selon les catégories d'âge.

2.2.2.2. Les différents types de parcours de mobilité (returners vs explorers etc)

Les contraintes qui s'appliquent aux usagers diffèrent selon l'échelle spatiale et selon l'échelle temporelle d'observation. Certaines zones étudiées utilisent une échelle régionale englobant les logements et les lieux d'activité (McKercher et al. 2012) pour observer les parcours de mobilité, lorsque d'autres utilisent une échelle très locale, à l'échelle de l'activité (Taczanowska et al. 2014).

Les trajectoires d'usagers en milieu naturel peuvent prendre plusieurs géométries mais elles restent contraintes par le réseau de sentiers, ou par les moyens que l'on mobilise pour se déplacer. Lew and McKercher (2006) ont modélisé les possibles formes de mobilités touristiques pour un contexte davantage régional, dans lequel les touristes peuvent aller de leur logement à des sites d'attraction. Ils différencient 1) plusieurs types de mobilités touristiques sur l'ensemble d'un séjour (de touristes explorateurs à touristes sédentaires) et 2) plusieurs morphologies de mobilités (en figure 2.7). Ces deux modélisations s'appliquent à des séjours de touristes, mais les patrons spatio-temporels et les comportements décrits s'appliquent tout aussi bien à des mobilités à la journée pour une ou plusieurs activités récréatives. Ici j'aborderai leur modélisation en l'appliquant à notre contexte : la randonnée à la journée.

1. Une première modélisation, qu'ils caractérisent de déductive, porte sur les comportements face au territoire pour un séjour. Les profils d'usagers vont du non-mouvement (ex : un usager reste au parking pour observer), aux mouvements restreints, aux mouvements totalement non restreints. Cette typologie m'intéresse peu dans notre contexte, bien que l'on puisse l'appliquer dans le degré d'exploration du réseau de sentiers par les usagers. Utiliser ce degré d'exploration du réseau pourrait être un discriminant entre utilisateurs dans la construction d'une typologie. Les auteurs soulignent que le facteur d'influence principal pour ces profils est le réseau de transport mobilisable par l'utilisateur (réseau de transport qui peut très bien être un réseau de sentiers plus ou moins dense).
2. La deuxième modélisation déductive est celle des grands types de morphologie de mobilités (figure 2.7). Les grands types sont les mobilités reliant des points, les mobilités de type boucle et les mobilités exploratoires. Les mobilités appelées *point to point patterns* sont des mobilités pour des profils d'usagers avec des activités à réaliser (ou des lieux à voir dans le cadre de la randonnée). Par exemple, un naturaliste pourrait avoir ce profil s'il connaît par avance les lieux où il aura le plus de chances d'observer la faune et s'il les

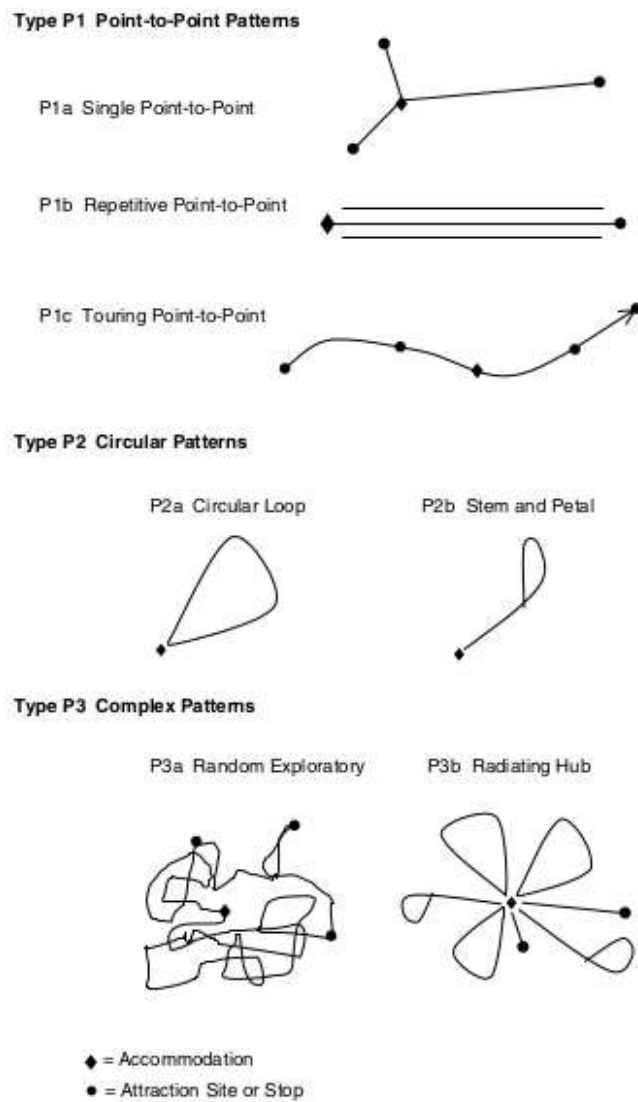


FIGURE 2.7. – Conceptualisation des patrons de déplacements de touristes dans un territoire (issue de Lew and McKercher (2006))

parcourt par la suite.

Selon les auteurs, les profils de mobilités dépendent très fortement des destinations à atteindre (destination jugée comme très intéressante par exemple) et des distances pour les atteindre.

Pappalardo et al. (2015) distinguent eux, deux profils de mobilités bien distincts (pour des mobilités régionales), les *returners* et les *explorers*. À mesure que le degré d'éloignement des mobilités augmente, les profils se distinguent par leurs deux lieux les plus importants. Les *returners* ont leurs deux lieux principaux éloignés l'un de l'autre, lorsque les *explorers* ont leurs deux lieux principaux proches et gravitent vers d'autres lieux (voir figure 2.8, issue de Pappalardo et al. (2015)). Appliqué au contexte des activités récréatives, dans sa thèse sur les mobilités dans le parc naturel Lobau en contexte urbain en Autriche, Taczanowska (2009) rapporte que 81 % des usagers font un itinéraire de type « boucle ».

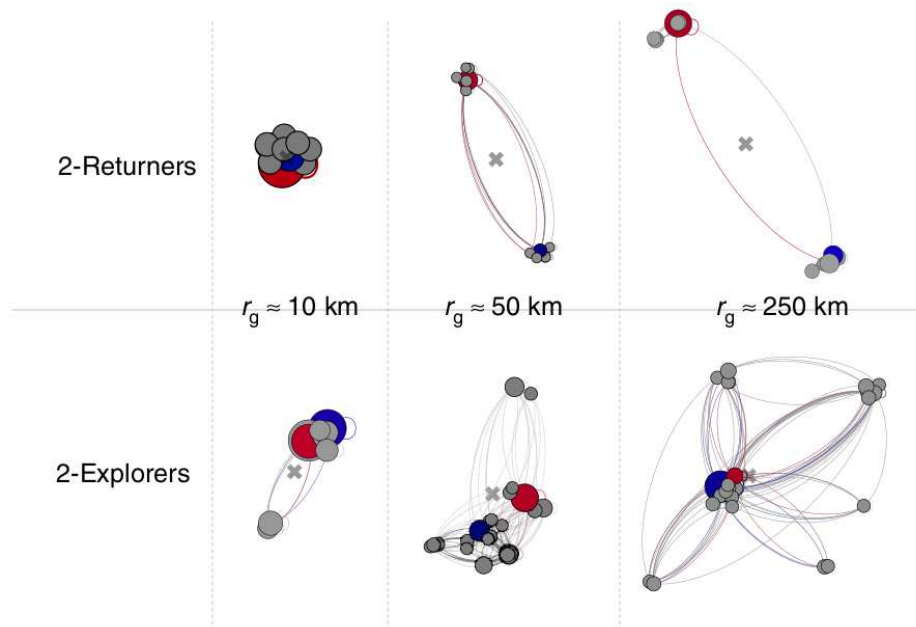


FIGURE 2.8. – Exemples de mobilités pour les deux profils *returners* et *explorers* de Pappalardo et al. (2015)

2.2.2.3. Les réseaux de sentiers et la fréquentation

Les réseaux de sentiers sont étudiés afin de déterminer les fréquentations dans le temps et dans l'espace par les usagers. Plusieurs méthodologies existent afin de caractériser cette fréquentation : le comptage in-situ, les éco-compteurs, l'observation par caméras et l'emploi de GPS. Ces méthodes ont été toutes empruntées dans le cadre d'un projet de recherche autour d'un espace protégé bordant le Danube à Vienne en Autriche : le parc national Danube-Auen, également appelé la Lobau (qui est une réserve de biosphère). Dans un des articles sur la Lobau, Taczanowska et al. (2014) examinent le réseau de sentiers en utilisant les graphes comme approche. Leurs conclusions

montrent que 61 % des fréquentations sont sur des sentiers marqués quand 21 % sont sur des sentiers non-marqués. Le réseau de sentiers étudié à Vienne est situé sur une plaine alluviale, avec une pente très faible (favorable au hors sentier et à l'exploration). Le réseau est également étudié sous l'angle de métriques telle que la connectivité entre les tronçons ou la proximité aux points de départ. Hinterberger, Arnberger, and Muhar (2002) pour le même réseau de sentiers, ont demandé aux utilisateurs de dessiner leurs itinéraires. Une fois les itinéraires digitalisés sur SIG, ils ont pu démontrer que les usagers sportifs utilisaient l'ensemble des sentiers tandis que les usagers naturalistes fréquentaient des tronçons spécifiques. Taczanowska (2009) a étudié dans sa thèse de doctorat, les facteurs (signalétique, type de sentier, largeur de sentier, distance à une entrée) favorisant la fréquentation des tronçons de sentiers, en utilisant des modèles statistiques généralisés. Les facteurs les plus significatifs sont l'accessibilité aux points d'entrées et le type de sentier (ou surface / revêtement : gravier/goudron/non-pavé). Une typologie de visiteurs a pu être définie selon leur type d'itinéraire : *classical visitor* utilisant principalement des sentiers en gravier (60 % de la distance utilisée de leurs itinéraires), *infrastructure-guided visitor* empruntant majoritairement des sentiers goudronnés (57 %) et *wild-paths visitor* marchant sur de petits sentiers (66 %) non pavés (*unpaved*, 64 %), peu signalisés (54 %). McKinney (2005) a trouvé des relations entre l'aire totale de parcs nationaux et régionaux, la longueur de leurs sentiers et la fréquentation humaine. Plus il y a de longueur de sentier dans un parc et plus la fréquentation est importante, mais plus un parc est étendu, moins il y a de fréquentation. Il explique cette tendance par une localisation très précise des hautes fréquentations, potentiellement due aux vues spectaculaires.

2.2.2.4. Profils spatio-temporels de randonnée et variables socio-démographiques

J'ai montré avec la théorie de la *time-geography* auparavant qu'il y a trois types de contraintes (capacité, couplage, autorité) qui dirigent les mobilités humaines. Ici je vais montrer que les facteurs socio-démographiques influencent la mobilité, en me focalisant sur le genre et sur l'âge des groupes. J'ai déjà abordé les mobilités et le genre plus tôt dans cet état de l'art, mais à propos de la mobilité régionale et des facteurs (moyen de transport et charge familiale) amenant des différences d'accessibilité. Dans les paragraphes suivants, j'explique les différences de genre et la mobilité pour les activités récréatives, basées sur des constructions sociales influençant notre représentation de l'espace. Enfin, l'âge est un facteur déterminant pour les patrons spatio-temporels, bien qu'il n'ait pas été très étudié dans les études de mobilité en espaces semi-naturels.

2.2.2.4.1. Le genre et les inégalités de mobilité

Les mobilités humaines sont très peu abordées par le biais du genre en Europe (Kwan and Kotsev 2015). Pourtant les espaces ne sont pas parcourus de la même manière par les hommes et les femmes. Dans le champ des études sur les activités récréatives, la pratique est historiquement davantage associée aux hommes (Manning 2010).

Bien que Mehmetoglu (2007) ne trouve pas que le genre soit lié aux profils de motivation des

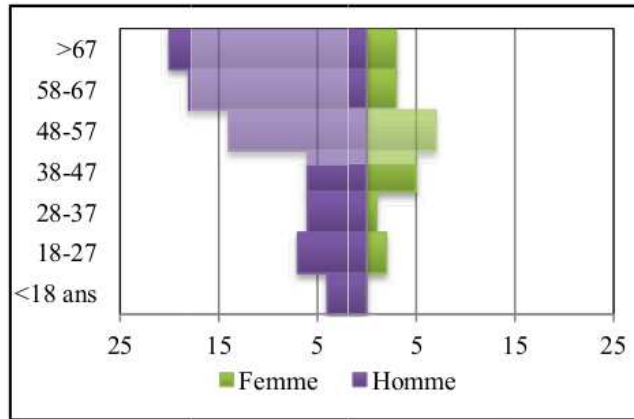
randonneurs, d'autres typologies montrent au contraire des différences de pratiques dues à ce facteur. Les femmes sont sur-représentées dans les groupes de pratiquants non spécialisés (Kim and Song 2017) et au contraire sous-représentées dans les groupes spécialisés (spécialisation basée principalement sur l'expérience). Le groupe « montagnard » de la typologie de Schamel (2017) comporte également une sur-représentation masculine forte et ce groupe est associé à l'utilisation de sentiers comportant un danger, très pentus et évitant les chemins plus larges et fréquentés. En France, la typologie de Corneloup (2003) associe majoritairement les hommes à la compétition, au fait de dormir en refuge, de repousser ses limites, ou à l'utilisation de lieux peu aménagés, quand les femmes sont associées aux sites payants, à la pratique accompagnée de professionnels, à la contemplation et à la détente et repos. Un profil émerge même dans les usagers de la haute montagne : les randonneuses (Lefèvre 2004a), peu sportives et pratiquant principalement dans le cadre associatif, davantage en moyenne montagne sur des terrains moins risqués.

Dans un article sur les décès dans les activités de montagne (Windsor et al. 2009), il a été démontré dans une revue sur 10 études, que plus de 80 % des décès accidentels survenus dans les activités de montagne concernaient des hommes. Quatre de ces études montrent que plus de 90 % de la mortalité en alpinisme et en ski concerne les hommes. Ils précisent que les taux de mortalité en randonnée sont cependant très faibles (0.006%)(Windsor et al. 2009). Le suivi de la mortalité dans le massif du Mont-Blanc et l'identification des facteurs explicatifs confirme également que l'accidentologie est plus élevée pour les hommes que pour les femmes (Soule et al. 2017). Le genre est un facteur explicatif comme l'illustre la figure 2.9, ainsi que l'est par ailleurs l'âge.

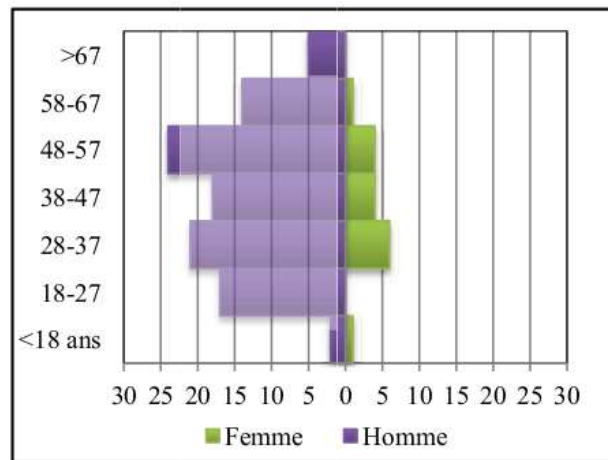
Je vais dans ce paragraphe montrer en quoi le genre est un facteur explicatif des différences de mobilités dans les activités récréatives en espaces semi-naturels.

Pierre Bourdieu (1998) dans son essai *La domination Masculine*, illustre la construction sociale autour du genre et de l'appropriation de l'espace. L'éducation est un vecteur de divergence de comportements entre femmes et hommes, notamment par « les pratiques différenciées (...) (sport et jeux virils, chasse, etc...) ». Il donne l'exemple du père qui emmène son fils à l'extérieur, au marché kabyle espace réservé aux hommes et oppose la féminité qui « se [mesure] à l'art de "se faire petite" » (et se réfère ici à des travaux antérieurs sur les postures genrées). Brown (2006) en réponse à l'essai de Bourdieu, écrit que les activités féminines sont contraintes par une construction sociale patriarcale et il cite Deem (1986) : « Gender constraints are such that few women, of whatever social class or employment status, would find themselves at ease on the rugby field, in a pub otherwise fill of men, or jogging late at night on dark streets [...] » (p. 175).

L'appropriation de l'espace privé ou public ne se fait donc pas intuitivement et résulte d'une construction sociale. Ces différences ne sont pas sans conséquences car elles déterminent la perception de l'espace et la navigation dans l'espace (Lawton (2010) citée par Blidon (2016)). Cette notion de rapport à la navigation spatiale se retrouve dans une étude sur le fait de randonner seul(e), où les femmes interrogées disaient se reposer sur leurs compagnons pour se guider (Coble, Selin, and Erickson 2003), ceci étant limitant pour la navigation spatiale seule. La construction



1 Number of hiking deaths in summer according to gender and age. <18 ans means under 18 years-old. Source: *Prévrisk Mont-Blanc (La Chamoniarde, based on 2003-2012 data from the National Police Force)*. Femme = women, Homme = men.



2 Number of mountaineering deaths in summer according to gender and age. Source: *Prévrisk Mont-Blanc (La Chamoniarde, based on 2003-2012 data from the National Police Force)*. Femme = women, Homme = men.

FIGURE 2.9. – Nombre de décès dans le massif du Mont-Blanc selon le genre et l'âge (Soule et al. 2017)

sociale se fait également par le biais des médias et la représentation du genre dans ceux-ci. Dans une étude sur les publicités de deux magazines d'activités récréatives en espaces semi-naturels, les résultats ont montré une sous-représentation féminine (McNiel, Harris, and Fondren 2012). Parmi les photos où les femmes sont représentées, seulement 28% d'entre elles montrent des femmes seules. Les conclusions de cette étude sont que i) les femmes sont peu représentées engagées dans la nature et ii) si elles le sont alors elles sont athlètes de haut-niveau (uniques donc) et sont représentées avec des stéréotypes de genre (couleur rose, cheveux longs), iii) les femmes suivent les hommes, iv) leur activité est soit représentée comme un échappatoire à la maison soit comme une imitation de la maison avec la représentation associée à des produits confortables comme les duvets, ou bien des gazinières de camping (McNiel, Harris, and Fondren 2012).

Les hommes auraient tendance à prendre plus aisément le contrôle de l'espace et à chercher à repousser leurs limites tandis que les femmes se sentiraient plus contraintes, à propos de la pratique de l'escalade d'aventure. Dans son article, Holland Smith (2015) rapporte même que les femmes perçoivent l'expérience différemment selon qu'il y ait ou non la présence d'un homme et se sentiraient plus en situation de défi dans cette dernière situation. De plus, les hommes auraient tendance à choisir les parcours plus difficiles (Perrin-Malterre, Chanteloup, and Gruas 2019; Stoddart 2011). La sécurité dans les espaces semi-naturels est perçue différemment selon le genre (McNiel, Harris, and Fondren 2012) et la peur de violence est limitante dans les activités des femmes.

Partir seul(e) en randonnée ou dans un espace semi-naturel est perçu indépendamment du genre, comme comportant des risques (Coble, Selin, and Erickson 2003). Les peurs sont : l'agression par un autre individu, la blessure et la situation d'urgence, la peur de se perdre et les animaux. Face aux craintes d'agression dans les espaces jugés à risque par les femmes — quand bien même cela serait une construction sociale — plusieurs stratégies sont mises en place (Henderson and Bialeschki 1993).

La première stratégie est **l'évitement spatial**. Si je prend l'exemple du parc urbain à franchir pour rentrer chez soi, traverser ce parc non fréquenté peut être perçu comme dangereux. La stratégie consistera à contourner le parc. Le parc devient alors un obstacle, ou contrainte de déplacement.

La seconde stratégie est **l'évitement temporel**. Si traverser le parc (on continue sur le même exemple) peut être perçu comme dangereux, alors il le sera davantage la nuit. La contrainte de déplacement n'est pas homogène dans le temps.

La dernière stratégie est celle de **l'association avec d'autres individus**. Traverser un parc à plusieurs fait partie des options plus rassurantes pour une femme.

Il est à noter que ces stratégies d'évitement sont à lier à la théorie de la *time-geography*, selon laquelle existent plusieurs contraintes à la potentielle mobilité des individus (comme indiqué dans la partie sur le genre et la *time-geography*). Il devient plus coûteux pour une femme de se déplacer dans un espace et dans un temps imparti si elle adopte les stratégies d'évitement du danger. C'est à dire qu'en choisissant de partir à plusieurs, à la contrainte de capacité s'ajoute

une contrainte de couplage, en adaptant par exemple sa vitesse à l'individu la plus lente, ou en adaptant son horaire de départ à l'individu en retard. Et en choisissant d'éviter un lieu, il y a alors contrainte d'autorité, le trajet devient plus long et l'espace accessible en une heure au delà du parc se réduit. Le terme de contrainte d'autorité est très discutable, car c'est une autorité au sens d'une construction sociale, comme je l'ai discuté plus haut avec les termes de Di Méo (1999).

Comme je l'avais montré auparavant sur la *time-geography*, les différences d'accessibilité pour les mobilités quotidiennes s'expliquent par des contraintes matérielles, elles-mêmes expliquées par une construction sociale poussant les femmes à devoir gérer le foyer, ou à travailler et à devoir gérer le foyer. Mais les inégalités d'accès ne sont pas seulement liées à des contraintes matérielles, elles peuvent également être directement le fait de constructions sociales comme la peur de l'agression ou de l'accident issue d'une éducation genrée et donc l'évitement volontaire de certains espaces et/ou à certains moments. Pour l'activité de randonnée, des différences existeraient également, notamment pour la vitesse de marche. Pour Irmischer and Clarke (2017), les femmes marchent à 95 % de la vitesse des hommes et pour Scarf (2007) les allures modélisées des hommes sont meilleures que celles des femmes.

2.2.2.4.2. L'âge, autre facteur explicatif de patrons spatio-temporels

Dans une étude sur les randonneurs en montagne par suivi GPS (Schamel 2017), plusieurs profils de randonneurs à la journée ont pu être mis en évidence. Ces profils ont été construits avec les variables socio-démographiques des randonneurs, leurs motivations, mais aussi leur comportement spatio-temporel : nombre de pauses dans une randonnée, temps avant de faire une pause, durée de la randonnée, distance de la randonnée, sélection/évitement de chemins, dénivelé. La classification des profils est celle-ci :

1. **Mountaineer**, principalement des hommes, 750 m de dénivelé en moyenne et un temps important en pauses.
2. **Ambitious hikers**, 14 km en moyenne parcourus avec 730 m de dénivelé, groupe le plus rapide faisant des boucles et passant le plus de temps à marcher avant une pause.
3. **Pleasure hikers**, 5,7 km en moyenne, demi-journées de randonnées et très peu de dénivelé (208 m). Ce groupe comprend beaucoup de randonneurs entre 50 et 59 ans.
4. **Walkers**, 3,4 km en moyenne, 3 h de randonnée en moyenne dont un tiers du temps en pause et très peu de dénivelé (64 m). Ce dernier profil est composé à 44 % d'individus accompagnés par un enfant et la classe d'âge sur-représentée sont les plus de 60 ans.

Les variables socio-démographiques explicatives de ces profils sont : le genre, l'âge, la composition du groupe.

Pour le même cas d'étude et avec ce qui semble être le même jeu de données GPS, Schamel and Job (2017) ont concentré l'analyse des trajectoires sur les facteurs d'influence de la vitesse de marche en montagne. Leur état de l'art indique que l'âge et la taille du groupe sont des facteurs socio-démographiques d'influence sur la vitesse de marche. Leurs résultats indiquent que le groupe

d'âge le plus rapide en montagne sont les 15-39 ans, allant 18 % plus vite que les groupes avec enfant, 17.4 % plus vite que les plus de 60 ans (avec une réduction de l'écart sur les pentes plus faibles, 11 %) et 12 % plus vite que les groupes avec un individu ayant entre 40 et 59 ans (sur le plat, la différence tombe à 3,9 %). Au-delà des caractéristiques socio-démographiques, c'est principalement la pente, mais aussi la largeur du sentier et la visibilité, qui influencent la vitesse de marche. L'une des interprétations des auteurs est que la vitesse de marche est plus importante lorsque la largeur du sentier permet de marcher l'un(e) à côté de l'autre. Les différences notables de vitesses de marche entre les âges ont pour conséquence une accessibilité variable au réseau de randonnée. La différence maximale de temps de randonnée entre deux groupes sociologiques différents au sein du réseau de sentiers étudié est de 87 minutes. L'effort demandé pour marcher sur des pentes fortes est tel qu'il est discriminant pour les vitesses de marche entre différents âges.

Dans ce chapitre sur les mobilités humaines à large échelle, après avoir défini ce que j'entends par activités récréatives en espaces semi-naturels, j'ai décrit les différentes approches qui permettent de classer les pratiquants selon leurs caractéristiques socio-démographiques et géographiques. La motivation à pratiquer, les perceptions du milieu, les activités pratiquées, les métriques spatio-temporelles, fournissent des variables graduelles discriminantes entre les individus. Les mobilités humaines sont prévisibles car bien souvent elles utilisent des réseaux (réseau de routes, réseau de sentiers) et sont encadrées temporellement (le temps de travail étant une référence). La *time-geography* est applicable aux mobilités de loisirs et ses contraintes comprennent les variables socio-démographiques comme l'âge, le genre, la taille du groupe, l'expérience, la motivation, ainsi que les variables géographiques comme la largeur du sentier, les législations des espaces protégés, ou l'organisation territoriale des activités. Beaucoup de publications citées auparavant indiquent un verrou méthodologique pour mieux comprendre la mobilité pour les activités récréatives : le suivi spatio-temporel. Dans le prochain chapitre, je listerai les outils à disposition pour le suivi spatio-temporel des mobilités humaines, mais également les outils d'analyse pour un protocole de suivi en particulier : le suivi GPS.

2.3. Les outils pour le suivi des mobilités humaines et de la fréquentation des sites semi-naturels

Etat des lieux des différents outils quantitatifs de suivi de la fréquentation – Le GPS et l'analyse spatio-temporelle : suivi haute résolution – Implémentations d'outils d'analyse spatiale

2.3.1. Etat des lieux des différents outils quantitatifs de suivi de la fréquentation

Pour cet état des lieux que je résume dans le tableau 2.1, je vais revenir sur l'article de Shoval and Isaacson (2007) qui résume les avantages et inconvénients des méthodes de suivi spatio-temporel

des individus. La première méthode présentée par les auteurs est l’accompagnement in situ de l’usager par un observateur. Cette méthode, commune à l’anthropologie, permet une très grande exhaustivité dans les mesures de comportement mais elle est contrainte par des biais. Les réactions et les comportements des usagers peuvent varier selon leur rapport au fait d’être observé, tout comme leur discours. Certains comportements, comme le hors-sentier ou le nourrissage d’animaux sauvages – comme c’est le cas parfois en Vanoise avec les marmottes (Baudat and Chanteloup 2018) –, ne seraient peut-être pas observés. De plus cette méthode est très coûteuse. La seconde méthode décrite par Shoval and Isaacson (2007) est celle de l’enregistrement par dispositif distant (vidéo-surveillance, photos automatiques, photos aériennes), qui est objective bien que localisée par les observateurs, mais ne peut coupler des données spatio-temporelles à des retours de perception, de motivation, de ressenti, qui pourraient confirmer ou infirmer les comportements spatio-temporels observés.

Enfin le *space-time budget* ou *time-budget*, dont la définition est donnée par Anderson (1971) :

« A time-budget is a systematic record of a person’s use of time over a given period. It describes the sequence, timing, and duration of the person’s activities, typically for a short period ranging from a single day to a week. As a logical extension of this type of record, a space-time budget includes the spatial coordinates of activity locations »
(p. 353)

Cette méthode permet un suivi sans l’usage de technologies intrusives, avec davantage d’éthique car c’est l’observé qui sélectionne les comportements spatio-temporels qu’il veut bien divulguer. Cet avantage éthique est aussi l’inconvénient de la méthode. En effet, interroger les usagers sur leurs parcours spatio-temporels, ou leur demander de tenir un carnet sur une période, c’est solliciter l’humain avec les biais que cela comporte : oubli de remplir le carnet, omission involontaire de comportements. Shoval and Isaacson (2007) le soulignent, la qualité de ces données dépend de la volonté du participant et de sa capacité de mémoire.

TABLE 2.1. – Methodes de suivi de la fréquentation humaine.

Methode	Spatial	Temporalité	Exhaustivité	Publications majeures
GPS	***	***	**	(McKercher et al. 2012 ; Schamel and Job 2017)
GSM	*	*	***	(Larijani et al. 2015)
Volunteered Geographic Information	***	***	**	(Korpilo, Virtanen, and Lehvävirta 2017 ; Rota, Albert, and Giné 2019)
Réseaux sociaux spécifiques (ex : strava)	***	***	*	(Byczek et al. 2018)

Methode	Spatial	Temporalité	Exhaustivité	Publications majeures
Réseaux sociaux non spécifiques (ex : flickr)	*	*	*	[Walden Schreiner et al. (2018)]
Time-budget	*	*	*	(Pearce 1988 ; Fennell 1996)
Éco-compteur	*	***	***	(Pettebone, Newman, and Lawson 2010)
Sketchmaps	**		*	(Gimblett et al. 2002)
Observation in situ	**	*	**	(Arnberger, Haider, and Brandenburg 2005)

Shoval and Isaacson (2007), notent :

« As a result, despite the proliferation of research into tourism over the past few decades, and even though it is a fundamental feature of the tourism phenomenon, little attention has been paid to the spatial and temporal behavior of tourists (...) » (p. 142)

L'attention aux études des patrons spatio-temporels des mobilités de touristes et d'usagers d'espaces semi-naturels a été faible et cela s'explique probablement par l'arrivée tardive des outils de suivi automatique comme les GPS pour l'étude des mobilités humaines. Fennell (1996) appelle à l'utilisation de ces technologies dès les années 1990, pour approfondir les connaissances obtenues par le biais des space-time budgets. Pickering et al. (2018) étudient les sujets abordés dans un colloque régulier sur la gestion des espaces récréatifs (*Monitoring and Management of Visitors Conferences*) et rendent compte du peu d'études sur l'approche par suivi GPS dans le domaine des activités récréatives en espaces semi-naturels (4,8 % des résumés), tandis que les approches par analyse spatiale (avec/sans GPS) sont un peu plus importantes (12 %). Beaucoup d'études utilisent une approche par questionnaires (44 %). Dans cette thèse, plusieurs méthodes de suivis ont été utilisées et en particulier le suivi GPS. Au vue de sa précision spatio-temporelle (par rapport aux autres méthodes), je m'attarde sur la description et les possibilités d'étude offertes par cette dernière méthode

2.3.2. Le GPS et l'analyse spatio-temporelle : suivi haute-résolution des mobilités

Point sur la technologie GPS – La trajectoire, objet conceptuel – Les pauses des usagers, sujet non traité – Les outils d'analyse spatiale I : détection de patrons spatio-temporels – Les outils d'analyse spatiale II : classification des trajectoires

2.3.2.1. Point sur la technologie GPS

La technologie GPS (*Global Positioning System*) doit beaucoup à Albert Einstein, qui par sa théorie de la relativité a permis l'optimisation de l'estimation des positions spatio-temporelles sur Terre à partir de satellites, le temps étant relatif selon la position dans l'Espace, comme l'explique un article lu dans *Le Monde* (Dagorn 2015). Le système GPS a été inventé à la fin des années 1970 aux États-Unis au sein d'un programme militaire, afin d'améliorer puis de remplacer un réseau de 7 satellites de l'armée américaine. Le système GPS permet de fournir des données spatiales, temporelles et de vitesse (Hofmann Wellenhof, Lichtenegger, and Collins 1997). Les positions GPS sont estimées selon le nombre de satellites présents à un instant t et selon la disposition géométrique de ces satellites. L'indicateur DOP (*Dilution of Precision*) mesure la qualité de la position (Kennedy 2002), qui sera meilleure si les satellites sont bien répartis. La meilleure qualité possible pour une position GPS serait obtenue par une égale répartition de trois satellites autour de l'appareil de navigation GPS en plus d'un satellite juste au-dessus (Grewal, Weill, and Andrews 2001).

D'importants facteurs liés à la météo et au paysage (relief, mais aussi végétation) influent sur la précision des GPS comme le synthétisent Ivanović et al. (2016) :

« First, topography that reflects on positional error and a number of fixed positions (Lewis et al. 2007; Cain et al. 2005; DeCesare et al. 2005). Second, canopy cover, especially the density of its coverage, type of species (Klimànek 2010; Tucek and Ligos 2002) and height (Janeau et al. 2004) affect positional error. Third, obstacles degrade the quality of GPS signal by causing multipath effect (Tucek and Ligos 2002). Since they all confirmed the influences of the environment on GPS data quality, it is necessary to take these influences into account when dealing with such quality anomalies like outliers are. » (p. 131)

Il est à noter que les satellites utilisés par l'ensemble des appareils compatibles GPS sur Terre, sont la propriété de l'armée américaine. Les États-Unis ont rendu accessible à l'usage civil le système GPS en 2000. D'autres systèmes satellitaires pour l'estimation des positions existent : le GLONASS pour la Russie à partir de 1996, Galileo mis en place par l'Union Européenne en 2016 et le BEIDOU pour la Chine depuis 2000.

2.3.2.2. La trajectoire, objet conceptuel

Élodie Buard (2013) dans sa thèse réalisée à l'IGN, revient sur le concept de trajectoire, dans un état de l'art recensant les différentes appellations données à l'objet numérique que forment un ensemble de points GPS. Il y a plusieurs objets identifiables : l'ensemble de points GPS ; la trace qui est composée d'un linéaire reliant les points GPS représentant les trajets (connus par observation ou calculés par interpolation) ; la trajectoire avec des points particuliers reliés par des trajets ; la trajectoire sémantique qui sont ces points GPS et trajets enrichis en informations

(de lieux, de temporalité ou bien même d'émotions). Cette variation appelle à une précision concernant l'objet numérique que l'on traite (cf. figure 2.10), issue de la thèse d'Élodie Buard (2013), p. 147).

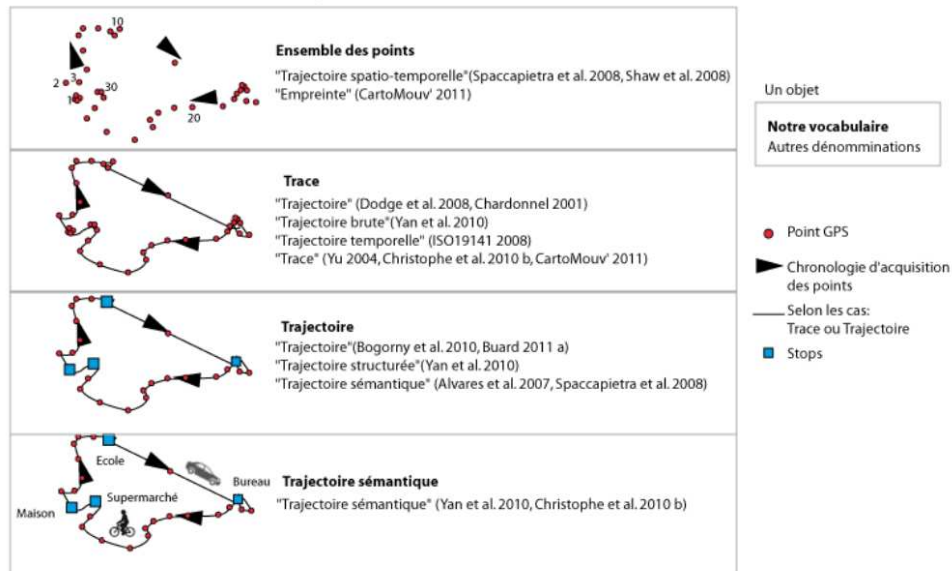


FIGURE 2.10. – Illustration de l'objet numérique des points GPS et de sa déclinaison en objets calculés et enrichis jusqu'au concept de trajectoire, selon Buard (2013)

Cet état de l'art déjà effectué, je définirai ici seulement mon choix qui est celui d'adopter le terme de trajectoire pour le traitement des traces GPS de randonneurs. L'objet trajectoire a par ailleurs été défini conceptuellement en géomatique (Spaccapietra et al. 2008) comme :

« A trajectory is the user defined record of the evolution of the position (perceived as a point) of an object that is moving in space during a given time interval in order to achieve a given goal. » (p. 8)

La trajectoire y est définie par des séquences, pauses (« stop ») et déplacements (« move »). Les pauses ont une étendue spatiale égale à un point quand le déplacement a une étendue spatiale égale à une ligne. Dans une trajectoire, il peut y avoir plusieurs pauses et ainsi plusieurs déplacements délimités par les débuts et fins des pauses (Spaccapietra et al. 2008). Je choisis ce terme car il m'apparaît important de rapporter les trajets aux lieux et d'attacher de l'importance aux arrêts des randonneurs puisqu'ils constituent pour certains d'entre eux leur objectif d'activité. Laurence Jolivet (2014) souligne également l'importance de la prise en compte des données géographiques dans la construction d'une trajectoire, afin d'en saisir les subtilités et de modéliser le déplacement des individus. Les distinctions entre les termes sont primordiales car elles permettent de choisir les méthodes adaptées de traitement de données (Dodge, Weibel, and Lautenschütz 2008 ; Zheng and Zhou 2011). Un des principaux problèmes du traitement de données GPS pour bien des études sur les activités récréatives est d'avoir considéré les traces GPS comme des ensembles de points et de ne pas avoir abordé ce concept de trajectoire.

A contrario, je pense que les pauses sont des objets d'étude intéressants pour comprendre la mobilité des randonneurs et étudier les interactions avec la faune. L'étude des pauses fera l'objet de la deuxième partie de ma thèse.

2.3.2.3. Les pauses des usagers, sujet non traité

Dans les articles traitant des comportements spatio-temporels dans la filière des activités récréatives (comprenant des articles autour des activités récréatives ou des mobilités en contexte urbain) et utilisant les GPS comme outils de suivi, j'ai pu constater deux observations : peu d'articles utilisent la définition de trajectoire (Spaccapietra et al. 2008) pour traiter les données GPS et encore moins d'articles mentionnent avoir inclus la détection des pauses dans leurs analyses. Je vais revenir sur trois catégories d'articles à propos du traitement des points GPS et je conclurai sur le fossé à combler dans la littérature scientifique des comportements spatio-temporels pour les activités récréatives (en espaces urbains et en espaces semi-naturels), fossé qui est souligné dans une revue systématique sur les communications dans le domaine de la outdoor recreation (Pickering et al. 2018).

Dans les articles étudiés, les trois catégories d'articles identifiées par rapport à leur étude des pauses et des points GPS sont les suivantes :

1. La première catégorie d'articles concerne ceux ayant pour objectif affirmé l'analyse spatio-temporelle des traces GPS mais ne prenant en compte aucune référence scientifique ni pour le traitement de ce type de données, ni pour l'approche conceptuelle. Le concept de pause y est absent. Par exemple la conceptualisation sémantique des trajectoires de Pfoser and Theodoridis (2003) ou les méthodes d'analyses recensées par Zheng and Zhou (2011), sont antérieures ou font elles-même référence à des méthodes antérieures à cette première catégorie d'articles²⁶. Aucune référence conceptuelle, telle que Dodge, Weibel, and Lautenschütz (2008), Alvares et al. (2007), ou Spaccapietra et al. (2008), n'est prise en compte dans les méthodes d'analyse spatio-temporelle de traces GPS d'humains. Dans ces articles, les traces GPS sont principalement analysées par kernel density estimation (KDE), méthode utilisée en écologie spatiale. Cette méthode est pertinente pour l'étude d'une trace GPS individuelle sur une durée relativement courte, bien qu'il y ait également de fortes limites à l'utilisation du KDE (Péron 2019b ; Péron 2019a). Dans ce cas, les fortes densités du KDE indiqueraient les temps de pauses de l'individu et la détection de ces temps de pauses est l'objet d'une discussion en écologie avec le «residence time» (Barraquand and Benhamou 2008 ; Benhamou 2014 ; Riotte-Lambert, Benhamou, and Chamailé-Jammes 2013) qui est le temps passé par un objet dans un périmètre réduit. Mais ce type d'analyse avec une restitution de format carte de chaleur n'est pas pertinent pour une analyse d'un ensemble de traces GPS même à fréquences temporelles régulières, car l'accumulation de points GPS lors d'une pause fausse l'interprétation des résultats, par exemple la classification d'espaces sur-fréquentés et sous-fréquentés pour plusieurs

26. Le premier de mon échantillon date de 2010 (D'Antonio et al. 2010)

individus. Ces articles étudient les traces GPS des randonneurs, mais c'est l'ensemble des points GPS sans distinction d'individus qui est analysé. Les résultats de fréquentation indiqués sont biaisés et il faut pour cette catégorie d'articles interpréter avec beaucoup de précaution les analyses multivariées qui s'en suivent, par exemple la fréquentation des randonneurs en fonction du type de sentier (J. A. Beeco, Hallo, et al. 2013).

2. La deuxième catégorie correspond aux articles qui considèrent les pauses dans leurs méthodologie, voire qui y consacre un peu de statistiques. Taczanowska, Muhar, and Brandenburg (2008) détectent les pauses dans le parc urbain du LOBAU et étudient leur répartition spatiale et les moyennes de temps passé en pause. Depeau et al. (2017) souhaitent caractériser les activités de parents et de leurs enfants pendant 48 h dans un contexte urbain, ceci via l'analyse des pauses dans leurs déplacements et interrogent les usagers sur leurs comportements spatio-temporels afin d'enrichir les pauses et les trajets entre ces pauses. Leur approche mêlant à la fois quantitatif et qualitatif utilise la construction de trajectoire, ce qui leur permet d'obtenir des informations quantifiées sur les modes de transports utilisés et les temps passés par activité. Drevon et al. (2014) utilisent les mêmes procédés : GPS puis entretiens après traitements automatisés des traces GPS. Schamel and Job (2017) étudient les mobilités de randonneurs en montagne et se concentrent sur les vitesses de marche en fonction des caractéristiques socio-démographiques des usagers et pour ce faire, ils excluent les pauses de plus de cinq minutes de leurs données GPS. Si ces articles incluent les pauses dans leur méthodologie de traitement des données GPS, ce qui est primordial, peu d'entre eux le font dans le but d'analyser les pauses dans un contexte de randonnée. Les quelques articles traitant des mobilités de randonneurs ne détectent les pauses que par traitement des points GPS, afin d'aborder des questions autres : fréquentation des tronçons de sentiers pour Taczanowska, Muhar, and Brandenburg (2008), vitesses des randonneurs pour Schamel and Job (2017). Les questions de patrons spatio-temporels autour des pauses des usagers ne sont que très peu posées, voire pas du tout en contexte de mobilités dans des espaces semi-naturels.
3. Très peu d'articles sur les mobilités en espaces semi-naturels se focalisent sur les pauses des usagers. L'un d'eux (Orellana et al. 2012) à partir des traces GPS, détecte les pauses comme des *Movement Suspension Pattern* et les utilise comme des lieux qui seront les référentiels de lieux de visite des randonneurs. Ainsi, à partir de ces lieux, les auteurs créent des séquences de flux entre les lieux. Ils effectuent également des statistiques sur les lieux les plus visités dans un parc naturel (hors parkings) : le centre de visiteurs, l'aire de pique-nique, un radiotélescope et un bar. Au-delà de ces informations sur les pauses des randonneurs et les points d'intérêts les plus visités, les auteurs utilisent ces pauses comme des repères dans leurs trajectoires qui permettent des séquences de type parking → centre de visiteurs → bar → parking. Seule cette approche permet d'approfondir la connaissance fine des patrons spatio-temporels individuels des randonneurs, en ne limitant pas l'analyse à la répartition spatiale des traces, mais en prenant en compte le temps et donc les pauses comme un objet géographique à part entière. Les pauses de randonneurs sont à étudier avec soin car elles structurent leurs déplacements.

2.3.3. Implémentations d'outils d'analyse spatiale

Détection de patrons spatio-temporels

Les pauses font partie des patrons spatio-temporels des trajectoires, elles correspondent à une vitesse nulle sur une surface réduite. Il est difficile de caractériser une pause seulement sur un critère d'immobilité car les GPS comportent des imprécisions qui peuvent faire varier la position de quelques mètres. J'exposerai dans cette section les méthodes pour détecter ces patrons spatio-temporels par clustering. Je n'aborderai pas les méthodes statistiques qui permettent de caractériser des périodes de pauses, comme le calcul du residence-time (Benhamou 2014; Riotte-Lambert, Benhamou, and Chamaillé-Jammes 2013). En écologie, Sand et al. (2005) utilisent des densités de points GPS pour détecter les zones de prédatons de loups gris. Équipés de colliers, les loups passaient davantage de temps en zone de prédation, afin de consommer les proies. Les chercheurs allaient ensuite confirmer sur place la présence ou absence de cadavre de proie. La méthode a confirmé la détection automatique et même mis en lumière le fait que la plupart des prédatons étaient sous-estimées. Utiliser le clustering par densité spatiale pour détecter les patrons spatiaux est très efficace. C'est la base d'un algorithme très utilisé et implémenté : DBSCAN (Ester et al. 1996). Cet algorithme sera décrit plus en détails dans la seconde partie de la thèse. Plusieurs déclinaisons de cet algorithme sont ensuite apparues, afin d'intégrer d'autres critères au clustering par densité, autres que les seuls critères spatiaux (x et y) : ST-DBSCAN (Birant and Kut 2007), OPTICS (Ankerst, Breunig, and Kriegel 1999), CB-SMoT (Tietbohl et al. 2008).

D'autres approches statistiques permettent également de détecter dans les trajectoires des patrons spatio-temporels (Jolivet 2014) avec la segmentation que l'on peut trouver dans le package R `adehabitatLT` de Calenge (2006) (et ses versions postérieures), par séries temporelles de Lavielle (Lavielle 1999) ou par chaînes de Markov (Gueguen 2009). Les approches statistiques complexes comme la marche aléatoire et sa déclinaison le vol de Lévy permettent de comparer les modèles de déplacements, afin de mettre en lumière des profils de comportements spatio-temporels, à partir de larges bases de données GPS (González, Hidalgo, and Barabási 2008; Pappalardo et al. 2015). Edelhoff, Signer, and Balkenhol (2016) résument ces méthodes parmi d'autres dans une synthèse très complète des méthodes de segmentation pour la compréhension des patrons spatio-temporels dans les données de mouvement, comme l'illustre la figure 2.11.

La trajectory box plot, développée par Etienne et al. (2016) permet de détecter dans un lot de trajectoires, la trajectoire médiane, les interquartiles du lot et les outliers, à la manière d'une boîte à moustache comme son nom l'indique. Cet outil est efficace pour visualiser un patron spatio-temporel d'un ensemble, mais uniquement d'un ensemble ayant a priori le même itinéraire pour que cela fasse sens. Mais déterminer automatiquement un ensemble de trajectoires ayant le même itinéraire, c'est à dire des similarités spatio-temporelles, est également une problématique de recherche en géomatique, problématique que je vais exposer dans le paragraphe suivant.

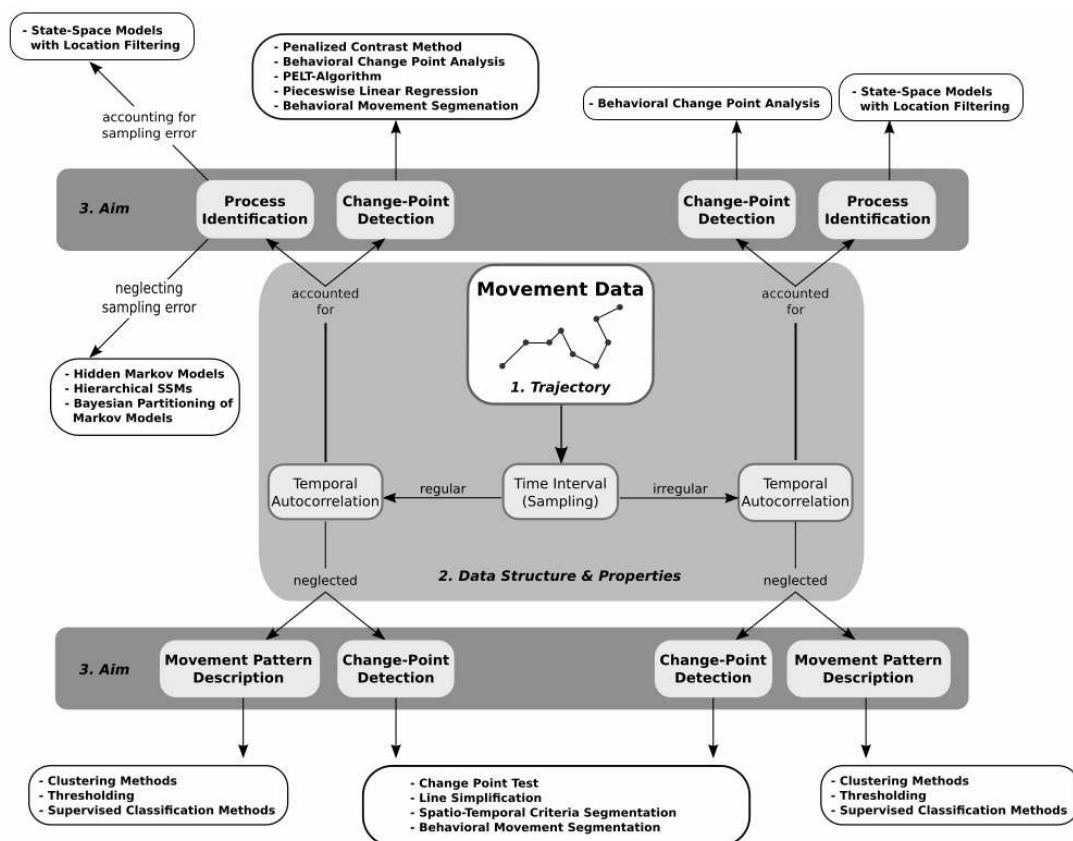


FIGURE 2.11. – Synthèse des approches pour la segmentation des trajectoires et la découverte de patrons spatio-temporels, issue d' Edelhoff, Signer, and Balkenhol (2016)

Classification des trajectoires

Les trajectoires spatio-temporelles peuvent être classifiées selon leur similarité ou leur dissimilarité. Pour classifier les géométries linéaires entre elles, des métriques de distance sont utilisées comme la distance de Fréchet, la distance d'édition, distance euclidienne ou encore la distance de la plus longue sous-séquence (Magdy et al. 2015). Ces différentes métriques sont plus ou moins adaptées selon le type de comparaison souhaitée : spatiale, morphologique, spatio-temporelle, de directions. Etienne and Devogele (2012) mesurent les distances de similarité de trajectoires à un patron spatio-temporel, c'est à dire une trajectoire médiane d'un ensemble de trajectoires (Etienne, Devogele, and Bouju 2012). Cette méthode permet de détecter les comportements inhabituels. Plus précisément, dans le cadre de leur étude, la méthode permet de réduire la charge de travail dans la surveillance de bateaux. La classification de trajectoires selon leur similarité permet aussi d'apprendre des chemins optimaux entre deux points dans un lot de trajectoires car les individus auront évité des obstacles ou des phénomènes non détectables automatiquement (Deng et al. 2011). Les mesures pour la classification permet l'indexation des trajectoires dans une base de données afin de gagner du temps et permet la détection d'interactions entre individus d'une même population, d'une même espèce ou inter-espèces (Toohey and Duckham 2015). Ici j'aborde principalement la comparaison d'une trajectoire à d'autres trajectoires ou à un réseau de

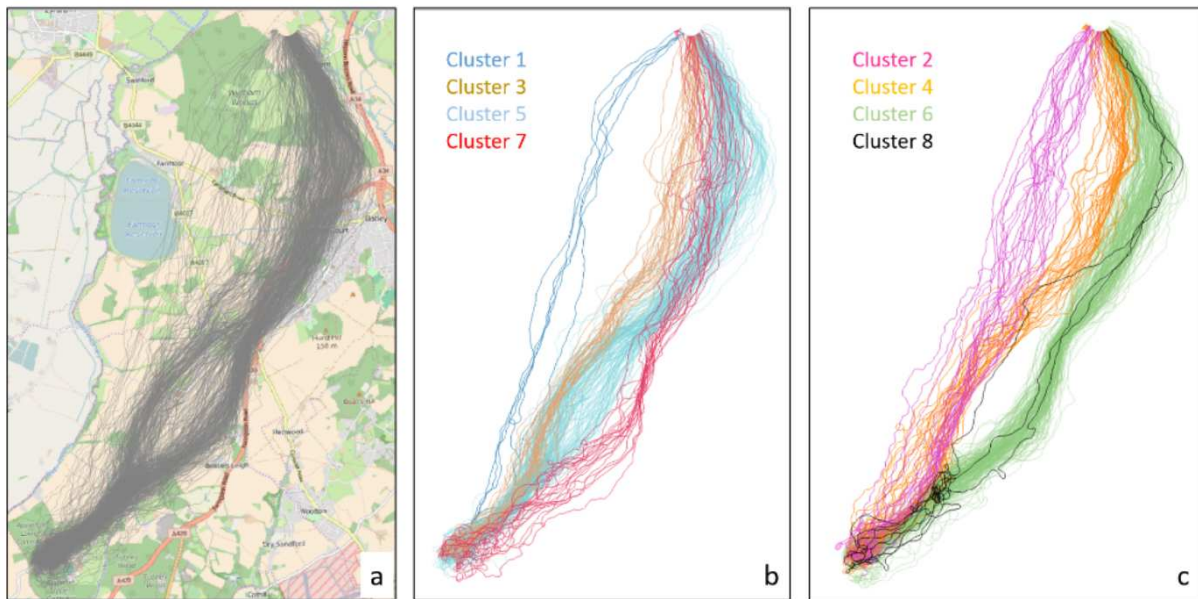


FIGURE 2.12. – Classification de trajectoires de pigeons avec la distance de Fréchet, issue de Devogele et al. (2017)

linéaires (comme un réseau de sentiers) et non de trajectoires à un polygone, ou à un ensemble de points. Voici une liste des principales mesures servant à la classification de trajectoires selon leur similarité, que l'on peut retrouver dans le package R de mesures de distances (Toohey 2015) et expliquées dans l'article de Toohey and Duckham (2015) :

- Distance de Fréchet : celle-ci prend souvent pour exemple la distance de la laisse entre un promeneur et son chien. Il s'agit en fait du maximum des distances minimales entre chaque couple de points. La distance de Fréchet représente le couple de points entre deux trajectoires qui seront les plus proches. La distance de Fréchet est très sensible aux outliers (Toohey and Duckham 2015). Cette distance est utilisée par Devogele et al. (2017) pour détecter huit groupes de trajectoires similaires de pigeons voyageurs, illustrant des points de départ et d'arrivée semblables mais des itinéraires différents (cf figure 2.12).
- Edit distance : cette distance est l'équivalent du nombre de points d'une trajectoire qu'il faudrait changer pour que cette trajectoire se superpose à une deuxième trajectoire, avec une tolérance géométrique paramétrable (deux points seraient communs à x mètres près).
- Dynamic-Time-Warping : mesure reliant les points les plus proches de deux trajectoires entre eux et calculant leur distance euclidienne. La mesure telle qu'utilisée par Toohey and Duckham (2015), est la somme de toutes les distances euclidiennes entre couples de points les plus proches.

Une autre manière de calculer les similarités entre trajectoires mais dans un cas spécifique, celui de mobilités au sein d'un réseau, serait i) d'utiliser un algorithme de map-matching (Newson and Krumm 2009) pour lier spatialement trajectoire et réseau (physique) de déplacement et enrichir sémantiquement les points d'une trajectoire par les informations du réseau comme décrit dans

l'article de Yan et al. (2013), ii) créer des séquences d'itinéraires par trajectoire (Dodge, Laube, and Weibel 2012) par le biais des informations du réseau , puis iii) utiliser les métriques de mesure de similarité non pas géométriques comme celles que je viens d'énoncer, mais applicables aux chaînes de caractères comme la distance de Jaccard (intersection des caractères divisée par l'union des caractères) ou encore la distance Longest Common Substring qui permet de prendre en compte l'ordre de parcours dans un réseau.

Cette méthode est utilisée par Dodge, Laube, and Weibel (2012), qui classifient les trajectoires selon des MPC (*Movement Parameter Class*) qui sont les principales séquences des trajectoires, puis calcule les similarités entre ces séquences de mouvement par la mesure de distances entre chaînes de caractères, caractère représentant une séquence. Les séquences sont définies dans leur cas, par la combinaison de classements de la déviation et la sinuosité des mouvements. Leur méthode est le MPC sequence-based similarity. Une autre déclinaison de ce type de classification est le REMO (*RElative MOtion*), basé sur la suite d'azimuts caractéristiques d'une trajectoire (Laube, Imfeld, and Weibel 2005 ; Zheng and Zhou 2011) et applicable à un grand ensemble de types de trajectoires pour déterminer des types de déplacements similaires.

3. Objets d'études et méthodes

3.1. Site(s) d'étude

Dans le cadre de ma thèse, j'ai travaillé sur deux sites d'étude qui correspondent à deux réseaux de sentiers de randonnée, intersectant deux alpages qui ont pour particularité d'être les sites de marquages d'ongulés sauvages par l'ONCFS. Ces sites d'étude sont situés dans le Parc Naturel Régional du Massif des Bauges, que je vais présenter brièvement dans le prochain paragraphe, afin de passer ensuite aux activités récréatives de ce massif .

3.1.1. Le Massif des Bauges

Localisation

Le massif des Bauges est situé sur les départements de Savoie (73) et de Haute-Savoie (74), dans la région Auvergne-Rhône-Alpes localisée dans le quart sud-est de la France. Sa situation géographique comme illustrée en figure 3.1 est comprise entre plusieurs massifs : au nord la chaîne des Aravis, au sud le massif de Belledonne et le massif de la Chartreuse, à l'est le massif du Beaufortain.

Le massif est bordé par les villes d'Annecy et son lac (lacs que j'ai rendus absents de la carte pour la simplification du rendu), par Aix-les-bains et le lac du Bourget, par Chambéry et par Albertville. La métropole de Chambéry comprend plus de 125 000 habitants (2012), la communauté d'agglomération du Grand Annecy plus de 205 000 habitants (2015) et la communauté d'agglomération incluant Albertville plus de 60 000 habitants (2014). En tout, c'est donc un peu plus de 390 000 habitants résidants dans les communautés de communes aux abords du massif des Bauges, approximativement à une heure d'accessibilité en voiture du coeur du Parc. Les agglomérations plus importantes comme Genève, Lyon ou encore Grenoble sont situées à moins de deux heures de route des sites d'étude. Le massif des Bauges est donc l'un des massifs les plus accessibles de Lyon et il est également central pour les plus grandes agglomérations de Savoie et de Haute-Savoie. Cette centralité l'isole quelque peu des autres massifs, car les vallées reliant les grandes ville comme celle reliant Chambéry à Grenoble ou Grenoble à Albertville, sont très urbanisées et leur réseau d'infrastructures de transport important. L'intérieur du massif est enclavé, car peu de routes départementales le traversent, laissant peu de portes d'entrée au coeur du massif comme illustré en figure 3.2.

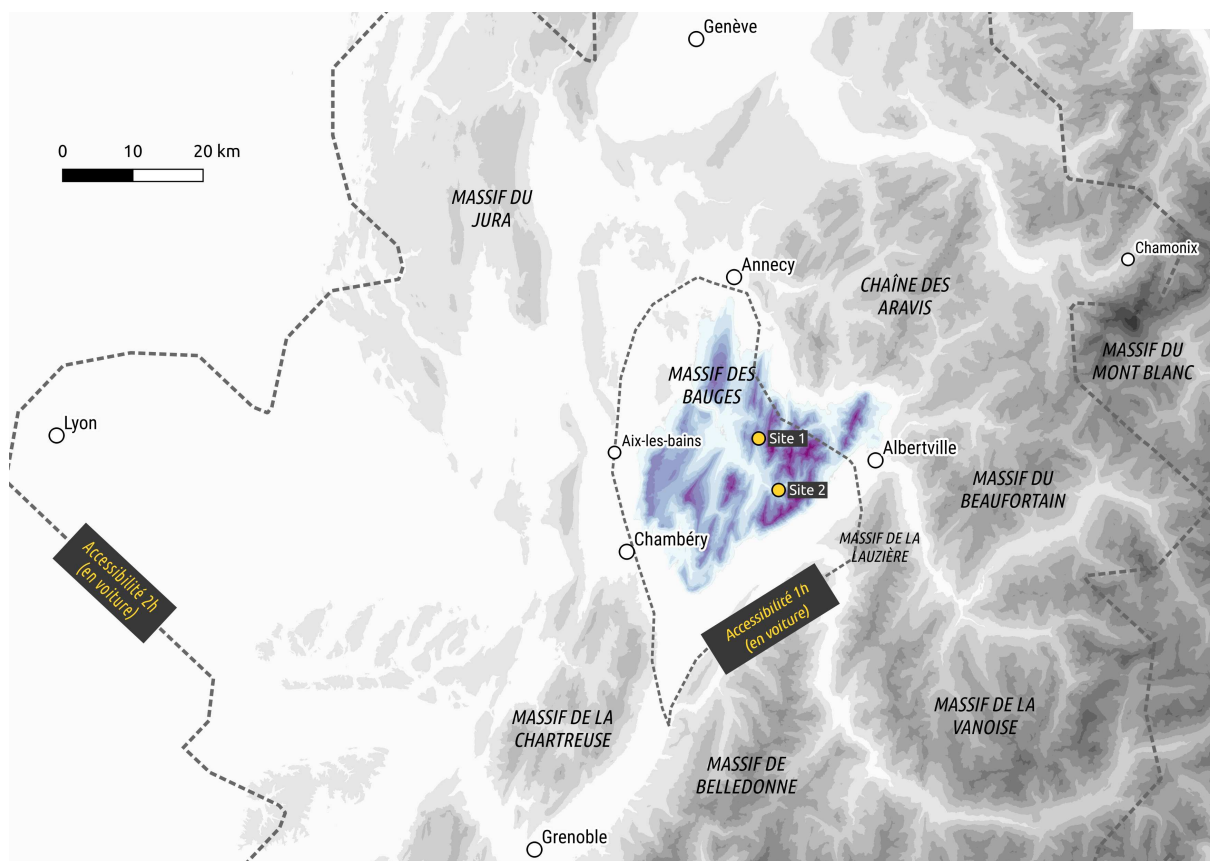


FIGURE 3.1. – Carte de situation du Massif des Bauges et isochrones de durée d’accessibilité en voiture aux sites d’étude (1 h et 2 h)

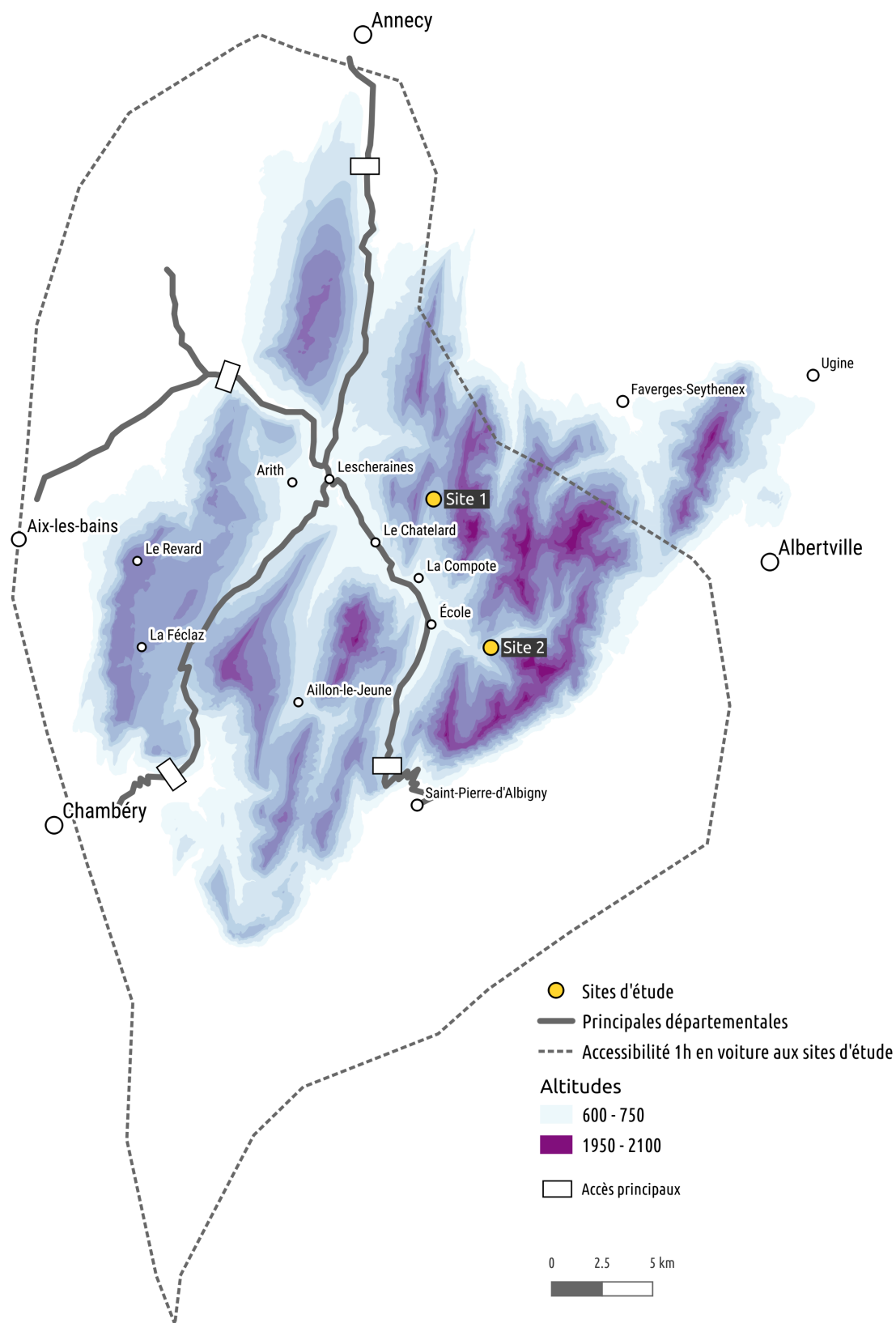


FIGURE 3.2. – Localisation des accès principaux du Massif des Bauges sur la carte de situation du massif.

Attraits récréatifs

Le massif des Bauges, en plus d'être accessible aux agglomérations voisines, possède des atouts patrimoniaux. D'abord, il est classé Parc Naturel Régional, ce qui lui confère une protection territoriale (pour les écosystèmes, pour l'agriculture traditionnelle, pour la limitation de l'urbanisation avec l'existence d'une charte paysagère) et une mise en valeur touristique avec des infrastructures matérielles (maison du parc, offices de tourisme, livrets de communication/d'information, affichages) et virtuelles (sites Web). De plus, le parc possède le label Géopark, qui est attribué par l'UNESCO et qui traduit un « héritage géologique d'importance internationale »¹. Le PNR du Massif des Bauges possède plusieurs particularités géologiques : les synclinaux perchés Trélod-Charbon et de l'Arclusaz, le synclinal du Pécloz et ses plis à la verticale, ou encore le canyon du Pont du Diable creusé dans le calcaire. Ce label contribue à la notoriété et à la mise en valeur touristique du parc. Mais les particularités géologiques sont également des lieux de pratique des activités récréatives comme l'escalade et le canyoning.

Plus généralement, le PNR accueille et gère les activités récréatives suivantes : randonnée pédestre (Perrin-Malterre, Chanteloup, and Gruas 2019) avec la mise en place et la communication d'itinéraires balisés, l'escalade avec l'aménagement des sites, le canyoning (Perrin-Malterre 2003), le ski de randonnée et la randonnée en raquettes (Perrin-Malterre and Chanteloup 2018), le VTT et le vol libre pour lequel le parc sensibilise les pratiquants à la préservation de la nature. Le PNR, accompagné des associations sportives mais aussi de protection de la nature, a mis en place une pratique raisonnée des activités récréatives en essor récent comme le vol libre et l'escalade, au regard de la faune inféodée aux milieux rocheux du massif (nidification de l'Aigle royal *Aquila chrysaetos* et du Faucon pèlerin *Falco peregrinus*). Le Parc s'inscrit aussi dans la démarche « Respecter, c'est protéger » pour la sensibilisation des pratiquants d'activités récréatives hivernales (Cremer-Schulte et al. 2017) depuis 2012. Cette démarche consiste à alerter les usagers sur les zones sensibles de la faune sauvage, ainsi que sur le dérangement que peuvent représenter leur pratique pour des espèces comme le Chamois *Rupicapra rupicapra*, ou encore le Tétrasyllabe *Lyrurus tetrix* (ce dernier étant très sensible au dérangement en hiver).

Au sein du PNR, il y a également la Réserve Nationale de Chasse et de Faune Sauvage (RNCFS),² ainsi que des réserves biologiques intégrales. Ces espaces de protection régulent les activités récréatives en leur sein, spécialement les réserves biologiques intégrales. La RNCFS est gérée à la fois par le PNR, par l'Office National des Forêts (ONF) et par l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS). Ces espaces sont dédiés à la flore et la faune sauvage, mais également à la recherche scientifique pour l'observation de l'évolution des populations d'espèces sensibles. L'ONF organise également des sessions de formation autour de la chasse d'ongulés.

1. « Qu'est-Ce Qu'un Géoparc Mondial UNESCO ? | Organisation Des Nations Unies Pour L'éducation, La Science et La Culture, » n.d.)

2. <http://www.parcdesbauges.com/fr/agir/que-fait-le-parc/valoriser-les-patrimoines/reserve-nationale-de-chasse-et-de-faune-sauvage.html>

3.2. Protocole des enquêtes de mobilité

Lors des étés 2014 et 2015, un protocole de suivi des mobilités des randonneurs a été mis en place dans le PNR du Massif des Bauges. Ce protocole comprenait une combinaison pluridisciplinaire : la distribution de GPS aux randonneurs pour une entrée géographique, la passation de questionnaires individuels pour une entrée sociologique. Les journées de terrains ont été effectuées par plusieurs personnes dont principalement des stagiaires (j'en fis partie pour la passation des questionnaires de 2014), mais également des post-doctorants et chercheuses.

Les objectifs du protocole étaient i) une bonne exhaustivité de la période faste en fréquentation touristique (du 14 juillet au 15 août), ii) la représentativité des deux sites d'études, iii) la représentativité des randonneurs (pour l'analyse GPS spécifiquement). Pour cette dernière priorité, nous avons essayé de distribuer les 20 GPS disponibles diffusément lors des départs de randonneurs. Diffusément, c'est ne pas donner aux 20 premiers groupes de randonneurs, mais proposer une fois sur deux voire sur trois groupes (les départs sur une journée, peuvent commencer jusqu'à 15h). Un GPS ne pouvait être donné à deux individus au sein d'un même groupe (même si cela pourrait être une piste de recherche pour étudier les variations spatio-temporelles au sein de groupes). Lors de la campagne 2014, aucun groupe n'a refusé d'installer un traceur GPS (de préférence sur le dessus du sac à dos). Les GPS utilisés sont un modèle à bas-coût, très petit (< 5 cm) : le I-gotU GT-120. Les traces GPS ont une acquisition temporelle régulière de 10 secondes et ne possèdent pas d'indication DOP

Les GPS utilisés sont, dans une publication sur un test de précision (Duncan et al. 2013), les moins précis des GPS testés (7 modèles). Le tableau 3.1 ci-dessous résume les différentes précisions trouvées dans des études utilisant le I-gotU GT120. Les grandes différences de valeurs entre les indications de précision dans le tableau sont liées à des métriques qui diffèrent, ou à des environnements très différents.

TABLE 3.1. – Precision GPS de la puce de l'I-gotU GT120

Référence	Indication de précision
(Stothard et al., n.d.)	Écart moyen avec un gps Garmin inférieur à 7m
(Reid and Harrison 2010)	Précision moyenne = 38.8m
(Vazquez-Prokopec et al. 2009)	Précision moyenne = 7.6m, max = 23.2m
(Duncan et al. 2013)	Erreur moyenne supérieure à 17m

À la suite de la randonnée, les individus étaient invités à répondre à un questionnaire sociologique, sur les motivations à pratiquer l'activité sur le site, sur la perception de la faune sauvage et sur des variables socio-démographiques (appendix A). Je reviens plus précisément sur les questionnaires et j'expose les données obtenues³ grâce à ces derniers dans le chapitre « résultats préliminaires : sociologie des randonneurs ».

3. Ces données sont en soi des résultats, mais que j'utilise comme matériel dans ma méthodologie

3.3. Méthodes d'analyse et objectifs thèse

Données disponibles

Les différents jeux de données à ma disposition sont les suivants :

1. Les traces GPS récoltées par les traceurs GPS I-gotU GT-120 pendant les étés 2014 et 2015, traceurs considérés comme représentatifs du groupe d'utilisateurs et non d'individus.
2. Les réponses aux questionnaires sociologiques par individu, pour les étés 2014 et 2015. Plusieurs questionnaires comme un seul, peuvent correspondre à une trace GPS. Certaines questions nécessitent un recodage important afin de pouvoir être utilisées conjointement à l'analyse spatio-temporelle.
3. Un SIG, construit à partir de la base de données BD TOPO 2015 (IGN France) et complété par des photos satellites 2015 et la base de données OpenStreetMap – des tronçons de sentier pouvaient manquer dans la BD TOPO. La donnée principale de ce SIG est le réseau de sentier, enrichi par un MNT d'une résolution de 5 m. Les tronçons de sentier de ce SIG comportent des informations calculées telles que le dénivelé, la pente, mais également la distance réelle c'est à dire la distance en trois dimensions (longitude, latitude et altitude). De plus, j'ai enrichi le réseau de sentiers par des informations de distance au plus proche sommet ou au départ (parking) en passant par le réseau de sentiers et par des informations de dangerosité (classification détaillée dans le dernier article de cette thèse). Les données de topographie de la BD TOPO sont aussi utilisées pour le calcul des proximités⁴ aux sommets, cols et bâtiments. Enfin, une carte de visibilité des massifs aux alentours a été construite à partir du MNT et grâce à l'outil PixScape (Sahraoui et al. 2018)

Remarque : Autour des questionnaires, se présente un verrou d'analyse pour le croisement des données spatio-temporelles issues des GPS et des données sociologiques : l'agrégation de réponses différentes aux questionnaires pour un seul groupe GPS. Je vais illustrer ce problème par un premier exemple, celui de résumer à un groupe une catégorie d'âges qui soit représentative soit de sa diversité, soit de son homogénéité. J'ai effectué pour les différents groupes avec différents âges, une classification automatique (classification hiérarchique ascendante, cf figure 3.3) sur plusieurs métriques par groupe : l'âge moyen, l'âge minimum, l'âge maximum.

Selon les résultats de cette classification, il a été possible d'inférer des noms de catégories décrivant chaque groupe. La modalité « famille » par exemple rassemble les groupes au sein desquels une forte diversité d'âge est présente, mais avec une moyenne d'âge se situant autour de 35 ans. Ici les données sont quantitatives et il est possible de les résumer sous la forme de métriques, mais d'autres données issues des questionnaires sont qualitatives et ne peuvent être graduées, comme

4. détail pour le calcul de la proximité dans le second chapitre de la deuxième partie : l'analyse des pauses de randonneurs

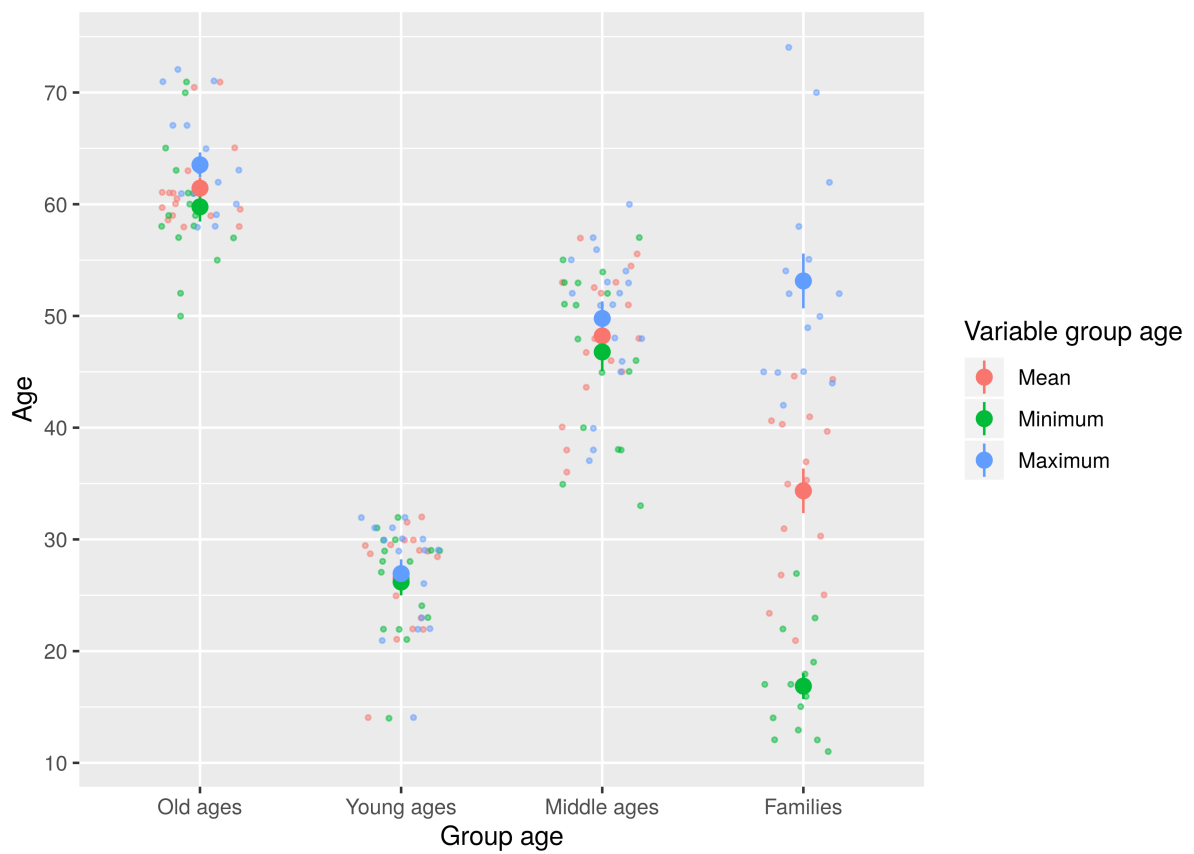


FIGURE 3.3. – Catégorisation des groupes selon la composition en âges

l'objectif de la randonnée, ou les questions liées au ressenti de la rencontre avec un animal. Ces questions qualitatives ne peuvent être résumées pour un groupe, je ne les ai pas traitées.

Le deuxième exemple est la fréquence de pratique déclarée par les randonneurs. Plusieurs groupes ont en leur sein des personnes déclarant 1) randonner toutes les semaines ou tous les mois, ET d'autres personnes déclarant 2) randonner uniquement pendant les vacances. J'ai rassemblé en deux groupes distincts les réponses à cette question : les groupes composés uniquement de personnes randonnant au moins tous les mois et les groupes comprenant au moins une personne randonnant uniquement pendant les vacances. Ce verrou d'agrégation est inhérent à l'analyse spatio-temporelle des GPS avec les variables socio-démographiques, puisque cette analyse nécessite une caractérisation du groupe dans son ensemble. Le fait de distribuer un seul GPS par groupe augmente la nécessité d'agréger. Distribuer plusieurs GPS nécessiterait des approches d'agrégation également, mais différentes.

Méthodes d'analyse : construction de la trajectoire sémantique

J'ai décrit dans l'état de l'art certaines méthodes de classification automatique des traces GPS, de détection de patrons spatio-temporels et surtout la définition du concept de trajectoire. Dans cette thèse, je me baserai sur cette dernière définition. J'opterai pour une analyse caractérisée par la détection et l'interprétation des pauses et par la description des déplacements (pas seulement les déplacements entre les pauses mais aussi avec la classification d'itinéraires).

Dans cette section, je vais décrire très brièvement – et l'illustrer en figure 3.4 – les outils et algorithmes que je mobilise et adapte pour l'analyse des trajectoires spatio-temporelles des randonneurs :

1. Premièrement, il est indispensable de traiter les traces GPS en tenant compte de leurs imperfections⁵, spécifiquement de supprimer les points GPS erratiques. En effet, dans notre cas d'étude en montagne, les points erratiques peuvent être nombreux par les effets de canyon ou les effets liés à la canopée. De plus, ces points, par définition géométriquement dissemblables du reste de la trace GPS, influencent grandement s'ils ne sont pas enlevés, les outils de détection automatique ou de classification automatique⁶. L'algorithme que j'ai utilisé dans ce but est celui de Potamias, Patroumpas, and Sellis (2006), dessinant des safe zones autour des points GPS selon la distance moyenne entre les points, mais aussi les angles de virages. Les points hors de ces zones sont considérés comme erratiques. D'autres algorithmes tels que le screening, ou très récemment celui d'Ivanovic et al. (2019) basé sur les métriques intrinsèques de la trace GPS et produit par machine learning, étaient accessibles.

5. Les imperfections englobent imprécisions, incertitudes, incomplétudes (Bouchon-Meunier 1995)

6. Exemples : l'algorithme de simplification comme le Douglas-Peucker qui ne garde que les points GPS caractérisant l'étendue spatiale d'une trace GPS (donc les points les plus éloignés de la trace moyenne), ou encore la distance de Fréchet qui mesure la distance maximum des distances minimales entre chaque points d'une trajectoire

2. Ensuite, afin de s'inscrire dans la définition de trajectoire (implicitement sémantique) et de ne plus parler de traces GPS, il a fallu détecter les pauses des randonneurs. J'ai opté pour la détection des pauses par l'algorithme de clustering basé sur la densité spatio-temporelle ST-DBSCAN (Birant and Kut 2007). J'ai choisi cet algorithme principalement pour son adéquation avec les traces GPS à intervalles de temps réguliers. ST-DBSCAN est sensible aux variations dans un déplacement et c'est un avantage dans l'analyse des traces GPS à condition que la variabilité des traces soit bien connue.
3. L'étape suivante est la simplification de la géométrie des trajectoires, en supprimant des points tout en conservant les informations caractéristiques. Cela permet tout d'abord de réduire la taille de la base de données et donc d'accélérer les traitements. Cela permet surtout de faciliter l'étape suivante de map-matching en augmentant les distances entre les points GPS. En effet notre contexte géographique montagnard contient des masques au signal GPS impliquant une imprécision non négligeable des coordonnées des points, ainsi que des sentiers avec virages en épingle. Augmenter les distances entre les points permet de déterminer plus facilement si un point se situe en montée ou en descente en s'appuyant sur les différentiels d'altitudes alors que ceux-ci pourraient être biaisés par des points trop proches. Par ailleurs, si les distances entre les points sont plus grandes, les probabilités qu'un point soit attaché à un arc non continu avec le précédent et le suivant sont réduites. L'algorithme de map-matching utilise des critères de distance et autorise les demi-tours, ce qui peut provoquer un rattachement erroné de certains points à des arcs. J'utilise l'algorithme de simplification Douglas-Peucker, très utilisé dans les analyses de trajectoires (Étienne 2013; Zheng and Zhou 2011) et qui a pour principe de ne conserver que les points saillants d'une ligne, selon un paramètre de distance⁷
4. Il est primordial d'attacher des informations géographiques aux points GPS des trajectoires telles que le tronçon de sentier parcouru et allant avec, toutes les informations inhérentes au sentier : la pente, la distance (prenant en compte le dénivelé), l'altitude, la distance au plus proche sommet par le réseau, la dangerosité. Ces informations géographiques permettent ensuite de faire l'analyse conjointe avec les informations liées aux porteurs du GPS et les informations intrinsèques de la trajectoire (vitesses moyennes, maximum, vitesse par séquence, nombre de pauses, durée des pauses). Afin d'enrichir les points GPS des informations de sentier, les méthodes de map-matching sont à privilégier. J'ai utilisé l'algorithme de Newson and Krumm (2009) afin d'apparier les points GPS aux points les plus proches du réseau de sentier, selon leur probabilité de se trouver sur une section plutôt qu'une autre⁸. Les points appariés au réseau de sentiers, les distances entre les points en parcourant le réseau sont calculées, ainsi que le sens de la marche (et ainsi la

7. L'algorithme prend les extrémités d'une ligne et crée une droite. Il calcule ensuite les distances de tous les points de la ligne à la droite. Le point le plus éloigné de la droite est conservé. Ensuite l'algorithme refait ce processus en prenant cette fois deux droites (celle reliant une extrémité au point le plus éloigné et celle reliant l'autre extrémité à ce même point) jusqu'à ce que les points soient situés à une distance inférieure à la distance paramétrée. Ces derniers ne sont pas conservés.

8. Un point peut être plus proche à vol d'oiseau d'une section A, mais si les autres points sont proches d'une section B alors il est plus probable d'être sur la section B

montée ou descente d'une section pentue). La vitesse de marche ou le dénivelé horaire (en mètres d'altitude parcourus par heure) peuvent être obtenus. Les informations par sections de sentier sont aussi utilisées, afin de calculer les fréquentations horaires du sentier par section ou de classer les trajectoires selon des itinéraires.

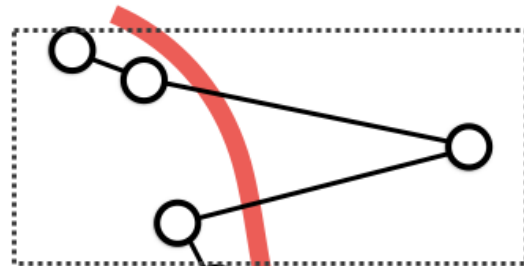
Ce cheminement méthodologique permet de construire des trajectoires sémantiques : pauses, déplacements, lieux traversés. D'autres approches eussent été possibles comme l'analyse des traces GPS par approche raster (pixel intersectant ou non la trace), ou sans appariement au réseau. Mais les choix exercés ici le sont afin de prendre en compte précisément les sentiers, l'espace et pour faciliter la compréhension des résultats par tous les acteurs autour des activités récréatives : usagers, chercheurs, gestionnaires, puis politiques. Ces choix répondent à l'une des problématiques de la thèse.

3.4. Objectifs de la thèse

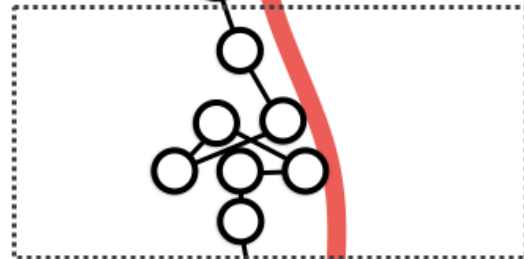
J'expose les hypothèses qui ont constitué mon travail de recherche au sein des quatre articles qui composent la deuxième partie et la troisième partie de la thèse. Dans cette section je vais décrire les quatre objectifs principaux de ma thèse :

1. **L'utilisation appropriée des outils de traitement des trajectoires.** N'étant ni géomaticien, ni informaticien, ni statisticien, il est important de manier les outils d'analyse spatiale et d'analyse statistique les plus appropriés à la problématique de la thèse sans pour autant avoir à développer des approches alternatives. Pour le dire autrement, l'un des objectifs n'est pas de développer des outils, mais de se les approprier et de les combiner (et si besoin de les adapter au cas d'étude). La compréhension des outils existants et leur exploration s'inscrivent dans cet objectif et le premier chapitre de la deuxième partie est à ce propos. Ce chapitre est un article ayant pour sujet l'analyse de sensibilité de l'outil ST-DBSCAN dans le cadre de la détection de pauses au sein de traces GPS en contexte montagneux.
2. **L'étude de patrons spatio-temporels au sein des trajectoires.** Parce que la littérature autour de l'*outdoor recreation* mentionne très peu les pauses des randonneurs lors de leurs randonnées, il était opportun de les analyser afin d'améliorer leur compréhension (certes dans le cas d'étude). Ces pauses sont celles détectées afin de construire les trajectoires. Les pauses comme patrons spatio-temporels sont des objets à analyser dans un contexte géographique : proximité aux lieux (comme les sommets), visibilité du paysage, relief. Le second chapitre de la partie II porte spécifiquement sur l'analyse des pauses détectées par l'algorithme ST-DBSCAN dont le comportement est mieux connu grâce à l'objectif précédent. Le deuxième chapitre de la partie III est à propos des itinéraires de randonneurs et la classification automatique de trajectoires. Cette classification peut être associée à une détection de patrons spatiaux à l'échelle d'un lot de trajectoires et se positionne ainsi également dans cet objectif.

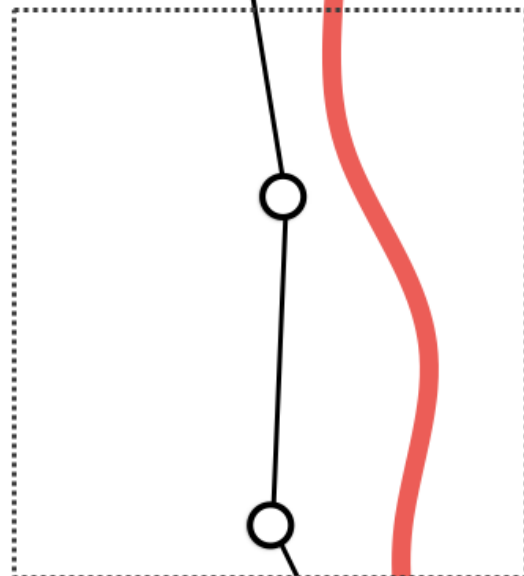
1. Détection et suppression des outliers
Potamias et al. (2006)



2. Détection des pauses et suppression du nuage de points
Birant and Kut (2007)



3. Simplification de la trajectoire
Douglas and Peucker (1973)



4. Map-matching et enrichissement sémantique
Newsom and Krumm (2009)

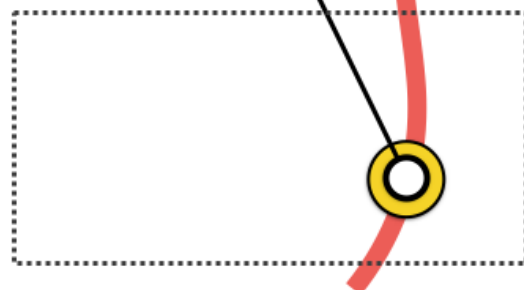


FIGURE 3.4. – De la trace GPS à la trajectoir sémantique : schéma résumant les étapes du traitement géomatique

3. **Le croisement avec les données socio-démographiques.** Cet objectif est le principal objectif de cette thèse : lier les données spatio-temporelles aux données socio-démographiques. Les questionnaires fournissent les informations caractérisant les individus randonneurs, informations pouvant être agrégées en groupes d'individus ayant en commun le portage d'un GPS. Ce GPS fournit lui les informations spatio-temporelles comme celles liées aux pauses, à la vitesse de marche, à l'étendue spatiale d'une randonnée, aux tronçons fréquentés. L'objectif est donc de croiser ces deux types de données et il se retrouve dans trois articles de cette thèse : sur l'analyse des pauses (partie II), sur l'analyse des vitesses de marche (partie III), sur la fréquentation des sentiers (partie III).
4. **La production d'entités spatio-temporelles propres à l'étude des interactions humains-faune sauvage.** Ce dernier objectif répond à la problématique de l'étude post-thèse sur l'interaction humains-faune sauvage. Les entités spatio-temporelles, telles que des groupements de pauses formalisés, permettront d'analyser conjointement fréquentation humaine dans ces entités et réactions animales à l'entité spatiale ainsi qu'à la fréquentation humaine.

4. Analyses préliminaires des questionnaires et indices de la sociologie des randonneurs

L'objet de ma thèse étant l'analyse spatio-temporelle des traces GPS puis le croisement de ces analyses avec les réponses aux questionnaires sociologiques et non une analyse sociologique des randonneurs, je vais montrer ici un bref aperçu de la sociologie des randonneurs pour ensuite développer par la suite l'analyse des traces GPS. Cet état des lieux est nécessaire afin de i) comprendre quels ont été les verrous pour l'analyse conjointe GPS-questionnaires, ii) connaître les usagers qui nous sont donnés de rencontrer aux départs des randonnées avec plus de 800 m de dénivelé dans le massif des Bauges.

Les questionnaires comprennent une cinquantaine de questions (voir appendix A). Toutes les questions ne sont pas traitées car certaines ne sont pas utiles pour le sujet et pour d'autres, cela aurait nécessité un temps important de recodage. En effet, la plupart des questions sont fermées à plusieurs modalités de réponse qui ne sont pas graduées et sont plus adaptées à des analyses qualitatives. Pour croiser ces données avec les données spatio-temporelles et dans le but de caractériser des profils, ces questions ne pourront pas être utilisées.

Pendant l'été 2015, 95,7 % des interrogés déclarent que la contemplation des paysages les poussent à faire cette activité, 93,6 % des interrogés déclarant que la détente ou le plaisir les poussent à faire cette activité et 93,5 % des interrogés déclarent que l'entretien physique ou la santé les poussent à faire cette activité. Ces réponses quasi unanimes et indiquant des motivations superposées ne permettent pas la discrétisation des individus entre eux et ne peuvent pas être utilisées pour la construction de typologies.

J'ai donc sélectionné les variables de questionnaires suivantes : fréquences de pratique, genres, âges, catégories socioprofessionnelles, revenus, diplômes et communes d'habitation principale. J'exposerai dans les paragraphes suivants les caractéristiques socio-démographiques des individus composant les groupes et les prochaines parties consacrées aux analyses des données GPS intégreront également ces variables. Dans un second temps de cet état des lieux et avant les parties sur les analyses spatio-temporelles, j'exposerai l'agrégation des variables sociologiques afin de passer des réponses individuelles à des réponses collectives correspondant aux réponses de groupes portant un GPS.

Dans cette partie d'analyse préliminaire, pour l'été 2014, il y a eu 205 réponses aux questionnaires et pour 2015, 505 réponses. Les réponses sont moins nombreuses lors de la campagne 2014 car nous avons pour autre tâche d'effectuer de l'observation in-situ par scan sampling, sur les sites

de randonnées. La figure 4.1 représente le nombre de réponses par jour pendant les campagnes de terrain 2015 et 2014.

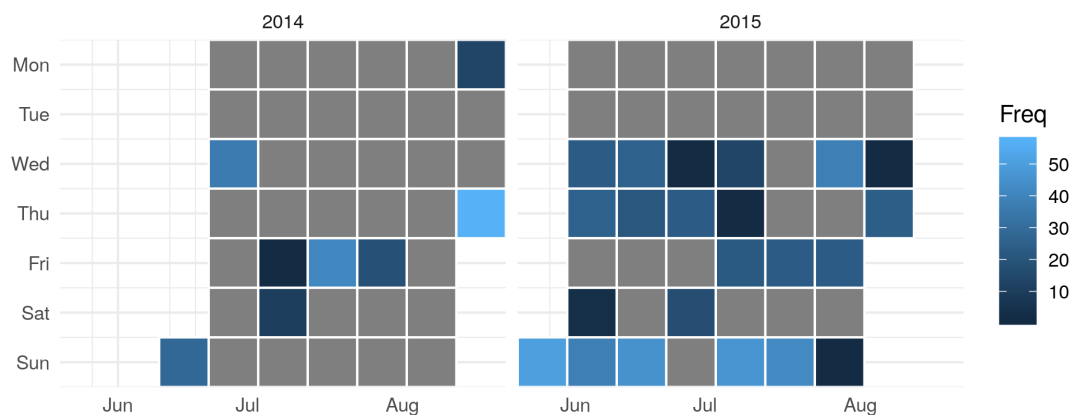


FIGURE 4.1. – Répartition temporelle de la distribution de questionnaires pendant les étés de 2014 et 2015

En 2014, 111 personnes ont fait partie de groupes transportant un GPS et en 2015, 333. Pour chaque cas, plus de la moitié des individus interrogés faisaient partie d’un groupe avec GPS, ce qui indique une bonne représentativité des groupes GPS afin de caractériser les comportements spatio-temporels. Parmi les individus qui ont répondu aux questionnaires, $56,5\% \pm 1,9\%$ sont des hommes. D’après la figure 4.2, le pourcentage d’hommes parmi les randonneurs interrogés est significativement au dessus de la moyenne nationale.

L’exemple de la classe d’âge 59 ans et plus (mais ici l’intervalle s’arrête à 85 ans) montre qu’à l’échelle nationale le ratio homme-femme est à $43,8\%$ d’hommes, alors que les randonneurs atteignent plus de 54% d’hommes. Les hommes sont donc a priori sur-représentés dans notre échantillon par rapport aux chiffres nationaux. Cette tendance se retrouve dans la pyramide des âges (figure 4.3).

Concernant les revenus, les données des questionnaires présentent 30% d’individus déclarant percevoir entre 1200€ et 2000€ , près de 25% entre 2000€ et 3000€ et un peu moins de 19% gagnant plus de 3000€ . Enfin, près de 16% des individus ont répondu gagner moins de 1200€ ou aucun revenu.

D’après la figure 4.4¹, les revenus très faibles sont majoritairement perçus par les moins de 30 ans (médiane à environ 25 ans). De plus, si l’on examine les catégories socioprofessionnelles de l’INSEE et les salaires déclarés, il est à noter que plus de 50% des personnes qui déclarent un revenu inférieur à 1200€ sont des étudiants.

Les catégories socioprofessionnelles représentées sont inégalement réparties. Les plus petits

1. les boîtes à moustache représentées présentent des incisions à partir de la médiane, si ces incisions ne se superposent pas alors les médianes sont significativement différentes

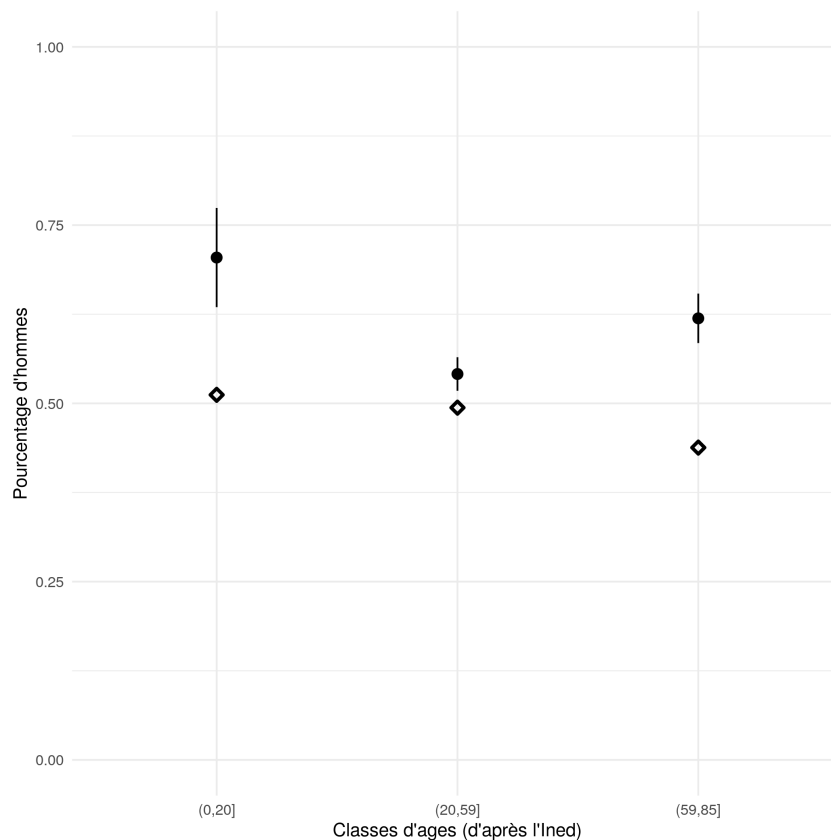


FIGURE 4.2. – Répartition hommes-femmes chez les pratiquants de randonnée dans le massif des Bauges (ronds : données Bauges, losanges : données françaises 2014 de l’Institut National d’Etudes Démographiques)

effectifs (moins de 6 répondants par catégorie) sont les agriculteurs, les ouvriers, les chômeurs, les artistes, patrons de commerce ou de l’industrie. En figure 4.5 sont représentées les catégories correspondant à plus de 5 % de répondants. On peut constater la forte présence des cadres (23,24 %) et des retraités (20,56 %). Bien qu’on ne puisse inférer de quelle classe les retraités font partie, plusieurs catégories socioprofessionnelles sont issues des catégories moyennes supérieures et catégories supérieures : employés, enseignants, cadres. Les étudiants sont également représentés (9,30 %) et nous n’avons aucune indication pour définir s’ils sont enfants issus de la classe moyenne. Ces résultats préliminaires montrant une pratique de la randonnée de montagne plutôt par les classes moyennes et classes moyennes supérieures ont déjà été mis en lumière (Bourdieu and De Saint Martin 1976 ; Corneloup 2003 ; Lefèvre 2004b ; Perrin-Malterre, Chanteloup, and Gruas 2019).

Concernant l’origine géographique des randonneurs interrogés et qui ont fourni le code postal de leur commune de résidence, j’ai pu produire deux cartes. La donnée « code postal » peut être utilisée dans une cartographie à une échelle locale même si un code postal peut représenter plusieurs communes. À l’échelle nationale, il est plus aisé de cartographier la provenance en agrégeant les données au département de provenance (deux premiers chiffres du code postal).

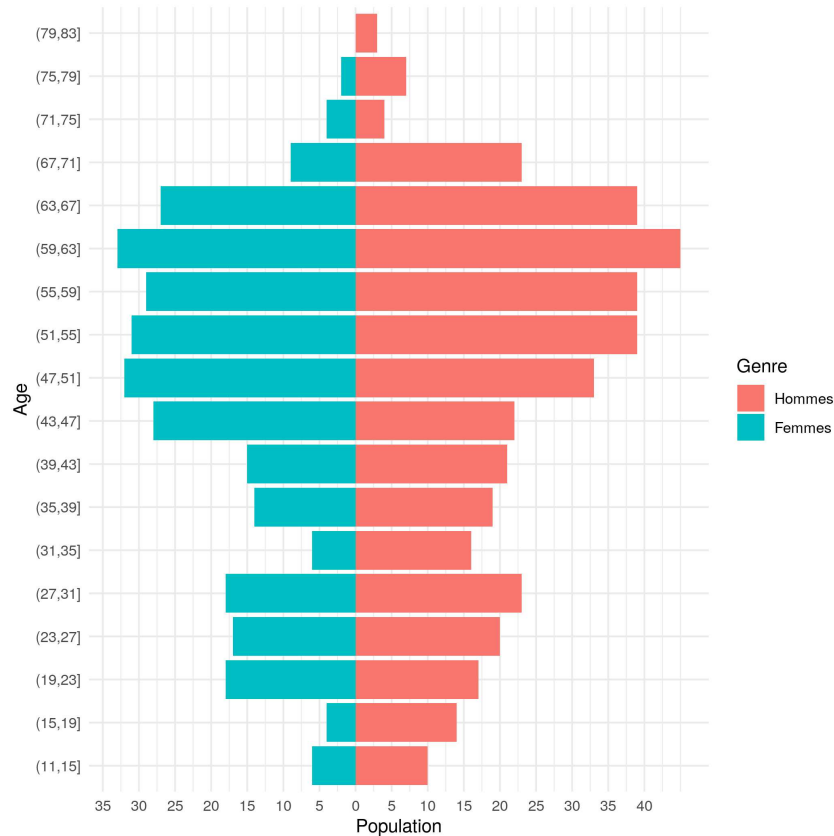


FIGURE 4.3. – Pyramide des âges pour les données issues des questionnaires du protocole mis en oeuvre

La carte A (figure 4.6) représente les départements de provenance des randonneurs interrogés à l'échelle nationale. La majeure partie des randonneurs est donc locale ou plutôt régionale, car 5 départements de Rhône-Alpes (Savoie, Haute-Savoie, Isère, Rhône et Ain) sont les départements de plus de 15 randonneurs chacun et les départements limitrophes aux sites d'étude (Savoie et Haute-Savoie) ont chacun plus de 58 randonneurs. Plusieurs randonneurs sont en provenance des départements franciliens et limitrophes.

Les communes de provenances à l'échelle régionale sont principalement situées à proximité des sites d'étude (voir figure 4.7²), à un temps de trajet d'une heure. Les grandes agglomérations Lyon et Grenoble sont également des communes d'où proviennent les randonneurs (plus de 18 pour l'agglomération lyonnaise, entre 6 et 18 pour Grenoble). Les zones où résident entre 6 et 18 randonneurs correspondent également à une proximité aux autoroutes, proximité qui facilite l'accessibilité au massif des Bauges.

2. **Méthode** Afin de construire la carte de la figure 4.7, j'ai utilisé pour chaque code postal déclaré, le centroïde de la commune la plus peuplée. Puis à l'échelle régionale, j'ai créé une grille de polygones hexagonaux dans lesquels j'ai comptabilisé le nombre de centroïdes de provenance déclarée. De plus, avec une fonction de simulation d'isochrones osrm sur R (Giraud, Cura, and Viry 2019) j'ai créé la zone d'accessibilité aux sites d'étude pour une heure de voiture.

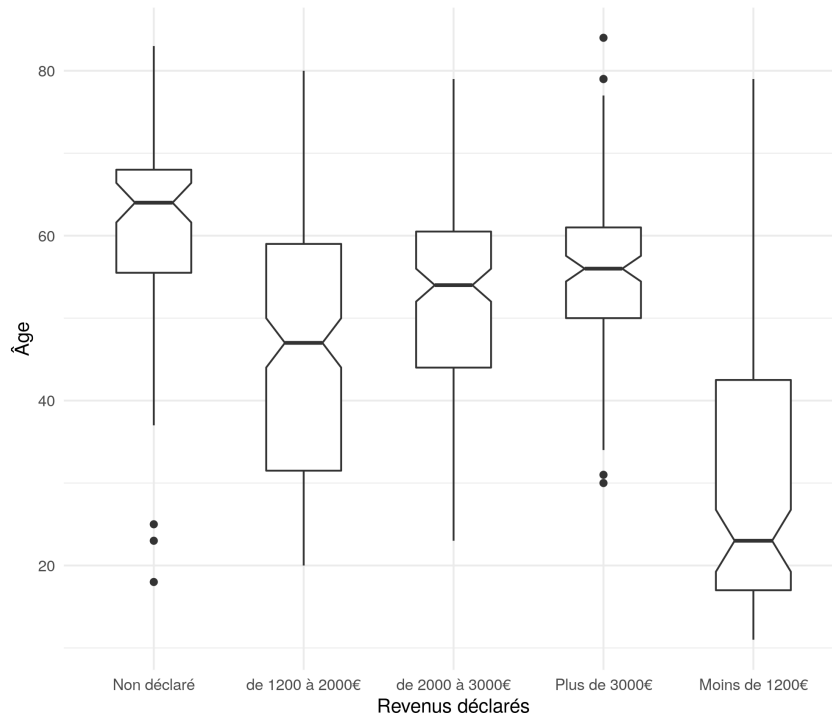


FIGURE 4.4. – Revenus déclarés selon les âges des répondants

Dans la figure 4.8, sont croisées l’accessibilité aux sites d’étude et la fréquence de pratique des randonneurs et je précise que ces pratiques plus fréquentes ne se situent pas forcément dans les Bauges mais à proximité de leur domicile par exemple. Les randonneurs ayant moins d’une heure de trajet pour accéder aux sentiers, que j’appellerai les locaux, ont des fréquences de pratiques différentes mais la distribution est équitale (34,4% pratique mensuelle, 35,5% pratique hebdomadaire et 30,1% pratique vacancière³). Pour ceux habitant dans les communes situées entre une et deux heures des sites de randonnées, les pratiques sont plus fréquentes (42,5% hebdomadaire et 40,1% mensuelle). Enfin les usagers habitant à plus de 2h du massif des Bauges ont une pratique de la randonnée bien plus ponctuelle (59,3% vacancière et 29,7% mensuelle). Il y a donc trois principaux profils : des locaux avec une pratique vacancière de la randonnée, des locaux et régionaux avec une pratique fréquente et des randonneurs non-régionaux avec une pratique à forte tendance vacancière.

Afin de résumer cette analyse préliminaire, voici les points principaux conclusifs :

- Il y a une **sur-représentation des hommes** parmi la population questionnée.
- Les randonneurs interrogés font partie d’une **classe moyenne supérieure et classe aisée** avec une sur-représentation des cadres et des retraités et une **sous-représentation des bas revenus qui ne seraient pas étudiants**.
- Dans la pyramide des âges, c’est entre **43 et 67 ans qu’il y a le plus de représentants**.

3. les questionnaires comportaient pour la question de fréquence de pratique, une réponse « uniquement pendant les vacances »

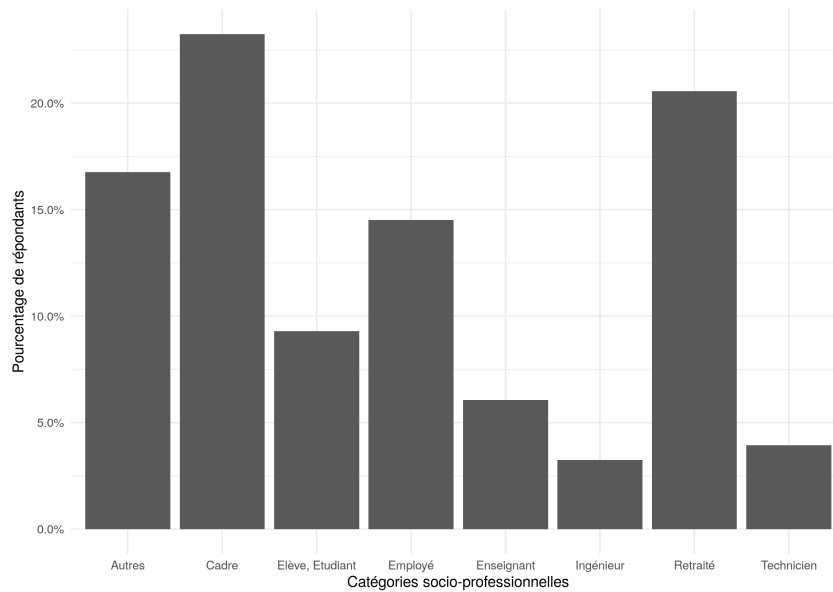


FIGURE 4.5. – Répartition des catégories socioprofessionnelles chez les répondants

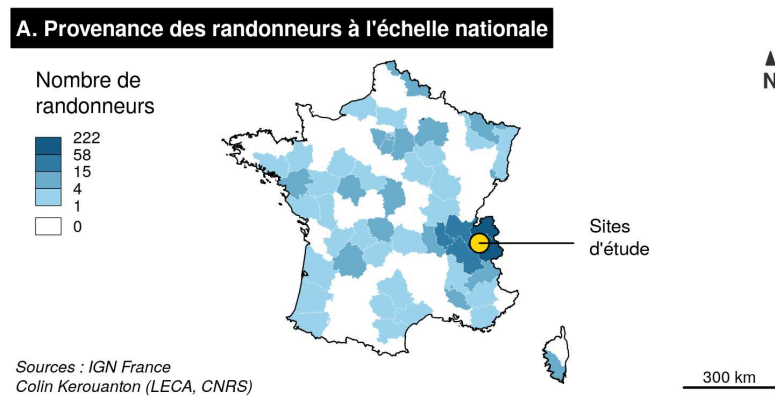


FIGURE 4.6. – Carte de la provenance des randonneurs à l'échelle nationale

- **Les randonneurs sont principalement des régionaux ou locaux**, voire très locaux (à moins d'une heure des parkings).
- Il y a trois profils de pratiquants : des locaux avec pratique vacancière, des locaux et régionaux avec pratique fréquente et des non-régionaux avec pratique très vacancière.

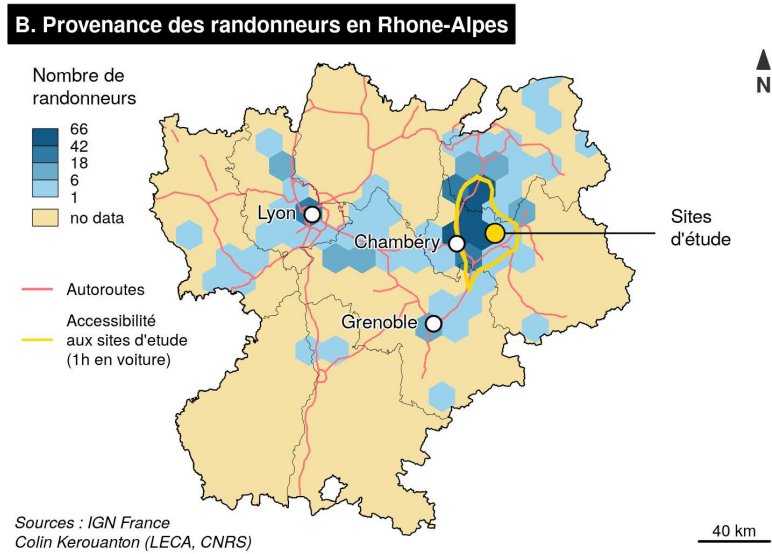


FIGURE 4.7. – Carte de la provenance des randonneurs à l'échelle régionale, sur un maillage hexagonal

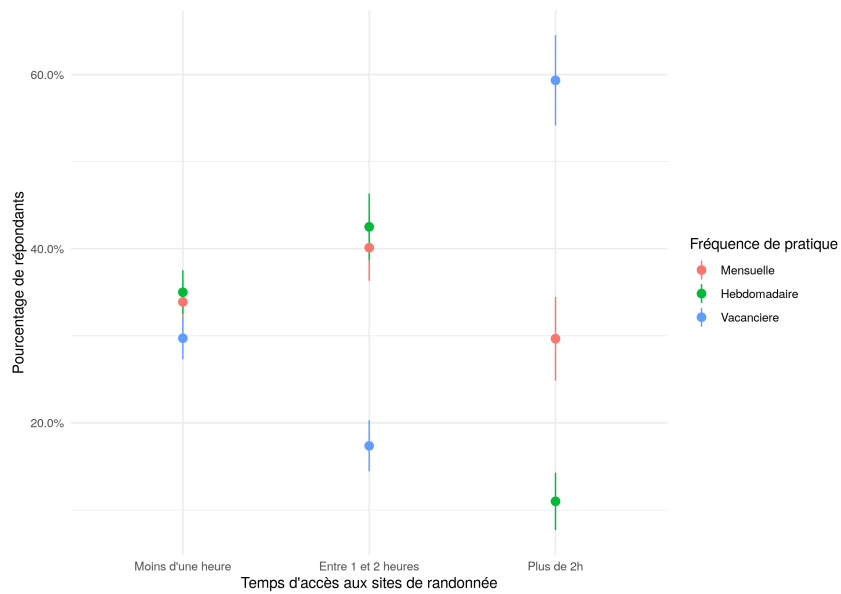


FIGURE 4.8. – Temps d'accès aux sites d'étude et fréquence de pratique des répondants

Deuxième partie

Les pauses de randonneurs : objets géographiques

5. Article I – ST-DBSCAN application on mountain hikers’ GPS tracks, an analysis of sensitivity for pause detection

Auteurs

- Colin Micol Kerouanton
- Laurence Jolivet
- Clémence Perrin-Malterre
- Anne Loison

Manuscrit en préparation

Summary

Spatio-temporal patterns detection in human mobility is an actual focus of geographic information sciences. Pedestrians, especially hikers, make pauses when walking. Temporally regular GPS tracks contain the pauses inside GPS point clouds. The DBSCAN cluster family including its declination ST-DBSCAN is particularly adapted to those patterns. Although, these algorithms are sensitive to their input parameters. GPS tracks are not homogeneous data as there can be different users corresponding to/recorded in a GPS tracks lot. Choosing parameters in this context can therefore be difficult and time consuming. In order to overcome this obstacle, we propose an analysis of the sensitivity of ST-DBSCAN parameters when applied to hikers’ GPS tracks for detecting pauses superior to 2 minutes. We used a comparison between the ST-DBSCAN detection results and an expert’s detection results. We found an optimum combination of parameters ($Eps = 6$, $MinPts = 12$, $Eps2 = 600$) which obtained an F-measure equal to 91.25 %.

Introduction

Human mobility and wildlife mobility are two fields which are increasingly studied thanks to the venue of GPS technology. GPS enabled to describe movement itself at a fine spatio-temporal scale. The main difference between studying human mobility and wildlife mobility using GPS is the implementation of the monitoring protocol on the field. The quality and the quantity of the recorded data are bound to the constraints of carrying a GPS device. Protocols implying people are less restrictive than those for animals about the sampling of monitored individuals (mark and recapture for animals) and the length of the monitoring (weight of the battery compared to the body weight; no temporary drop-offs for animals). Factors on the field have an impact on the performance and the accuracy of the GPS data, such as individual behaviors within a spatial environment and technical failures resulting in signal loss (Forin-Wiart et al. 2015; Hofman et al. 2019; Morris and Conner 2017). However a large amount of location data can be produced. They may also be associated with time stamps, physiological and environmental captor data, as well as for many GPS precision metrics (Hofmann Wellenhof, Lichtenegger, and Collins 1997), which facilitates analysis of their accuracy. A challenge is to be able to extract information from this amount of data and to characterize mobility. Analyzing existing GPS locations allows understanding the described movement. It should be adapted to the characteristics of the corresponding datasets. Ecologists widely use statistical approaches on animals movements in order to determine their dynamics e.g. based on Brownian motion (Benhamou 2007; Miller 2015) and to estimate home range e.g. with KDE (Benhamou and Riote-Lambert 2012; Fieberg and Kochanny 2005; Péron 2019a; Tolon et al. 2009). Geographers and GIS specialists define trajectory conceptual models filled from results based on spatial and statistical analyses (Dodge, Weibel, and Lautenschütz 2008; Spaccapietra et al. 2008). We study the mobility of hikers during day expeditions in a mountainous environment of alpine pastures (maximum 2000 meters in altitude). The problematic is to determine how human mobility may have consequences on wildlife behavior and so on individual and population dynamics. Our objective is to characterize hikers' trajectories from their spatial and temporal aspects. The targeted characterization aims at highlighting potential places and moments of disturbance of the animals. In our study case, a trajectory is a route carried out by a hiker. Trajectories are known from GPS trackers carried by people.

The recorded GPS tracks are composed of geometrical points defined by a geographical position (latitude and longitude) and a timestamp. A trajectory is composed by stops, and moves between stops. GPS tracks are composed of geometrical points defined by a geographical position (latitude and longitude) and a timestamp. Many GPS tracks also have precision metrics (e.g. DOP metric), which facilitates their analysis. Within the GPS dataset, each GPS track corresponds to an individual spatio-temporal pattern and can be understood on its own; they can be compared to others and gathered in homogeneous clusters in spatio-temporal patterns, knowing the context of the specific dataset (Benhamou 2014; De Groeve et al. 2015; Demšar et al. 2015; Dodge, Weibel, and Lautenschütz 2008; Etienne 2011; McArdle et al. 2014; McKercher et al. 2012; Pappalardo et al. 2015; Zheng and Zhou 2011). At the level of one trajectory represented by

a GPS track, mobility can be interpreted from the conceptual model defined for instance by Spaccapietra et al. (2008), of a collection of stops and moves between stops. Segmentation of a GPS track defines homogeneous segment according to a list of criteria, e.g. the speed of the moving object, the shape of the movement, the environmental context (Buard 2013; Calenges, Dray, and Royer-Carenzi 2008; Jolivet 2014). At the level of all trajectories in a GPS dataset, similarity measures between trajectories are employed, driven by research questions, e.g. Etienne, Devogele, and Bouju (2012) by measuring distances between ships trajectories for maritime monitoring and Loglisci (2018) by gathering moving objects based on their interactions).

Several outdoor recreation studies have used on GPS datasets to define spatio-temporal trends in hikers' mobility (Orellana et al. 2012; Schamel and Job 2017; Taczanowska et al. 2014). Those studies have allowed highlighting movement behavior at a fine spatio-temporal scale. For our study, we are interested in the pauses – or stops – of the underlying spatio-temporal patterns of the recorded trajectories. Detecting pauses in trajectories appeared as relevant. They correspond to an important part of the movement pattern because of their time length and potential intensive spatial use. Hikers in protected areas may have an impact by their activities, on wildlife and more widely on their environment. As human could be perceived as a predator (Beale and Monaghan 2004b; Frid and Dill 2002), wildlife has many responses to human outdoor recreation activities such as stress (Creel et al. 2002; Nasar and Jones 1997) or avoidance (Jayakody et al. 2008; Marchand et al. 2014), or even flights (Bracha 2004; Stankowich 2008). If located at a threatening place for wildlife, hikers' pauses are a central notion in spatio-temporal human-wildlife interactions, whether lasting very long or very short.

Understanding why the hiking pauses occur at a certain place and at a certain moment help to better interpret the relation between hikers and their environment with regard to the hiker's profile. A pause may correspond to specific activities such as resting, eating and observing the view, more or less influenced by the time of the day. Hikers could take more pauses according to physical conditions or their group interaction (a hiker waiting for another hiker). It is also a response to the spatial environment, as a physical constraint (e.g. steep slopes) or as an attraction due to the patrimonial value of the landscape. The hiking pauses can be assimilated to a statistic change within a GPS track speed values, or to a spatio-temporal density when dealing with regular GPS tracks. The relevancy of detecting pauses in trajectories, an important part of a movement pattern. A pause may correspond to specific activities such as resting, eating and especially for hikers : observing the view. It can be related to characteristics of the studied objects. Hikers could take more pauses according to physical conditions, responses to their environment or their group interaction (a hiker waiting for another hiker).

Pauses need to be identified and then to be characterized. A pause in a GPS track can be assimilated to a statistic change within the speed values, or within the spatial density if dealing with GPS tracks of regular time frequency. Extracting automatically pauses from GPS tracks can be a challenge due to the large amount of data (a daily tracks can contain hundred of points depending on the time frequency) and due to the need to define the concept of a pause which helps to conduct the identification and to interpret the results of the detected pauses. Existing

methods to extract pauses have been developed based on the shape and the temporality of the tracks representing the trajectories. Suitable algorithms belong to the clustering family : partitioning approaches like k-means, probability density function as Kernel density estimation, density-based approaches for hotspots such as OPTICS and DBSCAN (Birant and Kut 2007; Chen, Ji, and Wang 2014; Ester et al. 1996; Sander et al. 1998). DBSCAN is largely used in spatial analysis, as it only needs as input a set of points filled with two variables (X,Y) and two parameters for determining the clusters : a maximum neighborhood distance named Eps and a minimum number of points named MinPts. This algorithm can be employed for detection of spatial patterns, but not spatio-temporal patterns. For such application, declinations of DBSCAN have been developed such as CB-SMoT (Tietbohl et al. 2008), T-DBSCAN (Chen, Ji, and Wang 2014), ST-DBSCAN (Birant and Kut 2007), and others (Ahmed and Razak 2014). ST-DBSCAN can detect spatio-temporal patterns as it adds compared to DBSCAN algorithm one input temporal parameter (maximum time length of one cluster named Eps2), which is useful to distinguish return trips in already visited areas. When applied to GPS data, this method needs the variable of time stamp on the recorded points and also pre-knowledge to set the parameters values in order to detect pauses as compatible as possible with the concept defined for our study case. Sensitivity analyses on DBSCAN and ST-DBSCAN are presented in (Ahmed and Razak 2014; Chowdhury and Bhattacharjee 2014; Karami and Johansson 2014; Wong and Huang 2016), adapted to specific implementation and applications. Karami and Johansson (2014) uses a method of optimization in order to find the most adapted DBSCAN parameters in different spatial distributions of points datasets.

We propose a sensitivity analysis to ST-DBSCAN algorithm parameters (Eps, Eps2 and MinPts), applied to a set of hikers GPS tracks. We will use precision and f-measure metrics to evaluate the optimal parameters combination for detecting pauses in hikers GPS data. The main objective of this article is to assess how ST-DBSCAN is an adapted algorithm to detect outdoor recreationist pauses from regular GPS tracks. The second objective is to determine an optimal combination of the three parameters of ST-DBSCAN (Eps, Eps2 and MinPts) suitable for the whole set of the hikers' GPS tracks. It is therefore necessary to evaluate the effects on these clusters when changing the parameters values of the algorithm.

Our research hypothesis is that despite the differences between GPS tracks due to individual characteristics and to route selection (distance, time of the day, specific topography of the itinerary), their similarities make possible the definition of a unique set of parameters values for the whole tracks. All the tracks represent the same type of activity which is hiking and the general physical condition of the hikers are sufficient to cover trails in a mountainous area. In order to confront this hypothesis, we propose to conduct a sensitivity analysis on the ST-DBSCAN algorithm parameters based on an extract of the set of the hikers' GPS tracks. Our approach is to evaluate the effects on the detected clusters when changing the parameters values of the algorithm. We assume that pauses detected by ST-DBSCAN with an optimal combination of parameters are similar to pauses detected by visual interpretation of the trajectory combined with field experience of the study area and of its use. In order to answer our two hypothesis, we

will conduct a sensitivity analysis of the ST-DBSCAN parameters. The evaluation of the optimal parameters combination for detecting pauses in hikers' GPS data is undergone by computing precision, recall and F-measure metrics.

Material and methods

Study sites

The study area is located in the Parc naturel régional du Massif des Bauges in the French Alps near Chambéry (45.65°N, 6.23°E). The study sites are two networks of hiking paths situated 20 kilometers from each other. The altitude ranges from 860m to 2200m. The interval is a wide one within the French mountainous context. It means potential steep to very steep slopes (up to 60 degrees) and a great sinuosity of the hiking paths. This topographic configuration influences the hikers' walks and so on the spatial distribution of their GPS data. The closeness of GPS points tends to be high in very steep slopes and moreover in very steep slopes corresponding to turns. Plus, mountainous context could add an effect on GPS accuracy and performance, which can produce poor locations or missing positions. Those aspects should be considered as they have an impact on the interpretation and the analysis of the GPS data, and can lead to bias in the study of pauses.

Hikers' GPS data

The collection protocol of GPS tracks consisted in distributing GPS trackers to hikers at their arrival on the parking lots of the study sites so that they could record their entire hike. 20 GPS trackers IGotU-GT120 were at our disposal, making it possible to record a maximum of 20 tracks daily. We tried to propose GPS in order to have a uniform distribution of the time departures, from 8 a.m. to the last arrival of hikers. There was no refusal to propositions of carrying a GPS. GPS trackers were carried by one person among a hikers' group (only one GPS per group) and placed on top of the backpack. During the summers of 2014 and 2015, 282 GPS tracks have been reaped. Among those 282 GPS tracks, we randomly sampled 15 tracks on the both sites. This methodological choice was made because it takes a long time to inspect the GPS tracks and to interpret the results. The GPS tracks are composed of geographical points stamped every 10 seconds. No DOP information is recorded. The 15 tracks contain some gaps of timestamp. As those gaps are very few, we decided to infer the missing positions with the `adehabitatLT` package (Calenge 2006), in order to be detected by ST-DBSCAN. The tracks have a mean distance walked of 13.4 km for a mean duration of 5.9 hours 5.1. In this sample, hikers walk at a mean speed of 2.3 km.h⁻¹ and walk half of the time at 2.5 km.h⁻¹. The speeds of walking are stable, and it means that detecting changes of density by ST-DBSCAN should be possible. The mean distance between GPS points (that we considered as walking points when the speed is above an empirical limit of 0.36 km.h⁻¹) is 6.9 meters and ranges from 4.8 m to 9.4 m. We expect then an Eps

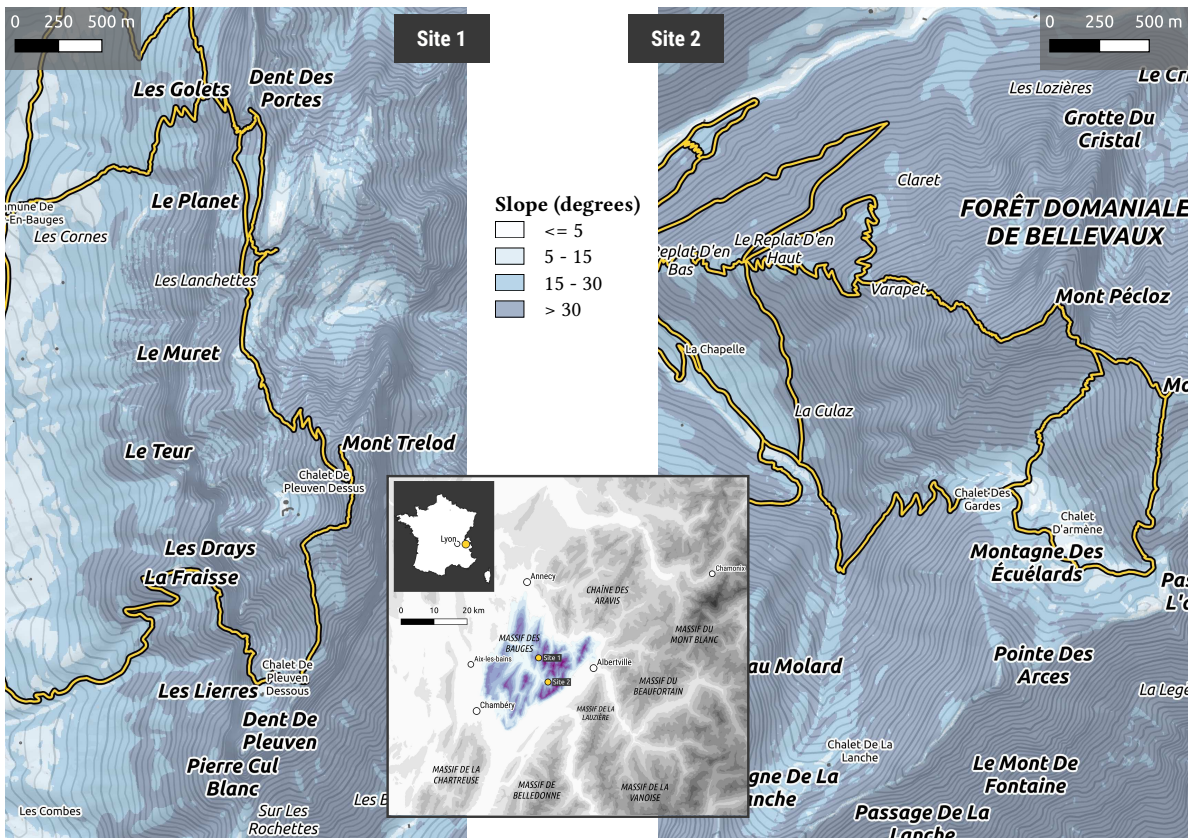


FIGURE 5.1. – Map of the study sites and their slopes in degrees (hiking paths are in yellow)

parameter close to this mean distance.

TABLE 5.1. – General description of the 15 GPS tracks characteristics

Hike distance (km)	13.4 ± 0.74 [9.9 ; 20.4]
Hike duration (h)	5.9 ± 0.41 [3.8 ; 9.4]
Speed avg. (km.h-1)	2.3 ± 0.11 [1.6 ; 3.2]
Walking speed med.(km.h-1)	2.5 ± 0.14 [1.7 ; 3.4]
Distance between GPS points (m)	6.9 ± 0.39 [4.8 ; 9.4]

The general approach for the study of the parameters sensitivity

Our general approach is to conduct comparisons within a GPS track, between sets of GPS locations clusters differently detected. The ground truth is a reference set of clusters by track constructed by an expert in the QGIS¹ interface. We refer to these clusters as the true pauses. The other sets of clusters were computed using ST-DBSCAN with various combinations of the three input parameters. The computed clusters are compared to the true pauses of the reference set in order to determine the optimal combination of the ST-DBSCAN parameters values using comparison indicators. The first indicator is the comparison of the counts of clusters between the reference set of clusters and the computed sets. The second indicator is the metrics precision, recall and F-measure (P, R and F-measure) which give a quantitative measure of the correct matches and of the mismatches between points included or not in the different detected pause. Both types of indicators are useful in order to describe the effects of the parameters on the accuracy of the detection of hiking pauses. They give information on the recognition of the location of the pauses and on the correctness of pauses spatial extent. These metrics served the definition of an optimal combination of ST-DBSCAN parameters. To be noted, as we stated in the description of the study sites, the more the slope is steep the more the hiking path is sinuous, and it induces a highest probability of higher density of points. On expert detection, this higher density of points in the turns of the hiking path could be confounded with hikers pauses.

Expert pauses detection and by ST-DBSCAN detection

The true pauses have been detected from a visual inspection of the 15 sampled GPS tracks considered one by one by an expert of the analyses of hikers' trajectories and of the study sites. We defined a pause as follow : at least 12 GPS points (which is equal to a total duration of at least 2 minutes) with a distance between them from 0 to 15 meters. We filled in an identification number to the points considered in the same pause. This number is assigned chronologically to the course of the hike in order to distinguish the first pause from the last one. Special attention was paid to round trips returning to the same places. GPS points could be spatially consistent to

1. « Équipe de développement de QGIS (2018). Système d'information géographique QGIS. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org> »

create a new pause or to be included in an existing pause. Though compared to true pauses, they can correspond to a later time stamp and potentially create new true pauses occurring later. As specified in the description of the study sites, the steeper the slope, the more sinuous the hiking path is and the higher the probability of great density of points is. During expert's detection of pauses, this great density of points in the turns of the hiking path was a source of confusion between true hikers' pauses and a significant decrease in walking speed.

The computed pauses have been detected by the ST-DBSCAN algorithm applied on the same 15 GPS tracks as the one of the reference set. As our objective is to assess the effects of the ST-DBSCAN parameters values, intervals of values have been defined for each parameter. Multi-combinations of those values were then tested. The values for the parameter Eps were included in the integer range [1,30], the values for MinPts in [6,36] and the values for Eps2 in [100,1000]. The step between the tested values was equal to 1 for Eps and MinPts and equal to 100 for Eps2.

For each combination, we estimated the number of clusters produced. We compared this number to the number of clusters detected by expert inspection. The ratio between these two values of number of clusters (ST-DBSCAN and expert) is the metric for sensitivity estimation. A correct estimation of the number of clusters is 100%. We projected those estimations results on a 3D histogram in order to find visually a correct estimation zone for the MinPts and Eps parameters combinations. This part of the method allows us to get an idea of which parameters are appropriate for the right number of clusters.

Comparison methods and metrics

We want to describe the accuracy of the ST-DBSCAN parameters combinations in the detection of hiking pauses, and find an optimum. We use indicators which values will direct us to obtain that optimum. For each combination, the sensitivity is studied by the numbers of clusters produced and by the P, R and F-measure metrics.

We compared the number of ST-DBSCAN clusters with the number of clusters detected by expert inspection. The ratio between these two values of number of clusters (ST-DBSCAN and expert) represent the success rate. It is computed for each hiking track. A correct estimation of the number of clusters is 100%. We projected those estimations results on a 3D histogram in order to find visually a correct estimation zone for the Eps and MinPts parameters combinations. This part of the method allows us to get an idea of which parameters are appropriate for the right number of clusters.

We then assessed the accuracy of the allocation of GPS points to a pause. The computed metrics are P, R and F-measure described by Chinchor (1992) and also detailed in Sasaki (2007). These metrics deal with the evaluation of true positives, true negatives, false positives and false negatives. In our case where we compare several ST-DBSCAN detections to expert detection, the true positives are the GPS points detected by both expert and ST-DBSCAN, the true negatives

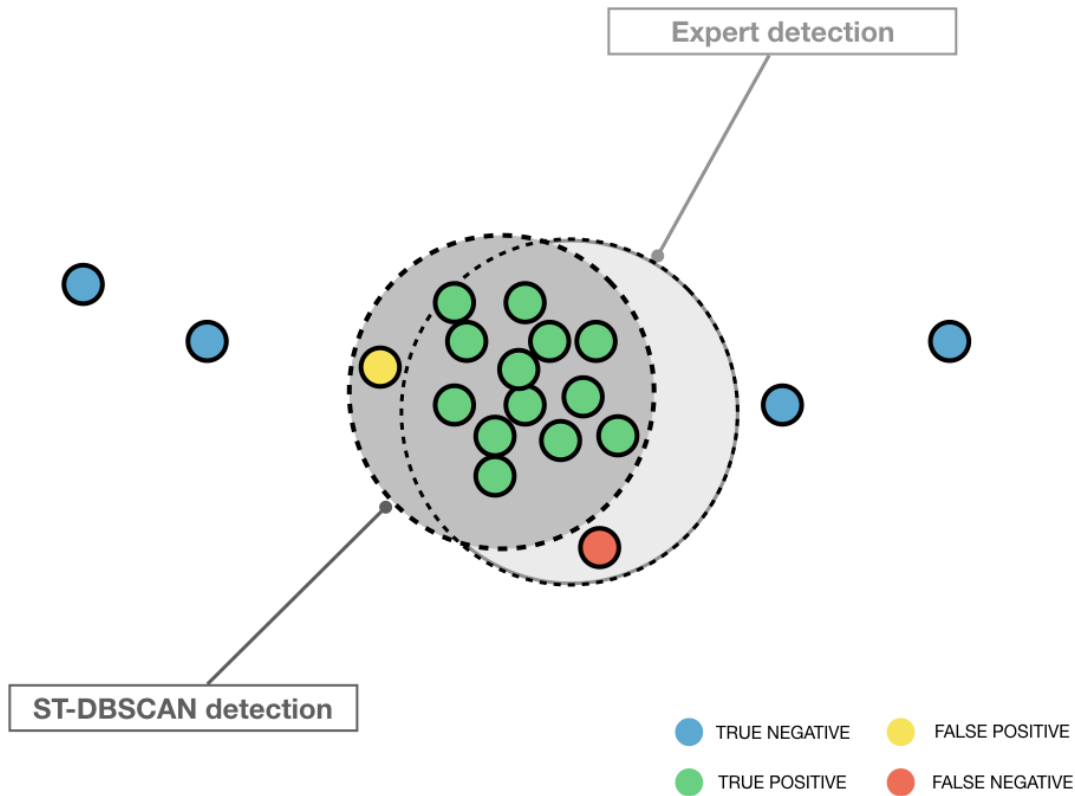


FIGURE 5.2. – Measure of relevance of the GPS points detected as pauses by ST-DBSCAN

are those which are not detected by both expert and ST-DBSCAN, the false positive are those detected by ST-DBSCAN but not by expert and the false negatives are those detected by expert but not by ST-DBSCAN (see figure 5.2). The P measure indicates the number of points which are well assigned to a pause by ST-DBSCAN compared to the number of points assigned to a pause by ST-DBSCAN. It allows highlighting the false positives. It is employed by Yang et al. (2018) for evaluating the efficiency of classification of GPS points. The R measure indicates the number of points which are well assigned to a pause by ST-DBSCAN compared to the total number of points which are assigned to a pause by the expert. It allows highlighting the false negatives. The F-measure is composed by P and R (their sum divided by their multiplication, 2 times). It is based on the true positive, the false negative and the false positive. Powers (2011) writes that F-measure is commonly used for machine learning studies, but has biases. We adopt the F-measure in this study, as the main comparison metric for parameters combinations. We postulate that the optimal combination correspond to the best F-measure value. As well as for the percentage of success for the number of clusters, we projected the F-measure values on a 3D histogram in order to specify the optimum for parameters combination.

To help interpret the results, the detected pauses are visualized on a map. Mapping highlights differences between expert detection pauses and computed pauses. The results of two parameters

combinations are represented, the ones corresponding to 75% of success and the maximal success given by the F-measure. We selected these two parameters combinations as to study the best results reachable by ST-DBSCAN (maximal success) and to study intermediate results (75% of success). We applied both combinations for ST-DBSCAN to the sample of 15 trajectories. Each produced cluster i.e. each cloud of GPS points corresponding to the same pause, is represented by its medoid. The medoid is the existing point closest to the center of the cluster based on the median of the coordinates of the points in this cluster (median of the longitudes, median of the latitudes). We designed maps with the software QGIS, one map of the pauses from expert detection and one map of the pauses from the 75% and maximal successes ST-DBSCAN parameters combinations.

Effects of the sample size

The method to answer to our hypothesis of a unique combination of parameters for a whole GPS dataset is run based on a relatively small number of GPS tracks ($n = 15$). This part of the work aims at validating our results and so at determining if our sample size is enough to study variations of ST-DBSCAN clusters. We compared the ST-DBSCAN standard deviations on the number of clusters for different sample sizes and the ST-DBSCAN standard deviation for the whole dataset ($n = 282$). We utilized the best combination of parameters based on F-measure. First, we applied ST-DBSCAN on the 282 GPS tracks in order to calculate the standard deviation of the detected numbers of pauses. In order to justify the size of the sample, besides the fact that it takes a long time to inspect GPS tracks, we compared the ST-DBSCAN standard deviations on different sample sizes and the ST-DBSCAN standard deviation on the whole dataset ($n = 282$). Secondly, we applied ST-DBSCAN on samples with different sizes, i.e. with different numbers of tracks varying from one tracks to 50 tracks with an increase of one between each size. For each of the 50 sizes, the samples were created with a random selection of the tracks, this selection being repeating 50 times. 2,500 numbers of clusters were generated. We computed the standard deviation of the number of pauses at every sample size. Then we measured the distances, i.e. the absolute differences, between the standard deviation of each sample size and the standard deviation of the whole dataset. These distances are studied through their mean value and their standard error of the mean. Those both last values are very likely to decrease as the number of trajectories increases and so to have an asymptotic behavior. We aim at determining the smallest sample size for which standard deviation distance is reasonably close to 0 and to verify that this size is smaller than the size of our sample.

Results

Effects of parameters values on the percentages of success of ST-DBSCAN

The figure 5.3 represents the F-measure values for all the 930 combinations of the parameters Eps and the MinPts. 21 combinations corresponding to 2.25% have a F-measure equal of higher than 90% and so are considered as more than 90% accurate.

We observe an equilibrium area with high F-Measure values around this best value, corresponding to a set of the two parameters values around the extracted combination (red and orange areas on figure 5.3, red area being the 2.25% best). The shape of the equilibrium area indicates that best combinations of parameters correspond to the bottom of the tested intervals. The combination of parameters for the best F-measure value (equal to 91.25%) result is $\text{MinPts} = 12$ and $\text{Eps} = 8$. The best obtained F-measure value also matches with a good balance between the two measures composing the F-measure, as the recall measure is 90.84% and the precision is 91.65%. It means that 90.84% of the expert detection points have been detected (the definition of the recall) and that the points detected as clusters are at 91.65% valid in regards to expert detection (precision).

Effects of parameters values on ST-DBSCAN clusters number

We now study an indicator for determining ST-DBSCAN relevancy, not at the level of each GPS points level but at the level of the pauses composed by the GPS points. The figure 5.4 shows the ratios between calculated clusters and the clusters detected by expertise. The global shape of the 3D histogram indicates that these ratios are high when the MinPts is small (between 5 and 20) and that the Eps parameter seems to have less influence on the number of clusters, except at the limit of the intervals of MinPts and Eps values.

The highest overestimations (more than 250%) of the number of clusters occur when the MinPts is low and Eps is high. For both parameters, this means that ST-DBSCAN tend to overestimate the number of pauses when the tolerance given by each parameter gets higher. The ratio values are on the contrary, decreasing when Eps gets lower and MinPts higher. So underestimations corresponds to relaxed constraints. We can observe an equilibrium line for parameters Eps and MinPts corresponding to similar numbers of detected clusters by ST-DBSCAN and by the expert (in blue on figure 5.4). 66 ratio values, and so 66 parameters combinations, are comprised between 90% and 110%. The number of clusters is an indicator in addition to the comparison metrics F-measure, P and R. It can not be a good indicator if interpreted alone because it gives a number of clusters without detecting if these clusters are correct or not. Indeed the clusters detected by the expert can be in different locations and can correspond to different extents than those computed by ST-DBSCAN.

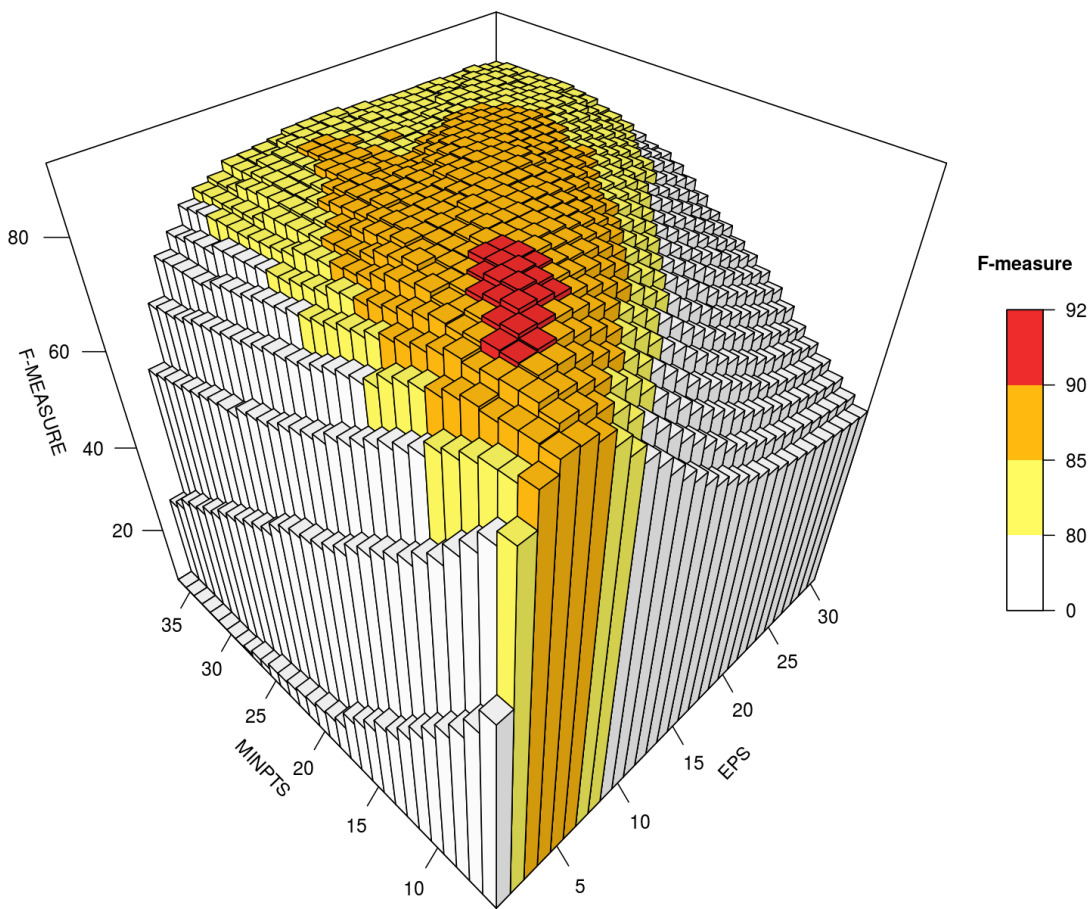


FIGURE 5.3. – 3D histogram of Fmeasure results

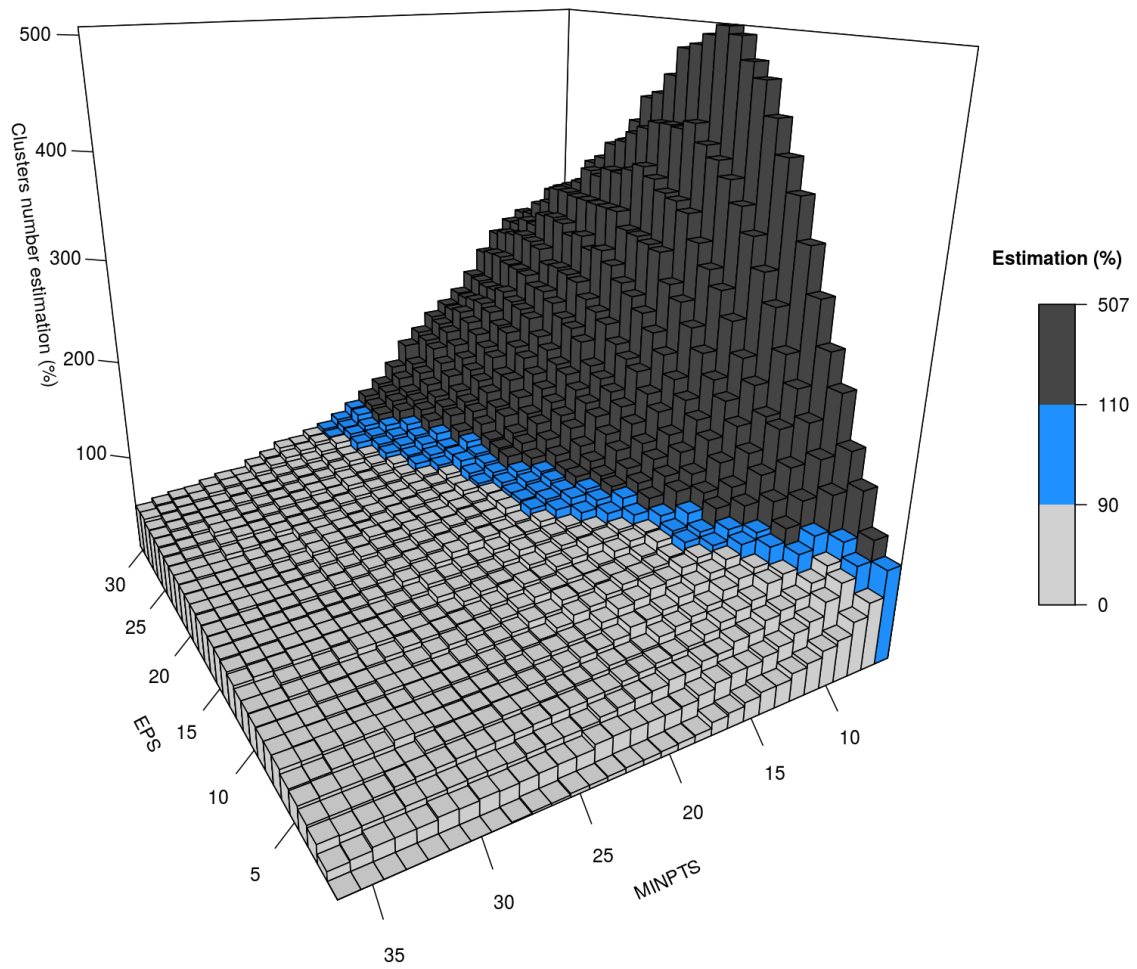


FIGURE 5.4. – 3D histogram of overestimations and underestimations of the right number of clusters

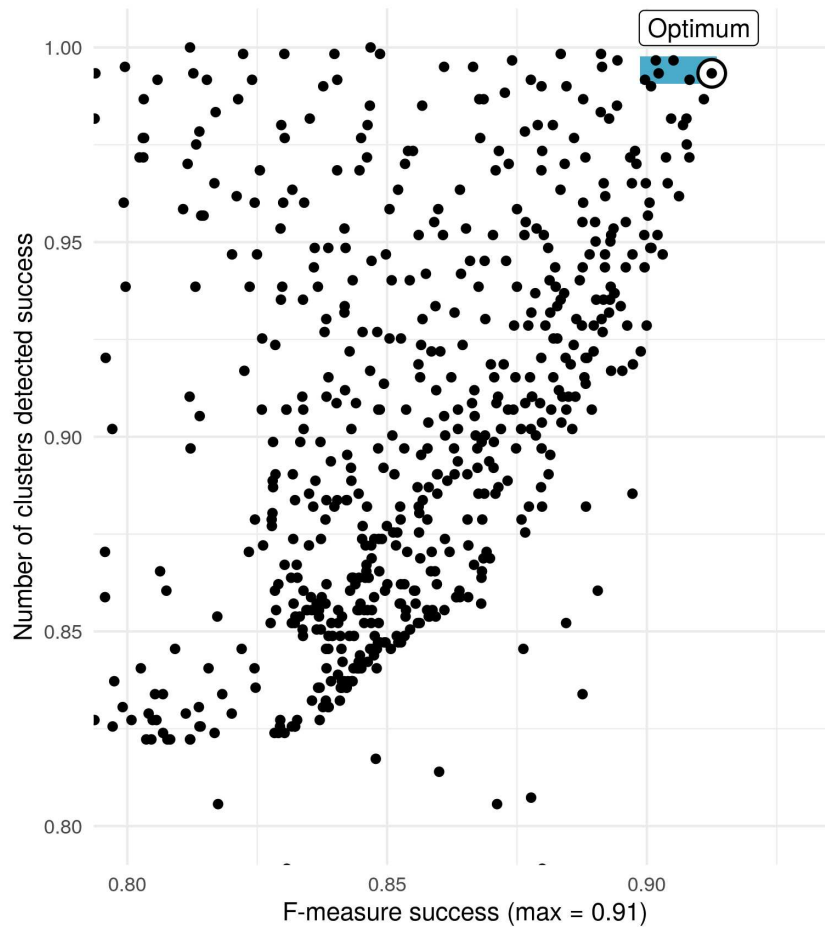


FIGURE 5.5. – Detection of an optimum of the combination of Eps and MinPts using F-measure and number of clusters detected success (distance to 100% of clusters detected). The blue rectangle contains values within the 97-100% quantile of both metrics (6 combinations).

Definition of an optimum for ST-DBSCAN parameters combinations

We want to determine the optimal combination of the parameters Eps and MinPts in our sample of trajectories in order to then be able to reuse this combination on the larger dataset. We are using the previous analyses of the F-measure values and of the numbers of clusters. Figure 5.5 is a plot of these two metrics : the number of clusters detected success defined as the distance to the ratio 100%, according to F-measure success equal to the value. Each point corresponds to a unique combination of Eps and MinPts. The F-measure success tend to correspond to highest number of clusters detected success, which can be explained by the fact that F-measure is calculated by taking into account each GPS point.

The best combination for F-measure (91.25%) has made possible to detect 97.30% of the right number of clusters, indicating a small underestimation by ST-DBSCAN compared to the expert. We also defined an optimum interval by selecting values within the 97-100% quantile of the

F-measure and the number of clusters (the blue rectangle on figure 5.5). This optimum interval contains 6 combinations of parameters values that we represented on table 5.2, from which it would be possible to choose whether an individual speed is high or low.

TABLE 5.2. – The 6 optimal parameters combinations for ST-DBSCAN

Eps parameter	MinPts parameter	F-measure (%)	Nb of clusters success (%)
6	11	90.23	97.30
7	11	90.82	103.38
8	12	91.25	97.30
10	13	90.51	101.35
11	14	90.17	98.65
12	15	89.96	96.62

Spatial comparison between a 75% success parameters combination and the best combination

In that part, we focus on a spatial insight of the pauses detection results. The metrics gives an overview of the accuracy of the results for the whole sample dataset. We are now looking to the dataset by extracting the geographical objects of the pauses. Then we mapped the pauses detected from the expert and then the pauses corresponding to the clusters computed by ST-DBSCAN with two different parameters combinations. The two combinations corresponds to the best F-measure (91.25%, MinPts = 12, Eps = 8) and the the F-measure equal to 75% (MinPts = 15, Eps = 3). These two combinations gives an idea of how the ST-DBSCAN results are improved following the F-measure indication. The maps in figure 5.6 display pauses, one point for one pause. The representative point for every cluster is the closest point to the median of cluster points (medoid). For greater readability of the map we used a grid distribution algorithm in QGIS² in order to shift medoids when they are close to each other.

The first result is that the best combinations of parameters gives a greater number of pauses than the one corresponding to 75% (n = 81 for the best combination and n = 33 for the 75% combination). It appears as consistent. The second result is about spatial hotspots of pauses. A hotspot is here considered when there are more than 3 pauses close from each other. There are spatial hotspots of pauses for both combinations (n = 12 for the best combination and n = 5 for the 75% combination on the extracted study site in figure 5.6). The best combination of parameters allows to detect pauses (blue points on figure 5.6) between the hotspots of pauses, whereas the 75% success combination does not. The best combination pauses fit the expert detected pauses (green points), with few differences represented on the map. Of the 12 spatial hotspots of pauses, 8 overlap the expert detected pauses. The locations of the pauses, isolated or

2. https://docs.qgis.org/3.4/en/docs/user_manual/working_with_vector/vector_properties.html#symbolology-properties

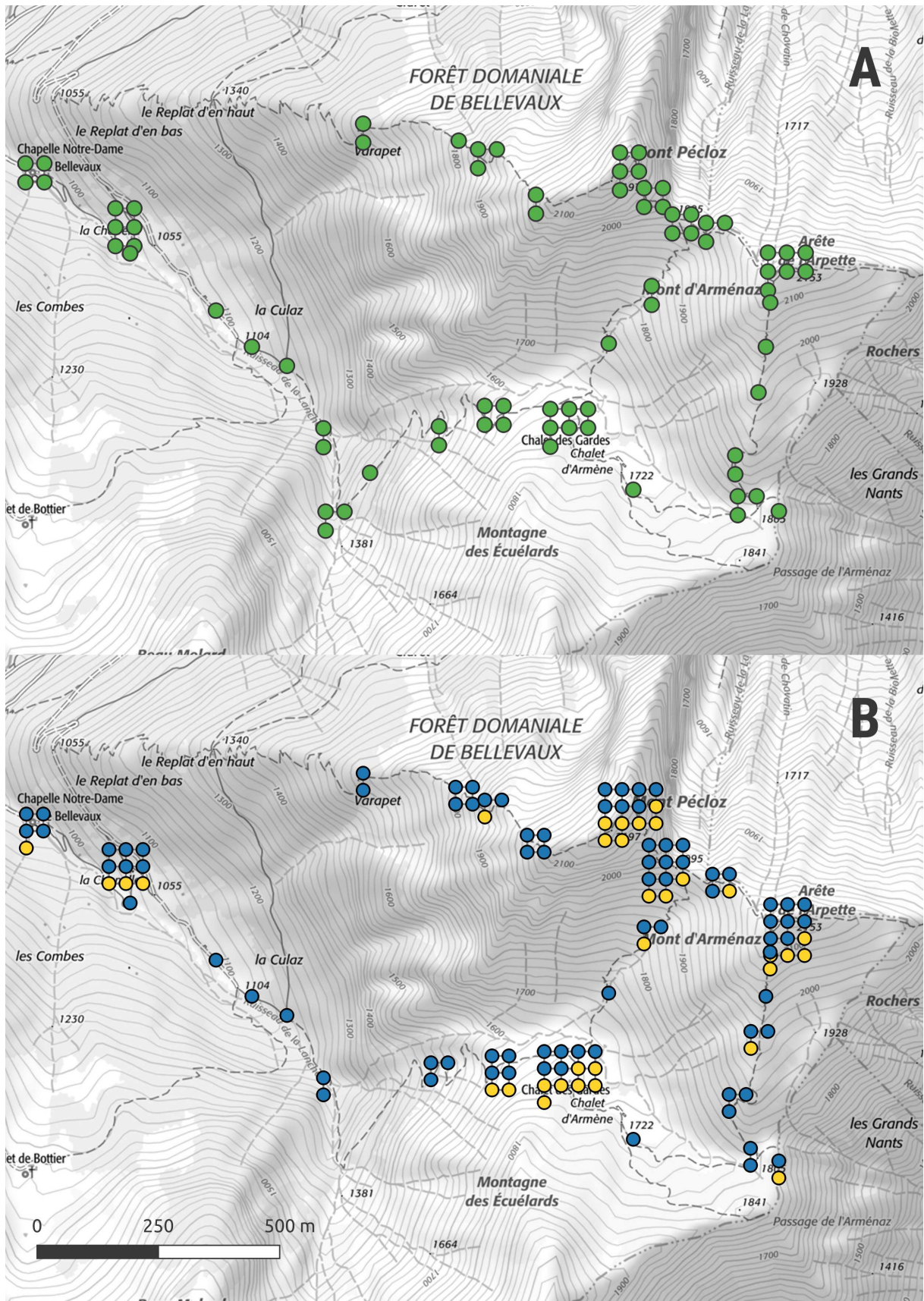


FIGURE 5.6. – Comparison between expert pauses detection (green points) (A) and two combinations (75% and 91% of success, respectively yellow and blue points) of ST-DBSCAN parameters (B). Each point is a pause.

associated to a hotspot, correspond to the location of the expert detected pauses except in one area (at the bottom in the middle of the map). This spatial display of the pauses reinforces the confidence in the ST-DBSCAN algorithm launched with an adapted combination of parameters values.

Assessment of sample size effect

We studied the ST-DBSCAN detected clusters with the best combination of parameters and the effect of the size of the GPS tracks sample. For the whole dataset, the standard error of the number of detected clusters is equal to 6.4 clusters, meaning that the detection varies more or less around 6 clusters between GPS tracks. In each sample of the dataset with incremental size, the variation of the number of detected clusters has been analyzed. The figure 5.7 shows the distances between the whole dataset standard deviation and every sample standard deviation (one point for each defined interval of sample size). As we iterated 15 times the selection of tracks for each sample size, we represented the mean and standard error of the several standard deviations. The difference between standard errors are minimized when sample sizes increase (vertical lines per point representing the min and max of the difference). The differences in standard deviations between samples and the whole dataset become inferior to 2 clusters from a sample size superior to 4 tracks. There are less than ± 1 cluster difference between samples and the whole dataset when the sample size is superior to 12 GPS tracks (dashed horizontal line). The curve is asymptotic to 0, and the sample size of 15 tracks that we have chosen for our study has a mean difference of standard errors inferior to 1 clusters.

Discussion

Detecting pauses from our large dataset of hikers' GPS tracks was challenging because it was necessary to choose an adapted algorithm and to set the parameter values despite the differences between the recorded movements. We decided to apply the clustering algorithm of ST-DBSCAN. In order to characterize and quantify the effects of the input parameter values, we studied the sensitivity of the algorithm based on its results for our dataset. Building an expert reference dataset of pauses allowed us to assess the most appropriate parameter values. A heuristic determination of values is a need that has been highlighted by the authors of ST-DBSCAN themselves (Birant and Kut 2007). We have found an optimal combination of parameters thanks to the comparison between the algorithm results and the expert detection. The comparison was based on metrics of F-measure at a GPS points and on the correspondence between the numbers of detected clusters. The intersection of two metrics leads to the determination of the best combination of parameters corresponding to $Eps = 8$ and $MinPts = 12$. This means that the minimal number of points expected to be a pause is of 2 minutes (12 points with regular time interval equal to 10 seconds in our dataset), and that the maximal distance between the points of a pause is 6 m. This last distance is 1 m longer than the mean distance observed between

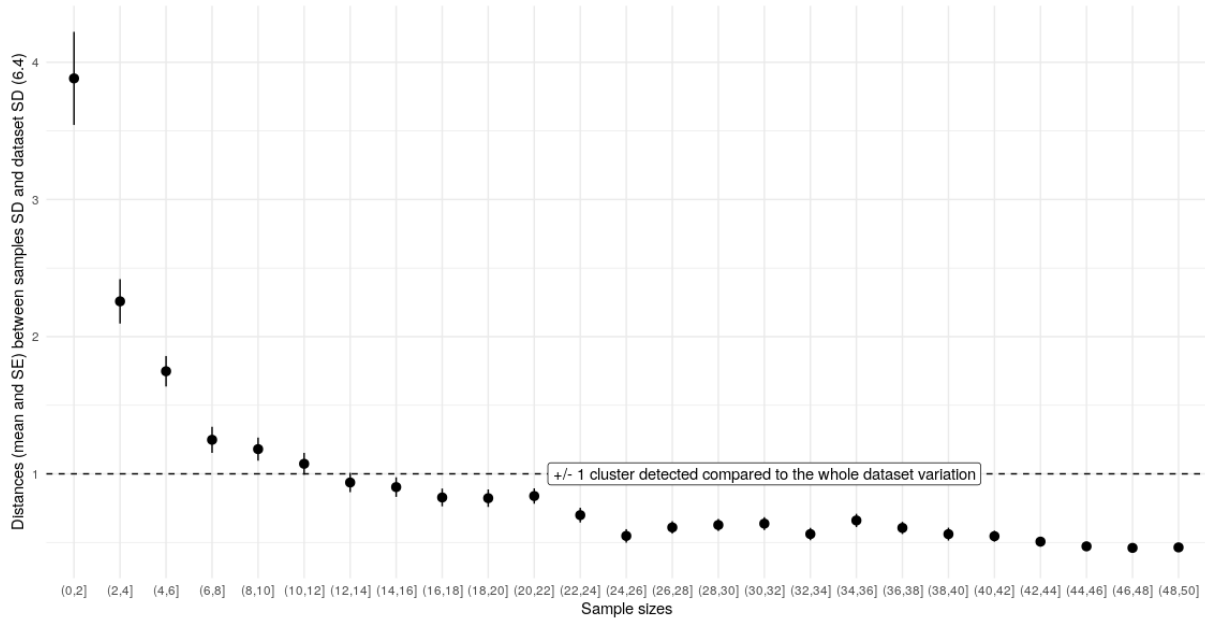


FIGURE 5.7. – Standard deviations of the standard errors between the numbers of detected clusters, according to the GPS tracks sample size gathered by interval of two-fold increase from 2 to 50.

recorded GPS points which is equal to 6.9 m (± 0.39 m), but 1 m shorter than the maximum mean distance observed (9.4 m). The difference between the observed mean distance and the optimal value of Eps could be explained by the fact that Eps parameter has to be slightly higher in order not to miss pauses in the GPS tracks heterogeneous dataset. These defined optimal combined values of the ST-DBSCAN parameters leads to 91.65% of precision and 90.84% of recall. Those two values are well balanced, slightly lower for the recall indicating a lack of recognition of some pauses by the algorithm.

Our objective, and one of the most important challenges in determining algorithm parameter values, is to make sure that the values are adapted for a whole dataset. There are speed differences between the GPS tracks meaning that distances between the points are varying from one hiker to another. As ST-DBSCAN takes as input only one distance value to detect the clusters, one way to adjust the results would be to carry out a pre-processing analysis per track to compute the speed rate or the mean distance between points. This would allow to use ST-DBSCAN with an adaptable Eps value per GPS track. This method would mainly increase the results for slow hikers, whom have not significant differences between their hiking distances in steep slopes and their very short pauses. Making parameters adapt to pre-processed data would allow the algorithm to be more effective on the minimal time of the pauses, as we defined this threshold at 2 minutes. The minimal time for GPS points to be considered as a pause is a determinant in the success of the algorithm. It would be easier to get close to a 100% success in detecting the pauses with ST-DBSCAN if our standard of pause definition was higher, e.g detecting pauses superior

to 15 minutes, because the spatial density of points would have greater chances to be found (15 minutes = 90 points). Above a certain value of Eps, the algorithm is no longer sensitive to the value of MinPts. There would be then a higher optimum window of parameters combinations. The success of the algorithm depends greatly on the exigence of temporal resolution of pauses we have. To improve furthermore our approach, the sample size can be increased. Considering up to 25 trajectories instead of 15, the difference of standard deviation distances between the two sample size is significant of 0.5 clusters. The sample size of 15 trajectories is nevertheless enough to obtain a good precision. Sample sizes inferior to 10 trajectories have indeed significant differences of standard deviations and above 25 trajectories, differences are not significant. We have found parameters combinations that have high success rates, and applied to another context, season, or type of mobility, or for another research, our approach would help to get to know the new effects of parameters of ST-DBSCAN.

One possible improvement of our approach could be in the comparison metrics between the algorithm results and expert detection. We proposed to use the common metrics of F-measure for comparing points datasets. The choice of the comparison metrics is first question-driven : in our mountainous study sites, the mobility of hikers is limited in time and generally follows a global linear route and so is well resumed with a succession of chronological points. If it was for fauna, the mobility is included in a home range and the question would mainly concern resource selection (Péron 2019b). The mobility analyses would be at a surface level. Though even for hikers, the geographical object of pause is more of a surface associated with a time length. Other metrics that could have been applied are some based on the spatial morphology of the pauses and their temporal characteristics. Two clusters with the same number of GPS points can have two different geometries and so different locations, boundaries and areas. For mountain hikers' pauses, one could affirm that morphology does not matter and that a pause can be resumed to a spatial point because topology is very constrained and hikers mostly stay on the hiking paths. Though, we are working at understanding hikers' mobility at a fine spatio-temporal scale thanks to GPS data among other sources of information like questionnaires. Hikers can take a pause not only to rest and so remain motionless but also to observe the scenery and find the best spot and so to move around their initial stopping place. In ecology, wildlife foraging for food is also a spatio-temporal behaviour that would be interesting to be studied thanks to ST-DBSCAN. In our larger problematic of seeking for interaction between human activities and wildlife, the extent of pauses may matters. One comparison metrics between pauses modelled as areas could be based on surface interpolations from points. For instance, KDE method could be applied for the two detections of pauses, algorithmic and expert, and then overlapped. It is also possible to look for the comparison metrics described in the literature about human mobility in an urban environment. Human behavior during pauses is variable in urban context, such as in mountainous context. People can stop and stay motionless, they can slow down (e.g. in front of shops) or can be slowed down (e.g. in queues) (Bauder 2014).

Conclusion

Our study had the goal to determine the relevancy of detecting hikers' pauses with an automatic clustering method. We selected the algorithm ST-DBSCAN and tested input parameter values combinations, on a 282 GPS tracks dataset of hikers in mountainous context during two summers. We focused on a subset of 15 GPS tracks in order to fix an optimal combination, and then we assessed this combination on different size of subset. To validate the results, we built a reference dataset of expert detected pauses and compared them to the algorithm detected pauses based on the metrics of precision, recall, F-measure, number of clusters. We have shown that the sample size of 15 tracks is enough to avoid a variation that would be significantly different than for a larger dataset. From those considerations, we could demonstrate that it is possible to obtain an optimal combination of parameters, and a optimal window of combinations where future users would be able to choose whether their objects move more or less quicker. We used the parameter Eps2 only as a discriminant in order to detect GPS points returning by the same way, but latter on. The best combination in our case for ST-DBSCAN application on detecting pauses superior to 2 minutes in GPS tracks is : Eps = 8, MinPts = 12, eps2 = 600.

The results show that it is possible to gain knowledge from an automatic approach of pauses detection, and that there are optimal input parameter values combinations for detecting pauses in a relative heterogeneous dataset of GPS tracks. Being set on the effects of the ST-DBSCAN on our dataset in our study case, we are going to be able to focus on the interpretation of the extracted pauses, their motivation, their spatial distribution and their dynamics, and then the potential effects on wildlife.

References

- Ahmed, K. Nafees, and T. Abdul Razak. 2014. “A Comparative Study of Different Density Based Spatial Clustering Algorithms.”
- Bauder, Michael. 2014. “Using GPS Supported Speed Analysis to Determine Spatial Visitor Behaviour.” *International Journal of Tourism Research*.
- Beale, Colin M., and Pat Monaghan. 2004. “Human Disturbance: People as Predation-Free Predators?” *Journal of Applied Ecology* 41 (2): 335–43. doi:10.1111/j.0021-8901.2004.00900.x.
- Benhamou, Simon. 2007. “How Many Animals Really Do the Lévy Walk?” *Ecology* 88 (8): 1962–9. doi:10.1890/06-1769.1.
- . 2014. “Of Scales and Stationarity in Animal Movements.” Edited by Ran Nathan. *Ecology Letters* 17 (3): 261–72. doi:10.1111/ele.12225.
- Benhamou, Simon, and Louise Riotte-Lambert. 2012. “Beyond the Utilization Distribution: Identifying Home Range Areas That Are Intensively Exploited or Repeatedly Visited.” *Ecological Modelling* 227 (February): 112–16. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.12.015.
- Birant, Derya, and Alp Kut. 2007. “ST-DBSCAN: An Algorithm for Clustering Spatial–Temporal Data.” *Data & Knowledge Engineering* 60: 208–21.
- Bracha, H. Stefan. 2004. “Freeze, Flight, Fight, Fright, Faint: Adaptationist Perspectives on the Acute Stress Response Spectrum.” *CNS Spectrums* 9 (9): 679–85.
- Buard, Élodie. 2013. “Dynamiques Des Interactions Espèces-Espace: Mise En Relation Des Pratiques de Déplacement Des Populations d’herbivores et de L’évolution de L’occupation Du Sol Dans Le Parc de Hwange (Zimbabwe).” PhD Thesis, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I.
- Calenge, Clément. 2006. “The Package ‘Adehabitat’ for the R Software: A Tool for the Analysis of Space and Habitat Use by Animals.” *Ecological Modelling* 197: 516–19.
- Calenges, Clément, Stéphane Dray, and Manuela Royer-Carenzi. 2008. “The Concept of Animals’ Trajectories from a Data Analysis Perspective.”
- Chen, Wen, Minhe Ji, and Jianmei Wang. 2014. “T-DBSCAN: A Spatiotemporal Density Clustering for GPS Trajectory Segmentation.” *International Journal of Online Engineering (iJOE)* 10 (6): 19. doi:10.3991/ijoe.v10i6.3881.
- Chinchor, Nancy. 1992. “MUC-4 Evaluation Metrics.” In *Proceedings of the 4th Conference on Message Understanding*, 22–29. Association for Computational Linguistics.
- Chowdhury, Nirmalya, and Preetha Bhattacharjee. 2014. “Using an MST Based Value for Epsilon in DBSCAN Algorithm for Obtaining Better Result.” *International Journal of Information Technology and Computer Science (IJITCS)* 6 (6): 55.
- Creel, Scott, JENNIFER E. Fox, AMANDA Hardy, JENNIFER Sands, BOB Garrott, and ROLF O. Peterson. 2002. “Snowmobile Activity and Glucocorticoid Stress Responses in Wolves and Elk.” *Conservation Biology* 16 (3): 809–14.
- De Groeve, Johannes, Nico Van de Weghe, Nathan Ranc, Tijs Neutens, Lino Ometto, Omar Rota-Stabelli, and Francesca Cagnacci. 2015. “Extracting Spatio-Temporal Patterns in Animal Trajectories: An Ecological

Application of Sequence Analysis Methods.” Edited by Stéphane Dray. *Methods in Ecology and Evolution*, September, n/a–n/a. doi:10.1111/2041-210X.12453.

Demšar, Urška, Kevin Buchin, Francesca Cagnacci, Kamran Safi, Bettina Speckmann, Nico Van de Weghe, Daniel Weiskopf, and Robert Weibel. 2015. “Analysis and Visualisation of Movement: An Interdisciplinary Review.” *Movement Ecology* 3: 5. doi:10.1186/s40462-015-0032-y.

Dodge, Somayeh, Robert Weibel, and Anna-Katharina Lautenschütz. 2008. “Towards a Taxonomy of Movement Patterns.” *Information Visualization* 7 (3-4): 240–52.

Ester, Martin, Hans-Peter Kriegel, Jörg Sander, and Xiaowei Xu. 1996. “A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise.” In *Kdd*, 96:226–31.

Etienne, Laurent. 2011. “Motifs Spatio-Temporels de Trajectoires d’objets Mobiles, de L’extraction à La Détection de Comportements Inhabituels. Application Au Trafic Maritime.” PhD thesis, Université de Bretagne occidentale-Brest.

Etienne, Laurent, Thomas Devogele, and Alain Bouju. 2012. “Spatio-Temporal Trajectory Analysis of Mobile Objects Following the Same Itinerary.” *Advances in Geo-Spatial Information Science* 10: 47–57.

Fieberg, John, and Christopher O. Kochanny. 2005. “Quantifying Home-Range Overlap: The Importance of the Utilization Distribution.” *The Journal of Wildlife Management* 69 (4): 1346–59.

Forin-Wiart, M. A., P. Hubert, P. Sirguey, and M. L. Poulle. 2015. “Performance and Accuracy of Lightweight and Low-Cost GPS Data Loggers According to Antenna Positions, Fix Intervals, Habitats and Animal Movements.” *PLoS ONE* 10 (6): e0129271.

Frid, Alejandro, and Lawrence M. Dill. 2002. “Human-Caused Disturbance Stimuli as a Form of Predation Risk.” *Conservation Ecology* 6 (1): 11.

Hofman, M. P. G., M. W. Hayward, M. Heim, P. Marchand, C. M. Rolandsen, J. Mattisson, F. Urbano, et al. 2019. “Right on Track? Performance of Satellite Telemetry in Terrestrial Wildlife Research.” Edited by Antoni Margalida. *PLoS ONE* 14 (5): e0216223. doi:10.1371/journal.pone.0216223.

Hofmann Wellenhof, Bernhard, Herbert Lichtenegger, and James Collins. 1997. *Global Positioning System: Theory and Practice*. Vienna: Springer Vienna. doi:10.1007/978-3-7091-3297-5.

Jayakody, Sevvandi, Angela M. Sibbald, Iain J. Gordon, and Xavier Lambin. 2008. “Red Deer *Cervus Elephus* Vigilance Behaviour Differs with Habitat and Type of Human Disturbance.” *Wildlife Biology* 14 (1): 81.

Jolivet, Laurence. 2014. “Modélisation des déplacements d’animaux dans un espace géographique : analyse et simulation,” May.

Karami, Amin, and Ronnie Johansson. 2014. “Choosing DBSCAN Parameters Automatically Using Differential Evolution.” *International Journal of Computer Applications* 91 (7).

Loglisci, Corrado. 2018. “Using Interactions and Dynamics for Mining Groups of Moving Objects from Trajectory Data.” *International Journal of Geographical Information Science* 32 (7): 1436–68. doi:10.1080/13658816.2017.1416473.

Marchand, Pascal, Mathieu Garel, Gilles Bourgoïn, Dominique Dubray, Daniel Maillard, and Anne Loison. 2014. “Impacts of Tourism and Hunting on a Large Herbivore’s Spatio-Temporal Behavior in and Around a

- French Protected Area.” *Biological Conservation* 177: 1–11.
- McArdle, Gavin, Urška Demšar, Stefan van der Spek, and Seán McLoone. 2014. “Classifying Pedestrian Movement Behaviour from GPS Trajectories Using Visualization and Clustering.” *Annals of GIS* 20 (2): 85–98.
- McKercher, Bob, Noam Shoval, Erica Ng, and Amit Birenboim. 2012. “First and Repeat Visitor Behaviour: GPS Tracking and GIS Analysis in Hong Kong.” *Tourism Geographies* 14 (1): 147–61. doi:10.1080/14616688.2011.598542.
- Miller, Jennifer A. 2015. “Towards a Better Understanding of Dynamic Interaction Metrics for Wildlife: A Null Model Approach.” *Transactions in GIS* 19 (3): 342–61. doi:10.1111/tgis.12149.
- Morris, Gail, and L. Mike Conner. 2017. “Assessment of Accuracy, Fix Success Rate, and Use of Estimated Horizontal Position Error (EHPE) to Filter Inaccurate Data Collected by a Common Commercially Available GPS Logger.” *PLOS ONE* 12 (11): e0189020. doi:10.1371/journal.pone.0189020.
- Nasar, Jack L., and Kym M. Jones. 1997. “Landscapes of Fear and Stress.” *Environment and Behavior* 29 (3): 291–323. doi:10.1177/001391659702900301.
- Orellana, Daniel, Arnold K. Bregt, Arend Ligtenberg, and Monica Wachowicz. 2012. “Exploring Visitor Movement Patterns in Natural Recreational Areas.” *Tourism Management* 33 (67): 2e682.
- Pappalardo, Luca, Filippo Simini, Salvatore Rinzivillo, Dino Pedreschi, Fosca Giannotti, and Albert-László Barabási. 2015. “Returners and Explorers Dichotomy in Human Mobility.” *Nature Communications* 6 (1). doi:10.1038/ncomms9166.
- Péron, Guillaume. 2019a. “The Time Frame of Home-Range Studies: From Function to Utilization.” *Biological Reviews* 94 (6): 1974–82. doi:10.1111/brv.12545.
- . 2019b. “Modified Home Range Kernel Density Estimators That Take Environmental Interactions into Account.” *Mov Ecol* 7 (1): 16. doi:10.1186/s40462-019-0161-9.
- Powers, David Martin. 2011. “Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness and Correlation.”
- Sander, Jörg, Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, and Xiaowei Xu. 1998. “Density-Based Clustering in Spatial Databases: The Algorithm GDBSCAN and Its Applications.”
- Sasaki, Yutaka. 2007. “The Truth of the F-Measure.” *Teach Tutor Mater* 1 (5): 1–5.
- Schamel, Johannes, and Hubert Job. 2017. “National Parks and Demographic Change – Modelling the Effects of Ageing Hikers on Mountain Landscape Intra-Area Accessibility.” *Landscape and Urban Planning* 163: 32–43.
- Spaccapietra, Stefano, Christine Parent, Maria Luisa Damiani, Jose Antonio de Macedo, Fabio Porto, and Christelle Vangenot. 2008. “A Conceptual View on Trajectories.” *Data & Knowledge Engineering* 65: 126–46.
- Stankowich, Theodore. 2008. “Ungulate Flight Responses to Human Disturbance: A Review and Meta-Analysis.” *Biological Conservation* 141 (9): 2159–73. doi:10.1016/j.biocon.2008.06.026.
- Taczanowska, K., L. M. González, X. Garcia-Massó, A. Muhar, C. Brandenburg, J. L. Toca-Herrera, and others. 2014. “Evaluating the Structure and Use of Hiking Trails in Recreational Areas Using a Mixed GPS

Tracking and Graph Theory Approach.” *Applied Geography* 55: 184–92.

Tietbohl, Andrey, Vania Bogorny, Bart Kuijpers, and Luis Otavio Alvares. 2008. “A Clustering-Based Approach for Discovering Interesting Places in Trajectories.”

Tolon, V., S. Dray, A. Loison, A. Zeileis, C. Fischer, and E. Baubet. 2009. “Responding to Spatial and Temporal Variations in Predation Risk: Space Use of a Game Species in a Changing Landscape of Fear.” *Can. J. Zool* 87: 1129–37.

Wong, David WS, and Qunying Huang. 2016. “Sensitivity of DBSCAN in Identifying Activity Zones Using Online Footprints.”

Yang, Xue, Luliang Tang, Kathleen Stewart, Zhen Dong, Xia Zhang, and Qingquan Li. 2018. “Automatic Change Detection in Lane-Level Road Networks Using GPS Trajectories.” *International Journal of Geographical Information Science* 32 (3): 601–21. doi:10.1080/13658816.2017.1402913.

Zheng, Yu, and Xiaofang Zhou. 2011. *Computing with Spatial Trajectories*. Springer Science & Business Media.

6. Article II – Eye-catching or breath-catching : role and landscape attributes of pauses differ among hikers’ profile when rambling in the mountains

Auteurs

- Colin Micol Kerouanton
- Laurence Jolivet
- Antoine Duparc
- Jean-François Lopez
- Mathieu Garel
- Clémence Perrin-Malterre
- Anne Loison

Manuscrit à soumettre

Summary

A hiker trajectory can be analyzed as a set of moves and pauses. When hiking in mountains, pauses can have several functionalities, with positive values for the hiker (such as pauses associated to snacks, social interaction, contemplation, rest) or negative impacts on hiker satisfaction, such as pauses associated to waiting for others in a group, or catching one breath due to lack of fitness. While the main pauses’ location and time spent there have been studied, as they constitute edges in the network of itineraries in an area and allow identifying hikers motivation to go out, other types of pauses have rarely been studied. Their number, duration, contribution to a hike, location in the landscape, for different typology of hikers, remains to be explore as a way to better understand their role in people pause-time budget, and satisfaction. Here, we studied the trajectories of mountain hikers from a pause point of view, based on GPS-trackers and questionnaires. We posited that the functionality of pauses should be approached at the within-trajectory level. Hence, we classified pauses by their within-trajectory ranks, and surmised that pauses with « eye-catching » function would all be close to where the longest pauses were located, while pauses further away were more likely to be « breath-catching » pauses imposed by the terrain, group dynamics and people fitness. We characterized the pauses classified as

longest, eye-catching and breath-catching by their landscape characteristics (slope, visibility, altitude, proximity to summits or passes). These characteristics were similar within each pause category (eye-catching pauses being at higher altitude, in shallow slopes, while breath catching pauses were in steep slopes with low visibility), which supported our classification. Further, we found that group size determined the number and total duration of pauses, with an additional influence of group age structure. Group gender composition also determined the probability of taking an eye-catching pause (men group stopping less in eye-catching locations) and the duration of breath-catching pauses. Cumulated duration in breath catching pauses made up one fourth of the pause duration on average. The location of eye-catching pauses depended on their rank within a trajectory : the longest was more likely to be close to summits, while the second longest and shorter pauses were more diversely distributed. We believe a better assessment of the functionality of pauses should be pursued, especially in the context of hike planning, time budget, group dynamics and satisfaction. The duration of breath catching pauses may be hard to predict ahead, yet may lead to dissatisfaction and increase risk. In contrast, the factors (perception of risk, aesthetic, number of other people) improving enjoyment and well-being during a hike, likely to be felt in eye-catching pauses, need to be better identified.

Introduction

Mountain areas provide great opportunities for the development of nature-based recreation (Martín-López et al. 2019), which has been increasing and diversifying in the last 2 decades (Hautbois, Mao, and Langenbach 2009; Hunziker and Zeidenitz 2006). Walking in general appears to contribute to human well-being (Hanna et al. 2019), and mountains are considered as natural places to escape the hassle of crowded urbanized areas, as a playground for leisure sports, and are sought after for their scenic beauty (Beza 2010; Nepal and Chipeniuk 2005; Scarpa et al. 2000; Schirpke, Tasser, and Tappeiner 2013). Meanwhile, they are also important assets in terms of biodiversity and comprise a large number of protected areas worldwide with a variety of protection status (Héritier and Laslaz 2008). Combining conservation and recreation encompassing different types of outdoor activities can however be conflicting (Martín-López et al. 2019; Reis and Higham 2009), as impacts of recreationists are manifold, through e.g. trampling, disturbance of wildlife, or pollution (Hammit, Cole, and Monz 2015). Recreation ecology, a field of study that rose in the late 20th century (Hammit, Cole, and Monz 2015; Liddle 1997; Manning 2010) aims at better evaluating the potential impact of recreationists on their natural environment (Depraz 2008; Monz and D'Antonio 2009; Kerlinger et al. 2013) and managing nature-based tourism, an endeavor that calls for a better understanding of recreationists motivation and behavior (Hanna et al. 2019).

Studies of hikers in the realms of sport, tourism, recreation ecology, and landscape management have been performed based on multiple techniques such as direct observations, questionnaires, interviews, and, in the last decades, using GPS tracking devices (J. A. Beeco, Huang, et al. 2013; Dodge, Weibel, and Lautenschütz 2008; McArdle et al. 2014; Shoal and Isaacson 2007; Spangenberg 2014). Combined with the development of computer capacities, GIS and statistical tools, vast amount of data provided by such automatically recording devices can now be analyzed, helping to identify different characteristics of individual trajectories in a landscape (Spangenberg 2014). Hence, it is now becoming possible to collate different sources of data, which is as a powerful way to get a more comprehensive overview of outdoor activities from multiple point of views (Clayton et al. 2017; Hanna et al. 2019) focusing on the people (e.g. who they are, why they come, their knowledge, opinions and attitudes towards nature), on their interaction with their environment (e.g. where they go, how they behave, how they feel) and on their impact (trampling, disturbing, polluting). These three points of views should be tackled together for enabling stakeholders to implement management actions leading to a better interaction between human activities and environmental conservation (Hanna et al. 2019).

The trips of hikers in the mountains are commonly assessed through different components linked to their mobility (hiking speed along their hike), time-budget (total hiking time, allocation of time to different activities, time of departure), and space use (use of paths or walking off-path). These different components should vary depending on people goal, motivation, age, fitness, and socio-demographic characteristics (Bolduc 1973; Schamel and Job 2017; Taczanowska 2009). For instance, people motivated by training outdoor should move faster, keep on track, allocate a

limited amount of time to pauses, while family with kids or large groups may move at a slower pace, be noisier, and choose sought-after scenic areas for longer lunch and snack pauses (Orellana Vintimilla 2012). In all cases however, the topography of mountains imposes constraints on time allocation (Chhetri 2015), born upon individuals differently depending on their fitness. Some of a hike's characteristics, and most specifically the amount of stops along the way, may therefore not result from actual choices, but from the physical need to rest or wait for lesser-trained persons in a group. While the trajectory of a moving entity (e.g. a hiker) is made of spatial coordinates and timestamps (Zheng and Zhou 2011) often summarized through descriptive statistics such as speed, distance, or sinuosity, it can also be viewed as a succession of moves and pauses (Buard 2013; Dodge, Weibel, and Lautenschütz 2008; Spaccapietra et al. 2008; Tietbohl et al. 2008). The latter have been less under the focus of studies than moves per se, apart from the main stops (usually when reaching the target of the hike), though they are an intrinsic component of an itinerary and of the time-budget of hikers. We posited here that studying the distribution, duration and landscape attributes of all pauses, not only the main ones, should give an original insight on how people cope with the trade-off between the physical difficulty inherent to walking in the mountains (Chhetri 2015) and expected rewards due to reaching their initial target. From a manager point of view, it should also help identifying not only the obvious attracting places that people planned to get to ahead of their hike (e.g. scenic viewpoints, mountain huts, summits), but also where resting places occur along a hike's trajectory. If the location of pauses resulting from people's need to catch their breath are predictable, managers could both identify them in the landscape, advertise them as landmarks or intermediate goals, and possibly develop them with short information posts or resting facilities.

Within this framework, our endeavor here was to combine an analysis of mountain hikers' trajectories obtained by GPS-tracking devices to questionnaires in order to (1) identify the spatio-temporal characteristics of pauses within each mountain hiker trajectory and thereafter, attribute different functionalities to pauses, (2) understand how hikers of different age, gender, group size, or experience, partitioned their trajectories into pauses of different functionalities, (3) analyze the distribution of pauses of different functionalities at the landscape scale to provide managers with new suggestions on where to develop trails and for whom. For the first step, we considered each trajectory as made of pauses and moves, and then focused on pauses only. To identify the « functional » role of pauses along a recovery to contemplation gradient, we made the important assumption that this role was not defined by a pause's duration per se, but by its ranking within each trajectory (from the longest to the shortest pause) and its position in the landscape. We first used the location of the longest pauses to identify the main sought-after areas in our study site, that should include the points of interest indicated on maps (mountain huts, passes and summits) as well as other less conspicuous areas. Then, we classified the pauses of lower ranks as close or far away from these sought-after areas, and proposed a classification of all pauses depending on both their rank and position relative to sought-after areas. Once all pauses were classified, we tested whether classes of pauses differed in terms of temporal characteristics (when they occurred during the day) and landscape characteristics (proxies of scenic beauty, slope, altitude). While the longest pauses should allow us to identify the « eye-catching » places,

the location of low-ranking pauses far away from the scenic areas should inform us of the location and characteristics of « breath-catching places », which we expect to occur in the strenuous sections of trajectories.

The second step of our analyses was to determine whether pauses characteristics, accounting for our proposed typology, differed among hikers. To do so, we collated the pause dataset with hikers' individual or group characteristics obtained from a questionnaire, and tested whether the number of pauses in a trajectory, and pauses duration and location varied depending on individual gender, age, group size and composition, experience, and individual sensitivity to wildlife observation. Finally, based on the outcomes of these two steps (step 1 : analysis of pauses spatio-temporal characteristics and proposition of a pauses typology, step 2 : relationship between pauses and hikers characteristics), we adopted a more encompassing viewpoint of the combined trajectories at the study site level allowing us to identify clusters of pauses by their functionality at the landscape level. This should help the development of tracks and guiding information for the different types of hikers.

Material and Methods

Study area

Our study site is a protected area within the « Parc Naturel Régional du Massif des Bauges », in the northern French Alps (45.65°N, 6.23°E). This mountain massif has a maximum altitude of 2200 m. The highest summits are mostly found in an area with a special protection status, a National Game and Wildlife Reserve (NGWR), where hiking off-tracks and bringing dogs along are prohibited. We focused on two networks of trails in the NGWR, called thereafter Site 1 and Site 2, each of them corresponding to a parking lot used as the main trailhead for hikers to reach several summits > 2000 m (Site 1 : Trélod at 2180m ; Site 2 : Pécloz at 2200 and Armenaz at 2180 m). Trails starts at relatively low altitude (900 m), wandering through the forest, before reaching alpine pastures at higher altitude (ca. 1600 m). The scenery from the highest peaks encompasses the highest peaks of the Alps, among which the Mont-Blanc. We identified 4 (Site 1) and 5 (Site 2) possible points of interest (POI) that could be targets for hikers, such as summits, building (mountain huts) and passes (Fig. 6.1).

Data collection and trajectory attributes

During summers 2014 and 2015, we asked hikers to carry a gps tracker IgotU GT-120 during their activity, and to answer a sociological questionnaire once their hike was over. Questionnaires aimed to get information about the composition of the hikers' groups, a socio-demographic description, their motivation, their knowledge of wildlife and site regulations. When hikers were not alone, only one of them carried a GPS but questionnaires were distributed to all members of the group. The trajectory was associated with the whole group, and not the carrier of the

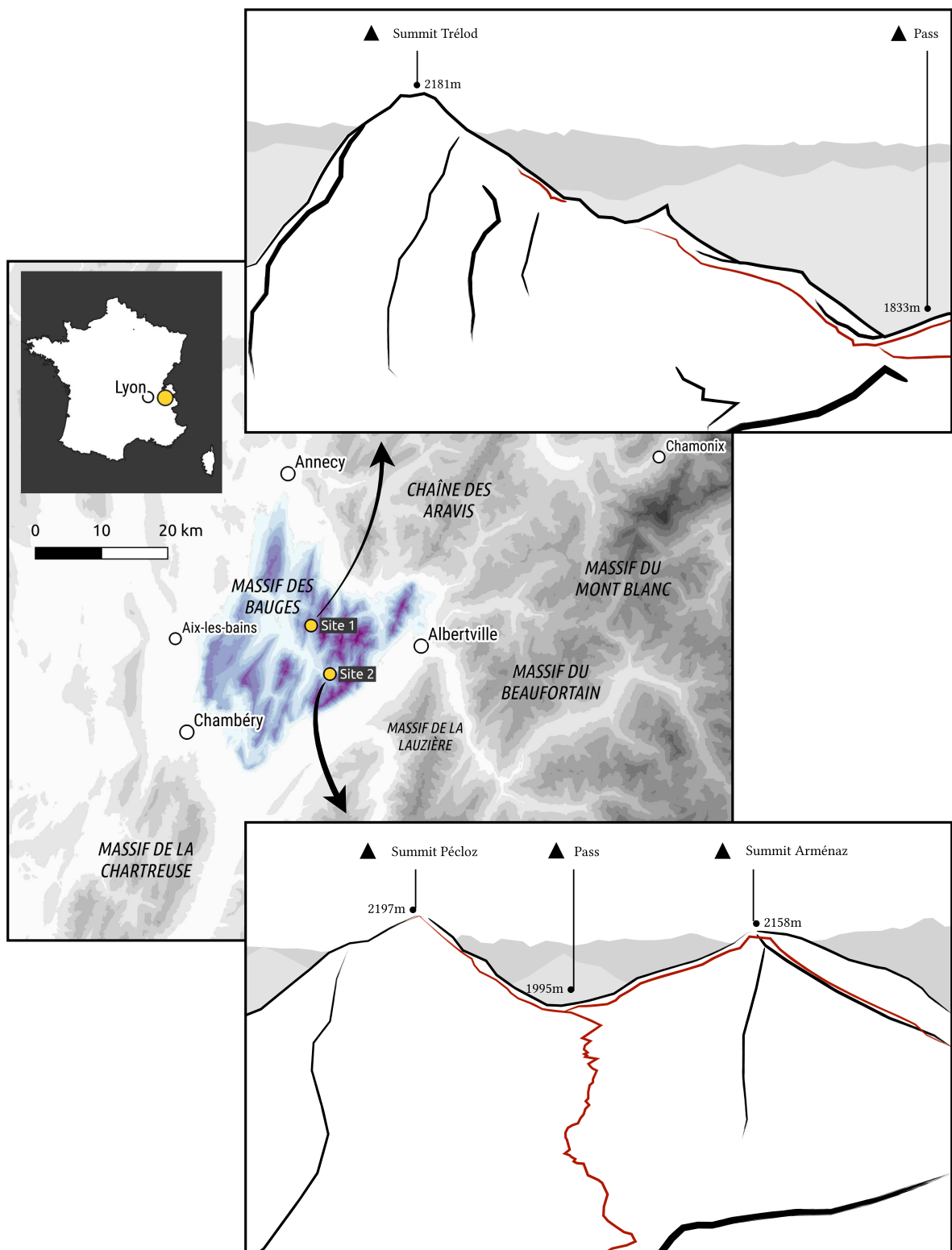


FIGURE 6.1. – Map of the study area with its location in France. Insert : schematic representation of the 2 study sites with their summits and passes

tracker alone. We alternatively sampled the two sites on 21 days over the two summers (site 1 = 10 days, site 2 = 11 days), from 8 :00am to 5 :00pm.

The GPS devices were programmed to record fixes every 10 seconds. One trajectory corresponds to a series of fixes (linearly interpolated or not) from the GPS device for one carrier within one day. We collected 282 GPS tracks on the two sites. We used 109 GPS trajectories out of these 282 tracks, selecting only those going further than 2 km from the trailhead, and intersecting the two alpine pastures from sites 1 or 2 (Fig. 1). We estimated a mean error of 19.35 meters for the trajectories (95% of the raw data), error being calculated as the mean distance to the hiking path. Since some GPS-trackers were returned without hikers being willing or having time to answer the questionnaires, we could only use 69 groups questionnaire to combine the socio-demographic data to the trajectory dataset.

Trajectories attributes were calculated from GPS data (duration of the hike, hour at departure and arrival). Based on the questionnaire, we kept the following variables : group age, group size, gender diversity (men only, women only, mixed group), observation of wildlife during the hike (yes or no) and if hikers did pause or not for observing wildlife. Given that few respondents observed wildlife, we aggregated the two last answers into 3 categories : “ long pauses (>10 min) for observation of wildlife”, “ short (>3 min) or no pauses when encountering wildlife”, « no wildlife encountered ». For group age, we combined age data of members of the group (minimum, maximum and mean ages), into a unique variable calculated from a hierarchical clustering, and aggregated for middle age groups (Appendix 1).

Processing of GPS data, identification of pauses and pauses' attributes

Within each trajectory, we considered that pauses were GPS points that were spatially and temporally clustered. We used the density-based clustering method ST-DBSCAN to detect the pauses (Birant and Kut 2007). This method is a temporal update of the DBSCAN algorithm (Ester et al. 1996) which is largely used in spatial clustering applications (McArdle et al. 2014 ; Tietbohl et al. 2008). ST-DBSCAN parameters are the same as DBSCAN : neighborhood maximum distance (Eps) and the minimum number of GPS points in a pause (MinPpts), to which is added a temporal window (Eps2) in order to discriminate spatially closed though temporally far points. The ST-DBSCAN algorithm sensitivity has been previously tested with several parameter values combinations (Kerouanton et al. 2017) and compared with a defined expert truth. Based on this study, we applied a combination of parameters which has a probability of error for detecting hiker pause (superior to 3 minutes) less than 9% . Here, we consider a hiker pause as a place where a hiker would stop for more than 3 minutes. The parameter minPts has been set to 17 GPS points, eps to 6 meters, and eps2 to a temporal window of 500 seconds. We defined a medoid to every cluster detected as a pause in order to handle one representative point for a set of points. A medoid is a point attribution for the nearest GPS recorded point to the median of the GPS points within the cluster. We aggregated iteratively all pauses detected from a same trajectory which are located less than 60 meters and less than 4 min apart from each other, to account for

GPS-errors.

Every pause, located by its medoid, was associated with temporal and biophysical metrics. The temporal metrics were GPS trajectory id, starting time, ending time, duration, when it occurred during the day (hour), and when relative to the whole duration of the trajectory (in percentage of the total duration). Each pause was also ranked by decreasing duration within a trajectory. To get biophysical variables at the location of each pause, we used the DEM to extract the altitude, the slope value, and a visibility index at the medoid. We defined the visibility index as the total surface of pixels seen from the pixel corresponding to the location of a pause. Computing were made with the viewshed function of Pixscape software (Sahraoui et al. 2018). Inputs were a sampling grid on study sites, the DEM (5 m resolution) limited to 70 km around the hiking sites, and the vegetation map parameterized with a forest height equal to 15 m. We then interpolated visibility values (width = 5 m) with QGIS program. We also calculated the spatial proximity of pauses to the points of interest identified on the 2 study sites (summits, pass, mountain huts, Fig. 6.1).

Once all pauses in a trajectory and their associated spatio-temporal metrics were identified, we also estimated two metrics at the trajectory level : the total hike time spent in pause and the number of pauses.

Defining categories of pauses and their spatio-temporal characteristics

As explained in introduction, we proposed an a priori typology of pauses within a trajectory based on both pauses rank and relative position to the longest pause. We assumed that the longest pause of a trajectory (pause of rank 1, thereafter denoted P1) should allow us to identify the sought-after areas in the landscape, i.e. those where hikers aim to end up for enjoying the view and/or their achievement, share a moment with other participants, or rest after a difficult physical effort. Whether other pauses are located in these sought after areas should therefore help us identify whether the other pauses are « eye-catching » pauses, or « breath-catching » pauses. In the following and for the sake of simplicity, we noted P1 the longest pause, P2 the second longest pause and P3 all pauses of lower ranks. Having identified P1s and their location, we then split pauses of lower ranks depending on their distance to any P1 location, calling P2A and P3A pauses that were close to a P1 location, and P2B and P3B all other pauses that were further away from any P1 location (Fig 6.2A¹). We defined a threshold distance of 30 meters to split pauses

1. (A) Schematic representation of pause by category. P1 : longest pause, red circle ; P2 : second longest pause, square- yellow for P2A, i.e. close to P1s locations, blue for P2B, i.e. far away from P1s locations ; P3 : other pauses, triangle - yellow for P3A, i.e. close to P1s locations, blue for P3B, i.e. far away from P1s locations ; (B) Schematic diagram displaying the possible combinations of pauses categories. Every trajectory has a P1, but can only have a P2A or a P2B, and possibly several P3A and P3B pauses. (C) Proportion of the total duration of pauses spent in the main pause P1, in eye-catching pauses (P2A and P3A, in yellow) and in breath-catching pause (P2B and P3B, in blue). We provide the percentage of trajectories for trajectories with only a P1, a P1 and eye-catching pauses only, a P1 and breath catching pauses only, a P1 and both eye-catching and breath catching pauses. For each of these groups of trajectories, we also give the average percentage of total pause time spent in each pause category (dark red : in P1, darkblue : in breath-catching pause ; grey : in eye-catching pause)

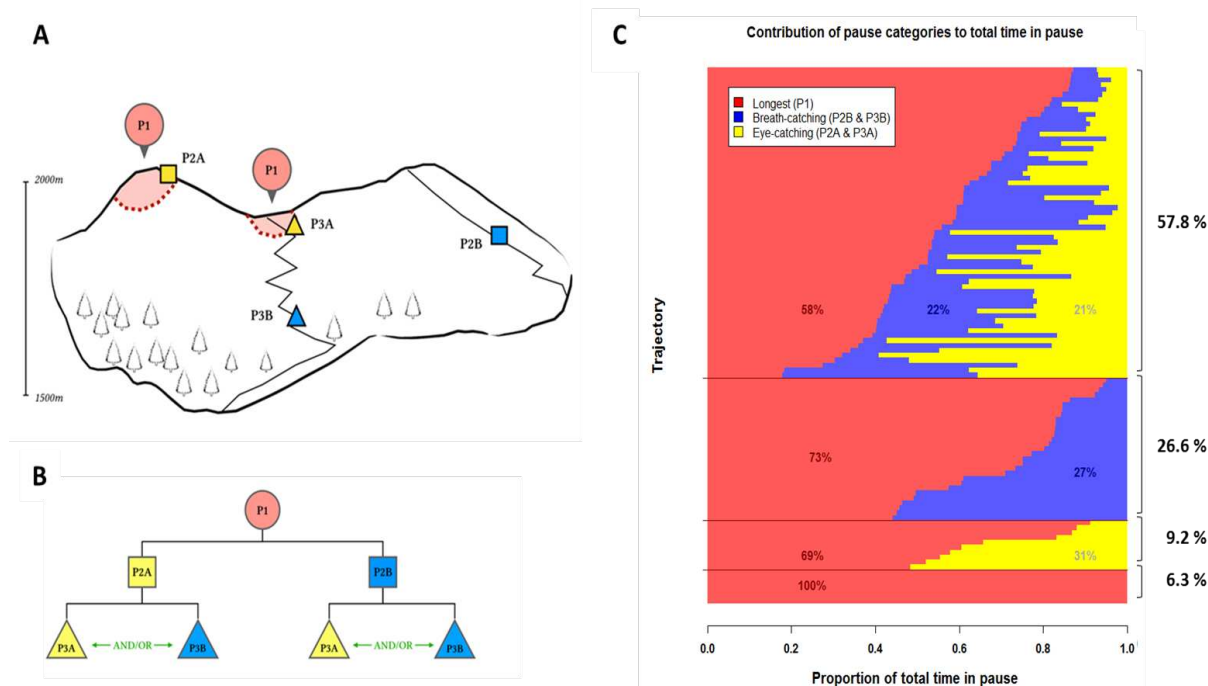


FIGURE 6.2. – Schematic representation of pause by category (A), possible combinations of pauses categories (B) and proportion of the total duration of pauses spent in the categories(C)

as close to P1 or further away, based on the distribution of distance between P1 and either P2 or P3 (Appendix 2A). We repeated the analyses described below with other threshold values (20m, 50m) to check that the main patterns were robust regarding this threshold values (see Appendix 3 for Fig. 4- from the result section- drawn with 20m and 50m for a comparative purpose). We hence ended up with 5 categories of pauses (P1, P2A, P2B, P3A, P3B) using 2 criteria (rank based on duration, and proximity to P1 location). Note that while a given trajectory can only have one P1 and either one P2A or one P2B pause, it can have several P3A or P3B (Fig. 6.2B).

Since our goal was to determine if our classification of pauses corresponded to a functional role as « breath-catching » or « eye-catching », we investigated the differences among pauses categories for a set of variables : duration, slope, visibility, altitude, hour, distance to POIs. For the latter variable, we estimated the distance between each P1 location and the points of interest (summits, paths, and mountain huts), and considered that a pause occurred at a POI if it was located within 30 m of a point of interest. This threshold was chosen both from the distribution of pauses distances to POIs (Appendix 2B) and for consistency with the threshold chosen above. Given that our typology of pauses was based on rank and relative proximity to P1, some trivial results were expected on duration and position : P1 should be on average longer than P2 and P3, and, if P1 locations are close to POI, then P2A and P3A should also be closer to POIs than P2B and P3B. In addition, as formulated in introduction, we expected P2B and P3B to be mostly in strenuous parts of an itinerary (steep slope, medium altitude).

We performed a between-class Principal Component Analyses (bPCA, Doledec and Chessel (1989)) with altitude, slope, visibility, proximity to a summit, and proximity to a pass as environmental variables, and pause categories as classes, whereby a permutation tests allowed testing whether the different categories of pauses explained a significant component of the PCA inertia (Figures and permutation test provided in Appendix 4).

We then tested for differences in all the spatio-temporal variables detailed above according to pauses typology, we performed generalized linear mixed models, with each spatio-temporal variable as a response variable, pause typology as a fixed explanatory variable, and trajectory ID and Site as random variables. For the sake of normality, we log-transformed the duration variable, and we logit-transformed visibility. For the proximity to POI variable, we used generalized linear mixed models with binomial family. We performed post-doc multiple comparisons between the different pauses categories using Tukey pairwise comparison tests.

Distribution and characteristics of pauses by hiker parties' profile

As a second step, we aimed at determining if hikers socio-demographics and characteristics of pauses were related. We expected the total duration of pauses, the proportion of time spent in pause, the duration of the different categories of pauses (P1, eyes-catching pauses P2A and P3A, and breath-catching pauses P2B and P3B) and the number of pauses to differ among hikers. Some of these variables were however strongly correlated (Appendix 5), such as the number of pauses and the total duration in pause or the proportion of time in pause, so we ran the models on the number of pauses only. We also tested whether the probability to make an eye-catching pause or a breath-catching pause to vary among hikers. The variables taken into account were group size, fitness level (quantified here through the frequency of practice), gender classes, age classes. We log-transformed pause duration and logit-transformed the proportion of the total hike spent in pause for the sake of normality (then used linear model), while the number of pauses was analyzed with a Poisson distribution and the probability to perform an eye-catching pause or a breath catching pause was analyzed with a binomial distribution.

Spatial distribution of pauses at the site level

As a last part of our study, we performed a site-level analyses of pauses location. Based on the location of all pauses we identified clusters of places of pauses. Those places are defined as areas where at least 5 hiker groups have stopped. We used DBSCAN in order to detect spatial clusters of GPS points, all trajectories combined. DBSCAN parameters were set with less restricted values : $\text{eps} = 25 \text{ m}$ and $\text{minPts} = 7$ than when we sought to identify pauses in a trajectory. We then applied a convex envelope on the spatial clusters medoids to delimitate areas that correspond to the clusters of pauses. All statistical analyses were performed with R version 3.6.1 (2019-07-05) using package lme4 when running mixed effects models (Bates et al. 2019) and the multcomp package for multiple comparisons of pauses categories (Hothorn et al. 2016). Means of

each variable are provided with standard errors.

Results

Descriptive statistics of trajectories

We detected 510 pauses from the 109 GPS-trajectories collected on Sites 1 and 2. Hikers had similar hours at departure in Site 1 and Site 2, but their hike differed by their distance, duration, and pauses durations (Table 6.1). Hikers made less pauses on Site 1 than on Site 2 (4.1 ± 0.25 vs 6.1 ± 0.60 pauses). Only 6.3% of the hiker parties made only 1 pause (Fig. 2C). The remaining parties took between 2 and 13 pauses. 9.2% parties made only P2A or P3A pauses (of « eye-catching » type, see table 6.1), 26.6% only P2B or P3B (of « breath-catching » type, see table 6.1), and 57.8 % both types of pauses (Fig. 6.2C).

TABLE 6.1. – Summary statistics for the trajectories collected by GPS-trackers for the two study sites (Mean and standard errors [min ; max]). The contrast between Sites was tested for pause duration with a t-test of log-transformed pause duration.

	Site 1	Site 2	Test (for pause duration)
Nb GPS tracks	77	32	
Mean hour departure	09 :30 [06 :52;12 :15]	09 :45 [08 :17;14 :12]	
Mean hour arrival	15 :22 [11 :27;17 :39]	15 :58 [13 :37;19 :02]	
Mean hour P1	12 :11 [09 :00;15 :57]	12 :50 [11 :32;16 :44]	
Hike duration (hour)	5.9 ± 0.2 [2.0;9.4]	6.2 ± 0.24 [3.1;8.6]	
Hike distance (km)	14.5 ± 0.24 [10.6;21.3]	15.5 ± 0.44 [11.2;20.5]	
Nb pauses	4.1 ± 0.25 [1 ; 13]	6.1 ± 0.6 [1 ; 13]	
Hike time in pauses (%)	$21.4\% \pm 0.01$ [3.4 ; 50.1]	$19.3\% \pm 0.01$ [3.4 ; 33.7]	
Duration P1 (min)	52.3 ± 3.1 [4.7 ; 141.2]	39.8 ± 4.5 [10.0 ; 101.5]	t=-1.96, P=0.05
Duration P2A (min)	15.7 ± 1.9 [3.3 ; 54.0]	15.4 ± 1.6 [5.5 ; 24.8]	t=0.69, P=0.49
Duration P2B (min)	13.2 ± 1.7 [3.0 ; 33.8]	$8.8 \pm 0.1.7$ [3.3 ; 19.5]	t=-1.24, P=0.22
Duration P3A (min)	7.5 ± 0.8 [3.0 ; 31.2]	7.4 ± 0.8 [3.0 ; 18.5]	t=0.31, P=0.76
Duration P3B (min)	5.2 ± 0.3 [3.0 ; 17.3]	5.3 ± 0.3 [3.0 ; 17.2]	t=0.57 ; P=0.57

Temporal and landscape characteristics of pauses classified by rank and position

The longest pause (P1) lasted 48.6 min on average (Fig. 6.3A), being longer on Site 1 (52.3 ± 3.1 min) than on Site 2 (39.8 ± 4.5 min, see Table 1 for tests), though they represented similar proportions of the total time in pause in each site (56% on Site 1, 53% on Site 2 on average). Most of the longest pauses P1 (64%) were located within 30 m of a POI, mostly in the vicinity of summits (58%, Fig. 6.3E), less so in the vicinity of passes (4%, Fig. 6.3F) or mountain huts (2%,

not represented). P1 pauses were located above 2000m on average (2088.93 ± 17.06 m, Fig. 6.3B), and on relatively shallow slopes (18.52 ± 1.01 degrees, Fig. 6.3C) and in high visibility spots ($73.98 \pm 2.36\%$ Fig. 6.3D). Most of them ($64.6 \pm 22.1\%$) occurred between 12 am and 2 pm.

Pauses of rank 2 (P2) were slightly longer when close to a P1 (P2A : 17.69 ± 1.52 min) than further away (P2B : 12.15 ± 1.17 min, pairwise comparison marginally significant, $P=0.07$, see Table 6.2 for detailed tests, Fig. 6.3A). P3 pauses differed depending on their relative position to P1, P3A lasting longer (7.78 ± 0.76 min) than P3B (5.51 ± 0.21 min; Table 6.2, Fig. 6.3A). Duration of pauses P2 and P3 did not differ by Site (tests in Table 6.1).

As expected from how we defined them, P2A and P3A shared some of P1 landscape characteristics, such as the proximity to POIs (49% and 54% respectively), relatively high altitude and visibility, and shallow slopes (Fig. 6.3B-D, Table 6.2 for pairwise comparisons). Yet, P3A were lower in altitude (1945.57 ± 33.46 m) and on spots with less visibility ($52.55 \pm 5.06\%$ of the highest visibility) than P1 (see values above) or P2A (altitude : 2049.44 ± 35.21 m, visibility : $64.85 \pm 5.44\%$)- Fig. 6.3. P2A and P3A were actually on similar slopes (P2A : 16.06 ± 1.86 degrees; P2B : 16.05 ± 1.39 degrees).

Pauses of categories P2B and P3B had similar landscape characteristics one to another (altitude : P2B : 1798 ± 31.01 m; P3B : 1723.66 ± 17.99 m; visibility : P2B : $42.50 \pm 3.38\%$; P3B : 35.37 ± 1.77 ; slope : P2B : 23.80 ± 1.43 degrees; P3B : 24.52 ± 0.63 degrees), but differed significantly from P1, P2A and P3A for these characteristics (see Table 6.2 for multiple post-doc comparison tests, Fig. 6.3).

The temporal and landscape characteristics of pauses validated our second hypothesis that shortest pauses P2B and P3B were breath-catching pauses located in difficult sections of the itinerary. For the sake of simplicity, we positioned the different pauses on a slope vs visibility figure and a on a proximity to a summit vs proximity to a pass figure (Fig. 6.4 - see Appendix 4 for the positioning of the pauses by category on the between-PCA map). These figures clearly highlight that P1, P2A and P3A share « eyes-catching » characteristics, on shallow slopes with high visibility, close to POIs and P2B and P3B share « breath-catching » characteristics on steep slopes with low visibility, further away from POIs.

Sociological differences on spatio-temporal patterns of pauses

The number of pauses, the duration of the longest pause P1 and the duration of breath catching pauses (for groups that took the latter) all increased with group size (Table 6.3). For instance, largest groups made on average 3.4 more pauses and spent 40 minutes more in pause than single individuals (Fig. 6.5). The duration of breath-catching pause actually increased by group size only among parties with people practicing during holidays only, but frequent hikers in any group size had similar duration of breath-catching pauses (12.2 minutes, between 9.9 and 16.6 minutes, Fig. 6.5). Single holiday practitioners actually had shorter breath-catching pauses (5.6 min of cumulated duration of breath-catching pauses) than single frequent hikers (16.6 minutes).

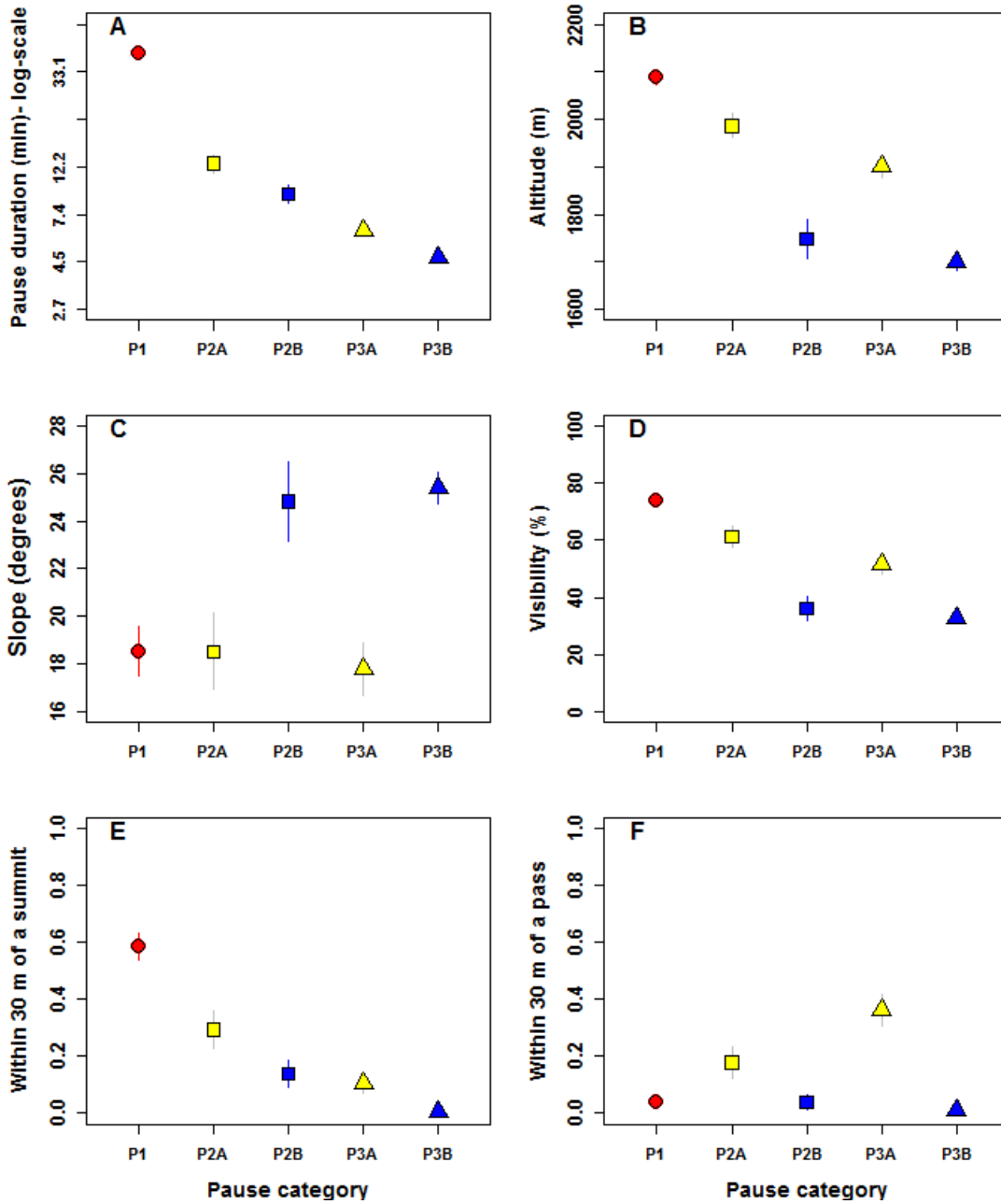


FIGURE 6.3. – Pauses characteristics (\pm se) by pause category. (A) Duration (log-scaled); (B) Altitude; (C) Slope; (D) Visibility; (E) Proportion of pauses within 30 m of a summit; (F) Proportion of pauses within 30 m of a pass.

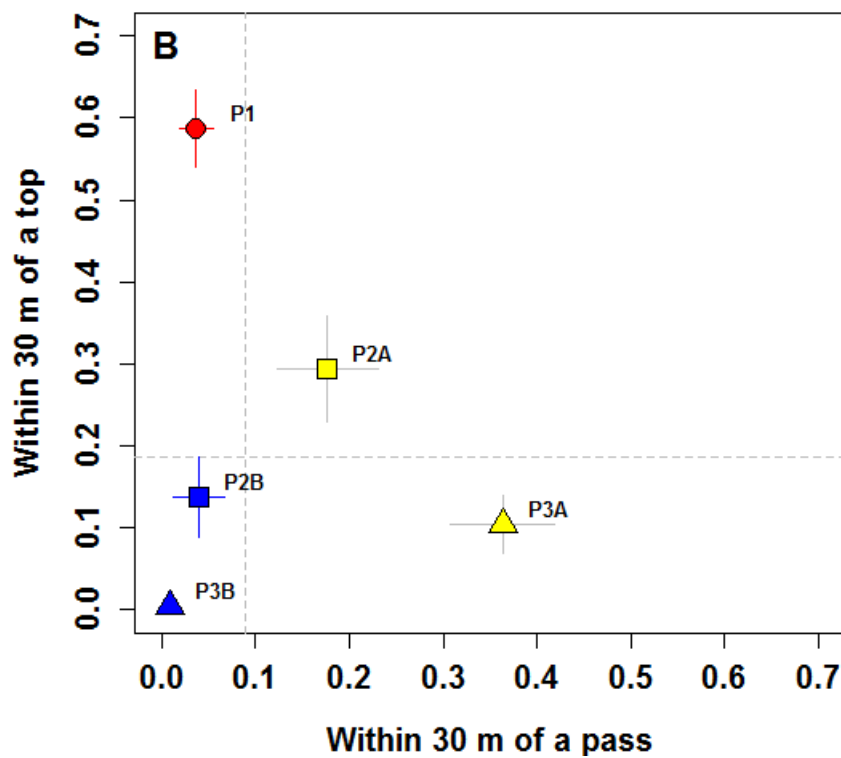
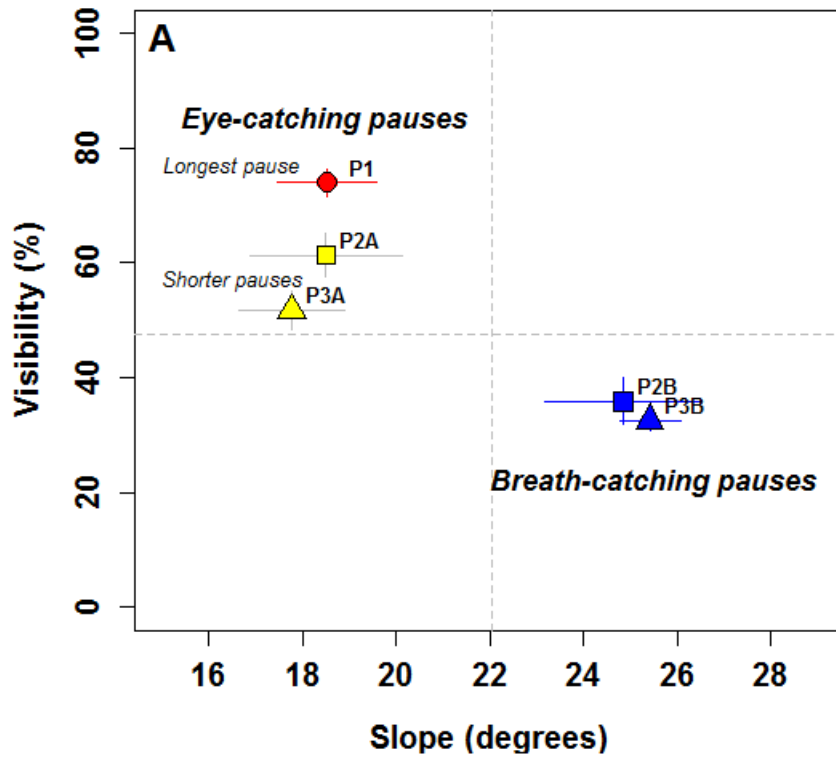


FIGURE 6.4. – Pauses categories positioned according to (A) average slope ($\pm se$) and visibility ($\pm se$) and (B) Probability to be within 20m of a top vs probability to be within 30m of a pass. Vertical and horizontal dashed lines indicate the average values X and Y axes over all pauses. Shapes correspond to pause ranking (circle= P1, square : P2, triangle : P3) and colors to the position relative to P1 (red : P1, yellow : close to P1, blue : far from P1) – see Fig. 6.2.

Interestingly, group size did not play a role in the probabilities for a party to make an eye-catching or a breath catching pause.

These probabilities were influenced by the age typology of a group : families made less eye-catching pauses (51%) than all other groups (93%, 86% and 91% for Middle aged, Old, and Young groups respectively-predicted values for mixed-gender groups), while Middle-aged parties were less prone to make breath catching pauses (72% vs 100% for families and old groups and 94% for young groups, Fig. 6.5). Overall, young and old groups were the ones taking the largest number of pauses (7.9 and 6.5 pauses respectively, vs 5.0 and 5.5 for families and middle aged groups-predicted values for group size between 3 and 5), taking both eye and breath-catching pauses (Table 6.3, Fig. 6.5). Group gender composition was of little influence on pauses statistics, though mixed-gender groups were more prone to make eye-catching pauses than men-only groups (93% vs 72 % respectively, for middle age groups for instance) and stopped for a shorter duration when taking breath-catching pauses (14 min vs 26 min respectively- predictive values for groups of 3-5 persons of frequent hikers, Table 6.3, Fig. 6.5).

The frequency of practice was only retained in the best model for the duration of the breath catching pauses, in interaction with group size (Table 6.3). As explained above, this was displayed by a group size effect on breath catching pause duration only among groups with holiday-only practitioners (Fig. 6.5).

None of the pause statistics varied depending on whether groups had seen wildlife and whether they declared having stopped for a short or a long time (models where wildlife encounter was added to the best models were never within 2 units of AIC of the retained model, hence are not included in Table 6.3).

Identification of pauses hotspots

Sixteen clusters of pauses were detected with DBSCAN, 8 on each sites. These clusters enveloped about half of the pauses (251 of the 510 pauses), and 72% of pauses >10 min. The total surface of these 16 clusters is 5946m². Considering that a majority of pauses and 72% of long pauses are located on less than 6000m² across the two study sites, we interpret this as an evidence for hotspots or centers in spatial patterns of pauses, scattered along the hiking paths. We represented on figure 6.6 the density of pauses by function, showing the heterogeneous spatial distribution of P1 pauses and eye-catching pauses, and the homogeneous spatial distribution of breath-catching pauses.

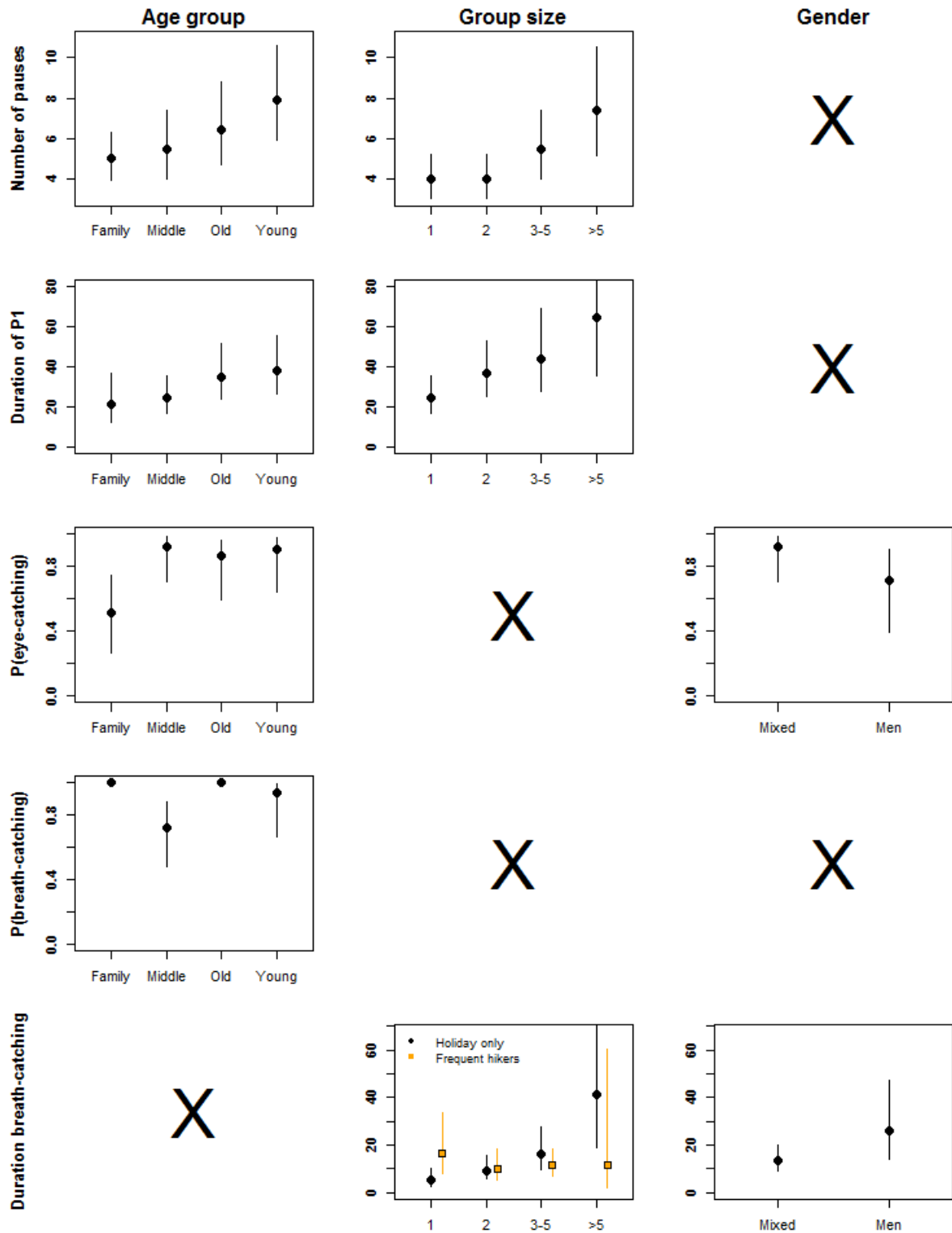


FIGURE 6.5. – Effects of Age group, Group size, and Group gender composition on the Number of pauses, Duration of the longest pause P1 (min), probability to make an eye-catching pause, probability to make a breath catching pause and duration of breath catching pauses (min). Predicted values from the retained model (Table 6.3) are displayed with the confidence interval of the predicted values. The panel is empty (a cross is displayed instead) for factors that had a non-significant effect on the response variable.

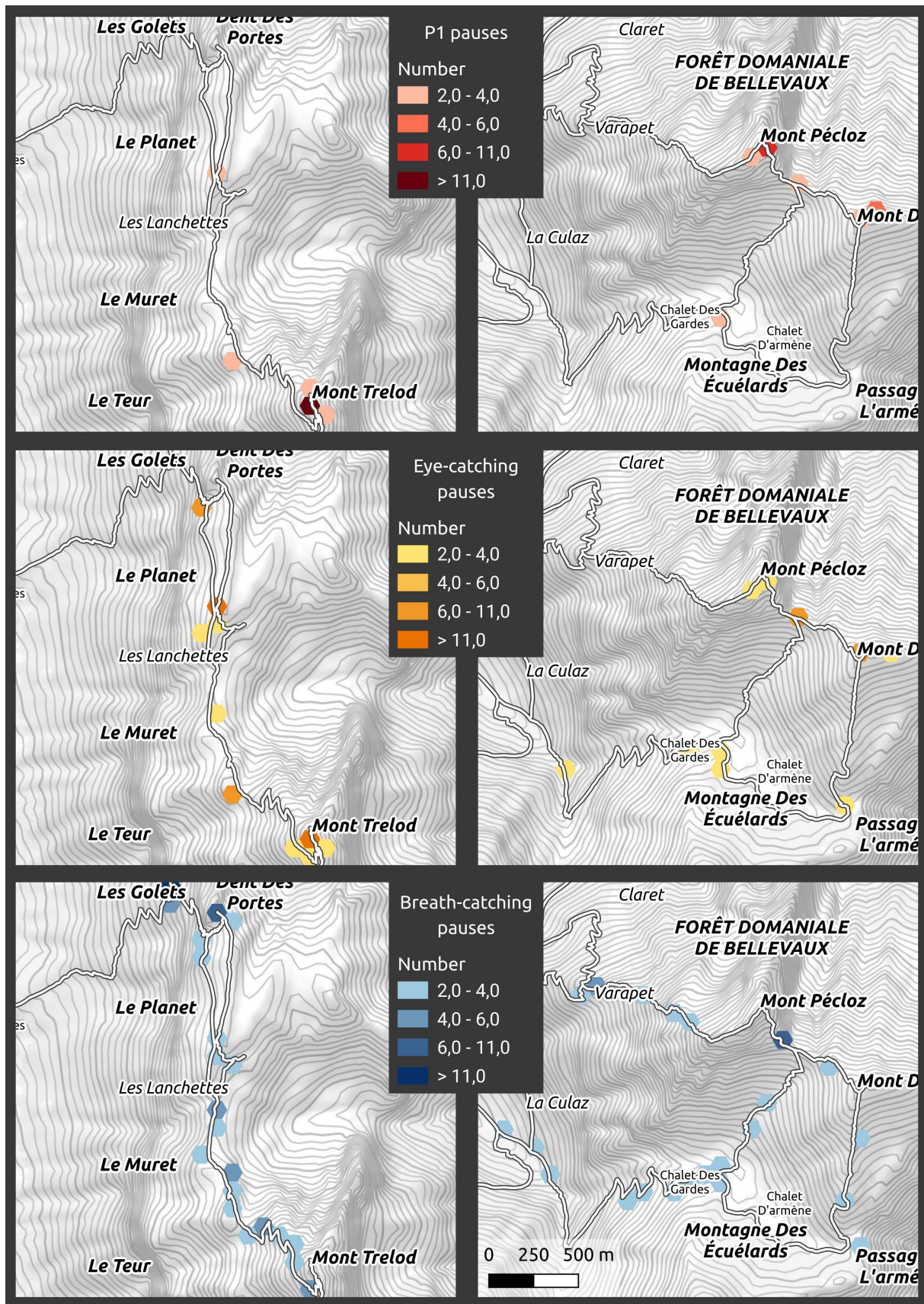


FIGURE 6.6. – Locations of the longest pauses (P1 in red), the eye-catching pauses and (in yellow) and of the beath-catching pauses (in blue) in the 2 study sites.

Discussion

What can be discussed about the findings and the typology

Mountains are strenuous and rewarding for hikers. Hiking in the mountains is indeed a complex physical and emotional experience (Brown 2019; Syarstad 2010), intertwining enjoyable with physically taxing moments. We contend here that hiking trips can also be deciphered through a pause perspective, not only a moving one, as pauses are where relaxing, scenic moments are experienced (Kaplan 1979; Ulrich 1986), as well as revealing where the physical constraints imposed by the arduous terrain on hikers are greatest. While the allocation of time to the longest pause and other scenic pauses can result from a choice made by a party ahead of a hike or on the spot, the allocation of time to pauses imposed by the lack of fitness of an individual or his/her hiking companions, may come as a constraint rather than a choice. These constraints can negatively impact the enjoyment derived from a hike. For instance, a too high intensity can decrease the pleasure drawn from an exercise (Ekkekakis, Parfitt, and Petruzzello 2011). Below, we discuss our definition and methods to identify pause functionalities. We then delve on the landscape attributes of pauses of different functionalities and interpret the differences in the pause composition of each trajectory by socio-demographic characteristics of hikers group. Last, we postulate that identifying the distribution of both eye-catching and breath-catching pauses should help informing different groups of hikers of the difficulty they may encounter and where, and possibly help managers to develop better hiking information, so that breath-catching pauses may less be seen as constraint and burden for those that engage in an arduous hike.

Range of pauses detected by our methodological approaches

We chose a « trajectory » approach for our analyses, which views the itinerary of a hike as a set of pauses and moves (Spaccapietra et al. 2008). We decided to detect pauses with ST-DBSCAN which is simple, fast to implement, and produces robust spatio-temporal clusters (when the minPts criteria is high). Therefore, we applied the algorithm with the same parameters on the whole dataset that have GPS tracks with different speeds. In the future, it could be improved by adapting parameters (Karami and Johansson 2014; Li et al. 2018) to trajectories metrics such as speed, mean distances, sinuosity, slope. ST-DBSCAN runs with spatio-temporal points, which have to be regular. Irregular GPS timestamps would make ST-DBSCAN use irrelevant as it is only based on points density. Due to our choice of parameters, we detected pauses above a threshold of 3 minutes. Decreasing this threshold may increase the likelihood of identifying artefact pauses, given the error of GPS fixes and the winding nature of tracks in mountains, especially in steep sections. Given the fast-increasing reliability and precision of GPS-trackers though, better assessment of very short pauses may be possible in the future. Pauses shorter than 3 minutes may be breath-catching pauses for single hikers that do not need to wait for slower members in a group, or for parties composed on fit-only hikers. While these pauses may have the same functionalities for fit hikers as short but >3 min pauses for less fit hikers, they

would not contribute to a high proportion of the total time in pause.

Breath-catching pauses : a neglected component of a hiking trip

One of our main choice to find differences among pauses characteristics was to perform a ranking of the pauses by their relative within-trajectory duration, rather than considering pauses by their duration over the whole dataset. In addition, we segregated pauses not only by their rank, but also by their position relative to the longest pauses, our main goal being to test a posteriori that our categories were meaningful in terms of functionality and landscape characteristics. With this viewpoint, we showed that the duration of the pauses of ranks ≥ 2 differed depending on where they were in relative to the longest pause, and were therefore shortest when in steep slopes where visibility is low. We interpret this as signifying that these pauses were mostly not taken for pleasure, but as a response to the GPS-carrier physical limitation or the waiting of other members of the group. We did not find any other internationally published study estimating the contribution of such pauses to the total amount of pause duration during an outdoor activity. Surprisingly, the cumulated duration of such breath-catching breaks made up about one quarter of pause time, an amount that could go up to half of their pause time (Fig. 6.2C). When planning ahead, hikers may be aware of how fast they hike uphill and downhill on average (most probably breath-catching pauses included), but it would be interesting to delve deeper on hiker awareness of the time taken moving versus stopping, and to better grasp whether such pauses are seen as a burden and a displeasure, and are considered as an unavoidable and well-accepted part of a hike in the mountain. Indeed, prior knowledge of a route difficulty may be key for hikers to engage in an itinerary (Hugo 1999 ; Slabbert and Du Preez 2017). We also surmise that one could be aware of one's need for breath-catching pauses, but less so of the need for others in their group. If short pauses in steep slopes are also moments to wait for others in a group (Schamel 2015 in Schamel and Job (2017)), this could lead to tensions and impact group cohesion, a primary determinant of safety in mountains (De Decker, Tölken, and Roos 2017).

We grouped all pauses (of rank ≥ 2) away from scenic areas as « breath-catching » pauses whatever their within-trajectory ranking. This grouping was supported by the surprisingly similar landscape characteristics among these pauses (similar slope, visibility and altitude, Fig. 6.4). Yet, the duration of such pauses that we interpret as pauses imposed by the interaction of terrain, group dynamics, and people fitness, lasted about 10 minutes on average, and up to 33 minutes. It is likely that the longest of these pauses may be breaks made voluntarily (i.e. independent of hiker's fitness or group dynamics), for instance in case of windy weather, cloudy summits, or overcrowded tops or passes. The circumstances during which the longest of these breath-catching pauses of rank ≥ 2 occur and their function within a group's hike need to be explored further, in a group dynamics perspective, a time-budget approach (within the time-geography framework, Hägerstrand (1970) and Schamel and Job (2017)), as well as from a terrain point of view. New more focused questionnaires, interviews, or other investigating approaches (e.g. on-board experience sampling methods (Doherty, Lemieux, and Canally 2014), shared experience (Chanteloup et al. 2016), mobile ethnography (Brown 2017)) would be most

helpful in this context.

Eye-catching pauses : homogeneous landscape characteristics but different positions relative to the Points of Interests

Given how we segregated the pauses of ranks ≥ 2 , it was expected that pauses overlapping with any of the main pause locations (which we categorized as « eye-catching » pauses) were also situated on scenic spots. Yet, they differed in terms of distance relative to POIs. Summits are where most of the long pauses and second longest pauses occurred, while third longest pauses occurred closer to passes. That pauses occurred at such spots is no surprise. Hikers are attracted in mountain by landscape scenic values, best appreciated from location with high long distance visibility (Schamel and Job 2017; Schirpke, Tasser, and Tappeiner 2013). Multiple summit edges influence human preference (Hammitt, Patterson, and Noe 1994), as do scene complexity, coherence (Kaplan 1979) and viewpoints (Ulrich 1986). Ulrich (1986) and Kaplan (1979) both underlined the tendency to prefer landscape where users can imagine « what is beyond ». Hammitt, Patterson, and Noe (1994) used test based on photos to explore those preferences, and our results from spatio-temporal GPS patterns support that landscape complexity is probably a pull factor for visitors. Places of high visibility were likely to be chosen for midday pauses when the longest pauses occurred. POIs may be conducive to contemplation, being part of the mountain aesthetic (Schirpke, Tasser, and Tappeiner 2013). For Kaplan (1979), one of the argument for landscape preferences is also the tendency to legibility, which he defines as the feeling of safety on a landscape scene, i.e. where one knows and can see how to get there and come back. On our study sites, summits are located close to cliffs, with a steep and risky access (50°), where slipping could lead to serious accident and death. The motivation to rest where seeing far away may drive hikers to overcome these risk in these sections, especially as once on the spot, slope is locally moderated. Giddy (2018) and Mackenzie and Brymer (2018) studying adventure-tourisme in South Africa and New Zealand respectively, found that people were more attracted by connecting to nature and escapism from daily life than thrill and risk. We need to investigate more precisely whether different categories of hikers (age, gender, experience) are drawn to different eye-catching locations depending on not only their visibility and slope per se, but also depending on how difficult they are to reach. Notably, one third of the trajectory in our sample had no eye-catching pauses beyond the longest pause. This may results from the circumstances such as a unexpected bad weather for instance, or to the primary motivation of hikers, such as training, rather than escapism or connection to nature (Giddy 2018).

Hikers party characteristics influence pauses distribution and duration within a hike

Group size was determinant in the number of pauses detected and the duration of the main pauses. This is congruent with our hypothesis and former empirical findings (e.g. Schamel and Job (2017)). As the general population is ageing, so are people engaging in hiking in the mountains. While previous studies support that older people are generally slower than younger ones (Schamel

and Job 2017) due to decreasing physiological capacities (Bohannon and Williams Andrews 2011), our results do not support that this would be mediated by an increased number of pauses, or a longer duration of pauses in old groups rather than middle-aged or young groups. Yet, old groups were all taking breath catching pauses to a higher extent than middle aged or young groups. Despite previous findings that old people get more slowly, future study of ageing on hiking should account for differences in hikers time budget and allocation of type to pauses of different functionalities. One result that was surprising at first was that groups classified as families, compared to young, middle-aged, and old groups, were having a relatively lower number of pauses and shorter main pauses, and were all stopping in breath-catching pauses while stopping less often in eye-catching pauses. This may sound counterintuitive if families were adults with young children. However, in our sample, most adults with children were groups including teenagers, and not young children (Appendix 1). This probably results from the difficulty of the tracks (steepness and length). Processes of group dynamics in mixed aged-groups with teenagers and a heterogeneity in motivation and fitness may explain our results. Teenagers may be less prone to stay still during a pause once they are at destinations, and may be less willing than adults to make several scenic breaks along their way. While in families with young children, breath-catching pauses may be pauses where adults are waiting for the children, the reverse may be true when children are teenagers and may get fitter than their parents, grandparents, or guide. A focus on how groups with teenagers plan their hike and account for different motivation and fitness, how they manage their hike when on their itinerary, whether tension or conflict occur about hiking speed and pause duration, would be most interesting, especially in the light of studies that show that experiences gained during childhood are pivotal for explaining adult connectedness to nature and future participation to outdoor activities (Colléony et al. 2017; Lovelock et al. 2016). Future questionnaires have to be designed with questions on time-budget and planning, motivation, reasons for satisfaction and dissatisfaction during the hike, fitness level, on both the individual carrying the GPS as well as members of the group for non-single hikers. Time budget time could be a good approach for establishing recreationist typologies, together with the GPS tool (e.g. Depeau et al. (2017)).

Mapping pauses at the landscape levels and management implications of studying hikes from a pause viewpoint

The clusters of pauses we detected can be considered as spatio-temporal hotspots of human activities in this natural area, which could be a concern for vegetation and wildlife (Monz, Pickering, and Hadwen 2013). The encountering of wildlife did not modify the general statistics of pauses (number, duration), hence the time-budget of hikers. However, the presence of hikers, while moving or pausing, may be influential on animal behavior (Geffroy et al. 2015) and impact vegetation and soils. Ecology studies pointed out that humans are perceived as predators by wildlife (Frid and Dill 2002) and consequently induces a spatio-temporal response to human activities (Boyle and Samson 1985) such as flight (Gander and Ingold 1997; Stankowich 2008), avoidance (Basille et al. 2009; Marchand et al. 2014) or stress (Creel et al. 2002). In our context,

the human activity hotspots are located within chamois home ranges and results in chamois deserting the vicinity of trails when hikers arrive, changing their feeding habits (Duparc 2016). A better prediction of how human activity distribute would be crucial to better understand wildlife spatial selection and behavior, along with the distribution of food and resting places.

To estimate impact of human activities on their biotic and abiotic compartment of the mountain ecosystem, and to concile nature conservation with the development of outdoor activities (for the sake of economic development, or individual well-being), we now need to use empirical results, such as those obtained here, to build spatially-explicit models spatially of the behaviors of recreationists of different socio-demographic categories (see e.g. González, Hidalgo, and Barabási (2008), Pappalardo et al. (2015) and Taczanowska (2009)).

TABLE 6.2. – Post-hoc pairwise comparisons among the different categories of pauses for temporal and landscape characteristics. Z-score and P values (in brackets) from Tukey pairwise comparisons based on linear mixed models (with pause category as a fixed variable, and trajectory ID and Site as random effect variables) are provided for Duration (log-transformed), Slope, Altitude and Visibility (logit-transformed). Bold text cells correspond to non-significant Z-score tests.

		P1	P2A	P2B	P3A
Duration	P2A	-13.74 (<0.01)			
	P2B	-16.94 (<0.01)	-2.60 (0.07)		
	P3A	-25.54 (<0.01)	-8.34 (<0.01)	-5.30 (<0.01)	
	P3B	-36.35 (<0.01)	-12.73 (<0.01)	-9.17 (<0.01)	-3.65 (<0.01)
Slope	P2A	0.01 (1.00)			
	P2B	3.58 (<0.01)	3.03 (<0.01)		
	P3A	-0.47 (0.99)	-0.40 (0.99)	-3.73 (<0.01)	
	P3B	5.70 (<0.01)	4.28 (<0.01)	0.40 (0.99)	5.57 (<0.01)
Altitude	P2A	-2.59 (0.07)			
	P2B	-8.30 (<0.01)	-4.81 (<0.01)		
	P3A	-4.81 (<0.01)	-1.55 (0.52)	3.76 (<0.01)	
	P3B	-12.76 (<0.01)	-6.53 (<0.01)	-0.68 (0.96)	-5.93 (<0.01)
Visibility	P2A	-2.06 (0.23)			
	P2B	-7.27 (<0.01)	-4.34 (<0.01)		
	P3A	-3.53 (<0.01)	-1.00 (0.85)	3.82 (<0.01)	
	P3B	-10.73 (<0.01)	-5.88 (<0.01)	-0.26 (0.99)	-5.53 (<0.01)

TABLE 6.3. – Model selection for 6 pause variables (Number of pauses, Total duration, Proportion of time in pause, Duration of P1, Duration of eye-catching pauses, Duration of breath-catching pauses) with group size (« Size » : 4 categories), age group (« Age » : 4 categories), frequency of practice (« Frequency » : 2 categories), gender group (« Gender » : 2 categories). Number of pauses was analysed with a Poisson generalized linear model. Durations were log-transformed and the proportion of time in pause was logit transformed. AICc = corrected Akaike Information Criteria; K = degrees of freedom; dAICc = difference between a model’s AICc and the lowest AICc; AICcw = weight of the model within the set of tested models. All models dAICc <2 are included in the Table, as well as null models.

Response variable	Model	K	dAICc	AICcw
Number of pauses	Size + Age	7	0.00	0.26
	Size + Age + Frequency	8	0.77	0.17
	Size x Frequency	8	1.02	0.15
	Size	4	1.67	0.11

Response variable	Model	K	dAICc	AICcw
Total duration of pauses	Null	1	2.85	0.06
	Size + Age	8	0.00	0.29
	Size + Age + Gender	9	0.11	0.28
	Size + Age + Gender + Frequency	10	1.77	0.13
	Size + Age + Frequency	9	1.97	0.12
Duration of P1	Null	2	4.19	0.04
	Size + Age	8	0.00	0.23
	Size	5	0.46	0.18
	Size + Gender	6	1.26	0.12
	Size + Age + Gender	9	1.30	0.12
Probability of eye-catching pauses	Null	2	1.52	0.01
	Age + Gender	5	0.00	0.41
	Age + Gender + frequency	6	1.05	0.25
Duration of eye-catching pauses	Null	1	2.17	0.14
	Null	2	0.00	0.34
	Frequency	3	1.00	0.22
	Size	5	1.03	0.21
	Size + Frequency	6	1.77	0.15
Probability of breath-catching pauses	Age	4	0.00	0.33
	Age + Frequency	5	0.43	0.26
	Age + Gender	5	1.13	0.19
	Null	1	4.66	0.03
Duration of breath-catching pauses	Size x Frequency + Gender	11	0.00	0.27
	Size + Gender	6	1.01	0.16
	Size+ Frequency x Gender	8	1.47	0.13
	Frequency x Gender	5	1.86	0.11
	Null	2	3.85	0.04

Appendix

Appendix 1.

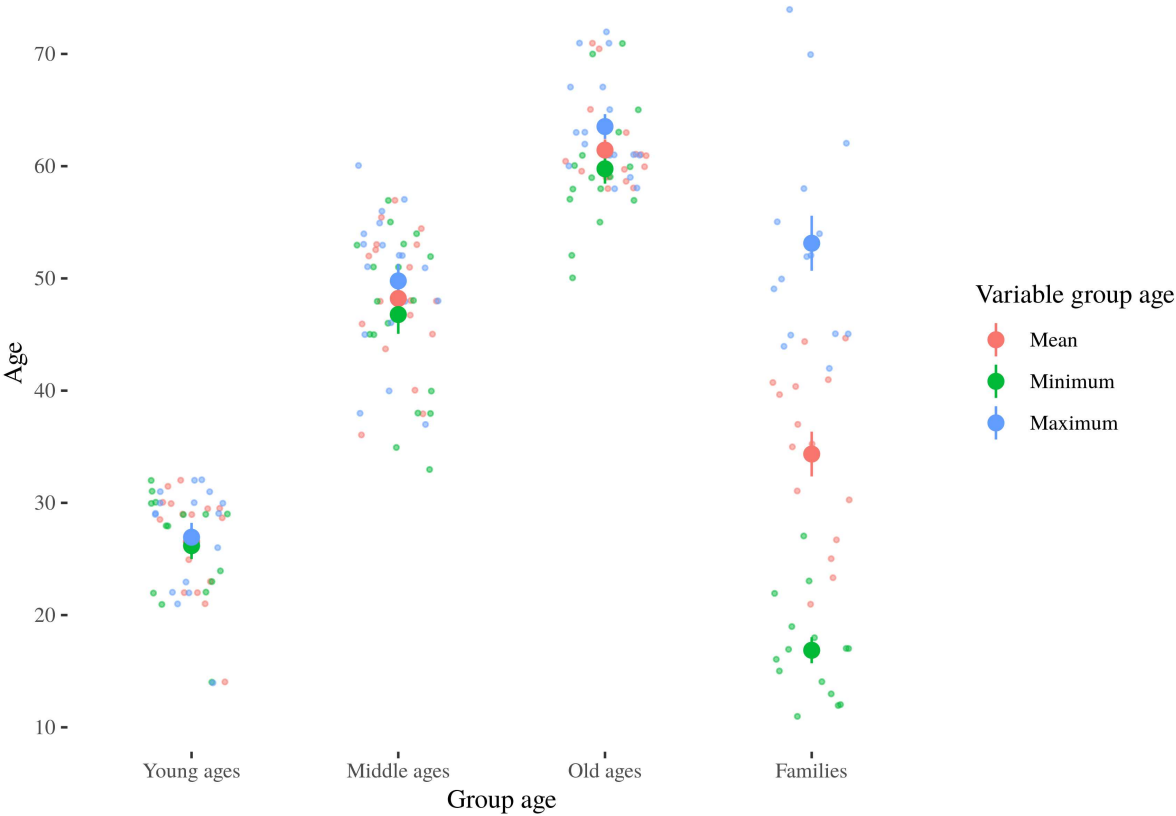


FIGURE 6.7. – Categories of age defined based on the ages of the group of hikers where one carried the GPS-tracker

Appendix 2.

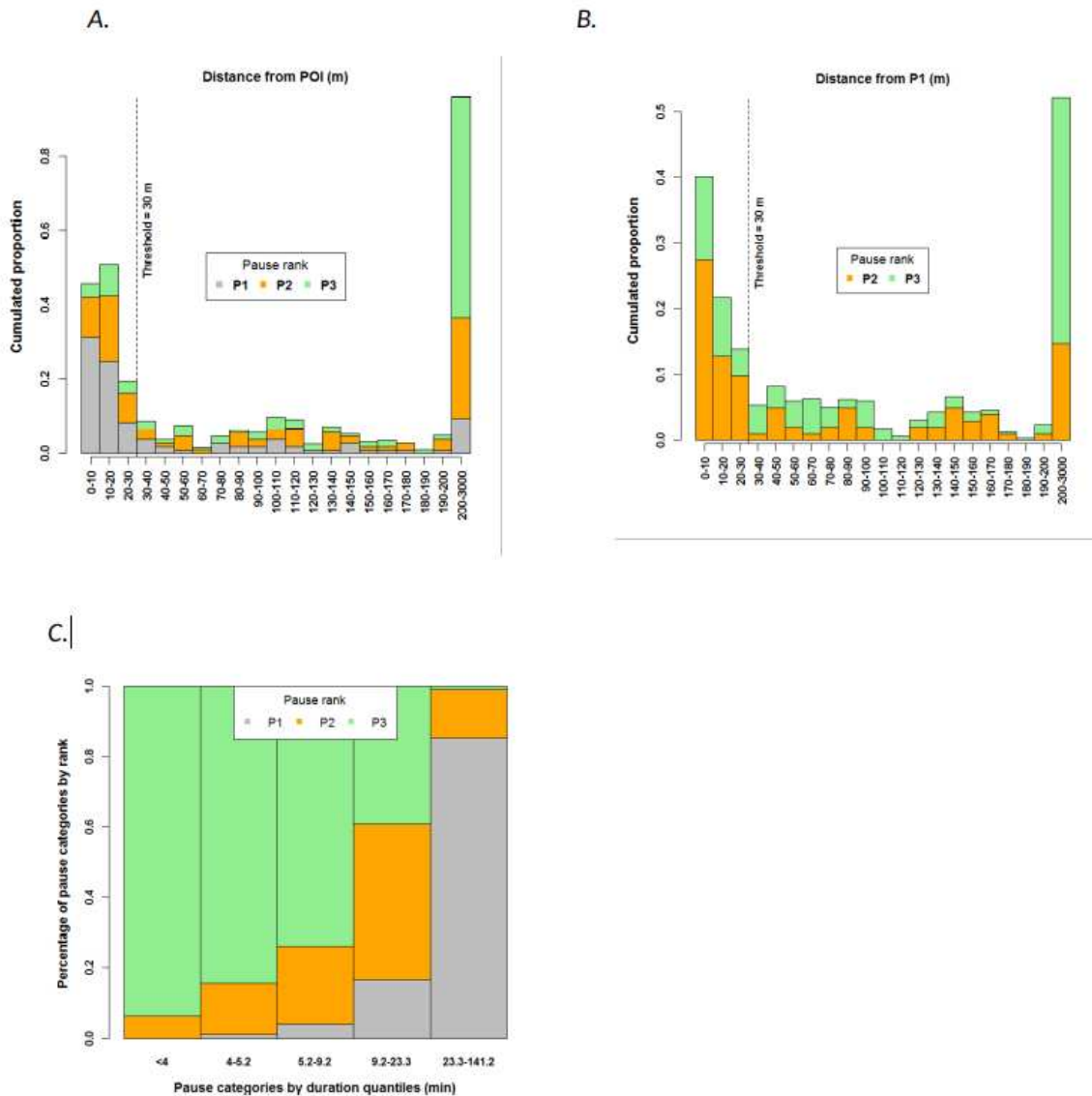


FIGURE 6.8. – A. Distributions of distances to the closest P1, for P2 and P3 pauses. The threshold value chosen to determine whether a pause was close or far away from P1 was 30 meters.. B. Distributions of distances between a pause and a Point of Interest (POI) defined as a summit, pass, or mountain refuge. P1 are in grey, P2 in orange and P3 in green. The threshold used in the analyses was 30 meters. C. Classification of pauses categories proposed in our ms (P1, P2, P3, based on within-trajectory ranking) in the 5 quantiles of pause duration estimated from the whole pause data set.

Appendix 3.

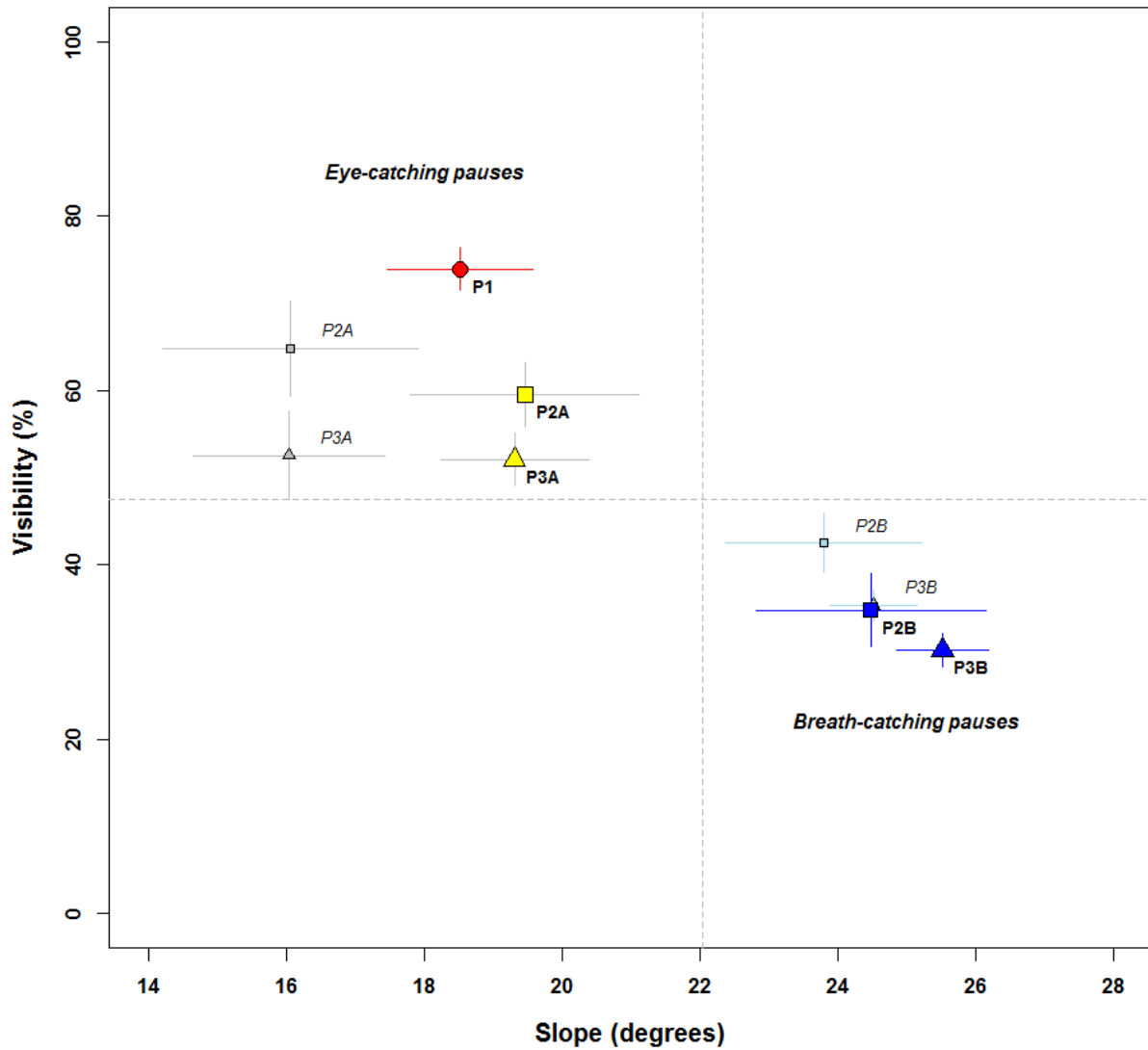


FIGURE 6.9. – Same as Figure 6.4A from main text (mean visibility versus mean slope for pauses of the different categories, P1 : circle, P2A : squares in grey or yellow, P2B : squares with light or dark blue, P3A : triangle with grey or yellow, P3B : triangle in light or dark blue), but with different threshold value to distinguish P2A from P2B and P3B, from P3B. In grey and light blue : threshold of 20 meters. In yellow and dark blue : with a threshold value of 50 m.

Appendix 4.

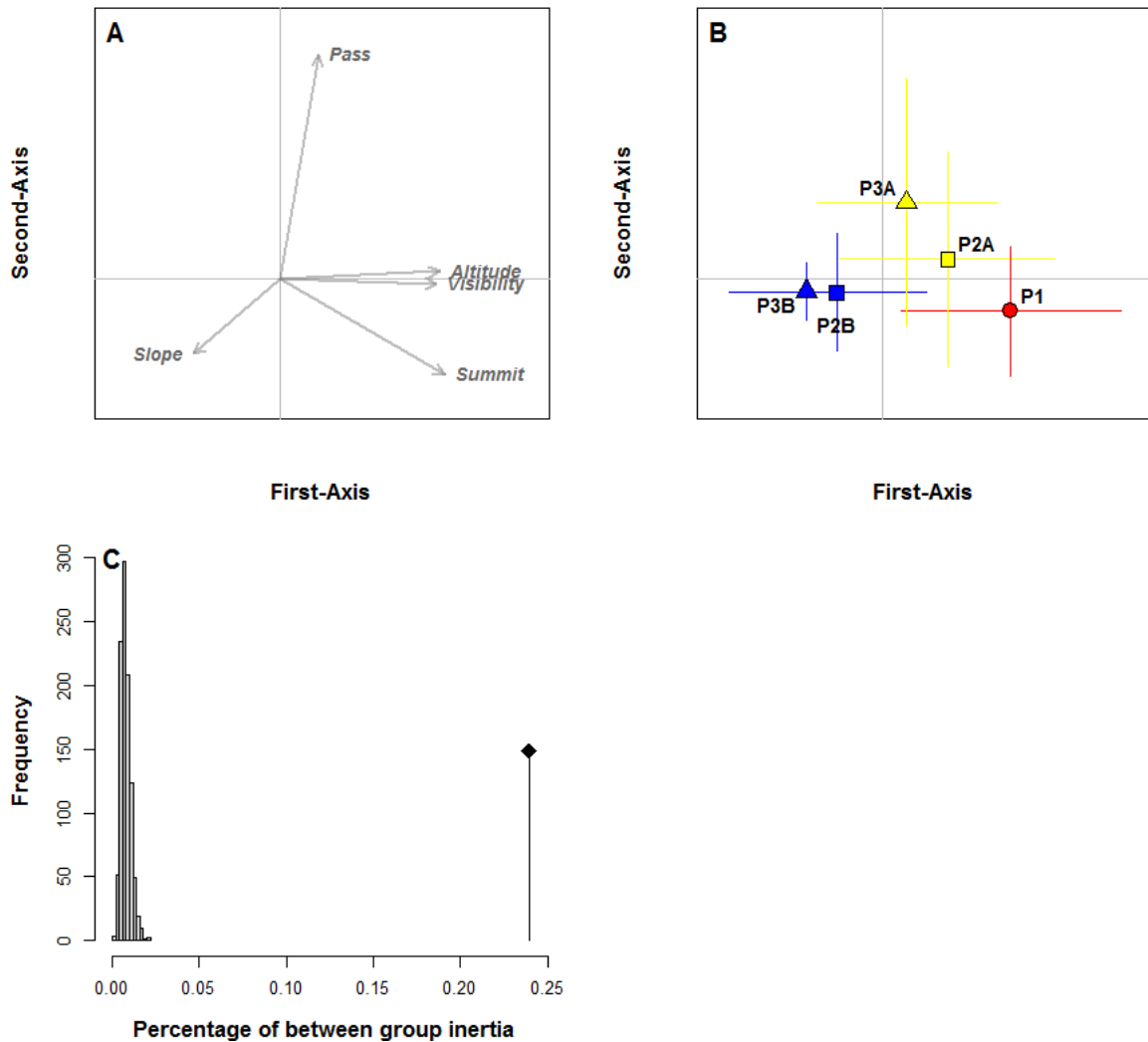


FIGURE 6.10. – Between-Principal Component Analyses (bPCA) of all pauses by pause category, according to 5 environmental variables : Slope, Visibility, Altitude, Proximity to a summit (Summit), and Proximity to a pass (Pass). A : position of the variables. B. Average values and standard deviation of bPCA scores on the 2 first axes per pause category. C. Histogram of the 999 simulated values of the randomization test of the bPCA. The observed value is given by the vertical line, at the right of the histogram. Given its position far away from the histogram of simulated values, we concluded the categories of pauses differed significantly one from another ($P < 0.01$).

Appendix 5.

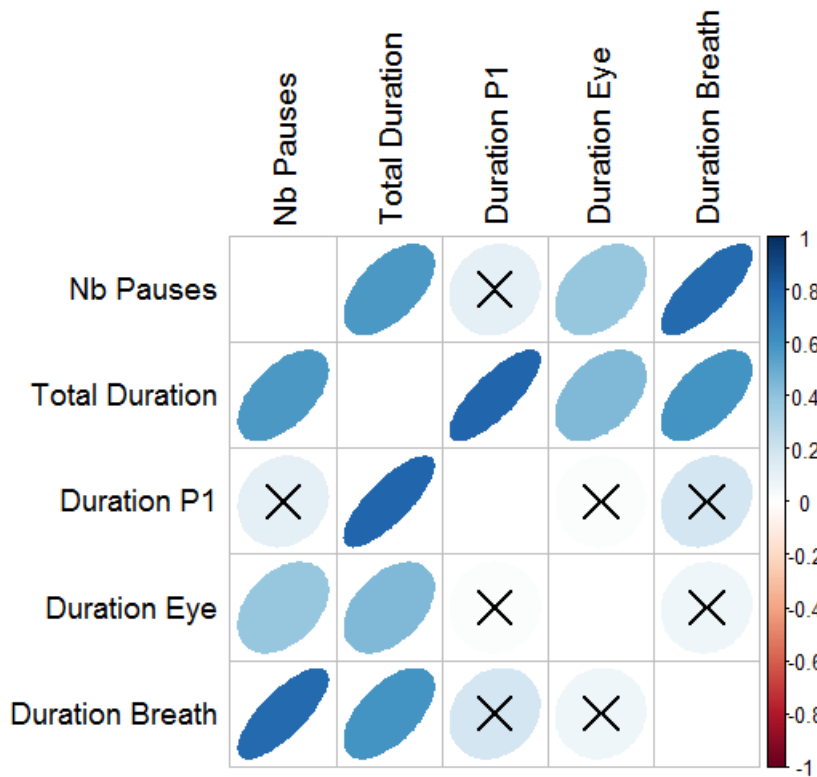


FIGURE 6.11. – Correlation plot among variables (number of pauses : « Nb Pauses », Total time spent in pause : « Total Duration » ; Duration of P1 : « Duration P1 » ; Duration of eye catching pauses : « Duration Eye » ; Duration of breath catching pauses : « Duration Breath »). The intensity of the ellipse colour indicate the value of the Pearson correlation coefficient (scale on the right, blue for positive correlation, red for negative correlation). A cross is added where the correlation is non significant ($P < 0.05$).

References

- Basille, Mathieu, Ivar Herfindal, Hugues Santin-Janin, John DC Linnell, John Odden, Reidar Andersen, Kjell Arild Høgda, and Jean-Michel Gaillard. 2009. "What Shapes Eurasian Lynx Distribution in Human Dominated Landscapes: Selecting Prey or Avoiding People?" *Ecography* 32 (4): 683–91.
- Bates, Douglas, Martin Maechler, Ben Bolker, Steven Walker, Rune Haubo Bojesen Christensen, Henrik Singmann, Bin Dai, et al. 2019. "Lme4: Linear Mixed-Effects Models Using 'Eigen' and S4."
- Beeco, J. Adam, Wei-Jue Huang, Jeffrey C. Hallo, William C. Norman, Nancy G. McGehee, John McGee, and Cari Goetteus. 2013. "GPS Tracking of Travel Routes of Wanderers and Planners." *Tourism Geographies* 15 (3): 551–73. doi:10.1080/14616688.2012.726267.
- Beza, Beau B. 2010. "The Aesthetic Value of a Mountain Landscape: A Study of the Mt. Everest Trek." *Landscape and Urban Planning* 97 (4): 306–17.
- Birant, Derya, and Alp Kut. 2007. "ST-DBSCAN: An Algorithm for Clustering Spatial–Temporal Data." *Data & Knowledge Engineering* 60: 208–21.
- Bohannon, Richard W., and A. Williams Andrews. 2011. "Normal Walking Speed: A Descriptive Meta-Analysis." *Physiotherapy* 97 (3): 182–89. doi:10.1016/j.physio.2010.12.004.
- Bolduc, Vincent. 1973. "Backpacking: A Pilot Study of Hikers," 26.
- Boyle, Stephen A., and Fred B. Samson. 1985. "Effects of Nonconsumptive Recreation on Wildlife: A Review." *Wildlife Society Bulletin*, 110–16.
- Brown, Katrina M. 2017. "The Haptic Pleasures of Ground-Feel: The Role of Textured Terrain in Motivating Regular Exercise." *Health & Place* 46: 307–14.
- Brown, Perry J. 2019. "Defining the Recreation Experience." In *Managing Air Quality and Scenic Resources at National Parks and Wilderness Areas*, 3–12. Routledge.
- Buard, Élodie. 2013. "Dynamiques Des Interactions Espèces-Espace: Mise En Relation Des Pratiques de Déplacement Des Populations d'herbivores et de L'évolution de L'occupation Du Sol Dans Le Parc de Hwange (Zimbabwe)." PhD Thesis, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I.
- Chanteloup, Laine, Clémence Perrin-Malterre, Antoine Duparc, and Anne Loison. 2016. "What Points of View on Shared Spaces Between Humans and Wild Animals?" *Espaces et Sociétés*, no. 1: 33–47.
- Chhetri, Prem. 2015. "A GIS Methodology for Modelling Hiking Experiences in the Grampians National Park, Australia." *Tourism Geographies* 17 (5): 795–814. doi:10.1080/14616688.2015.1083609.
- Clayton, Susan, Agathe Colléony, Pauline Conversy, Etienne Maclouf, Léo Martin, Ana-Cristina Torres, Minh-Xuan Truong, and Anne-Caroline Prévot. 2017. "Transformation of Experience: Toward a New Relationship with Nature: New Experiences of Nature." *CONSERVATION LETTERS* 10 (5): 645–51. doi:10.1111/conl.12337.
- Colléony, Agathe, Anne-Caroline Prévot, Michel Saint Jalme, and Susan Clayton. 2017. "What Kind of Landscape Management Can Counteract the Extinction of Experience?" *Landscape and Urban Planning* 159: 23–31.
- Creel, Scott, JENNIFER E. Fox, AMANDA Hardy, JENNIFER Sands, BOB Garrott, and ROLF O. Peterson. 2002. "Snowmobile Activity and Glucocorticoid Stress Responses in Wolves and Elk." *Conservation Biology*

16 (3): 809–14.

De Decker, Rik, Gela Tölken, and John Roos. 2017. “Human Factors: Predictors of Avoidable Wilderness Accidents?” *South African Medical Journal* 107 (8): 669–73.

Depeau, Sandrine, Sonia Chardonnel, Isabelle André-Poyaud, Arnaud Lepetit, Francis Jambon, Erwan Quesseveur, Jérôme Gombaudo, Théodora Allard, and Charles-Antoine Choquet. 2017. “Routines and Informal Situations in Children’s Daily Lives.” *Travel Behaviour and Society*, July. doi:10.1016/j.tbs.2017.06.003.

Depraz, Samuel. 2008. *Les parcs nationaux d’Europe centrale au risque du développement durable*. Ellipses.

Dodge, Somayeh, Robert Weibel, and Anna-Katharina Lautenschütz. 2008. “Towards a Taxonomy of Movement Patterns.” *Information Visualization* 7 (3-4): 240–52.

Doherty, Sean T., Christopher J. Lemieux, and Culum Canally. 2014. “Tracking Human Activity and Well-Being in Natural Environments Using Wearable Sensors and Experience Sampling.” *Social Science & Medicine* 106 (April): 83–92. doi:10.1016/j.socscimed.2014.01.048.

Doledec, S., and D. Chessel. 1989. “Seasonal Rhythms and Components by Station in the Aquatic Environment: II. Taking into Account and Eliminating Their Effects from a Faunistic Catalog (Rythmes Saisonniers et Composantes Stationnelles En Milieu Aquatique: II. Prise En Compte et Elimination d’effets Dans Un Tableau Faunistique).” *Acta Oecologia Oecologia Generalis AOSGD* 7, 10 (3): 207–32.

Duparc, Antoine. 2016. “Dynamiques Spatio-Temporelles Des Ressources Alimentaires et Des Activités Humaines : Impacts Sur La Sélection d’habitat d’un Grand Herbivore de Montagne.” Thesis, Grenoble Alpes.

Ekkekakis, Panteleimon, Gaynor Parfitt, and Steven J. Petruzzello. 2011. “The Pleasure and Displeasure People Feel When They Exercise at Different Intensities.” *Sports Medicine* 41: 641–71. doi:10.2165/11590680-000000000-00000.

Ester, Martin, Hans-Peter Kriegel, Jörg Sander, and Xiaowei Xu. 1996. “A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise.” In *Kdd*, 96:226–31.

Frid, Alejandro, and Lawrence M. Dill. 2002. “Human-Caused Disturbance Stimuli as a Form of Predation Risk.” *Conservation Ecology* 6 (1): 11.

Gander, Hans, and Paul Ingold. 1997. “Reactions of Male Alpine Chamois *Rupicapra R. Rupicapra* to Hikers, Joggers and Mountainbikers.” *Biological Conservation* 79 (1): 107–9.

Geffroy, Benjamin, Diogo SM Samia, Eduardo Bessa, and Daniel T. Blumstein. 2015. “How Nature-Based Tourism Might Increase Prey Vulnerability to Predators.” *Trends in Ecology & Evolution* 30 (12).

Giddy, Julia K. 2018. “Adventure Tourism Motivations: A Push and Pull Factor Approach.” *Bulletin of Geography. Socio-Economic Series* 42 (42): 47–58. doi:10.2478/bog-2018-0030.

González, Marta C., César A. Hidalgo, and Albert-László Barabási. 2008. “Understanding Individual Human Mobility Patterns.” *Nature* 453 (7196): 779–82. doi:10.1038/nature06958.

Hägerstrand, Torsten. 1970. “What About People in Regional.” *Papers of the Regional Science Association* 24: 1–12.

Hammitt, William E., David N. Cole, and Christopher A. Monz. 2015. *Wildland Recreation: Ecology and Management*. John Wiley & Sons.

Hammitt, William E., Michael E. Patterson, and Francis P. Noe. 1994. “Identifying and Predicting Visual

- Preference of Southern Appalachian Forest Recreation Vistas.” *Landscape and Urban Planning* 29 (2): 171–83. doi:10.1016/0169-2046(94)90026-4.
- Hanna, Paul, Sarah Wijesinghe, Ilias Paliatsos, Carl Walker, Matthew Adams, and Albert Kimbu. 2019. “Active Engagement with Nature: Outdoor Adventure Tourism, Sustainability and Wellbeing.” *Journal of Sustainable Tourism* 27 (9): 1355–73. doi:10.1080/09669582.2019.1621883.
- Hautbois, Christopher, Pascal Mao, and Marc Langenbach. 2009. “Outdoor Recreational Activities in France: Comparative Analysis of Territorial Resources.” *Loisir et Société/Society and Leisure* 32 (2): 299–314.
- Héritier, Stéphane, and Lionel Laslaz. 2008. *Les Parcs Nationaux dans le Monde. Protection, gestion et développement durable*.
- Hothorn, Torsten, Frank Bretz, Peter Westfall, Richard M Heiberger, Andre Schuetzenmeister, Susan Scheibe, and Maintainer Torsten Hothorn. 2016. “Package ‘Multcomp.’” *Simultaneous Inference in General Parametric Models. Project for Statistical Computing, Vienna, Austria*.
- Hugo, M. Leon. 1999. “Energy Equivalent as a Measure of the Difficulty Rating of Hiking Trails.” *Tourism Geographies* 1 (3): 358–73. doi:10.1080/14616689908721327.
- Hunziker, Marcel, and Christina Zeidenitz. 2006. “Outdoor Leisure Activities: Motivation, Attitudes and Strategies Promoting Responsible Behaviour Towards Nature and Landscape.” *Exploring the Nature of Management*, 295.
- Kaplan, Stephen. 1979. “Perception and Landscape: Conceptions and Misconceptions.”
- Karami, Amin, and Ronnie Johansson. 2014. “Choosing DBSCAN Parameters Automatically Using Differential Evolution.” *International Journal of Computer Applications* 91 (7).
- Kerlinger, Paul, Joanna Burger, H Ken Cordell, Daniel J Decker, David N Cole, Peter Landres, E Norbert Smith, et al. 2013. *Wildlife and Recreationists: Coexistence Through Management and Research*. Island Press.
- Kerouanton, Colin, Antoine Duparc, Laurence Jolivet, Clémence Perrin-Malterre, and Anne Loison. 2017. “Détecter Les Pauses de Randonneurs Par L’usage de ST-DBSCAN: Analyse de Sensibilité.” In *Treizièmes Rencontres de Théo Quant*.
- Li, Zhilin, Qiliang Liu, Jianbo Tang, and Min Deng. 2018. “An Adaptive Method for Clustering Spatio-Temporal Events.” *Transactions in GIS* 22 (1): 323–47.
- Liddle, Michael. 1997. *Recreation Ecology: The Ecological Impact of Outdoor Recreation and Ecotourism*. Chapman & Hall Ltd.
- Lovelock, Brent, Trudie Walters, Carla Jellum, and Anna Thompson-Carr. 2016. “The Participation of Children, Adolescents, and Young Adults in Nature-Based Recreation.” *Leisure Sciences* 38 (5): 441–60. doi:10.1080/01490400.2016.1151388.
- Mackenzie, Susan Houge, and Eric Brymer. 2018. “Conceptualizing Adventurous Nature Sport: A Positive Psychology Perspective.” *Annals of Leisure Research* 0 (0): 1–13. doi:10.1080/11745398.2018.1483733.
- Manning, Robert E. 2010. *Studies in Outdoor Recreation: Search and Research for Satisfaction*. Oregon State University Press.
- Marchand, Pascal, Mathieu Garel, Gilles Bourgoïn, Dominique Dubray, Daniel Maillard, and Anne Loison.

2014. “Impacts of Tourism and Hunting on a Large Herbivore’s Spatio-Temporal Behavior in and Around a French Protected Area.” *Biological Conservation* 177: 1–11.
- Martín-López, Berta, Ines Leister, Pedro Lorenzo Cruz, Ignacio Palomo, Adrienne Grêt-Regamey, Paula A. Harrison, Sandra Lavorel, Bruno Locatelli, Sandra Luque, and Ariane Walz. 2019. “Nature’s Contributions to People in Mountains: A Review.” *PLOS ONE* 14 (6): e0217847. doi:10.1371/journal.pone.0217847.
- McArdle, Gavin, Urška Demšar, Stefan van der Spek, and Seán McLoone. 2014. “Classifying Pedestrian Movement Behaviour from GPS Trajectories Using Visualization and Clustering.” *Annals of GIS* 20 (2): 85–98.
- Monz, Christopher A., Catherine M. Pickering, and Wade L. Hadwen. 2013. “Recent Advances in Recreation Ecology and the Implications of Different Relationships Between Recreation Use and Ecological Impacts.” *Front Ecol Environ* 11 (8): 441–46.
- Monz, Christopher, and Ashley D’Antonio. 2009. “An Assessment of Recreation Impacts in Alpine and Subalpine Areas of Grand Teton National Park: Preliminary Findings” 32: 7.
- Nepal, Sanjay K., and Raymond Chipeniuk. 2005. “Mountain Tourism: Toward a Conceptual Framework.” *Tourism Geographies* 7 (3): 313–33. doi:10.1080/14616680500164849.
- Orellana Vintimilla, D.A. 2012. “Exploring Pedestrian Movement Patterns.” PhD thesis, S.l.: s.n.].
- Pappalardo, Luca, Filippo Simini, Salvatore Rinzivillo, Dino Pedreschi, Fosca Giannotti, and Albert-László Barabási. 2015. “Returners and Explorers Dichotomy in Human Mobility.” *Nature Communications* 6 (1). doi:10.1038/ncomms9166.
- Reis, Arianne Carvalhedeo, and James ES Higham. 2009. “Recreation Conflict and Sport Hunting: Moving Beyond Goal Interference Towards Social Sustainability.”
- Sahraoui, Yohan, Gilles Vuidel, Daniel Joly, and Jean-Christophe Foltête. 2018. “Integrated GIS Software for Computing Landscape Visibility Metrics.” *Transactions in GIS* 22 (5): 1310–23.
- Scarpa, Riccardo, Susan M. Chilton, W. George Hutchinson, and Joseph Buongiorno. 2000. “Valuing the Recreational Benefits from the Creation of Nature Reserves in Irish Forests.” *Ecological Economics* 33: 237–50.
- Schamel, Johannes, and Hubert Job. 2017. “National Parks and Demographic Change – Modelling the Effects of Ageing Hikers on Mountain Landscape Intra-Area Accessibility.” *Landscape and Urban Planning* 163: 32–43.
- Schirpke, Uta, Erich Tasser, and Ulrike Tappeiner. 2013. “Predicting Scenic Beauty of Mountain Regions.” *Landscape and Urban Planning* 111: 1–12.
- Shoval, Noam, and Michal Isaacson. 2007. “Tracking Tourists in the Digital Age.” *Annals of Tourism Research* 34 (1): 141–59. doi:10.1016/j.annals.2006.07.007.
- Slabbert, Liandi, and Elizabeth Ann Du Preez. 2017. “Trail Accreditation as a Mechanism to Enhance Hikers’ Confidence During Decision-Making.” *Tourism Review International* 21 (3): 255–73.
- Spaccapietra, Stefano, Christine Parent, Maria Luisa Damiani, Jose Antonio de Macedo, Fabio Porto, and Christelle Vangenot. 2008. “A Conceptual View on Trajectories.” *Data & Knowledge Engineering* 65: 126–46.
- Spangenberg, Thomas. 2014. “Development of a Mobile Toolkit to Support Research on Human Mobility

Behavior Using GPS Trajectories.”

Stankowich, Theodore. 2008. “Ungulate Flight Responses to Human Disturbance: A Review and Meta-Analysis.” *Biological Conservation* 141 (9): 2159–73. doi:10.1016/j.biocon.2008.06.026.

Syarstad, Hanne. 2010. “Why Hiking? Rationality and Reflexivity Within Three Categories of Meaning Construction.” *Journal of Leisure Research* 42 (1): 91–110.

Taczanowska, Karolina. 2009. *Modelling the Spatial Distribution of Visitors in Recreational Areas*. na.

Tietbohl, Andrey, Vania Bogorny, Bart Kuijpers, and Luis Otavio Alvares. 2008. “A Clustering-Based Approach for Discovering Interesting Places in Trajectories.”

Ulrich, Roger S. 1986. “Human Responses to Vegetation and Landscapes.” *Landscape and Urban Planning* 13: 29–44.

Zheng, Yu, and Xiaofang Zhou. 2011. *Computing with Spatial Trajectories*. Springer Science & Business Media.

Résultats clés

À propos de la sensibilité de l'algorithme ST-DBSCAN appliqué à un lot de traces GPS :

- il y a un ensemble de paramètres pour lequel le succès de détection est très bon (autour de 90% de la F-measure) .
- la combinaison de paramètres optimale pour la détection de pauses supérieures ou égales à 2 minutes est : $Eps = 8$ m, $MinPts = 12$, $Eps2 = 600$ secondes.
- l'échantillonnage de 15 traces GPS est suffisant pour que la variation du nombre de pauses soit égale à la variation du nombre de pause de 282 trajectoires.

À propos de l'analyse spatio-temporelle des pauses de randonneurs :

- en classifiant a priori les pauses selon leur rang de durée au sein d'une trajectoire, et selon leur proximité avec la pause principale d'une trajectoire, il y a 5 types de pauses, que nous avons pu rassembler en trois catégories principales : *longest pause*, *eye-catching pause*, *breath-catching pause*.
- la classification en trois grandes catégories a pu être faite selon les critères suivants : altitude, visibilité, pente, proximité à un élément du relief (sommet ou col).
- les *longest pauses* bénéficient des meilleures visibilités, d'une pente faible, et d'une proximité forte aux sommets.
- les *shorter eye-catching pauses* sont situées là où la visibilité est bonne, où la pente est faible, et proche des sommets ainsi que des cols (distinction au sein des *eye-catching pauses*).
- les *breath-catching pauses* sont expliquées par une visibilité faible, une pente forte, et un éloignement aux sommets et aux cols.
- les jeunes groupes font davantage de pauses, avec des pauses principales qui durent plus longtemps.
- les familles sont les groupes faisant le moins de pauses, et passant le moins de temps en pauses principales et ont la probabilité de faire des *eye-catching* la plus faible des groupes, mais la probabilité la plus forte pour faire des *breath-catching pauses*.
- plus le groupe est important, plus le nombre de pauses est grand et plus la durée de la pause principale est longue.
- les grands groupes avec au moins un membre ne randonnant que pendant les vacances passent plus de temps en *breath-catching pauses* que les autres groupes.
- les groupes uniquement composés d'hommes passent plus de temps en *breath-catching*

pauses, et la probabilité de faire une *eye-catching pause* est plus faible que pour les groupes mixtes.

- il y a 16 lieux (clusters de pauses) sur les deux sites représentant 0.6 hectares, qui rassemblent 251 pauses sur 510, et 72% des pauses supérieures à 10 min.

Troisième partie

Analyses de trajectoires de randonneurs

7. Article III – Walking speed of hikers in mountains : the importance of slope, hikers characteristics, and hike time budget inferred from combining GPS-tracker data and socio-demographic questionnaires

Auteurs

- Colin Micol Kerouanton
- Laurence Jolivet
- Clémence Perrin-Malterre
- Anne Loison

Manuscrit en préparation

Summary

Walking speed in mountain should vary depending on slope and whether walking uphill or downhill, but also depending on the fitness of hikers and the characteristics of the hikers group in terms of size, gender, and age composition. In the time geography framework, these different determinants of walking speed correspond to the authority constraints, capacity constraints, and coupling constraints respectively. Here, we analysed walking speed of hikers in a northern french alps massif, combining a GPS-tracker database and a socio-demographic data base obtained by questionnaires, to assess the relative importance of slope, and hiker group characteristics (size, gender and age composition) on both hike's time budget (i.e. proportion of time spent walking vs taking pauses) and walking speed (any pause >3 min excluded). We found that walking speed decreased with slope both uphill and downhill, that single individuals walked faster, while old groups walked slower. We found no effect of gender on speed per se, but groups with women tended to make more pauses. Our estimates of walking speed were higher than those predicted by formerly developed models of speed, which may be due from our removals of all pauses (except pauses of <3 min). We exemplifies the differences of accessibility of our site by 2 contrasted types of hikers (a young single man hiker, vs an old mixed-gender group), by simulating the itinerary they could follow for 2 different hike durations. Our study should be useful for predicting

the spatio-temporal distribution of hikers depending on their socio-demographic traits, which can help for organising rescue, as well as for evaluating the impact of human disturbances on ecosystems and wildlife.

Introduction

Human spatio-temporal mobilities are a key aspect of geographical sciences in order to understand how humans distribute in space through time. It also matters to other sciences, in sociology and urban planning, and in demography, epidemiology, and even in archaeology, fields where for patterns of migration/emigration matters. In addition to understanding only patterns of movements (how people move), it is paramount to also delve into who moves, why, when, wherefrom, and whereto. Very early on, Engels (1892) demonstrated that different sociological categories have different relationship to space because they do not live in the same areas and do not have the same capacities of moving. These differences were, according to him, crucial for their well-being. Sorokin and Berger (1939) used time-budgets to describe behaviours of humans, and eventually predict them. Years later, time-budgets were conceptualized as a tool to study how humans organize their journeys, or their activities along a day (Anderson 1971; Pearce 1988). In geography and tourism studies, time-budgets were utilized to describe spatio-temporal patterns of human activity on an area, and to describe eventual hotspots of pressure (Fennell 1996).

The theory of time geography developed by Hägerstrand (1970) conceptualises the idea that spatially-explicit time budgets, hence movement patterns, results from different types of constraints : capability constraint, coupling constraint and authority constraint. Alike the new paradigm of movement proposed by Nathan et al. (2008) in the context of ecology, it therefore clarifies that studied entities (such as animal or human) can not all move the same distance and speed, that their motivations are different, and that space is not equally available. Time geography is therefore not only a common tool helping 3D representation of spatio-temporal activities (Andrienko et al. 2010; Demšar and Virrantaus 2010; Demšar et al. 2014), it also is a stimulating conceptual framework, in which we chose to root our study of hikers in the mountains. Accordingly, we focused on hiking speed, and more specifically whether it differs by hiker's age and gender (internal state for@nathan_movement_2008, capability constraints, Hägerstrand (1970)), by the size of the hiker group (a type of coupling constraint (Hägerstrand 1970)) and depending on the abiotic characteristics of the landscape (which can relate to an authority constraint (Hägerstrand 1970)). All of these variables should determine the walking speed and needs for pauses (both influenced by individual fitness and terrain), and induce awaiting for others (group size).

Walking speed in mountains should be highly dependent on the terrain, foremostly on slope, and whether walking uphill and downhill. Modeling hiking speed depending on distance and altitude elevation is of prime importance for informing hikers of the potential duration of their hike, as well as organising rescue in case of injured or missing persons (Wood and Schmidlein 2012). Hence, modeling speed in mountains has been a goal for mountaineers for a long time. For instance, at the beginning of the twentieth century, Naismith (1892)) proposed a function representing walking speed on a mountainous terrain, based on his own hiking experience. This Naismith function has been then refined by Langmuir (1969) and later by (Rees 2004; Tobler

1993). As expected, these functions account for the difference of speed uphill and downhill and for the decrease of speed when slope increases, whether walking uphill or downhill. One of the differences among these functions relies on how speed downhill is modeled when slope is null or negative, Tobler's function considering for instance that speed is maximal at slightly negative slope. An additional development of this model has been to associate an energetic costs to speed, slope and altitude difference (Kay 2012; Minetti 1995; Pingel 2010; Scarf 2007). These functions have since been used by many disciplines to model human mobility patterns (such as GRASS GIS tool « r.walk »), to optimize path network or urban road network. Yet, there are still only few empirical studies to confront model predictions with real life data depending on hikers experience and socio-demographic profiles, especially gender, age (Schamel and Job 2017), and fitness (Philips, Watling, and Timms 2015). Schamel and Job (2017) for instance compared GPS data with a large sample of walkers in the German alps, and confronting data with existing hiking functions. Their findings supported the effect of age, but also that@tobler_three_1993 model underestimated real hiking speeds, one issue raised being how to account for the effect of pauses (Dodge, Weibel, and Lautenschütz 2008; Spaccapietra et al. 2008), which vary in number and duration along an itinerary (see Chapter 6). To provide further tests for the walking speed models, and understand the sources of variation (the constraints of Hägerstrand (1970)) of observed speed, the challenge is therefore to consider comprehensively trajectories as sequences of moves and stops, and to enrich them by environmental and socio-demographic variables.

GPS technology has contributed to improve movement studies in outdoor recreation (McKercher et al. 2012; Orellana et al. 2012; Schamel and Job 2017; Shoval and Isaacson 2009; Taczanowska et al. 2014; Taczanowska, Muhar, and Brandenburg 2008). Analysing the properties of a set of trajectories (Dodge et al. 2008; Spaccapietra et al. 2008), when combined with socio-demographic information of recreationists, can provide detailed insights on hotspots of hikers presence (McArdle et al. 2014; Spangenberg 2014), temporal trends in individuals activities (Dodge, Weibel, and Lautenschütz 2008; Orellana et al. 2012) and walking speeds by socio-demographic groups (Schamel and Job 2017).

Here we collated one data base of GPS tracks with a data base stemming from questionnaires to better understand walking speed of hikers in mountains, and whether this speed differs among groups of different size, gender and sex composition and individual experience. We further compared our results on how hiking speed varies with the terrain (among which a difficulty level index) with expectations from previous walking speed models. We hypothesised that speed decreased with age, group size, and in groups with women, and with slope. We also We will finally simulated two potential hiking itineraries , based the predicted results obtained for two contrasted socio-demographic profiles.

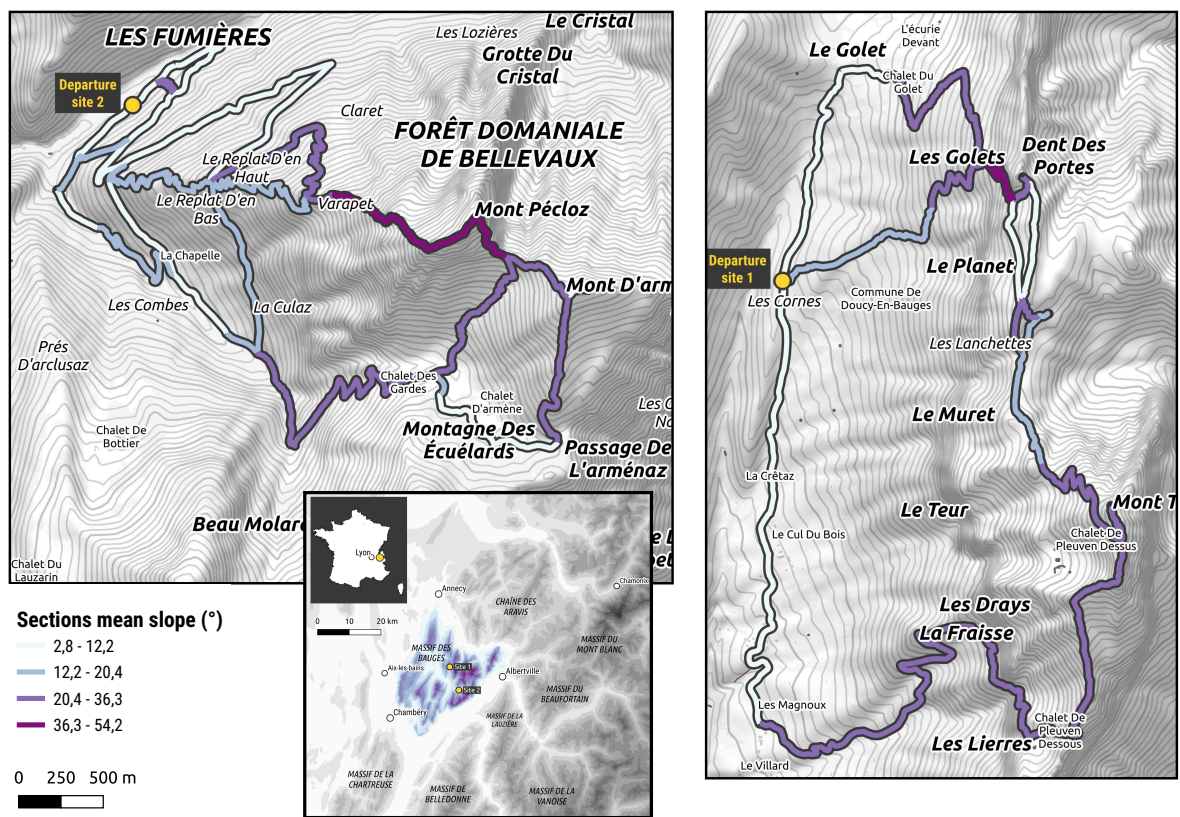


FIGURE 7.1. – Situation maps : overview and focuses on the two study sites showing the hiking path sections classified according to their mean slope ($^{\circ}$).

Material and methods

Study sites

The study area is located in the mountainous massif of the Bauges, in the French Alps, more specifically in the National Game and Hunting Reserve. There, the altitude ranges between 900 to 2,200 m, with steep slopes (see Fig. 7.1). We focused on two study sites within this reserve with alpine pastures >1700 m. Each site corresponds to a hiking loop with one or two summits (each at altitude >2100 m), which constitutes the main hiking goals, and a single parking as a trailhead. The length of the hiking network is 19.33 km on site 1, and 22.73 km on site 2.

GPS campaigns, sociodemographic surveys and data preparation

282 hikers' GPS trackers i-gotU GT-120 were recorded on the two sites during the summers of 2014 and 2015. They contained three dimensional coordinates (x, y, z) every 10 seconds. Of these 282 tracks, 187 went on one of the two studied alpine pastures. Only one GPS device was given

per group of hikers. At the end of the hike, a socio-demographic survey was submitted to all people in the group of the individual carrying the GPS. The survey contained questions on gender, age, professional activities, hiking experience, and some questions on wildlife and conservation. The answers of the respondents were aggregated at the group level. Thereby, each trajectory was associated with the following group variables : group size (being 1 for single individuals), gender composition of the group (mixed, only women, only men), group age composition (see Appendix 1, Chapter 6 for more details), and group frequency of practice (hikers had to answer a question about their hiking activity frequency, and we classified the groups with at least one person declaring practicing once a year, as « At least one user hiking every holiday »).

Trajectory analysis

GPS coordinates accuracy depends on the environment, the carrier's behaviour and the device itself. The description of the movement is discrete as the timestamp between the recorded points is 10 seconds. We analysed the GPS tracks by retrieving the information relevant for defining hikers' trajectories as follows : 1) we detected pauses longer than 3 minutes and in a spatial closeness of 6 m with the algorithm ST-DBSCAN (Birant and Kut 2007) - see Chapter 6), 2) every GPS track was simplified by using the Douglas-Peucker algorithm (parameter epsilon = 40 meters) as a pre-process to map-matching (Etienne 2011 ; Zheng and Zhou 2011) 3) the simplified tracks were map-matched to the hiking paths (Newson and Krumm 2009) and we computed curvilinear distances following the hiking paths, 4) by path section, the map-matched tracks were filled in with the real distance walked taking into account the z coordinates, the mean computed speed and the walking direction and the altitude gradient.

For every trajectory, four variables were computed, based on the characteristics of the pauses within this trajectory, as described in Chapter 6. In the latter chapter, we classified pauses into « eye-catching » pauses, corresponding to pauses that are situated in scenic locations with high visibility and shallow slopes at high altitude, and « breath catching » pauses, which are pauses located in steep slopes, with low visibility. Therefore, considering 4 variables, the total duration of pause, the number of eye-catching pauses, the number of breath catching pauses, and the sum of durations of each type of pauses, we classified (see appendix 1) each trajectory into three hikers' profiles using a hierarchical clustering (« complete » method from R « stats » package). We interpreted these profiles as : i) observers, significantly spending more time in eye-catching pauses than in breath-catching pauses, ii) resters, spending more time in breath-catching pause than in eye-catching pauses, iii) speeders, spending little time in either type of pause, and iv) mixed profiles, using equally eye-catching and breath-catching pauses. We used these 4 categories as a variable, that could explain walking speed difference : we expect speeders to walk faster than the two other categories, and resters to be the slowest of the three.

In addition, we classified the itinerary of each trajectory on a 3 levels of difficulty. We calculated the maximum altitude and the distance hiked, and classified ad hoc the itinerary as easy, difficult and very difficult (Fig. 7.2) . We tested whether the difficulty of the hike explain the difference

in hiking speed among groups.

Statistical analysis

— Time-budget index

We estimated a time budget index as the proportion of time spent walking in the whole hike (time spent walking/total duration of the hike). We ran models with this time budget index as a response variable, which variation we explained by socio-demographic variables of the hikers' group and by a description of the itinerary, by using a logistic beta-regression model to account for the fact that the time budget index is a ratio. The tested explanatory variables were the group-specific variables and itinerary-specific variables (positive and negative altitude gradient, hike difficulty).

— Hiking speed

We then focused on understanding the computed walking speed from the GPS tracks. Trajectories were decomposed in path sections (see Chapter 8 on frequency of use). We performed a general mixed regression with random effects (Bates et al. 2019) to explain log-transformed walking speed by path sections (first random effect) and by users (second random effect). The tested variables were the hiking path slope and the group socio-demographic characteristics. Unlike Irmischer and Clarke (2017), Rees (2004) and Tobler (1993), we analysed hiking speed during ascent and descent phases of the hike separately, as we expected that the group-specific variables and the itinerary-specific variables can influence uphill and downhill speed in different ways.

Scenarios

We aimed at predicting the hiking behavior of two contrasted socio-demographic hikers' groups by applying the hiking speed ascent model based on our empirical results. We chose two archetypical groups, by choosing all sociodemographic variables that would lead either to the slowest or fastest walking speed (see results). We predicted their ascent hiking speed by slope on a hiking path itinerary shapefile, segmented every 5m. We used this hiking path network with two uphill speeds computed for each path segment, within the QGIS network analysis plugin.¹ Two total durations of hike were set (60 and 75 minutes) to model both speeds on the paths, therefore producing 4 virtual tracks (two per groups).

1. https://docs.qgis.org/3.4/fr/docs/user_manual/processing_algs/qgis/networkanalysis.html#qgisserviceareafromlayer

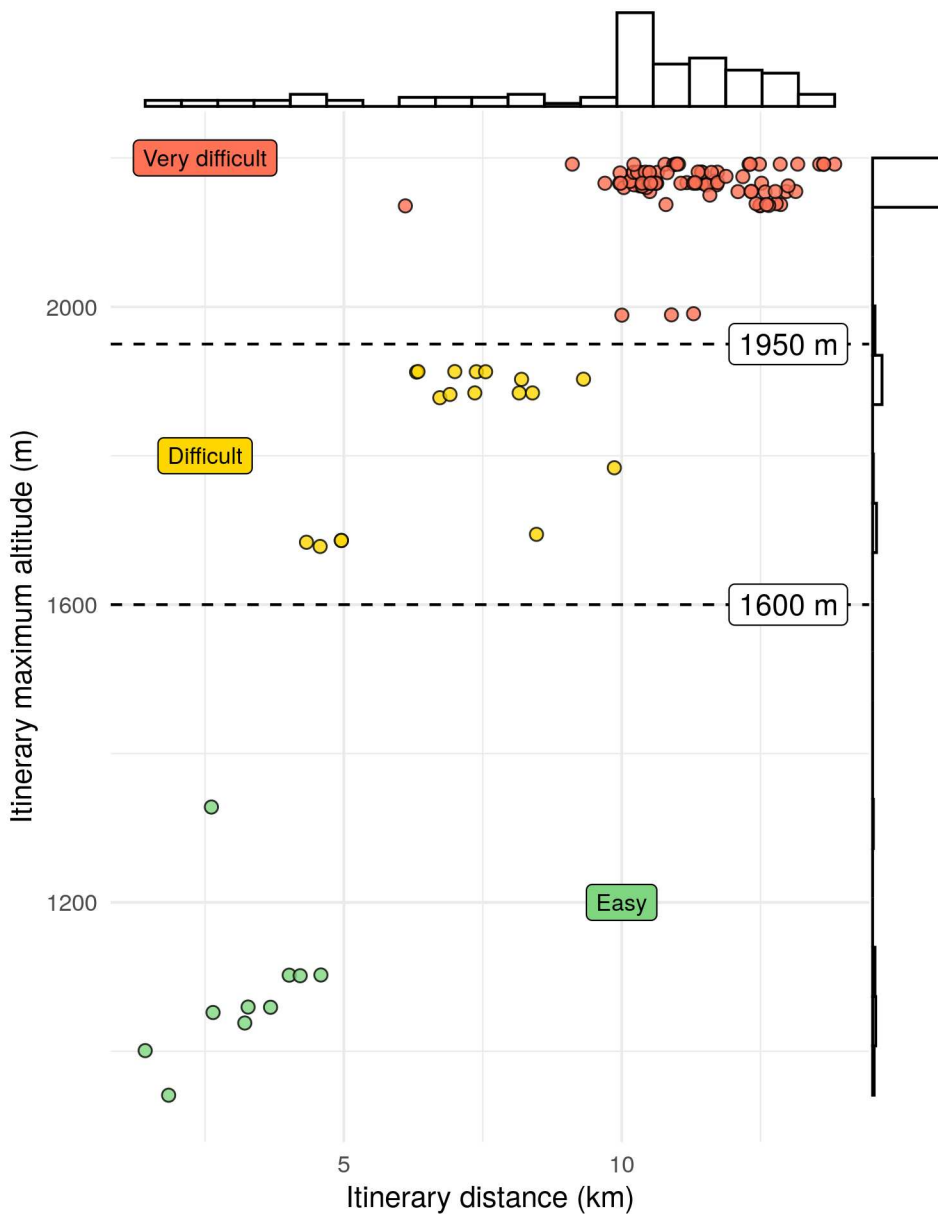


FIGURE 7.2. – Classification ad hoc of hikers itineraries by maximum altitude (the colours represent itinerary difficulties)

Results

General results and analyses of time budget

Hikes on site 1 lasted longer, were longer in distance, with a smaller altitude gradient, walked at a higher speed, with groups starting later (Table 7.1). For the remaining of the analyses however, we treated the whole data set together, keeping Site as an explanatory variable (which was found to have no effect). The mean time budget index (« TBI », i.e. proportion of time spent walking) was $75.92 \pm 1.01\%$.

TABLE 7.1. – General results on the trajectories set, on both sites

	Site 1	Site 2
Mean departure time	09 :40	09 :13
Mean arrival time	14 :29	15 :12
Hike duration (h)	3.2 ± 0.14 [0.4;5.5]	4.1 ± 0.12 [1 ;7.2]
Mean hike distance (km)	8.8 ± 0.33 [1.2 ;11.7]	10.6 ± 0.25 [2.4 ;13.8]
Mean hike altitude gradient (m)	1814.7 ± 76.03 [105.3 ;2484.5]	2126.4 ± 60.17 [218 ;2883.3]
MMean speed (km/h)	2.8 ± 0.08 [1.7 ;6.1]	2.7 ± 0.05 [1.6 ;4.3]

The best model (see appendix 2) for TBI varied according to the age and gender composition of the group, difficulty of the itinerary, and frequency of practice, with second-way interactions between gender and difficulty, and gender and frequency of practice (Fig. 7.3). Middle-aged groups spent the least amount of their time walking (TBI= $70.75 \pm 1.90\%$, $p < 0.001$), compared to all other groups (Fig. 7.3A). TBI also varied with gender composition, in interaction with the level of difficulty of itinerary and the frequency of use. Indeed, differences between women-only groups and men-only groups occurred only on difficult itineraries, for which TBI was $86.70 \pm 4.62\%$ and $76.20 \pm 4.68\%$ for women- and men-only groups respectively. Frequent-user spend least of their time ($p < 0.05$) walking on easy itineraries when groups were composed of at least one user hiking every holiday (Fig. 7.3C).

As expected from how we defined the typology of hikers depending on their pause, the TBI was highest for speeders ($84.05 \pm 3.99\%$, $p < 0.001$), than for resters ($81.15 \pm 5.34\%$) or observers ($73.16 \pm 4.31\%$, Fig. 7.3E). This effect of the typology of hikers differed depending on the difficulty of the hike : on easy hikes, all of the groups walked relatively less (lower TBI) except speeders. For all values of almost every component of the group variables (frequency of practice, gender and pause profile), easy itineraries got the lowest TBI. The general tendency was that the easier the itinerary, the more users spent in pauses.

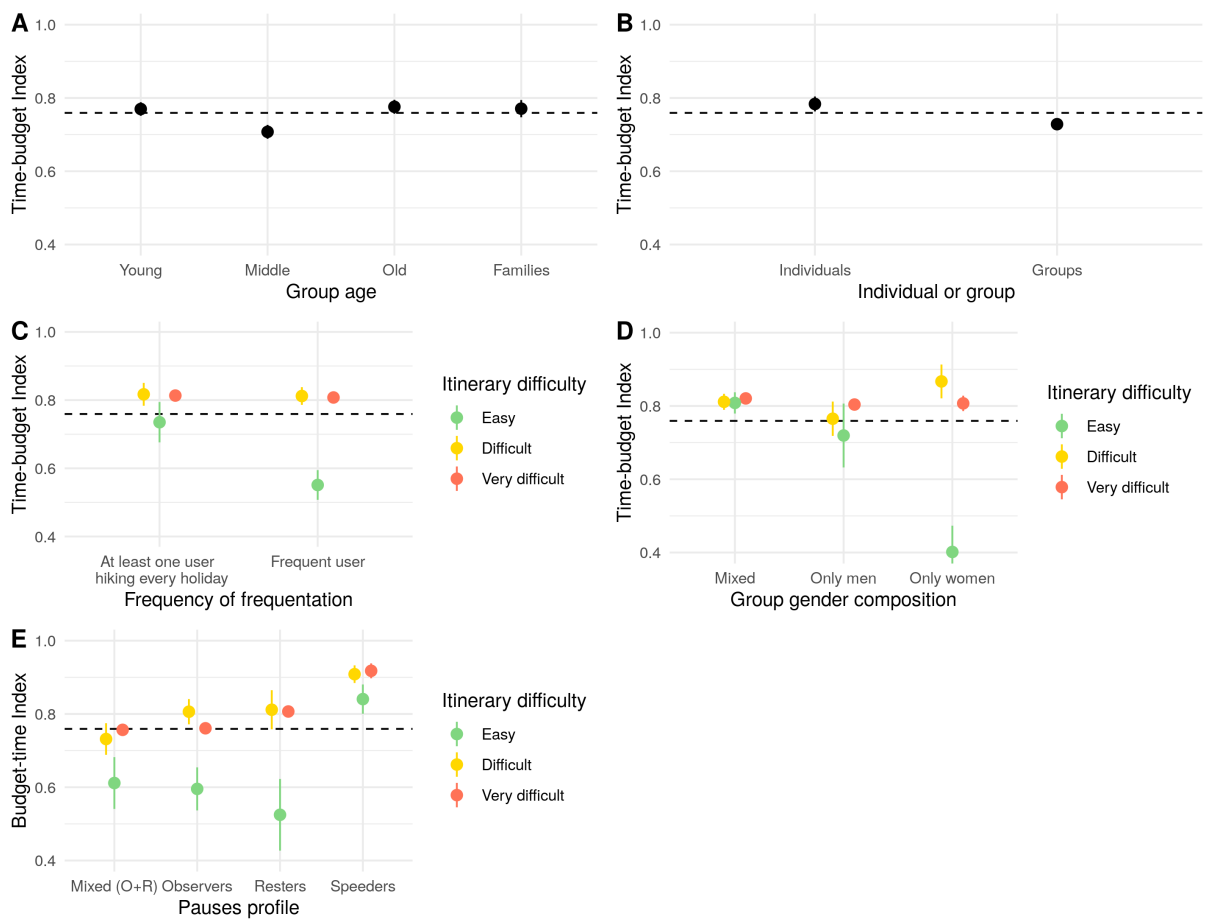


FIGURE 7.3. – Effects of hikers profiles on the TBI : group age (A), group composition (B), frequency of frequentation (C), group gender composition (D), pauses behaviour (E), and interactions with the choice of itinerary difficulty (C, D and E), the dashed line represents the mean TBI (75,92%).

Terrain, socio-demographic categories and hiking speed

Over the different models tested, we selected the most similar models between uphill model and downhill model, for the sake of simplicity, but also in order to re-use both models in scenario simulations (see appendix 3 and 4). The main effect for explaining observed speed was the slope. The ascent model indicates that for a slope of 40° , the mean walking speed is $1.42 \pm 0.11 \text{ km.h}^{-1}$, for a slope of 30° , the mean walking speed is $2.06 \pm 0.10 \text{ km.h}^{-1}$, and for a slope of 10° , the mean walking speed is $4.32 \pm 0.25 \text{ km.h}^{-1}$. The descent model indicates that for a slope of -40° , a mean walking speed of $1.85 \pm 0.18 \text{ km.h}^{-1}$, for a slope of -30° , a mean walking speed of $2.55 \pm 0.15 \text{ km.h}^{-1}$, and for a slope of -10° , $4.87 \pm 0.32 \text{ km.h}^{-1}$. For similar absolute slope values, the descent model gives significantly higher values of mean walking speed than the ascent model. The figure 7.4 represents the walking speed as a function of the slope value, separated between the descent model and the ascent model. Three socio-demographic components were kept through model selection (group size, age composition and frequency of practice), while gender composition of the group and typology based on pauses had no significant effects on speed.

Single individuals walked down up and down quicker (mean speed uphill : $2.98 \pm 0.15 \text{ km.h}^{-1}$, downhill : $3.80 \pm 0.21 \text{ km.h}^{-1}$) than groups (mean speed uphill : $2.77 \pm 0.11 \text{ km.h}^{-1}$, downhill : $3.34 \pm 0.15 \text{ km.h}^{-1}$). Young-aged groups ascended the quickest (mean speed $3.23 \pm 0.18 \text{ km.h}^{-1}$), then the families groups (mean speed $3.09 \pm 0.17 \text{ km.h}^{-1}$), the middle-age groups (mean speed $2.76 \pm 0.12 \text{ km.h}^{-1}$), and the slowest were old-aged groups (mean speed $2.52 \pm 0.12 \text{ km.h}^{-1}$). This order is the same when hikers walk down and the differences between mean walking values are similar. Young-aged groups walk quicker than old-aged groups by 0.71 km.h^{-1} uphill and by 0.73 km.h^{-1} downhill. The frequency of practice has an opposite effect than the one expected as groups with frequent hikers walked slower than groups with holiday-only hikers (difference of 0.41 km.h^{-1} downhill, and 0.48 km.h^{-1} uphill, Fig. 7.4).

Hiking speed models comparison

In addition to our empirical estimation of speed according to slope (see above section), we run four theoretical models commonly used and described in the literature : Tobler (1993), Langmuir (1969), Rees (2004), Irmischer and Clarke (2017). The figure 7.5 represents the different predicted values from our and other models.

Our model(s) has a small asymmetry centered on around -5° . The curve slope is slightly higher in the ascent model than in the descent model. Tobler's hiking function appears to give a curve of similar shape as our model : small asymmetry centered on a shifted value from 0° . Besides our model gives higher values of walking speed than in Tobler's. We found that Tobler's hiking function globally underestimates the observed speeds by a mean of 1.77 km.h^{-1} in the ascent, and 1.88 km.h^{-1} in the descent. The corrected Naismith-Langmuir model focuses in the ascent. Walking speeds follow a more asymptotic curve than in our model. Values are smaller, especially for ascent slopes between 0° and 20° . In the descent, the model only estimates walking speed

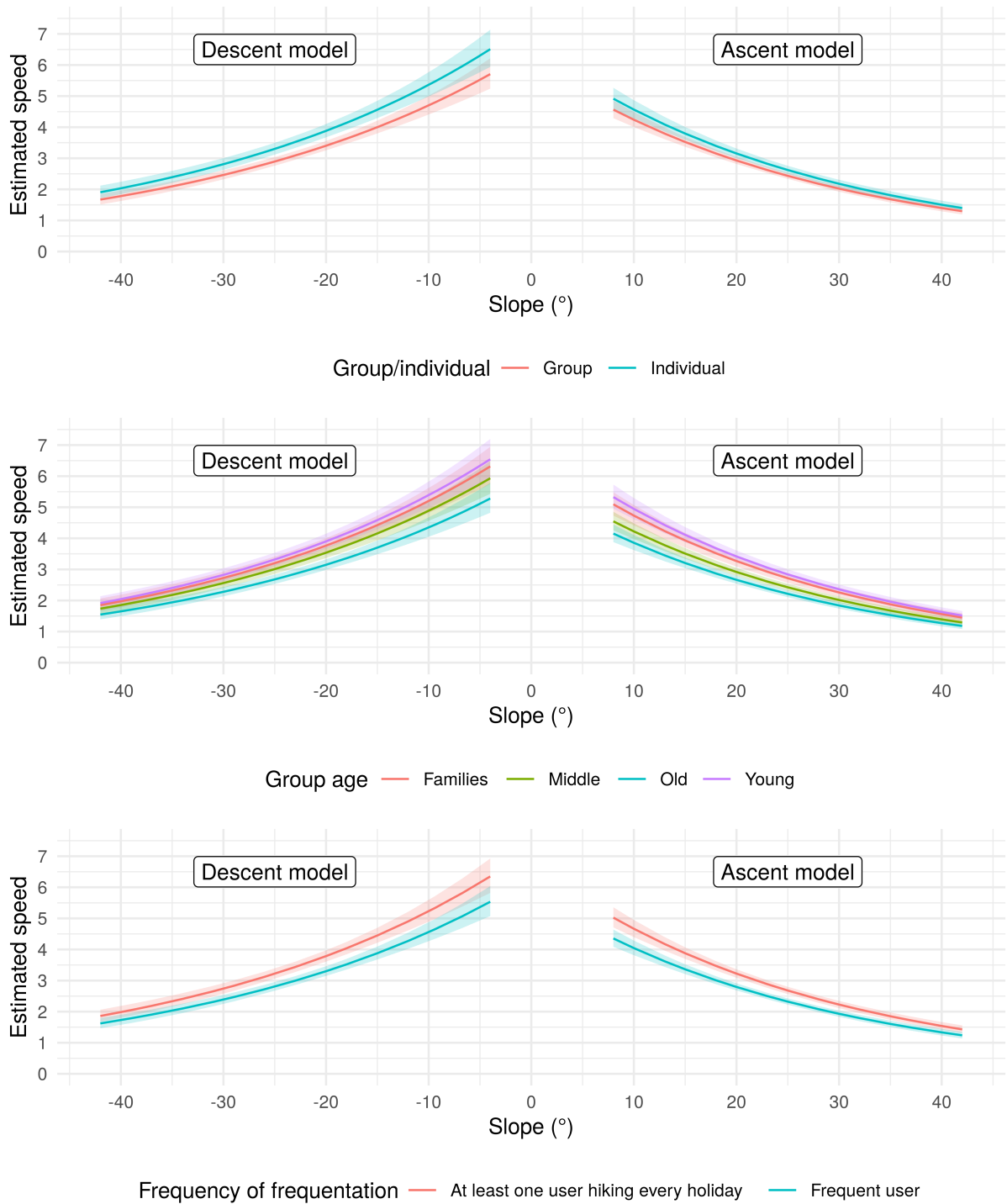


FIGURE 7.4. – Walking speed as a function of slope for descent model and ascent model, by considering the different values of three socio-demographic variables.

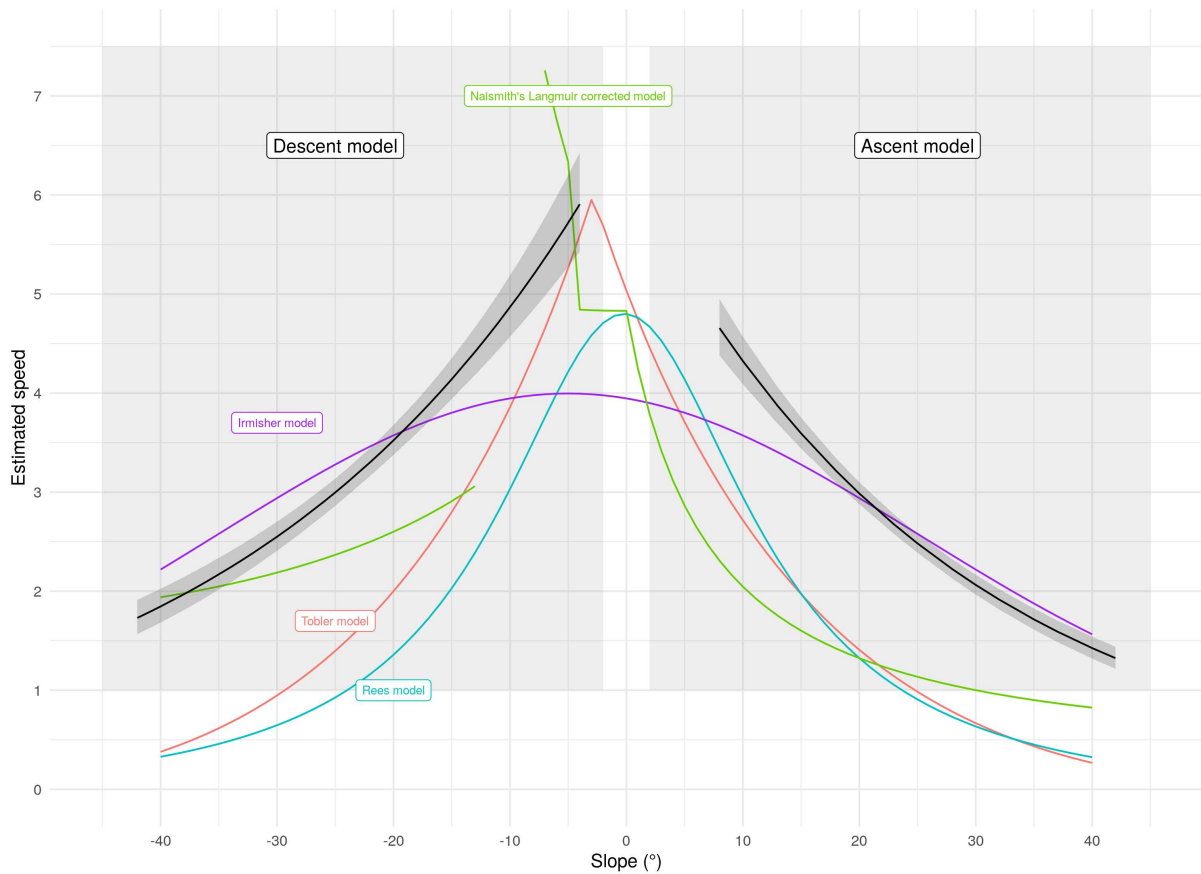


FIGURE 7.5. – Comparison for uphill and downhill speeds between our general linear mixed model (in black) and four models from the literature : Tobler’s (in red), the corrected Naismith-Langmuir’s (in green), Rees’ (in blue), Irmisher’s (in purple).

for slope values comprised between -5° and -10° , clearly overestimating them. The Rees' model follows a normal distribution perfectly symmetric centered on 0° . Irmisher's model estimates similar mean walking speed than our model for slopes inferior to -10° and superior to 10° . For small slope values between -10° and 10° , walking speeds is underestimated compared to the outcomes of our model.

Our model gives higher walking speeds for ascent and descent slopes than the four selected models in the literature, except in high slope values when compared to Irmisher's. It can be assumed that walking speeds are generally underestimated when they were not based on recorded movement data like GPS tracks.

Simulation of two scenarios and accessibility

We used our function to define two scenarios according to two different sociological profiles : young single speeder hiking only during holiday vs a reter old group of frequent hikers. The aim of the scenarios is to simulate the walking distances along the hiking paths for the two profiles. The two scenarios were launched for two durations, 60 minutes and 75 minutes, resulting in four computed walking distances. The outcomes of the simulations are represented on the map in figure 7.6.

The map shows that for a duration of 75 minutes of hiking, the young individual could reach the main summit of the study site 1 Mont Trelod, while the old-aged group reach the mountain pass passage du Charbonnet. This pass is located halfway (both distance- and altitude gradient-wise) on the itinerary ending at Mont Trelod. The slope before reaching the summit is very steep, which explains the small difference between the 2-D covered distances during 60 and 75 minutes by the young individual and the old-aged group. The outcomes of the scenarios illustrate the potential variations in accessibility related to socio-demographic variables.

Discussion

We framed our study within Hägerstrand (1970) time geography and Nathan et al. (2008) new paradigm constraints : movements should be determined by some internal variables/capacity constraints, some coupling constraints, and some authoritative/environmental constraints. We found indeed that hikers age, gender and experience (capacity constraints), group size (coupling constraints) and terrain (authority) impacted both time budget during a hike (the relative time devoted to walking and pause) and the speed during walking. This led to site accessibility to be potentially very different for different recreationists. We discuss below our results compared to previous models of walking speed in the moutain and previous studies combining socio-demographic data with GPS trackers. We open our discussion by underlining the benefit of getting more accurate models of hikers spatio-temporal distribution in terms of organising rescue and for evaluating the impact of recreationists on ecosystems and wildlife.

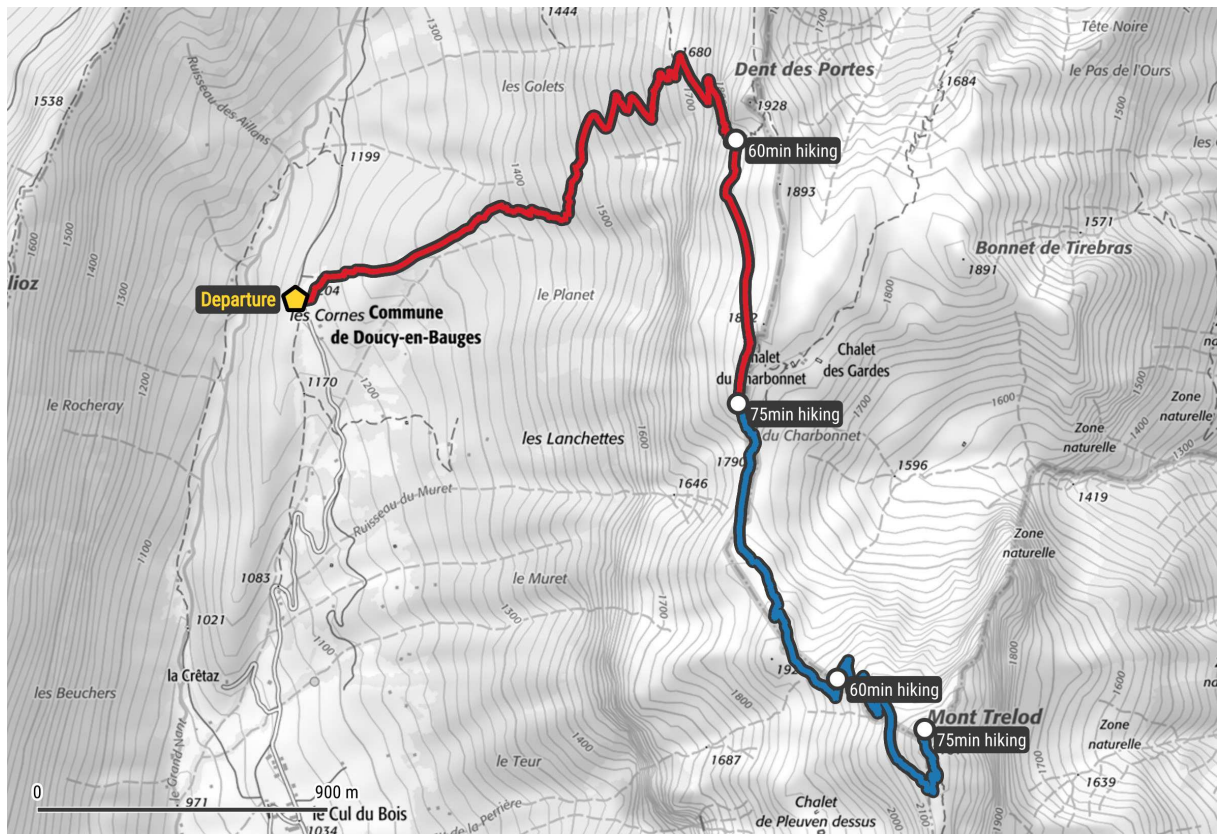


FIGURE 7.6. – Distances covered in 60 and 75 minutes simulated from our walking speed model/function. Two scenarios are considered : one concerning a speeder young individual hiking only every holiday (in blue) compared to a scenario concerning a restler old group of frequent hikers (in red)

Slope as the main terrain variable determining walking speed.

Based on recorded movement data, our findings confirmed that slope is the main factor determining walking speeds uphill and downhill. The model we found shows a small asymmetry between ascent and descent slightly shifted from the slope 0° , which we could show as we performed models for ascent and descent separately. The shape of our function was similar to the outcomes of Tobler's function (Tobler 1993), though it estimated walking speeds than Tobler's, and than all the other compared models. The previous theoretical models hence all tended to under-estimate walking speed, at least in a mountainous environment. One explanation for this is that we removed even the shortest pause from the walking time, while other models may not.

Capability and coupling constraints, assessed through socio-demographic variables impacting speed.

Schamel and Job (2017) is the closest empirical study to ours for estimating hiking speeds and accessibility, as we considered similar variables such as gender, age, and group size as potentially modulating walking speed in a mountainous region. Schamel and Job (2017) demonstrated with their hiking speed model that : i) older groups and young groups differences in walking speed tend to increase with slope, ii) gender has a major effect on hiking speed with men-only groups hiking faster than women-only groups, iii) the group size has no influence on hiking speed. Our results are consistent with theirs, except that we we found no interaction between age and slope, no effect of gender composition, and an effect of group size. These differences may stem from us having removed the time in pause, even the short ones. This is supported that, even though we did not find any gender effect on hiking speed, we found a gender effect on the proportion of time spent walking. Subtle differences in methodology and how hiking speed is estimated (i.e. including or not pauses, on short or long sections of paths) can influence which factors turn up significant or not. Both Schamel and Job (2017)'s and our results point out that individual walking speed depends on the group composition, and hence dynamic relationship in a group. This is exemplified by the effect of the presence of children in a group (leading to a 18% decrease in speed in Schamel and Job's work), which we could not estimate to such a detailed extent in our study, where we did not have the age of children for instance.

Methodological issues

We could improve our statistical model with a better segmentation of the hiking path network. Indeed, estimation of speed depends on the length of the path section and on the how well the average slope represent the whole slope path section. In our study, the mean distance hiking path for GPS points was about 19 meters. Matching shorter hiking path segments would need important preprocessing and post-processing in order to have better matched results. The rapid improvement of both the resolution of terrain maps and GPS precision should allow a better estimation of speed in the future. Ideally, it should be combined with a validation of actual speed

measured in the field, which we did not perform here. To further validate the prediction of our model relating speed to slope, we could also perform some cross validation on a subset of our data set, or on data collected in the future on the same site.

Other factors determining hiking as an outdoor activity

The terrain in our study was assessed only by slope and an index of the itinerary difficulty. However, speed could be influenced by other aspects of the terrain, such as the nature of the ground, the scenic value of the landscape (Hammit, Patterson, and Noe 1994; Ulrich 1986) as well as the vegetation covers (open area, bushes, forest, tall grass, thorny vegetation) that all can influence hiking speed (Kondo and Seino 2010). As the structure of the landscape in the mountain changes (Schirpke et al. 2019) due to climate change and modification of land use, speed calculated on extant itinerary may change in the future, calling for the relationship between speed and other biophysical and landscape attributes to be investigated further. In our study, we only considered capacity constraints relative to age, gender and experience. Other constraints could however influence the time spend on a hike and the choice of an itinerary, such as the time required to reach the trailhead, or the time required to go back home. This may relate to hikers provenance and the accessibility of the trailhead by private or public transport (Shoval and Isaacson 2009). A more comprehensive overview of hiker provenance could therefore be helpful (Granet and Dobré 2009; Rech, Mounet, and Paget 2011; Wang, Brown, and Liu 2015) to better understand how hiker distribute in the landscape and how rapidly they walk uphill and downhill.

Hiking speed and prediction of hiker distribution in the mountains

One direct application of our hiking speed function improved by socio-demographic variables, is to gain knowledge for decision-making tools. When a victim or a person makes an emergency call, mountain rescuers are deducing a potential location from the provided indications. Our model could help retracing victims' itinerary and estimate their actual position more accurately (Bunel et al. 2019; Olteanu-Raimond et al. 2017). The next step would be to map buffer zones representing the standard errors around the positions, showing the most probable zones to look for victims and not only one point. Any information given about age, group composition, frequency of practice, would add information to compute a more realistic hiking speed of a victim (as we did in our scenario), and to estimate a location from a starting or intermediate known point or landmark on the hike. Improvements about individual information from more focused questionnaires, could refine the hiking function and therefore reduce the estimation errors.

Another benefit of better predicting time budget, pause locations, and walking speed, it to better assess the distribution of hikers in the mountains, as a tool to evaluate their impact on the ecosystem and wildlife (Marion et al. 2016).

Appendix

Appendix 1

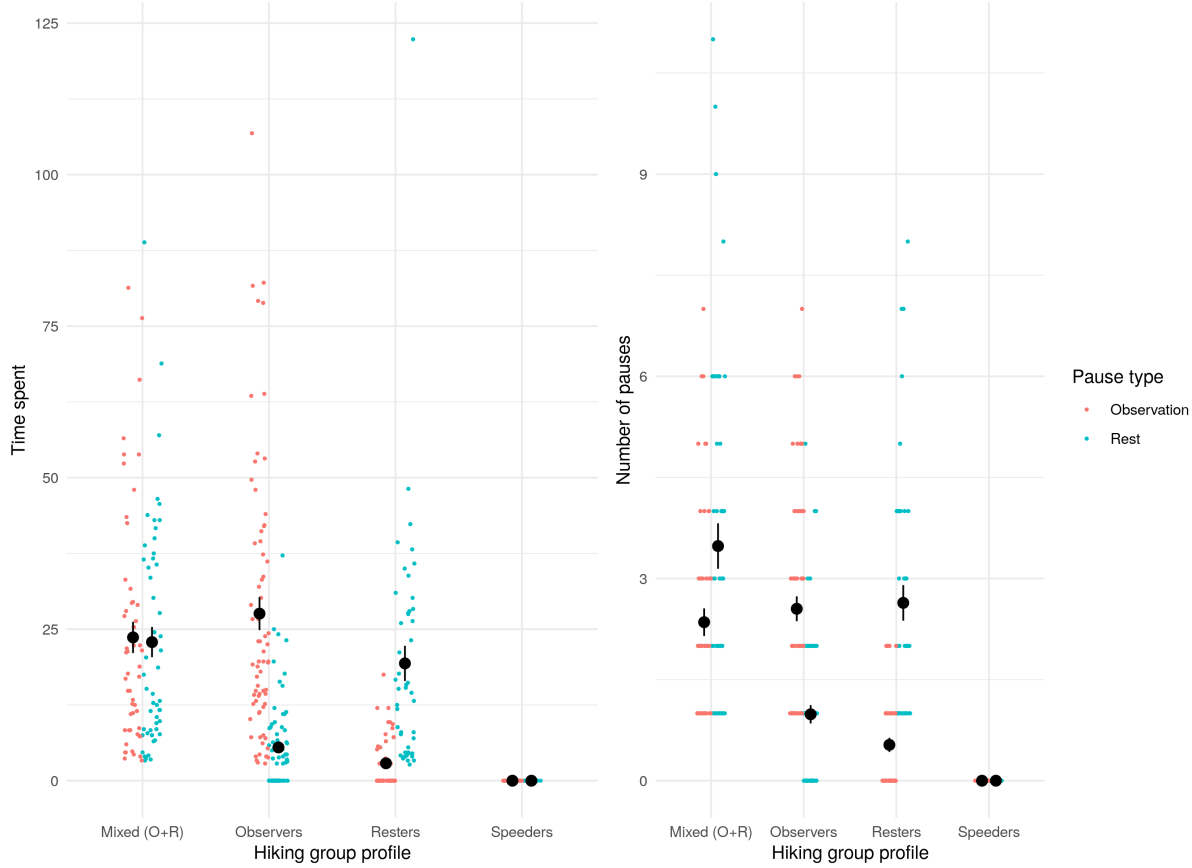


FIGURE 7.7. – Classification of hikers profiles by pausing behaviour

Appendix 2

TABLE 7.2. – Model selection for TBI with group size (« Size » : 4 categories), age group (« Age » : 4 categories), frequency of practice (« Freq » : 2 categories), gender group (« Gender » : 2 categories), pause profile (« Pause » : 4 categories) and itinerary difficulty (« Diff » : 3 categories). TBI was analysed with a log-link beta regression model. AICc = corrected Akaike Information Criteria ; df = degrees of freedom ; delta = difference between a model’s AICc and the lowest AICc. All models $\Delta AICc < 5$ are included in the Table, as well as null models.

Model	df	AICc	delta
Pause + Age + Freq + Gender + Size + Diff x (Freq + Gender)	20	-233,6	0
Pause + Age + Freq + Gender + Size + Diff x (Freq + Gender) + Site	21	-230,8	2,84
Pause + Age + Gender + Size + Diff x Gender	17	-229,3	4,35
Pause + Age + Freq + Gender + Diff x (Freq + Gender)	19	-229,1	4,56

Appendix 3

TABLE 7.3. – Model selection for uphill walking speed with slope, group size (« Size » : 4 categories), age group (« Age » : 4 categories), frequency of practice (« Frequency » : 2 categories), gender group (« Gender » : 2 categories). Uphill walking speed was analysed with a general linear mixed model. AICc = corrected Akaike Information Criteria ; df = degrees of freedom ; delta = difference between a model's AICc and the lowest AICc. All models $\Delta AICc < 5$ are included in the Table, as well as null models. Bold model is the model selected.

Model	df	AICc	delta
Slope + Age + Frequency	9	-7,6	0
Slope + Age + Frequency + Gender	11	-4,9	2,71
Slope + Age + Frequency + Size	10	-4,1	3,58

Appendix 4

TABLE 7.4. – Model selection for downhill walking speed with slope, group size (« Size » : 4 categories), age group (« Age » : 4 categories), frequency of practice (« Frequency » : 2 categories), gender group (« Gender » : 2 categories). Downhill walking speed was analysed with a general linear mixed model. AICc = corrected Akaike Information Criteria ; df = degrees of freedom ; delta = difference between a model's AICc and the lowest AICc. All models $\Delta\text{AICc} < 5$ are included in the Table, as well as null models. Bold model is the model selected.

Model	df	AICc	delta
Slope + Size	6	140,8	0
Slope + Frequency + Size	7	141,3	0,57
Slope + Frequency	6	144	3,21
Slope + Age + Frequency + Size	10	144,9	4,12
Slope + Frequency + Gender	8	145,3	4,5

References

- Anderson, J. 1971. "Space-Time Budgets and Activity Studies in Urban Geography and Planning." *Environment and Planning A* 3 (4): 353–68.
- Andrienko, Gennady, Natalia Andrienko, Urska Demsar, Doris Dransch, Jason Dykes, Sara Irina Fabrikant, Mikael Jern, Menno-Jan Kraak, Heidrun Schumann, and Christian Tominski. 2010. "Space, Time and Visual Analytics." *International Journal of Geographical Information Science* 24 (10): 1577–1600. doi:10.1080/13658816.2010.508043.
- Bates, Douglas, Martin Maechler, Ben Bolker, Steven Walker, Rune Haubo Bojesen Christensen, Henrik Singmann, Bin Dai, et al. 2019. "Lme4: Linear Mixed-Effects Models Using 'Eigen' and S4."
- Birant, Derya, and Alp Kut. 2007. "ST-DBSCAN: An Algorithm for Clustering SpatialTemporal Data." *Data & Knowledge Engineering* 60: 208–21.
- Bunel, Mattia, Cécile Duchêne, Ana-Maria Olteanu-Raimond, Marlène Villanova-Oliver, Grégoire Bonhoure, and Tiphaine Jouan. 2019. "An Approach for Identifying and Analysing Reference Features and Spatial Relations Used in Mountain Emergency Calls." *Proceedings of the ICA 2* (July): 1–8. doi:10.5194/ica-proc-2-12-2019.
- Demšar, Urška, and Kirsi Virrantaus. 2010. "SpaceTime Density of Trajectories: Exploring Spatio-Temporal Patterns in Movement Data." *International Journal of Geographical Information Science* 24 (10): 1527–42. doi:10.1080/13658816.2010.511223.
- Demšar, Urška, Kevin Buchin, E. Emiel van Loon, and Judy Shamoun-Baranes. 2014. "Stacked Space-Time Densities: A Geovisualisation Approach to Explore Dynamics of Space Use over Time." *GeoInformatica* 19 (1): 85–115. doi:10.1007/s10707-014-0207-5.
- Dodge, Somayeh, Robert Weibel, and Anna-Katharina Lautenschütz. 2008. "Towards a Taxonomy of Movement Patterns." *Information Visualization* 7 (3-4): 240–52.
- Engels, Friedrich. 1892. *The Condition of the Working Class in England in 1844*. Allen and Unwin London.
- Etienne, Laurent. 2011. "Motifs Spatio-Temporels de Trajectoires d'objets Mobiles, de L'extraction à La détection de Comportements Inhabituels. Application Au Trafic Maritime." PhD thesis, Université de Bretagne occidentale-Brest.
- Fennell, David A. 1996. "A Tourist Space-Time Budget in the Shetland Islands." *Annals of Tourism Research* 4 (23): 811–29.
- Granet, Anne-Marie, and Michelle Dobré. 2009. "Les Citadins et La forêt En France."
- Hägerstrand, Torsten. 1970. "What About People in Regional." *Papers of the Regional Science Association* 24: 1–12.
- Hammitt, William E., Michael E. Patterson, and Francis P. Noe. 1994. "Identifying and Predicting Visual Preference of Southern Appalachian Forest Recreation Vistas." *Landscape and Urban Planning* 29 (2): 171–83. doi:10.1016/0169-2046(94)90026-4.
- Irmischer, Ian J., and Keith C. Clarke. 2017. "Measuring and Modeling the Speed of Human Navigation."

- Cartography and Geographic Information Science* 45 (2): 177–86. doi:10.1080/15230406.2017.1292150.
- Kay, Anthony. 2012. “Route Choice in Hilly Terrain,” 55.
- Kondo, Yasuhisa, and Yoichi Seino. 2010. “GPS-Aided Walking Experiments and Data-Driven Travel Cost Modeling on the Historical Road of Nakasendō-Kisoji (Central Highland Japan).”
- Langmuir, Eric. 1969. *Mountain Leadership: The Official Handbook of the Mountain Leadership Training Boards of Great Britain*. Scottish Council of Physical Recreation.
- Marion, Jeffrey L., Yu-Fai Leung, Holly Eagleston, and Kaitlin Burroughs. 2016. “A Review and Synthesis of Recreation Ecology Research Findings on Visitor Impacts to Wilderness and Protected Natural Areas.” *Journal of Forestry* 114 (3): 352–62. doi:10.5849/jof.15-498.
- McArdle, Gavin, Urška Demšar, Stefan van der Spek, and Seán McLoone. 2014. “Classifying Pedestrian Movement Behaviour from GPS Trajectories Using Visualization and Clustering.” *Annals of GIS* 20 (2): 85–98.
- McKercher, Bob, Noam Shoval, Erica Ng, and Amit Birenboim. 2012. “First and Repeat Visitor Behaviour: GPS Tracking and GIS Analysis in Hong Kong.” *Tourism Geographies* 14 (1): 147–61. doi:10.1080/14616688.2011.598542.
- Minetti, A. E. 1995. “Optimum Gradient of Mountain Paths.” *Journal of Applied Physiology* 79 (5): 1698–1703. doi:10.1152/jappl.1995.79.5.1698.
- Naismith, William. 1892. “Cruach Ardran, Stobinian, and Ben More.” *Scottish Mountaineering Club Journal* 2 (3).
- Nathan, Ran, Wayne M. Getz, Eloy Revilla, Marcel Holyoak, Ronen Kadmon, David Saltz, and Peter E. Smouse. 2008. “A Movement Ecology Paradigm for Unifying Organismal Movement Research.” *PNAS* 105 (49).
- Newson, Paul, and John Krumm. 2009. “Hidden Markov Map Matching Through Noise and Sparseness.”
- Olteanu-Raimond, Ana-Maria, Paule-Annick Davoine, Mauro Gaio, Eric Gouarderes, Marie-Dominique Van Damme, Marlène Villanova-Oliver, Mickaël Brasebin, et al. 2017. “Projet CHOUCAS: Intégration de données hétérogènes et raisonnement spatial pour l’aide à la localisation des victimes en montagne,” 6.
- Orellana, Daniel, Arnold K. Bregt, Arend Ligtenberg, and Monica Wachowicz. 2012. “Exploring Visitor Movement Patterns in Natural Recreational Areas.” *Tourism Management* 33 (67): 2e682.
- Pearce, Douglas G. 1988. “Tourist Time-Budget.” *Annals of Tourism Research* 15 (1): 106–21.
- Philips, I., David Watling, and Paul Timms. 2015. “Improving Estimates of Capacity of Populations to Make Journeys by Walking and Cycling: An Individual Modelling Process Applied to Whole Populations Using Spatial Microsimulation.” *University Transport Studies Group. City University London*.
- Pingel, Thomas J. 2010. “Modeling Slope as a Contributor to Route Selection in Mountainous Areas.” *Cartography and Geographic Information Science* 37 (2): 137–48.
- Rech, Yohann, Jean-Pierre Mounet, and Élodie Paget. 2011. “Mobilité Urbaine et Loisirs Sportifs de Nature. Le Cas de L’agglomération Grenobloise (France).” *Loisir et Société / Society and Leisure* 34 (2): 19–41. doi:10.1080/07053436.2011.10707825.
- Rees, W.G. 2004. “Least-Cost Paths in Mountainous Terrain.” *Computers & Geosciences* 30 (3): 203–9.

doi:10.1016/j.cageo.2003.11.001.

Scarf, Philip. 2007. "Route Choice in Mountain Navigation, Naismith's Rule, and the Equivalence of Distance and Climb." *Journal of Sports Sciences* 25 (6): 719–26. doi:10.1080/02640410600874906.

Schamel, Johannes, and Hubert Job. 2017. "National Parks and Demographic Change the Effects of Ageing Hikers on Mountain Landscape Intra-Area Accessibility." *Landscape and Urban Planning* 163: 32–43.

Schirpke, Uta, Andreas Altzinger, Georg Leitinger, and Erich Tasser. 2019. "Change from Agricultural to Touristic Use: Effects on the Aesthetic Value of Landscapes over the Last 150 Years." *Landscape and Urban Planning* 187 (July): 23–35. doi:10.1016/j.landurbplan.2019.03.004.

Shoval, Noam, and Michal Isaacson. 2009. *Tourist Mobility and Advanced Tracking Technologies*. Routledge.

Sorokin, Pitirim A., and Clarence Q. Berger. 1939. *Time-Budgets of Human Behavior*. 1st US - 1st Printing edition. Harvard University Press.

Spaccapietra, Stefano, Christine Parent, Maria Luisa Damiani, Jose Antonio de Macedo, Fabio Porto, and Christelle Vangenot. 2008. "A Conceptual View on Trajectories." *Data & Knowledge Engineering* 65: 126–46.

Spangenberg, Thomas. 2014. "Development of a Mobile Toolkit to Support Research on Human Mobility Behavior Using GPS Trajectories."

Taczanowska, K., L. M. González, X. Garcia-Massó, A. Muhar, C. Brandenburg, J. L. Toca-Herrera, and others. 2014. "Evaluating the Structure and Use of Hiking Trails in Recreational Areas Using a Mixed GPS Tracking and Graph Theory Approach." *Applied Geography* 55: 184–92.

Taczanowska, Karolina, Andreas Muhar, and Christiane Brandenburg. 2008. "Potential and Limitations of GPS Tracking for Monitoring Spatial and Temporal Aspects of Visitor Behaviour in Recreational Areas." *Management for Protection and Sustainable Development, Conciglio Nazionale Della Ricerche, Montecatini, Italy*, 451–55.

Tobler, Waldo. 1993. *Three Presentations on Geographical Analysis and Modeling*.

Ulrich, Roger S. 1986. "Human Responses to Vegetation and Landscapes." *Landscape and Urban Planning* 13: 29–44.

Wang, Dong, Gregory Brown, and Yan Liu. 2015. "The Physical and Non-Physical Factors That Influence Perceived Access to Urban Parks." *Landscape and Urban Planning* 133 (January): 53–66. doi:10.1016/j.landurbplan.2014.09.007.

Wood, Nathan J., and Mathew C. Schmidlein. 2012. "Anisotropic Path Modeling to Assess Pedestrian-Evacuation Potential from Cascadia-Related Tsunamis in the US Pacific Northwest." *Natural Hazards* 62 (2): 275–300. doi:10.1007/s11069-011-9994-2.

Zheng, Yu, and Xiaofang Zhou. 2011. *Computing with Spatial Trajectories*. Springer Science & Business Media.

8. Article IV – Path frequentation in mountains depends on terrain dangerousness, hiker’s gender and group size

Auteurs

- Colin Micol Kerouanton
- Laurence Jolivet
- Clémence Perrin-Malterre
- Anne Loison

Manuscrit en préparation

Summary

How hikers distribute on a network of trails in the mountains during a day is a crucial information for managing the flux of people, rescuing lost or injured persons, and predicting the impact of trampling and human disturbance on soil, plants, and animals. Here, we analysed the level of frequentation of hikers on different sections of a path network, according to some biophysical and geographical characteristics of the path (slope, distance to the summit), and to the hikers group characteristics, group size and gender. There was a clear temporal pattern of path section used with the hour, most people aiming to be at the summits around lunch time, and a wider distribution of people in the afternoon than in the morning. Groups with women were less likely to hike up to the summit, and less prone to follow the steepest/most dangerous path sections. Women also hiked most often in groups, while 3 quarters of single hikers were men. This confirms previous findings on gender-biased behavior regarding risks, and calls for further study on the determinants of such unbalance. Our results should be useful to identify the spatio-temporal risks of disturbance for wildlife in the landscape, and for managing visitor flows by site managers if necessary.

Introduction

Outdoor recreationists well-being benefits from physical activities in natural areas (Wolf and Wohlfart 2014). Walking significantly reduces the risk of heart diseases, cholesterol, and possibly acts positively on mental health (Hanson and Jones 2015; Lee and Buchner 2008). Consequently, walking could even be profitable for society (Jones and Eaton 1994). However, a range of outdoor activities (e.g. hiking, mountaineering, climbing, rafting, trail running) are practiced in wildland (Hammitt, Cole, and Monz 2015; Lee and Moudon 2006), and, as a consequence, may have impacts on biodiversity and ecosystems (Hammitt, Cole, and Monz 2015), leading to soil erosion, vegetation losses, pollution and wildlife disturbance (Kerlinger et al. 2013; Törn et al. 2009). For instance, wildlife disturbance by outdoor recreationists can have manifold effects on stress, time budget, spatial behavior, and eventually fitness (Kerlinger et al. 2013), as a human can be perceived as a predator and therefore be associated to a risk (Beale and Monaghan 2004a; Beale and Monaghan 2004b; Frid and Dill 2002). Within the framework of recreation ecology (Hammit et al. 2015), it is therefore crucial to better understand the sociological profiles, motivations, behavior, and spatio-temporal distribution of humans in natural areas. Obtaining more empirical results on the intensity of use of different itineraries by different typologies of recreationists, depending on landscape attributes, is also pivotal to feed predictive models of human disturbance in natural areas (e.g. Cavens et al. (2004) and Chhetri (2015)), as well as for organising rescue for instance, in the case of accidents or missing persons (Van Damme, Olteanu-Raimond, and Méneroux 2019; Vanpouille, Vignac, and Soulé 2017).

Mountains are natural areas that are particularly attractive for outdoor enthusiasts, but that are also particularly fragile as ecosystems, hence hosting a large number of protected areas. The number of studies of hikers distribution in mountain areas has accordingly been increasing in the last decade, especially with the use of new technological devices allowing better counting and tracking of people. For instance, Taczanowska (2009) quantified how hiking path frequentation increased the closer path sections to the network entrance and the better marked it was, and how frequentation varied depending on whether the path section is paved, unpaved or with gravel. In scenic landscapes like mountains (Schirpke, Tasser, and Tappeiner 2013), high frequentation is also related to the density of points of interest, especially those with views, and, for overnight trippers, to the possibility to camp. Socio-demographic profiles contributes also to explaining frequency of use, as age, group size, former experience for instance all influence the choices of itineraries (Schamel and Job 2017; Taczanowska 2009). Taczanowska et al. (2014) identified users profiles, such as « wild-path visitor » who preferentially hike the small unpaved path sections with low signalisation. Unsurprisingly, familiar paths tend to be less frequented by more experienced hikers (Bryan 1977; Kim and Song 2017) and ageing hikers tend to perform shorter itineraries at a slower pace than younger ones (Schamel and Job 2017). Likewise, path sections that can be classified as dangerous or with a higher risk to fall, are frequented by more experienced hikers, called « mountaineers » (Schamel and Job 2017). But more subtle factors can modify the frequency of path section use, beyond people experience and terrain dangers, such as gender, the composition of the groups and the interrelationships among people when they are composed of

hikers with heterogeneous ages, gender and experience (Pomfret and Doran 2015 ; Schamel and Job 2017).

There is a large body of studies trying to decipher the roots of gender differences in engaging in different activities (e.g. Little (2002) and McNiel, Harris, and Fondren (2012)). Hiking is one of such activities that remain largely men-dominated, and where we can expect that different risk-prone or risk-shy behavior are dependent on gender-specific group composition (Soule et al. 2017). Windsor et al. (2009) for example reported from a review of ten studies that more than 80% of fatalities in mountaineering were men. This can result both from less women practising such activities, and from women tackling risks in different ways. Coble, Selin, and Erickson (2003) state that women have « negotiation strategies » for their recreational activities to deal with potentially hazardous situations. Applied to hiking, these strategies would be : hiking during the day, hiking within a group, avoid risky places (« displacement to another recreation area »). Gender should therefore be a major determinant of itinerary choice. Empirical studies are however few, especially in the context of hiking being often practiced in groups of different gender composition. It is therefore not only gender alone that probably matters, but, as soon as there are groups, also gender interrelationship and decision making that may influence decision to hike specific sections of a path according to its perceived risk.

To be able to study hikers itinerary and group characteristics requires obtaining jointly data on trajectories and on people. Nowadays, there is a growing number of articles on outdoor recreation, relying on the opportunities provided by spatial analysis and GPS based-approaches (Marzano and Dandy 2012 ; Pearce 1988 ; Pickering et al. 2018 ; Shoval and Isaacson 2007). However, studies combining such data with questionnaire, while rapidly growing, remain relatively few (but see e.g. van Marwijk, Elands, and Lengkeek (2007) and Schamel and Job (2017)). Our overarching goal here was to explore the determinants of the frequency of use of different path sections, accounting for (1) hiker group composition in terms of gender and group size and (2) a proxy of risk. We combined data from GPS-trackers and questionnaires with an analysis of the terrain aimed to build a risk factor. GPS technology offers great opportunities for the study of outdoor recreation and spatio-temporal patterns in human mobility (Fennell 1996 ; Orellana Vintimilla 2012 ; Shoval and Isaacson 2009 ; Shoval and Isaacson 2007). The concept of GPS trajectory – composed of stops and displacements and has been developed in GIS science (Buard 2013 ; Parent et al. 2013 ; Spaccapietra et al. 2008). A trajectory can be segmented to improve the understanding of spatio-temporal patterns of moving entities. These patterns can be explored within a trajectory, by identifying segments of homogenous movement attributes (e.g. in ecology : pauses, foraging sequences, movements between food patches Benhamou (2007), Calenges, Dray, and Royer-Carenzi (2008), and Damiani et al. (2016)), or by comparing several trajectories, based on the analyses of the similarity of their geometries, itineraries, and their interactions (Devoegele et al. 2017 ; Jacoby and Freeman 2016 ; Sand et al. 2005). For instance, metrics such as Frechet and Edit distances can be used for automatic classification of trajectories (Étienne 2013 ; Etienne et al. 2016 ; Toohey and Duckham 2015 ; Zheng and Zhou 2011). Alternatively, trajectories can be split into different segments by directions, speed similarity, or sinuosity, which

sequences are then compared to result into a classification (Dodge, Laube, and Weibel 2012; Dodge, Weibel, and Lautenschütz 2008). Another approach is to enrich trajectories semantically (Alvares et al. 2007; Parent et al. 2013; Yan et al. 2013) with path sections identifiers by using a map-matching algorithm (Newson and Krumm 2009), create sequences of path sections identifiers by trajectory, and finally classify these semantic trajectories by character string distance (Dodge, Laube, and Weibel 2012). We chose this last approach of trajectory classification to study hiking path frequentation. We then used this classification for testing whether each category of trajectories corresponded to sociological modalities, focusing more specifically on group size and gender composition. Following findings by Taczanowska et al. (2014) and Taczanowska (2009), we expected path sections which are closed to the hikes objectives (mainly the summits) to be more frequented in the middle of the day, and less frequented at the beginning and the end of the day. We further hypothesized that women were more prone to hike in groups, and avoided the riskiest itineraries.

Material and Methods

Study area

Our study area is located in the « Parc Naturel Régional du Massif des Bauges », in the northern French Alps (45.65°N, 6.23°E). This mountain massif has a maximum altitude of 2200 m. The area benefits from a special protection status, a National Game and Wildlife Reserve (NGWR), where legislation on hiking is strict (off-tracks and bringing dogs along are forbidden). We focused on two networks of hiking path, that we called Site 1 and Site 2. There is one summit (Mont Trélod, 2180m) on site 1, and two summits (Mont Pécloz, 2200m, and Mont d'Arménaz, 2180m) on site 2. Parkings are located at an altitude of 900m, and there is one main parking per site. The summits are not the only attractions, as there are also mountain passes from which one can see other alpine massifs and the Mont-Blanc. The hiking path networks have a total length of 19.34 km for site 1 and 35.38 km for site 2. The maximum gradients in altitude are 1250.34m for site 1 and 1326.85m for site 2. For each site, the hiking path network was cut into sections, separated by nodes (see PhD methodology section ??). Every section has been segmented into 5m segments, and we computed slopes, altitudes from a 5m resolution DEM, and we summarized those informations by path sections. The hiking path section farthest from the departure is 8.60 km from the parking on site 1, and 9.16 km on site 2. The distance from the hiking path section farthest to the closest summit is 9.19 km for site 1 and 7.39 km for site 2. As represented on the map of the hiking network (figure ??), the slopes are very steep for the hiking path sections close to the summits.

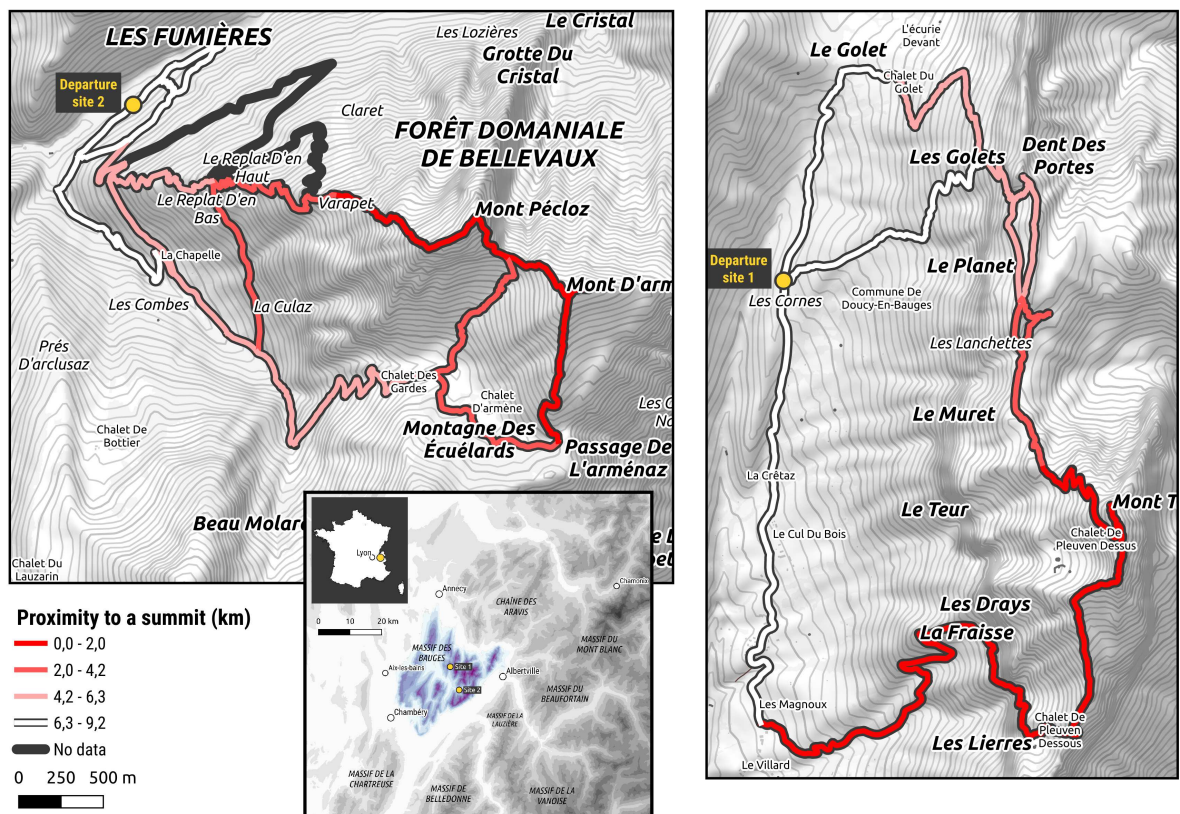


FIGURE 8.1. – Situation map : classification of the hiking path sections by proximity to the summits through the network. On site 2, a part of the hiking path network (No data part) has been recently added without the computation of the proximity to the summit

Data collection and trajectory attributes

In summer 2014 and 2015, we invited hikers to carry a gps tracker IgotU GT-120 during their activity, and to answer a sociological questionnaire afterwards. We were on sites to distributed the GPS and the questionnaires for 21 days (site 1 = 10 days, site 2 = 11 days), staying on parking lots from 7 :00am to 7 :00pm. Questionnaires aimed to get information about the motivations, size and gender composition of the hikers' groups, as well as to gather socio-demographic data. Only one GPS could be given per group, and we assigned GPS track id to the whole group. GPS fixes were recorded at 10 seconds intervals. We gathered 282 GPS tracks on the two sites. We used 125 GPS tracks out of these 282 tracks, selecting only those going further than 2 km from the parking, and intersecting the two alpine pastures from sites 1 or 2. We estimated a mean error of 19.35 meters for the tracks (95% of the raw data), error being calculated as the mean distance to the hiking path.

GPS data processing

We removed outliers from the GPS points with the safe-area algorithm (Potamias, Patroumpas, and Sellis 2006). As we did not focus here on the hikers pauses, we removed GPS points classified in pause by ST-DBSCAN (Birant and Kut 2007 ; Kerouanton et al. 2017). We simplified GPS tracks with the Douglas Peucker Ramer algorithm which is largely employed in trajectory analysis (Zheng and Zhou 2011). All the previous steps were pre-processing steps in order to employ the map-matching algorithm (Newson and Krumm 2009) which is only computed here for semantic enrichment of GPS points by path sections walked. We only kept information on the path sections for which length was superior to 268 m (268m corresponds to the first quartile of the hiking path sections distances). There are 46 path sections which are superior or equal to 268m and 16 strictly inferior. We did this selection to keep only the main sections used by hikers, because small sections would influence the clustering step (see itinerary profiles). Once the information on the path sections was obtained, we agglomerated sections into characters strings indicating the order of passage. This last process is summarized on Fig. 8.2, steps 1 and 2).

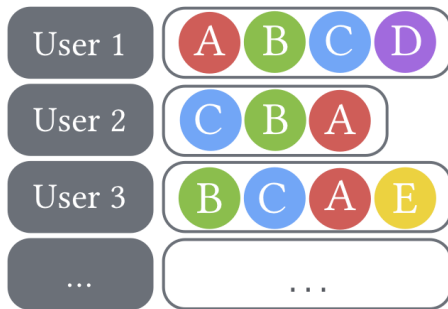
Path sections frequentation

First, we computed the number of trajectories walking through every path section, from 6am to 7pm, as shown on the point 3.1 of the figure (???) (fig :fexpenrichi) (6am being 0 count, as we started counting from 7am). Path sections have geographical information such as : real distances (distances taking altitude gradient into account), euclidean distances, and slope. We calculated the walking distances of a path section (starting point of the path section) to a summit (which can be multiple) and to the departure point (which is unique in our study), assuming hikers walked on the tracks of the hiking path network. Theses two distances were strongly correlated ($p < 0.001$) and we only used the distance of a path section centroid to a summit. However, rather than using this distance, we calculated a score of proximity to the summit, varying between 1 at

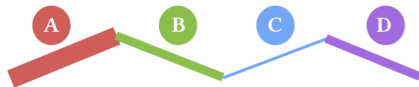
1. Semantic GPS trajectory



2. Sequences of GPS trajectories



3.1 Path sections frequentation



3.2 Jaccard distance and clustering

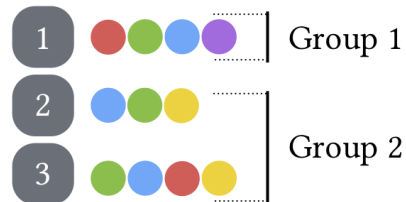


FIGURE 8.2. – (1) Semantic enrichment of GPS trajectories, (2) Sequence creation (string of characters) with hiking path sections id, (3.1) Hiking path sections counting with number of id detected, (3.2) Automatic classification of trajectories by Jaccard distance

the summit, and 0 far away from the summit (threshold chosen : 500 meters), using the formulae in Calenge (2005)- see chapter 6 for details. We actually used either this proximity score or, for illustration purposes, the « 1-proximity score » as a distance to the summit score, ranging from 0 at the summit, to 1, when >500 m from the summit.

Secondly, we built a raster map of dangerousness. We calculated a dangerousness score by adding

two scores, a slope score and the proximity to the summit score. We combined these two scores of a section because steep sections far away from the trailhead (i.e. close to a summit) occur when hikers are tired, which increases the hazard. We then discretized these values into 4 classes using the 0.25, 0.5 and 0.75 quantiles of the slope distribution, which we gave a 1 to 4 score.

We computed a proximity score, varying between 1 at the summit, and 0 far away from the summit (threshold chosen : 500 meters), using the formulae in Calenge (2005) - see chapter 6 for details. We added this proximity score to the slope score, which means that for a same slope score, we gave a penalty to areas that were closer to the summit. This combination of the two scores is the dangerousness score.

We sampled dangerousness values for each path section points every 5 meters, and simplified further the dangerousness score by categorizing as dangerous path sections with scores above the 0.75 quantile of the scores values, and as non dangerous the path sections with score values below this threshold. Given that slope increases close to the summit, our composite dangerousness score is strongly related to the distance to summit.

We used general linear mixed models with path sections frequentation by hour (number of groups multiplied by the number of individuals within groups, in a given path section for a given hour) as a response variable, and hour, proximity to the summit, and dangerousness as explanatory variables. We used a Poisson model, with a log-link function. The identify of the path section was accounted for as a random effect.

Itinerary profiles

From the sequences of trajectories by path sections walked (string of characters), we computed a Jaccard distance between all trajectories (3.2 on figure (???) (fig :fexpenrichi)) as the ratio between the number of common path sections walked between 2 trajectories (intersection) and the sum of all the unique path sections walked for both trajectories (union). As we mentioned it before, we discarded the short path sections (<268m, i.e. the first 25% quantile), which usually connects longer path sections, as they mostly inflated the union values without affecting the intersection values, hence decreasing the range of Jaccard distances. The hierarchical clustering procedure (Appendix 1) applied to the distance matrix of the 187 trajectories allowed us to identify 20 itinerary profiles (Appendix 2). From those 20 profiles, we examined the morphology of the trajectories and aggregated the profiles into binomial variables : selection of the dangerous path sections (1/0), at least one summit reached (0/1), making a loop (0/1). For our models, we only kept the selection of the dangerous section binomial variable. Using a generalised linear model with a binomial family and a logit link, we tested whether the response variable (the « 1 » of each of those binomial variables) depended on group gender composition and group size.

We also used the information provided in the questionnaire about the hiking goal. People carrying GPS trackers provided the name of a place, which we classified as a summit or not. We tested whether group gender composition could explain the probability for a group to have a summit as

a goal, using a generalised linear model. All analyses were performed with R. Model selection was based on the Akaike Information Criteria, whereby the model with the lowest AICc value was retained.

Results

Hiking path frequentation

There was no effect of dangerousness on the path sections frequentation ($b=-0.34\pm 0.89$, $Z=0.387$, $P=0.70$), once hour and distance to summit were included in the mixed effect generalised linear model. The intensity of frequentation per path section varied with hours and the distance of the path section to the summit (see 8.3, removing hour or distance to summit or their interaction lead to an increase in $AICc > 5000$), the patterns being as expected : most groups are in path sections that are close to the summit at 11 :00. Groups are more diversly distributed after this hour : at 2 pm for instance, distance to summit does not influence the level of frequentation, and there are as many groups on sections close to summit (see e.g. Fig. 8.3, distance to summit score = 0), far from the summit (Fig. 8.3, distance to summit score= 0.9), and in between (Fig. 8.3, distance to summit score= 0.9). From 5 :00 pm, most of the groups had finished their hike.

Group gender composition and itinerary strategies

The mean gender composition in groups was $62.39\% \pm 2.41\%$ of men, but it varied by group size (Fig 8.4A). Single hikers were men in more than three quarters of the cases ($78.70\% \pm 4.57\%$). Groups of 3 to 5 persons had on average an even sex-ratio ($47.26\% \pm 6.35\%$).

Groups selecting the most dangerous sections were more likely to have at least one man ($77.36\% \pm 5.80\%$), than groups avoiding these sections ($59.84\% \pm 3.14\%$)- Fig 8.4B.

Groups with men only were predicted to go to a summit in $95.64\% \pm 3.12\%$ of the cases, while only $77.14\% \pm 6.32\%$ of groups with at least one woman are predicted to hike to a summit (Fig 8.4C).

Illustration of the itinerary choices by sociological modality

Using the full information we got from GPS trackers, i.e. both pauses (see Chapter 6), speed (see Chapter 7), and itinerary typologies, we mapped two archetypical itineraries exemplifying gender differences on figure 8.5. One trajectory (red) would be an individual man (women rarely hiked alone), and the other trajectory (yellow) would be a group with more than 50% of women. The main aspect of this comparison is that the man trajectory uses the path section we classified dangerous, passing by « Varapet ». The second aspect is that the man trajectory selects two summits when the group trajectory selects only one summit. Those trajectories, being

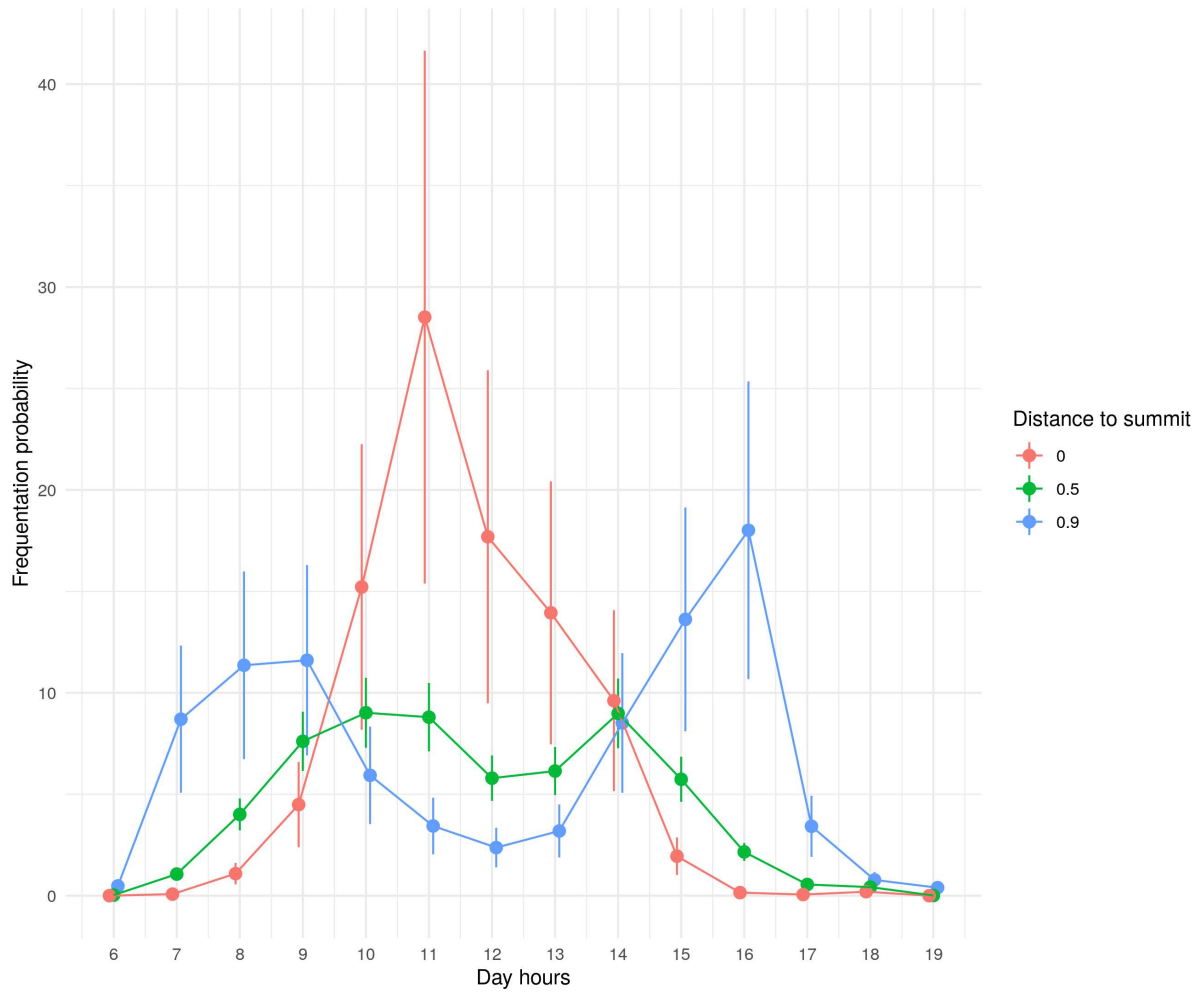


FIGURE 8.3. – Mean frequentation by hour as predicted from a generalised linear model, for 3 values of path distance to summit score (red = section by the summit, green = quite close to the summit, blue = far from the summit)

representative of the spatial use of the whole sample but not necessarily of the spatio-temporal use, differ significantly by the number of pauses taken. While the group takes 4 pauses longer than 17 minutes, the individual takes three pauses longer than 12 minutes but shorter than 14 minutes, and none longer than 15 minutes.

Discussion

The hiking path section frequentation was higher close to the summits in the middle of the day, and higher far from the summits at the beginning and at the end of the day, as could be expected. We focused here on path section relative to summits, which are Points of Interests in this landscape (see also Chapter 6), and because we expected hiking up to the summits

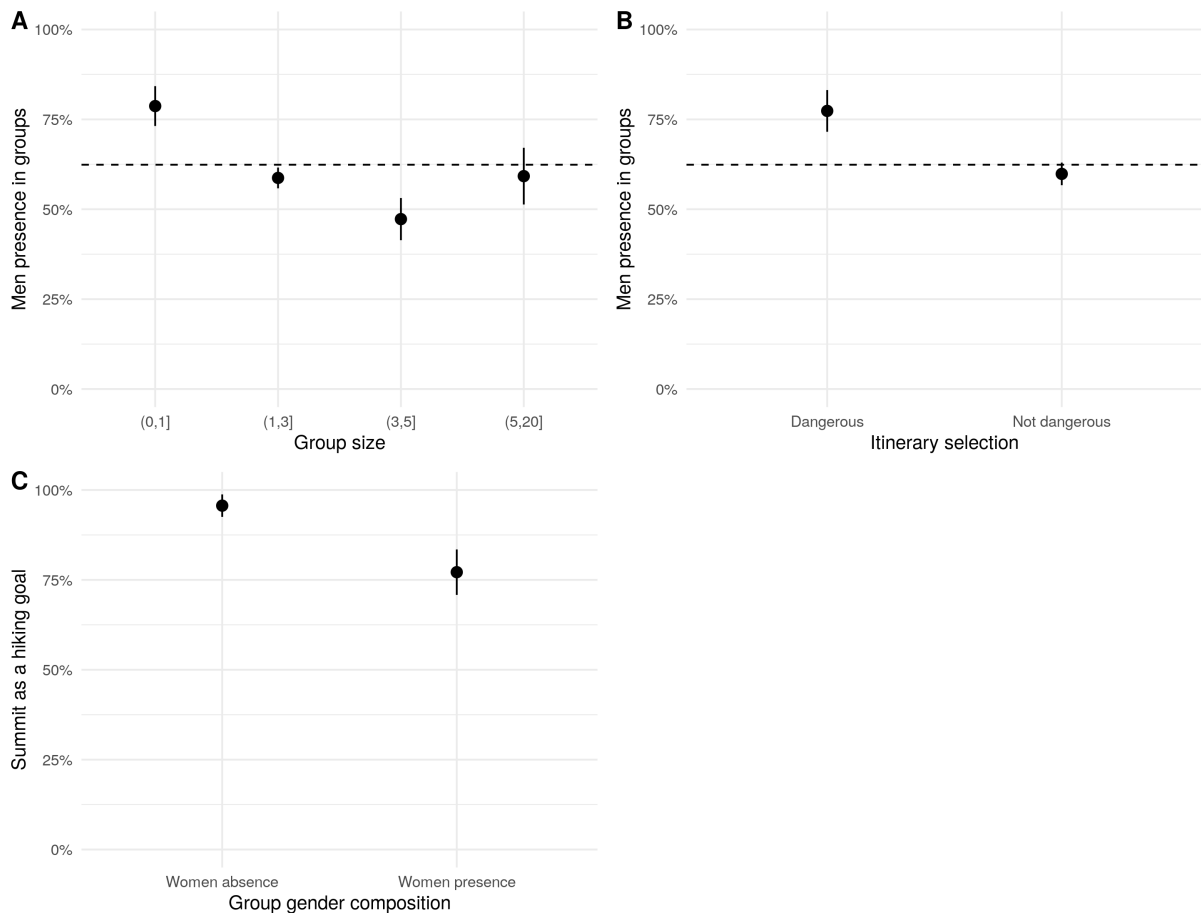


FIGURE 8.4. – (A) Group gender composition by group size (dashed line is the mean percentage of men presence in groups), (B) Group gender composition whether their itinerary passed by classified dangerous sections or not, (C) Summit choice as a hiking goal, by women absence/presence in groups

to segregate groups of different gender and age composition. Indeed, hiking to the summit in this area requires walking on steep and dangerous tracks, which should be less appealing to risk-avoiders, such as women (Manning 2010).

Hike to summits and on dangerous path sections is gender-unbalanced

We found no influence of path dangerousness on the intensity of use of a path section, once the distance to the summit and the hour were taken into account. However, this may be due to distance to summit score and dangerousness score to be related (Fig. X). Interestingly, when we analysed the probability for a dangerous section to be part of a group itinerary, we found, as expected, that women were less likely to be in the group, and in addition, that women engaged less in groups walking to the summits. In addition, women were more numerous in larger groups compared to men, while single individuals were more often men. This fact corroborates one of

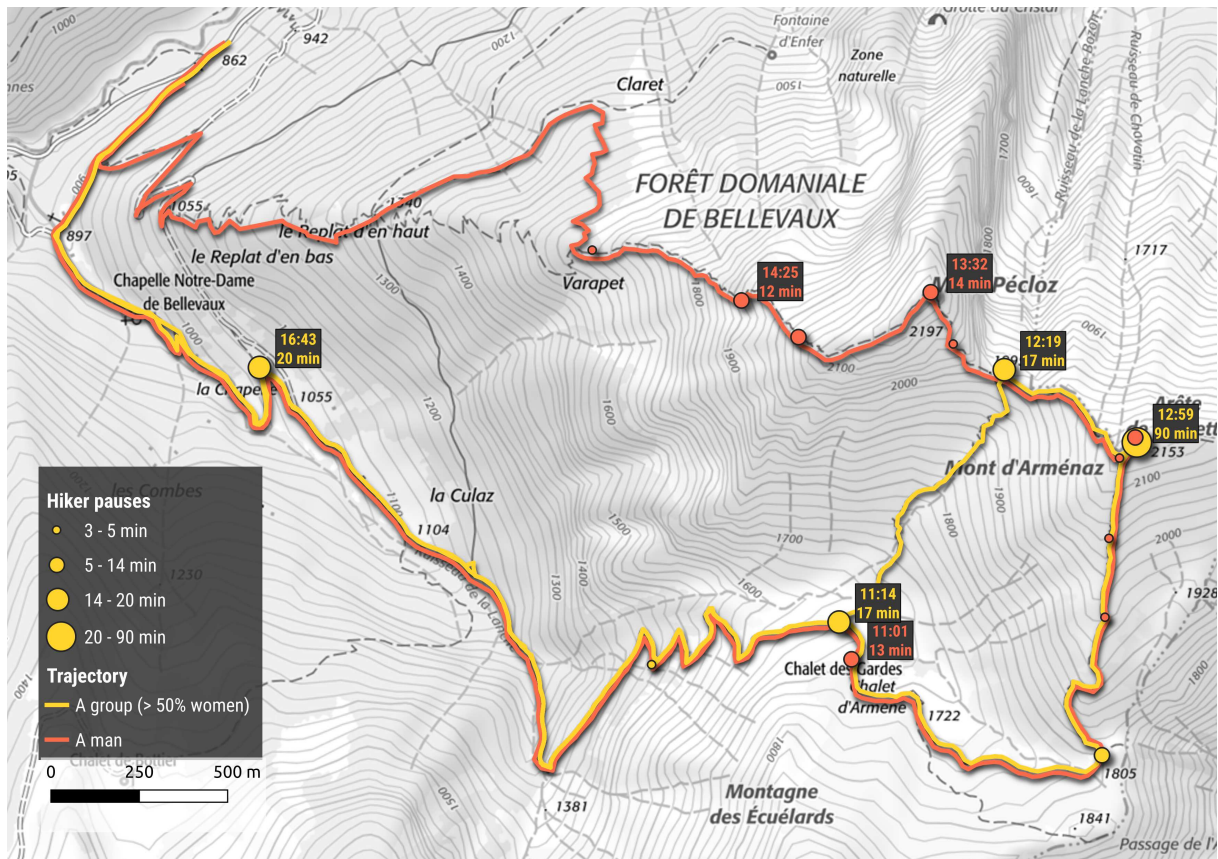


FIGURE 8.5. – Map of two trajectories : a man hiking alone (red) and a group with a majority of women (yellow). NB : we only labelled the pauses superior or equal to 12 minutes of duration.

the strategies employed by women, or people with little experience, to avoid their fear to walk in the wildland on their own (Coble, Selin, and Erickson 2003; Corneloup 2003; Lefèvre 2004b; Manning 2010; Schamel and Job 2017). Why this fear may be stronger in women than men has to be investigated further, but may be due to multiple reasons. For instance, the representation of women in outdoor recreation media is more often a character following a male guide rather than the opposite (McNiell, Harris, and Fondren 2012), so women may not identify to a single hiker, hence not engage in this activity (Manning 2010). Being a woman alone in nature can also be associated with a risk for aggression, as media also regularly reports dramatic assaults on women performing outdoor activities (though most often on jogger or trail runner). Women have however been described as more attractive than men by sightseeing activities, so not going to summit as often as men may be regarded as a trade-off between perceived risk and contemplation of a scenic landscape which is greatest from a summit.

Perspectives

We built the hiking path network into sections which makes sense with regards to the places crossed by users. However, we calculated the distances of the centroid of a path section to the summit through the network, while the position of the centroid may poorly represent the relative position to the summit. How well the distance we used reflect whether a section leads to the summit will therefore depend on the section length. Other measures could be explored, such as the mean distance by 10 meters section, accounting for zigzags and possible ups and downs of the path section's layout.

While in our study site, distance to summit through the network was a relevant proxy of both the difficulty of a section and of the distance to the Points of Interest that hikers may seek for their main pause (see Chapter 6). Studying other study sites may be more complex, for example when they are multiple possible Points of Interest, such as a pond, or lake, or patrimonial building, or another characteristic relief such as a canyon (Chhetri, Arrowsmith, and Jackson 2004; Hammitt, Patterson, and Noe 1994; Ulrich 1986). However, our effort to better understand the determinants of frequentation could become a basis to implement agent-based model for predicting human spatio-temporal distribution, should the socio-demographic profiles of recreationists change in the area.

Unveiling the factors determining the variation of frequentation intensity through space and time is key for evaluating hikers impact through trampling, soil erosion, and to identify the landscape of disturbance for wildlife. Our results also motivate further lines of research to better understand why women and men distribute differently in mountains.

Appendix

Appendix 1.

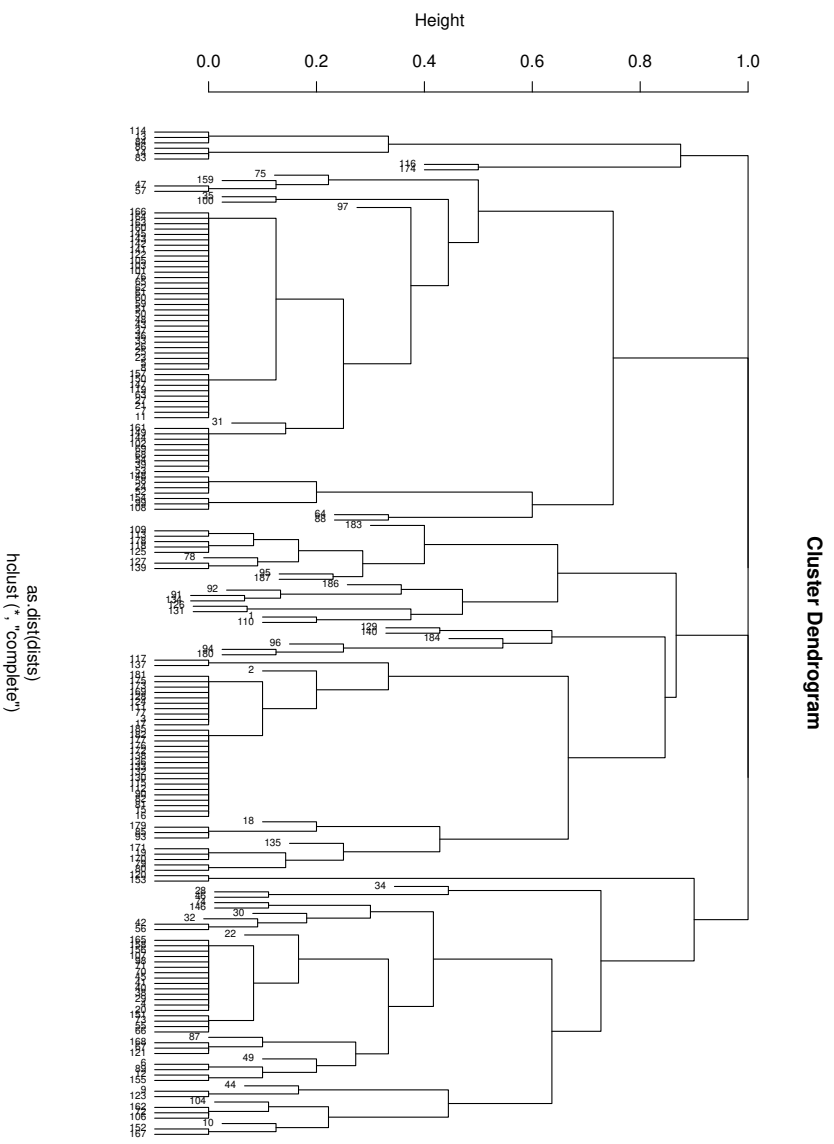


FIGURE 8.6. – Hierarchical clustering dendrogram for the 187 trajectories on a Jaccard distance matrix (20 clusters selected)

Appendix 2.

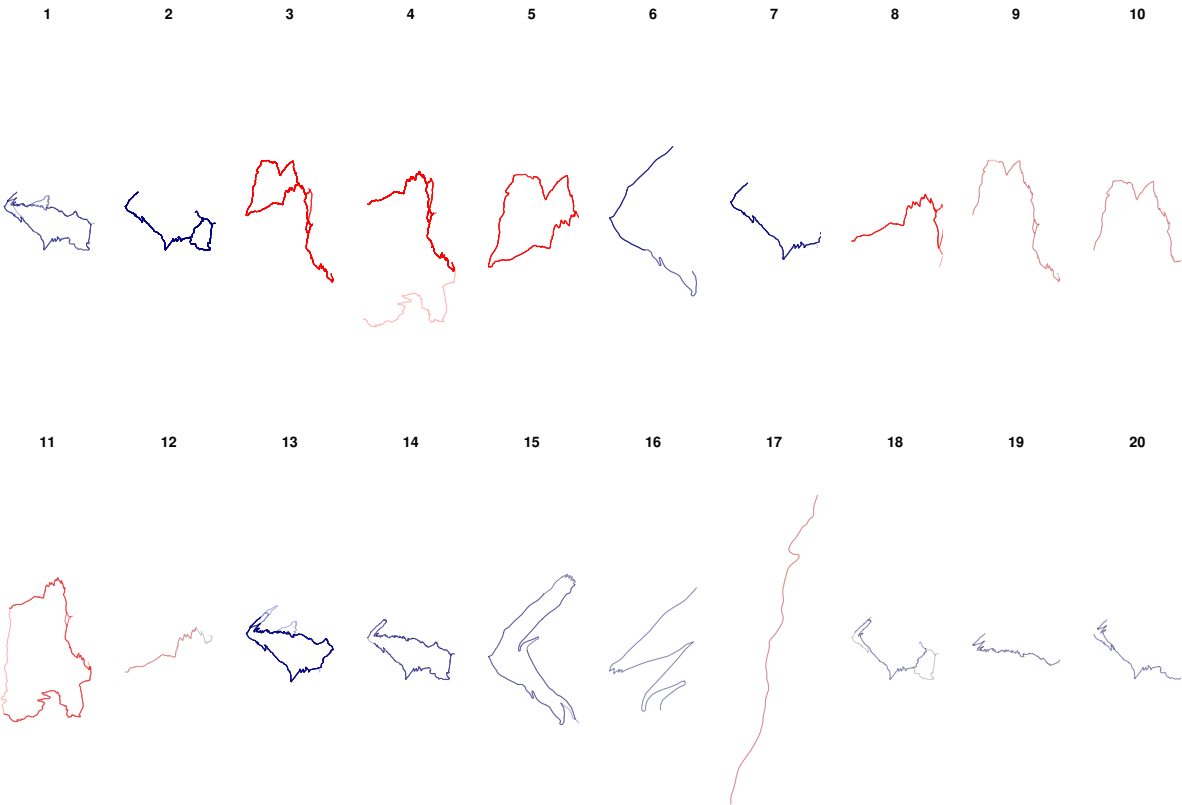


FIGURE 8.7. – Itineraries profiles produced by Jaccard distance and hierarchical clustering ($n = 20$). Red profiles are for site 1, blue ones for site 2. The colour intensity reveals a transparency set to 30% for every profile.

References

- Alvares, Luis Otavio, Vania Bogorny, Bart Kuijpers, Jose Antonio Fernandes de Macedo, Bart Moelans, and Alejandro Vaisman. 2007. “A Model for Enriching Trajectories with Semantic Geographical Information.” In, 1. ACM Press.
- Beale, Colin M., and Pat Monaghan. 2004a. “Behavioural Responses to Human Disturbance: A Matter of Choice?” *Animal Behaviour* 68: 1065–9.
- . 2004b. “Human Disturbance: People as Predation-Free Predators?” *Journal of Applied Ecology* 41 (2): 335–43.
- Benhamou, Simon. 2007. “How Many Animals Really Do the Lévy Walk?” *Ecology* 88 (8): 1962–9.
- Birant, Derya, and Alp Kut. 2007. “ST-DBSCAN: An Algorithm for Clustering SpatialTemporal Data.” *Data & Knowledge Engineering* 60: 208–21.
- Bryan, Hobson. 1977. “Leisure Value Systems and Recreational Specialization: The Case of Trout Fishermen.” *Journal of Leisure Research* 9 (3): 174–87.
- Buard, Élodie. 2013. “Dynamiques Des Interactions Espèces-Espace: Mise En Relation Des Pratiques de déplacement Des Populations d’herbivores et de L’évolution de L’occupation Du Sol Dans Le Parc de Hwange (Zimbabwe).” PhD Thesis, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I.
- Calenge, Clément. 2005. “Des Outils Statistiques Pour L’analyse Des Semis de Points Dans L’espace Écologique.” PhD thesis, Lyon 1.
- Calenges, Clément, Stéphane Dray, and Manuela Royer-Carenzi. 2008. “The Concept of Animals’ Trajectories from a Data Analysis Perspective.”
- Cavens, Duncan, Christian Gloor, Kai Nagel, Eckart Lange, and Willy A. Schmid. 2004. “A Framework for Integrating Visual Quality Modelling Within an Agent-Based Hiking Simulation for the Swiss Alps.” *Policies, Methods and Tools for Visitor Management Proceedings of the Second International*, 70.
- Chhetri, Prem. 2015. “A GIS Methodology for Modelling Hiking Experiences in the Grampians National Park, Australia.” *Tourism Geographies* 17 (5): 795–814.
- Chhetri, Prem, Colin Arrowsmith, and Mervyn Jackson. 2004. “Determining Hiking Experiences in Nature-Based Tourist Destinations.” *Tourism Management* 25: 31–43.
- Coble, Theresa G., Steve W. Selin, and Beth B. Erickson. 2003. “Hiking Alone: Understanding Fear, Negotiation Strategies and Leisure Experience.” *Journal of Leisure Research* 35 (1): 1–22.
- Corneloup, Jean. 2003. “Les cultures sportives de la montagne d’aujourd’hui et de demain,” 135–62.
- Damiani, Maria Luisa, Hamza Issa, Giuseppe Fotino, Marco Heurich, and Francesca Cagnacci. 2016. “Introducing ‘Presence’ and ‘Stationarity Index’ to Study Partial Migration Patterns: An Application of a Spatio-Temporal Clustering Technique.” *International Journal of Geographical Information Science* 30 (5): 907–28.
- Devogele, Thomas, Laurent Etienne, Maxence Esnault, and Florian Lardy. 2017. “Optimized Discrete Fréchet Distance Between Trajectories.” In, 11–19. ACM Press.
- Dodge, Somayeh, Patrick Laube, and Robert Weibel. 2012. “Movement Similarity Assessment Using Symbolic

- Representation of Trajectories.” *International Journal of Geographical Information Science* 26 (9): 1563–88.
- Dodge, Somayeh, Robert Weibel, and Anna-Katharina Lautenschütz. 2008. “Towards a Taxonomy of Movement Patterns.” *Information Visualization* 7 (3-4): 240–52.
- Étienne, Laurent. 2013. “Motifs Spatio-Temporels de Trajectoires, de L’extraction à La détection de Comportements Inhabituels.”
- Etienne, Laurent, Thomas Devogele, Maike Buchin, and Gavin McArdle. 2016. “Trajectory Box Plot: A New Pattern to Summarize Movements.” *International Journal of Geographical Information Science* 30 (5): 835–53.
- Fennell, David A. 1996. “A Tourist Space-Time Budget in the Shetland Islands.” *Annals of Tourism Research* 4 (23): 811–29.
- Frid, Alejandro, and Lawrence M. Dill. 2002. “Human-Caused Disturbance Stimuli as a Form of Predation Risk.” *Conservation Ecology* 6 (1): 11.
- Hammitt, William E., David N. Cole, and Christopher A. Monz. 2015. *Wildland Recreation: Ecology and Management*. John Wiley & Sons.
- Hammitt, William E., Michael E. Patterson, and Francis P. Noe. 1994. “Identifying and Predicting Visual Preference of Southern Appalachian Forest Recreation Vistas.” *Landscape and Urban Planning* 29 (2): 171–83.
- Hanson, Sarah, and Andy Jones. 2015. “Is There Evidence That Walking Groups Have Health Benefits? A Systematic Review and Meta-Analysis.”
- Jacoby, David MP, and Robin Freeman. 2016. “Emerging Network-Based Tools in Movement Ecology.” *Trends in Ecology & Evolution* 31 (4): 301–14.
- Jones, Timothy F., and Charles B. Eaton. 1994. “Cost-Benefit Analysis of Walking to Prevent Coronary Heart Disease.” *Archives of Family Medicine* 3 (8): 703–10.
- Kerlinger, Paul, Joanna Burger, H Ken Cordell, Daniel J Decker, David N Cole, Peter Landres, E Norbert Smith, et al. 2013. *Wildlife and Recreationists: Coexistence Through Management and Research*. Island Press.
- Kerouanton, Colin, Antoine Duparc, Laurence Jolivet, Clémence Perrin-Malterre, and Anne Loison. 2017. “Détecer Les Pauses de Randonneurs Par L’usage de ST-DBSCAN: Analyse de Sensibilité.” In *Treizièmes Rencontres de Théo Quant*.
- Kim, Hyun, and Hwasung Song. 2017. “Measuring Hiking Specialization and Identification of Latent Profiles of Hikers.” *Landscape and Ecological Engineering* 13 (1): 59–68.
- Lee, Chanam, and Anne Vernez Moudon. 2006. “Correlates of Walking for Transportation or Recreation Purposes.” *Journal of Physical Activity and Health* 3 (s1): S77–S98.
- Lee, I.-Min, and David M. Buchner. 2008. “The Importance of Walking to Public Health.” *Medicine & Science in Sports & Exercise* 40 (7): S512–S518.
- Lefèvre, Brice. 2004. “Contribution to the Study of the Social Structure of High-Altitude Mountain Activities : Example of Users in the Mont-Blanc Massif.” *Revue de Géographie Alpine* 92 (4): 76–85.
- Little, Donna E. 2002. “Women and Adventure Recreation: Reconstructing Leisure Constraints and Adventure

- Experiences to Negotiate Continuing Participation.” *Journal of Leisure Research* 34 (2): 157–77.
- Manning, Robert E. 2010. *Studies in Outdoor Recreation: Search and Research for Satisfaction*. Oregon State University Press.
- Marzano, Mariella, and Norman Dandy. 2012. “Recreationist Behaviour in Forests and the Disturbance of Wildlife.” *Biodiversity and Conservation* 21 (11): 2967–86.
- McNiel, Jamie N., Deborah A. Harris, and Kristi M. Fondren. 2012. “Women and the Wild: Gender Socialization in Wilderness Recreation Advertising.” *Gender Issues* 29 (1-4): 39–55.
- Newson, Paul, and John Krumm. 2009. “Hidden Markov Map Matching Through Noise and Sparseness.”
- Orellana Vintimilla, D.A. 2012. “Exploring Pedestrian Movement Patterns.” PhD thesis, S.l.: s.n.].
- Parent, Christine, Nikos Pelekis, Yannis Theodoridis, Zhixian Yan, Stefano Spaccapietra, Chiara Renso, Gennady Andrienko, et al. 2013. “Semantic Trajectories Modeling and Analysis.” *ACM Computing Surveys* 45 (4): 1–32.
- Pearce, Douglas G. 1988. “Tourist Time-Budget.” *Annals of Tourism Research* 15 (1): 106–21.
- Pickering, Catherine, Sebastian Dario Rossi, Ana Hernando, and Agustina Barros. 2018. “Current Knowledge and Future Research Directions for the Monitoring and Management of Visitors in Recreational and Protected Areas.” *Journal of Outdoor Recreation and Tourism* 21 (March): 10–18.
- Pomfret, Gill, and Adele Doran. 2015. “Gender and Mountaineering Tourism.” In *Mountaineering Tourism*, 164–81. Routledge.
- Potamias, Michalis, Kostas Patroumpas, and Timos Sellis. 2006. “Sampling Trajectory Streams with Spatiotemporal Criteria.” In *Scientific and Statistical Database Management, 2006. 18th International Conference on*, 275–84. IEEE.
- Sand, Hakan, Barbara Zimmermann, Petter Wabakken, Henrik Andr en, and Hans C. Pedersen. 2005. “Using GPS Technology and GIS Cluster Analyses to Estimate Kill Rates in Wolf-Ungulate Ecosystems.” *Wildlife Society Bulletin* 33 (3): 914–25.
- Schamel, Johannes, and Hubert Job. 2017. “National Parks and Demographic Change the Effects of Ageing Hikers on Mountain Landscape Intra-Area Accessibility.” *Landscape and Urban Planning* 163: 32–43.
- Schirpke, Uta, Erich Tasser, and Ulrike Tappeiner. 2013. “Predicting Scenic Beauty of Mountain Regions.” *Landscape and Urban Planning* 111: 1–12.
- Shoval, Noam, and Michal Isaacson. 2007. “Tracking Tourists in the Digital Age.” *Annals of Tourism Research* 34 (1): 141–59.
- . 2009. *Tourist Mobility and Advanced Tracking Technologies*. Routledge.
- Soule, Bastien, V ronique Reynier, Brice Lefevre, and Eric Boutroy. 2017. “Who Is at Risk in the French Mountains? Profiles of the Accident Victims in Outdoor Sports and Mountain Recreation.” *Journal of Mountain Science* 14 (8): 1490–9.
- Spaccapietra, Stefano, Christine Parent, Maria Luisa Damiani, Jose Antonio de Macedo, Fabio Porto, and Christelle Vangenot. 2008. “A Conceptual View on Trajectories.” *Data & Knowledge Engineering* 65: 126–46.
- Taczanowska, K., L. M. González, X. Garcia-Massó, A. Muhar, C. Brandenburg, J. L. Toca-Herrera, and

- others. 2014. “Evaluating the Structure and Use of Hiking Trails in Recreational Areas Using a Mixed GPS Tracking and Graph Theory Approach.” *Applied Geography* 55: 184–92.
- Taczanowska, Karolina. 2009. *Modelling the Spatial Distribution of Visitors in Recreational Areas*. na.
- Toohy, Kevin, and Matt Duckham. 2015. “Trajectory Similarity Measures.” *SIGSPATIAL Special* 7 (1): 43–50.
- Törn, A., A. Tolvanen, Y. Norokorpi, R. Tervo, and P. Siikamäki. 2009. “Comparing the Impacts of Hiking, Skiing and Horse Riding on Trail and Vegetation in Different Types of Forest.” *Journal of Environmental Management* 90 (3): 1427–34.
- Ulrich, Roger S. 1986. “Human Responses to Vegetation and Landscapes.” *Landscape and Urban Planning* 13: 29–44.
- Van Damme, Marie-Dominique Van, Ana-Maria Olteanu-Raimond, and Yann Méneroux. 2019. “Potential of Crowdsourced Data for Integrating Landmarks and Routes for Rescue in Mountain Areas.” *International Journal of Cartography*, 1–19.
- van Marwijk, R., B. H. M. Elands, and J. Lengkeek. 2007. “Experiencing Nature: The Recognition of the Symbolic Environment Within Research and Management of Visitor Flows.” *Forest Snow and Landscape Research* 81 (1-2): 59–76.
- Vanpouille, Maud, Elie Vignac, and Bastien Soulé. 2017. “Accidentology of Mountain Sports: An Insight Provided by the Systemic Modelling of Accident and Near-Miss Sequences.” *Safety Science* 99: 36–44.
- Windsor, J S, P G Firth, M P Grocott, G W Rodway, and H E Montgomery. 2009. “Mountain Mortality: A Review of Deaths That Occur During Recreational Activities in the Mountains.” *Postgraduate Medical Journal* 85 (1004): 316–21.
- Wolf, Isabelle D., and Teresa Wohlfart. 2014. “Walking, Hiking and Running in Parks: A Multidisciplinary Assessment of Health and Well-Being Benefits.” *Landscape and Urban Planning* 130 (October): 89–103.
- Yan, Zhixian, Dipanjan Chakraborty, Christine Parent, Stefano Spaccapietra, and Karl Aberer. 2013. “Semantic Trajectories: Mobility Data Computation and Annotation.” *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)* 4 (3): 49.
- Zheng, Yu, and Xiaofang Zhou. 2011. *Computing with Spatial Trajectories*. Springer Science & Business Media.

Résultats clés

À propos de la vitesse de marche :

- J'ai construit deux modèles de vitesse de randonnée, l'un pour la descente, l'autre pour la montée
- Les modèles déjà existant sous-estiment les vitesses des randonneur de notre contexte en montagne
- La pente est le facteur explicatif principal de la vitesse de marche
- L'âge, le fait de partir en groupe et la fréquence de pratique, sont des variables explicatives de la vitesse de marche
- Ces trois variables n'interagissent pas avec la pente dans l'explication de la vitesse de marche
- Le genre n'a pas d'effet sur la vitesse de marche

À propos du time budget :

- Les groupes utilisent leur temps en randonnée (temps en pause, temps marché) différemment selon l'âge, et selon le fait de partir à plusieurs ou non.
- La difficulté de l'itinéraire est un facteur explicatif important pour la répartition du temps en pause et du temps marché. Les itinéraires classés comme faciles sont des itinéraires où les pratiquants utilisent davantage leur temps comme du temps en pause.
- Les groupes où il n'y a que des femmes, passent davantage de leur temps à marcher sur les itinéraires difficiles et très difficiles, comparativement aux groupes mixtes ou composés seulement d'hommes.
- Les profils de randonneurs selon leurs pauses ont un effet sur leur temps en pause, temps marché, en interaction avec la difficulté de l'itinéraire.

À propos de la fréquentation des sentiers :

- La fréquentation des sentiers dépend de la proximité des tronçons de sentier aux objectifs de randonnée, ici les sommets.
- Les tronçons de sentier proches des sommets sont très fréquentés en milieu de journée, et peu fréquentés en début de matinée et en fin d'après-midi.
- Les tronçons de sentier éloignés des sommets sont peu fréquentés en milieu de journée, et très fréquentés en début de matinée et en fin d'après-midi.
- Les différences de fréquentation selon la proximité aux sommets sont toujours significatives dans la journée, sauf pour 14h où les fréquentations sont similaires.

À propos du choix d'itinéraires et du genre :

- Les femmes choisissent significativement moins de partir seules que les hommes.
- Les groupes avec une absence de femmes choisissent à 95% les sommets comme objectifs de randonnée, et les groupes avec femme à 77%.
- Les tronçons de sentier que nous avons classés comme dangereux sont davantage empruntés par les hommes.

Quatrième partie

Conclusion générale

9. Synthèse des résultats : analyses de trajectoire

J'avais pour objectif dans cette thèse d'étudier finement les patrons de mobilités de randonneurs en utilisant des outils de géomatique appropriés, à partir de données GPS. Ces patrons spatio-temporels avaient pour but d'être croisés aux données sociologiques récoltées par le biais de questionnaires. Ces analyses avaient pour finalité de produire des résultats permettant de mieux comprendre l'organisation de la fréquentation humaine dans deux réseaux de sentiers de randonnée situés sur deux sites du PNR du Massif des Bauges. Enfin, la production d'entités spatio-temporelles pouvant servir à l'étude des interactions humains-faune sauvage était également un objectif prioritaire.

9.1. Les pauses de randonneurs : détection et explication

Dans cette thèse, les pauses ont représenté la pierre angulaire de la construction des trajectoires et à l'analyse des patrons spatio-temporels puisque la décomposition des traces GPS en pauses et déplacements est nécessaire à la compréhension des patrons spatio-temporels. L'algorithme de clustering ST-DBSCAN a été utilisé afin d'identifier les groupes de points GPS successifs susceptibles de correspondre à des pauses (supérieures à 3 minutes). Afin de rendre robuste l'analyse des trajectoires, il était primordial d'explorer précisément les effets des paramètres de ST-DBSCAN sur la détection de ces pauses. Puis, une fois les paramètres des pauses explorés et leurs effets connus, j'ai analysé les pauses détectées selon leurs variables spatiales et temporelles et selon les caractéristiques socio-démographiques des individus.

J'ai montré qu'il était possible de trouver une combinaison de paramètres optimale obtenant un fort taux de réussite par rapport à un avis expert pour un lot de traces GPS d'individus différents et ne faisant pas le même trajet. Dans l'analyse de sensibilité, j'ai testé le taux de réussite de l'algorithme ST-DBSCAN pour des pauses supérieures à deux minutes. Le taux de réussite retenu (la F-measure) atteint 91,25 % et le nombre de clusters détectés pour la meilleure combinaison atteint lui 94,30 % de réussite (avec une légère sous-estimation du bon nombre de clusters). Les paramètres utilisés pour obtenir cette combinaison sont $MinPts = 12$ points, $Eps = 8m$ et $Eps2 = 600$ secondes.

Dans l'application de ST-DBSCAN, afin de détecter toutes les pauses des randonneurs du lot entier de trajectoires, j'ai réduit l'exigence de résolution temporelle en cherchant à détecter les

pauses supérieures à trois minutes et 510 pauses au total ont été détectées pour 109 traces GPS. Les pauses que j'ai classées selon leurs rangs de durée (pause principale, pause secondaire etc. . .), ont été ensuite classées selon leur proximité à la pause principale. Selon leur rang de durée au sein d'une trajectoire, elles répondent à des facteurs géographiques : altitude, visibilité du paysage, proximité aux éléments du relief, pente. Enfin, le comportement vis à vis des pauses prises dans une trajectoire diffère selon des variables socio-démographiques. Une typologie de pauses a pu être créée : les pauses principales, les pauses *eye-catching* et les pauses *breath-catching*. Cette typologie a été construite avec les variables de visibilité du paysage, sur la pente et sur la proximité aux éléments du relief (sommets ou cols). Les pauses de premier rang¹ sont situées là où la visibilité du paysage est forte, proches des sommets et sur des pentes plus faibles que les pauses *breath-catching*. Les pauses *eye-catching* plus courtes sont situées près des cols, là où la visibilité est au-dessus de la moyenne et avec une pente similaire aux pauses principales. Enfin les pauses *breath-catching* sont celles situées dans des pentes fortes, là où la visibilité est moindre et non proches des éléments du relief. Les variables socio-démographiques qui expliquent le plus le type de pause sont le genre du groupe, l'âge du groupe et la taille du groupe. Les groupes composés uniquement d'hommes passent davantage de temps en pauses *breath-catching* et ont une probabilité de faire des pauses *eye-catching* plus faible que les groupes mixtes. Les groupes jeunes font davantage de pauses que les autres groupes et la durée de leur pause principale est plus longue. Le groupe des familles est celui faisant le moins de pauses *eye-catching* et le moins de pauses au total. La taille du groupe influe sur le nombre de pauses et sur la durée de la pause principale, puisque la tendance est : plus il y a de randonneurs, plus il y a de pauses et plus la pause principale est longue. Enfin, j'ai construit des clusters de pauses en prenant l'ensemble des pauses détectées. Je discute davantage de cet aspect dans la section suivante à propos de la production d'entités spatio-temporelles.

9.2. Les comportements spatio-temporels et variables socio-démographiques : vitesse de marche, itinéraires, différences entre randonneurs

J'ai analysé les vitesses de marche et la répartition du temps entre pauses et marche au sein des trajectoires. J'ai étudié les trajectoires dans leur ensemble par la détection d'itinéraires communs, la fréquentation des sentiers et les choix d'itinéraires selon le genre.

La vitesse de marche appliquée à la randonnée et traduite en fonction est connue sous le nom de *hiking function*. Les modèles que j'ai pu construire pour les trajectoires en montée et en descente estiment des valeurs supérieures à celles des modèles déjà existant. Ces modèles utilisent seulement la pente pour expliquer la vitesse de marche. J'ai affiné ces modèles en ajoutant et à partir de données de randonneurs récoltées, des variables socio-démographiques. Bien que la pente reste le facteur explicatif principal, les variables socio-démographiques ont un effet sur

1. Qui sont également considérées comme des *eye-catching*

les valeurs de la vitesse de marche. Les groupes vont moins vite que les individus seuls et les groupes composés de personnes plus âgées vont plus lentement que les groupes composés de personnes jeunes. Les groupes comportant au moins une personne qui a déclaré pratiquer la randonnée seulement en vacances, vont plus vite que les groupes pratiquant fréquemment, ce qui peut paraître paradoxal. Enfin, je n'ai pas trouvé d'effet de genre dans la composition des groupes sur la vitesse de marche.

La répartition du temps en pause et du temps marché ou le *time-budget*, est un indice complémentaire du temps en pause. Celui-ci est une valeur absolue, tandis que l'indice *time-budget* est le rapport du temps en pause au temps total de la randonnée. Les groupes aux âges moyens répartissent leur temps davantage en pauses que les autres groupes d'âge, de même que les randonneurs partant en groupe plutôt que seuls. J'ai aussi, pour faire suite à l'article sur les pauses, créé des profils de randonneurs selon les pauses qu'ils réalisent à partir du nombre de pauses *eye-catching* et *breath-catching* et de leurs durées cumulées : les *speeders*, les *resters*, les *observers* et les profils mixtes (qui font à la fois des pauses *eye-catching* et *breath-catching*)². Ces profils de comportement de randonneurs influencent la répartition du temps en pause des randonneurs en interaction avec la difficulté du parcours choisi.

Les trajectoires et leur intensité de fréquentation dans le réseau de sentier varient selon deux facteurs en interaction : l'heure de la journée et la distance aux sommets les plus proches (Trélod pour le site 1, Pécloz et Armenaz pour le site 2). Les fréquentations des tronçons de sentiers montrent un pic d'intensité vers les sommets entre 11 h et 13 h et un pic d'intensité à distance des sommets au début de la journée et en fin de journée. Les fréquentations selon la distance aux sommets sont significativement différentes pour toute heure de la journée, sauf à 14 h ce qui indique une répartition homogène des randonneurs dans tout le réseau de sentiers à cet horaire précis. Le genre influence les itinéraires des trajectoires. Les groupes composés uniquement d'hommes choisissent davantage les sommets comme objectif de randonnée. Le taux de présence des hommes est également un facteur d'explication pour le choix de sections de sentiers plus dangereux. Enfin, les femmes ont tendance à partir groupées. On l'a vu précédemment, partir groupé influence le comportement spatio-temporel. Indirectement, les femmes en choisissant de partir dans un groupe, auront un comportement spatio-temporel différent des individus hommes.

9.3. Sur la production d'entités spatio-temporelles, propres au ré-emploi

J'avais pour objectif d'étudier les mobilités de randonneurs avec une perspective d'étude postérieure sur les interactions humains-faune sauvage. J'entends par entités spatio-temporelles, le produit cartographique des analyses de ma thèse : une pause de randonneur est une entité spatiale et temporelle, un cluster de pauses de randonneurs est aussi une entité spatiale et temporelle.

2. profils à trouver dans les appendix de l'article sur les vitesses, en partie III

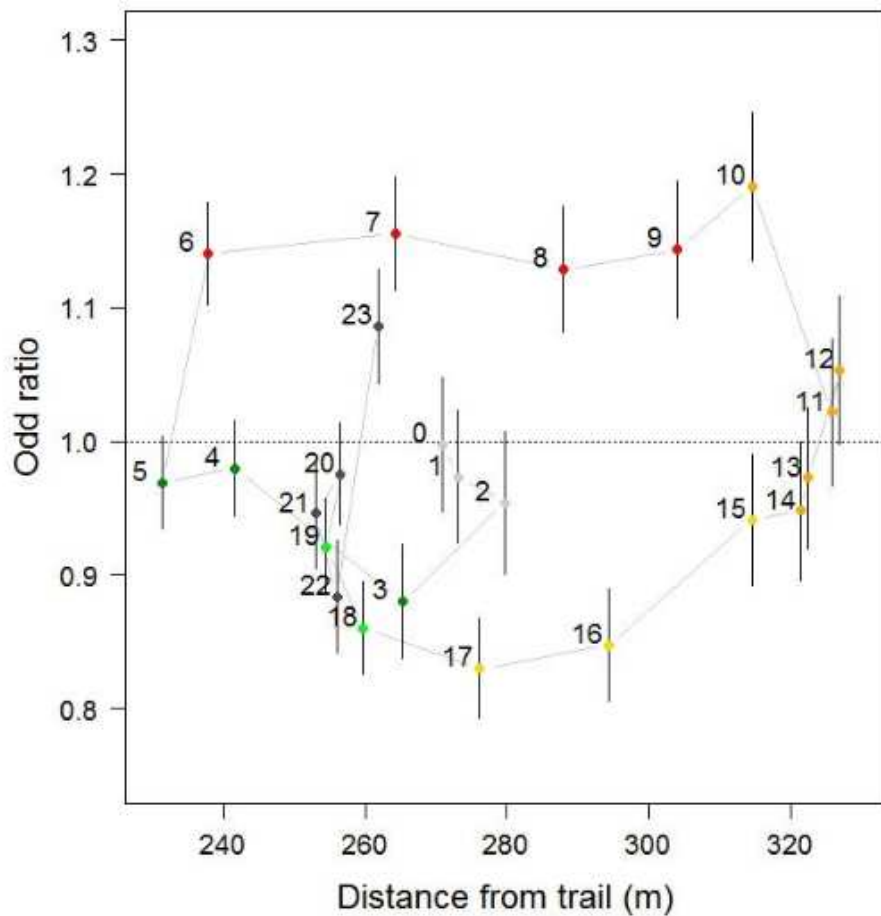


FIGURE 9.1. – Probabilité de s'éloigner d'un sentier par heure, pour un chamois (les 7 couleurs correspondent à 7 périodes de la journée, les heures sont indiquées à côté des points), issue de Duparc (2016)

Antoine Duparc (2016) a montré dans sa thèse un patron spatio-temporel suivi par les chamois par rapport au réseau de sentiers, indépendamment de la fréquentation de ce dernier. Ce patron spatio-temporel ou modèle statistique, explique la probabilité de l'éloignement des chamois par rapport à l'entité sentier³ (voir figure 9.1) et selon l'heure de la journée. Au cours de la matinée, les chamois ont tendance à s'éloigner des sentiers pour atteindre une forte distance et une forte probabilité d'éloignement (10h), puis dans l'après-midi à se rapprocher des sentiers (16h et 17h).

Ces métriques en rapport à une entité spatiale⁴ et parfois spatio-temporelle⁵, testées par des modèles explicatifs, sont courantes en écologie (Basille et al. 2009; Gander and Ingold 1997; Marchand et al. 2014; Martin et al. 2010; Sibbald et al. 2011). Les relations entre les points GPS des animaux suivis d'une part et les entités spatiales liées à l'humain d'autre part, souffrent

3. Lorsque l'odd ratio est supérieur à 1, la probabilité est de s'éloigner, lorsqu'il est inférieur à 1, de se rapprocher

4. Sentier, route, bâtiments

5. Sentier avec des données de fréquentation

d'un manque d'informations spatio-temporelles des fréquentations humaines. Manque spatial car un réseau de sentier comme nous l'avons prouvé, n'a pas une fréquentation homogène par les randonneurs selon les tronçons et donc dans l'espace. Certains tronçons de sentiers sont empruntés par plus de randonneurs que d'autres. Ces tronçons sont aussi sujet à des rythmes de parcours différents, les randonneurs pouvant s'arrêter dans des lieux précis. Manque temporel parce que dans notre étude, cette fréquentation varie selon l'heure de la journée et il est très probable qu'elle varie selon la saison⁶ et selon les jours. Il est donc primordial d'étudier les réponses, les comportements des animaux en fonction d'entités spatio-temporelles dont on connaît la précision et la fréquence temporelle. Dans le cadre de cette thèse, j'ai pu produire les entités spatio-temporelles suivantes :

- un réseau de sentiers avec les informations de fréquentation répondant aux questions : qui ? avec qui ? quand ? où ? comment⁷ ?
- des densités de pauses selon leur typologie d'importance et de motivation, dynamiques car les pauses sont expliquées spatialement et temporellement
- 16 clusters de pauses contenant au moins 5 pauses de randonneurs, sur les deux sites, principalement situés aux sommets et aux cols, dynamiques eux aussi.

Ces clusters pourraient servir à l'étude des interactions des randonneurs avec les ongulés sauvages suivis sur ces sites. En effet, les clusters possèdent une étendue spatiale réduite (de 0.6 hectare, calculée par enveloppe convexe) et une temporalité de fréquentation, soit par pauses de randonneurs effectuées en leur sein, soit par les passages des randonneurs dans ces lieux. Ces entités spatio-temporelles constituent des référentiels pour le calcul des métriques de déplacement des animaux (distance à l'entité, évitement de l'entité par tranche horaire, sinuosité à proximité de l'entité). J'illustre en figure 9.2 à quoi pourrait ressembler ces clusters de pauses et leur espace proche et les enveloppes convexes (95% et 50%) des points GPS de trois chamois suivis, par jour et nuit, pendant la période estivale (juillet-août 2014). Ces enveloppes convexes rassemblant les déplacements de chamois, varient spatio-temporellement, puisqu'ils ne se correspondent pas entre le jour et la nuit.

Pour deux chamois (un proche du Mont Trélod du site 1 et un proche du Mont Pécloz du site 2), l'enveloppe convexe contenant 50 % des points la nuit intersecte les clusters de pauses, tandis que l'enveloppe convexe 50 % le jour se limite à une distance de 150 m des clusters de pauses. Ces cartes montrent l'importance de comparer des entités issues des données GPS humaines et des entités issues des données GPS animales (comme un domaine vital). Il sera ensuite possible d'étudier les métriques (distance au sentier, sinuosité du déplacement) propres au déplacement des animaux en relation avec les entités spatio-temporelles humaines.

Les tronçons de sentiers ont été étudiés précisément dans ce but. Connaître la variation temporelle de la fréquentation est essentielle et il serait maintenant possible de construire des cartes

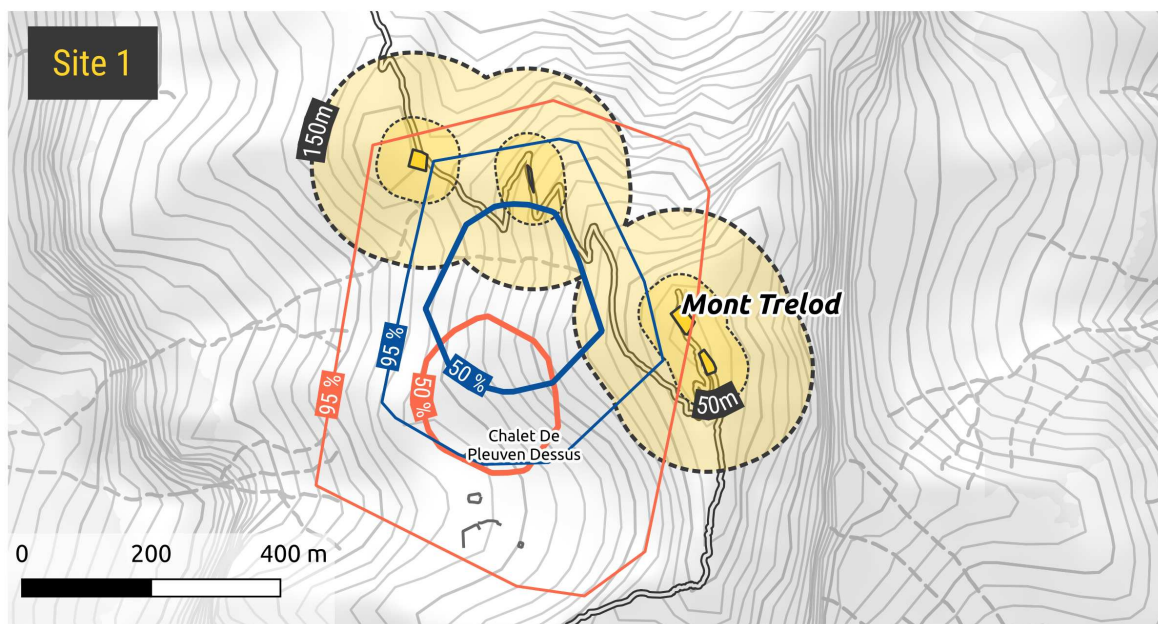
6. Les éco-compteurs disposés sur les sites d'études fournissent des données pour toutes les saisons et en continu. Je mentionne ce dispositif plus loin.

7. Vitesses de marche et pauses

dynamiques de proximité⁸ aux tronçons les plus fréquentés. Ces cartes de proximité potentielle des animaux à une forte fréquentation par des randonneurs pourront être utilisées pour des études utilisant des *Resource Selection Functions* (Boyce and McDonald 1999 ; Manly et al. 2007). Ces fonctions utilisées en écologie permettent de comparer les localisations enregistrées par GPS des animaux à des points tirés aléatoirement dans l'espace, afin de connaître l'effet d'une variable (source de dérangement, présence de ressources alimentaires. . .) sur la sélection d'habitat par les animaux. Les individus évitant les zones de dérangement sous-sélectionneraient les zones où la proximité aux tronçons de sentiers de randonnées sur-fréquentés est forte.

Enfin, une ultime possibilité serait envisageable. J'ai montré dans les chapitres précédents que : i) les sommets sont des objectifs de randonnée, ii) la fréquentation est liée à la distance à ces objectifs, iii) la fréquentation est la plus forte vers onze heures, iv) les pauses de randonneurs aux sommets se font vers midi. À partir de ces résultats, il serait possible d'extrapoler que les objectifs des randonnées soient des endroits de sur-fréquentation et ce dans la tranche horaire entre midi et 14h. Je fais ici l'hypothèse que les lieux d'objectifs, sur la base de nouveaux questionnaires, sur un autre terrain, pourraient être également des entités spatio-temporelles pour lesquelles l'interaction avec la faune pourrait être mesurée. Dans le but de confirmer cette hypothèse, il faudrait affiner le modèle avec d'autres sites d'études et donc de nouveaux objectifs (comme un lac ou un refuge). La vérification de cette hypothèse supposerait d'avoir à disposition une base de données topographique robuste (avec les éléments du paysage à jour et la sémantique correspondante), afin de pouvoir faire coïncider les objectifs nommés par les randonneurs aux éléments de la base de données correspondant. À partir de cette extrapolation, il serait possible d'estimer l'intensité de fréquentation selon les choix d'objectifs au jour le jour (plus besoin de suivi GPS).

8. par dynamique entendre avec une variation temporelle



Enveloppe convexe des points GPS chamois pendant l'été

▭ Journée
(de 6h à 18h)

▭ Nuit
(de 18h à 6h)

Distances aux clusters de pauses (n>6) randonneurs pendant l'été

50 mètres

150 mètres

Clusters de pauses
(enveloppe convexe)

NB : les largeurs de lignes pour les enveloppes convexes chamois correspondent au pourcentage de points GPS contenus (épais = 50%, fin = 95%)

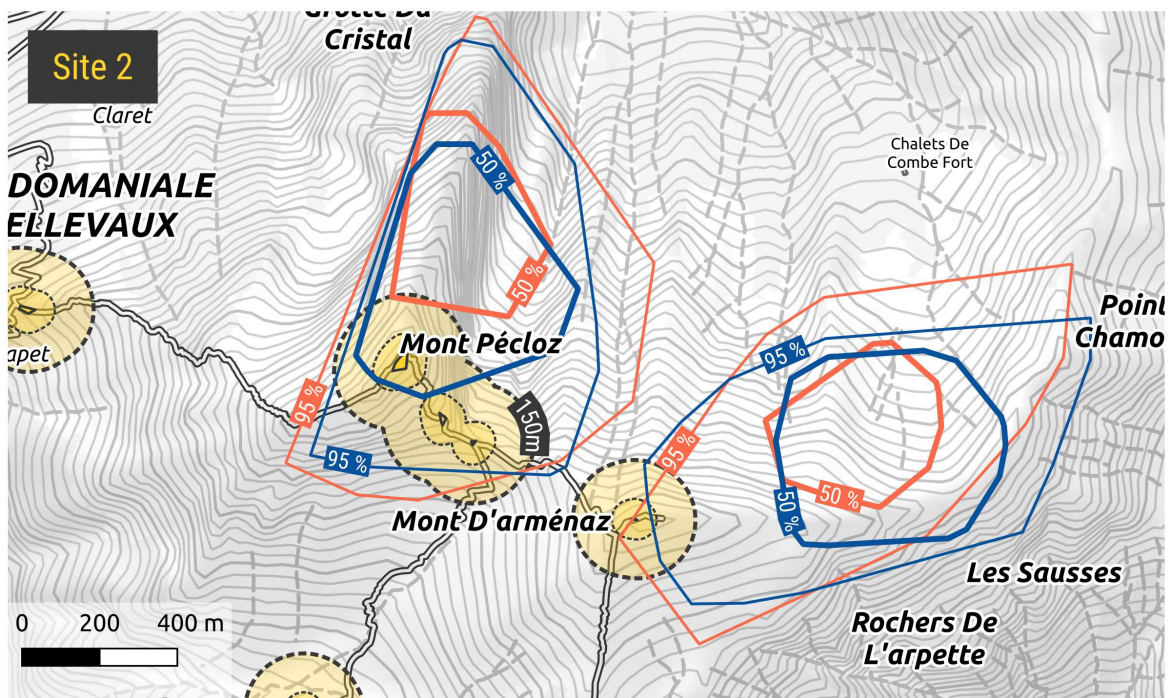


FIGURE 9.2. – Clusters de pauses (polygones jaunes), leurs proximités 50m et 150m (buffers jaunes avec pointillé) et les enveloppes convexes (50% et 95%) des points GPS de trois chamois, par jour (en rouge) et par nuit (en bleu), pour le site 1 et 2

10. Discussion et perspectives

10.1. Sur la détection des pauses

L'algorithme de clustering ST-DBSCAN est sensible aux valeurs de ses paramètres en entrée lors de la détection de groupes de points. L'importance de cette sensibilité dépend des caractéristiques et notamment de la distribution spatiale générale du jeu de points étudié. Le choix de valeurs de paramètres peut faire considérablement varier les résultats. Dans notre contexte, un risque est de détecter incorrectement des groupes de points comme des pauses. Birant and Kut (2007) appellent eux-même à une étude heuristique selon les cas d'étude afin de déterminer des valeurs de paramètres adaptées pour l'algorithme. Je pense que la sensibilité de ST-DBSCAN est un avantage pour détecter des patrons spatio-temporels caractéristiques dans une trace GPS de randonneurs, si et seulement si cette sensibilité est connue. C'est un avantage car les paramètres ont une vraie influence sur les résultats et donc selon leurs valeurs, permettent de détecter plusieurs comportements (par exemple, des pauses de 1 minute, des pauses longues de 10 minutes, ou alors des déplacements lents pendant plus longtemps...). La variation de la détection des clusters en fonction des valeurs de paramètres doit être maîtrisée afin de choisir ces dernières en fonction du contexte et du jeu de données disponible.

Dans notre contexte, j'ai trouvé une combinaison de paramètres optimale pour les deux paramètres principaux. Cette combinaison correspond aux critères de définition d'une pause que j'avais définis : un critère de durée minimale de 2 minutes correspondant au nombre minimum de points et un critère de distance Eps de 8 m entre deux points. Ce critère de distance est inférieur à la distance moyenne maximum entre deux points marchés pour les traces GPS testées (9,4 m), permettant ainsi de discrétiser les points en pause des points marchés.

Idéalement, les valeurs des paramètres devraient s'appuyer sur une étude heuristique basée sur des indicateurs descriptifs des caractéristiques intrinsèques d'une trace GPS (distance entre les points, vitesse de marche moyenne, quartiles de vitesse, distance totale). Qualifier les paramètres par ce biais permettrait d'appliquer cet algorithme à d'autres formes de mobilité et permettrait de qualifier les modalités de mobilité au sein d'une trace GPS. Par exemple, un lancement de l'algorithme avec un premier ensemble de valeurs de paramètres pourrait détecter les pauses, un second lancement avec un autre ensemble de valeurs de l'algorithme pourrait détecter les phases de marche à pied et un troisième lancement détecterait un trajet en vélo, dans le cas d'une mobilité multimodale. Comme je l'ai fait remarquer dans l'article sur la sensibilité de ST-DBSCAN, l'algorithme pourrait être utilisé sur les traces GPS d'animaux pour détecter des

zones de repos, des zones de recherche de nourriture et des zones de trajets. Détecter ces phases par ST-DBSCAN permettrait de transformer une trace GPS d'un animal non pas en domaine vital sous la forme d'une carte de chaleur, mais en réseau de lieux d'intérêt et de zones de trajets entre ces lieux d'intérêt.

Je ferai une dernière remarque à propos de l'implémentation de cet algorithme. L'implémentation que j'ai utilisée mobilise des distances euclidiennes entre les points et non des distances du grand cercle (qui prend en compte l'aspect sphérique de la surface terrestre). Dans notre contexte, les sites sont limités en superficie. L'étude est donc à grande échelle et les différences seraient insignifiantes, mais cette non prise en compte serait problématique si ST-DBSCAN était appliqué à des mobilités sur de plus grandes distances (ex. migration), ou même appliqué à d'autres phénomènes spatio-temporels concernant de plus larges emprises spatiales (ex. phénomènes climatiques comme l'exemple cité dans Birant and Kut (2007)). De plus par rapport aux distances, notre étude bénéficierait d'une plus grande prise en compte du relief. Il pourrait être envisagé d'adapter l'algorithme ST-DBSCAN afin qu'il prenne en compte les distances en trois dimensions (avec l'altitude donc). Les points GPS situés dans les virages en épingle seraient plus distants les uns des autres et ne seraient plus considérés comme des clusters. L'implémentation d'une telle adaptation de l'algorithme pourrait être réalisée à la suite de la thèse et appliquée au jeu de données étudié.

10.2. Éléments de réponses aux questionnements sur la mobilité humaine dans les activités récréatives

J'ai montré dans l'article sur l'analyse des pauses, qu'il était possible de classer les pauses dans un environnement montagneux selon leur durée, la visibilité et selon la pente. Une telle classification des pauses n'existe pas dans la littérature à propos des activités récréatives en espace semi-naturel. Il est nécessaire de confirmer ces résultats en appliquant la méthode déployée sur d'autres sites d'étude et notamment contenant des éléments du paysage structurants ou saillants différents, tels que des lacs ou des formations géologiques particulières. Un site où il y aurait un sommet à atteindre, une rivière ou un lac en altitude, combinerait plusieurs éléments du paysage, ce qui pourrait devenir un choix pour les randonneurs pour leur pause principale, ou pour des pauses d'un autre type. Il est possible que le choix de faire une pause devant un lac plutôt qu'à un sommet soit discriminant en fonction des variables socio-démographiques. Comme je l'ai indiqué dans la discussion de l'article, je pense que les randonneurs font un compromis entre la perception du risque à l'approche des sommets et la motivation à observer le paysage d'un bon point de vue. La typologie de pauses pourrait être affinée, de manière à ce qu'il n'y ait pas une distinction binaire entre d'un côté les pauses *eye-catching* et de l'autre les *breath-catching*. Il pourrait exister des catégories de pauses hybrides déclinables, que j'appellerais de manière groupée des pauses opportunistes. Il peut y avoir des pauses pour que les randonneurs reprennent leur souffle. Ils s'arrêteraient toutefois à un endroit où la vue comprend des éléments du paysage d'intérêt, ou bien tout simplement guidés par les conditions locales de l'endroit comme la présence d'ombre. Il

y aurait probablement des pauses utilitaires, par exemple servant à remettre de la crème solaire, mettre un chapeau, boire, prendre une photo, sans qu'elles ne soient liées à de la récupération du souffle. Ces pauses ne peuvent être détectées qu'à l'aide d'informations détaillées sur les pauses, ce qui pourrait être obtenu avec un enrichissement des questionnaires, tel que je l'explique plus loin sur un protocole de questionnaires spécifiques.

Les vitesses de randonneurs dépendent principalement de la pente, mais également des variables socio-démographiques. À l'instar de Schamel and Job (2017), j'ai montré que l'âge du groupe était un facteur influençant la vitesse de marche, les groupes âgés marchant moins vite que les groupes plus jeunes. Si nous avons trouvé des différences de vitesse de marche entre les âges, nous n'avons par contre pu trouver le même résultat que Schamel and Job (2017) selon lequel l'écart entre les vitesses de marche de plusieurs groupes d'âge aurait tendance à décliner sur les pentes faibles. En effet, notre modèle explicatif optimal trouvé ne contient pas d'interaction entre les variables socio-démographiques et la pente. Contrairement à Schamel and Job (2017), je n'ai pas testé d'autres variables géographiques que la pente qui seraient susceptibles d'influencer la vitesse de marche, par exemple la largeur des sentiers. Il serait également intéressant de tester d'autres facteurs d'influence possibles sur la vitesse de marche : la visibilité sur le paysage à partir des sentiers, ce qui pourrait être étudié par un indice de fermeture du paysage (Kondo and Seino 2010), ou encore le fait de porter ou non un sac (Kramer 2010).

Les *hiking functions* déjà existantes (Irmischer and Clarke 2017 ; Naismith 1892 ; Rees 2004 ; Tobler 1993) montrent pour la plupart une légère asymétrie des vitesses entre les montées et les descentes, un peu décalée par rapport à la pente nulle. Pour tous les modèles, la vitesse commencerait à décroître lorsque la pente est encore descendante. J'ai montré par le biais des deux modèles de vitesse, un en montée et un en descente, une légère asymétrie décalée par rapport à la pente nulle (par rapport à 0). Le problème dans notre contexte, est de ne pas avoir de pente nulle, ce qui ne permet pas de définir une *hiking function* à partir de données GPS de manière continue sur l'ensemble des valeurs de pente. La valeur de la vitesse pour une pente nulle ne pourrait qu'être estimée. Les modèles produits estiment une vitesse moyenne supérieure à toutes les vitesses moyennes des modèles existants, avec des allures de courbes néanmoins similaires.

J'ai étudié la fréquentation des sentiers selon l'heure de la journée, selon la distance au plus proche sommet via le réseau de sentiers et selon une dangerosité que j'avais catégorisée par une analyse multicritères (détail dans la partie méthode du chapitre 8). J'avais aussi pris en compte la distance au parking de départ de la randonnée (un seul par site) aussi calculé via le réseau de sentier, cette distance étant en fait très corrélée à la distance aux sommets. Je n'ai donc conservé que la distance aux sommets, ou distance aux objectifs. Dans son étude sur la fréquentation d'un réseau de sentiers, Taczanowska (2009) a montré que la fréquentation des tronçons était principalement influencée par la distance aux points d'entrée du réseau. Cependant, le réseau qu'elle a étudié comporte plusieurs points d'entrée lorsque le nôtre n'en comporte qu'un pour chaque site. Par ailleurs, elle n'a pas traité de la distance à des points remarquables de son réseau de sentiers, comme les points de vue sur le Danube.

Mes résultats indiquent que l'objectif d'une randonnée (pour notre site d'étude, déduit des questionnaires, ce sont les sommets) influence très fortement la fréquentation des sentiers en fonction de l'heure. Lew and McKercher (2006) expliquent très clairement que les profils de mobilités touristiques dépendent des objectifs et de la distance nécessaire pour les atteindre. Mes résultats vont dans ce sens.

J'ai insisté dans l'introduction de cette thèse sur la théorie de la *time-geography* (Hägerstrand 1970) et je rappelle ici les contraintes définies sur la mobilité humaine : les contraintes de capacité, les contraintes de couplage, les contraintes d'autorité. De plus, Di Méo (1999) souligne qu'une autre contrainte pourrait déterminer la mobilité : la construction sociale. Ici, je vais présenter les principaux résultats pour chacun des quatre types de contraintes.

Les contraintes de capacité. Il n'y a pas eu de résultats de modèles significatifs indiquant une interaction entre les variables taille du groupe et âge du groupe, ce qui implique que les variabilités des comportements au sein des groupes d'âge sont faibles. J'en déduis que les comportements spatio-temporels sont homogènes au sein des groupes d'âge. L'âge est le facteur principal pour les résultats concernant les pauses puisque les groupes jeunes font davantage de pauses en nombre (et davantage de pauses *eye-catching*), les familles sont le groupe qui font le moins de pauses et les groupes jeunes vont plus vite que les groupes âgés. Ces différences indiquent un effet individuel sur le comportement de mobilité des groupes.

Les contraintes de couplage. Comme mentionné dans les contraintes de capacités, les familles ont des comportements différents des autres groupes d'âge. Or, c'est un groupe défini à partir de l'hétérogénéité des âges au sein du groupe. Il se peut qu'une famille comporte des individus d'âge moyen et des enfants, ou des individus d'âge moyen et des individus plus âgés. Les résultats de cette thèse indiquent que le groupe des familles marchent le moins vite et donc s'adapterait à la vitesse du plus lent. Par ailleurs, un résultat concerne la différence entre les individus seuls et les groupes. Partir en groupe est lié à un nombre de pauses plus important et à une durée de pause principale plus longue. Les groupes marchent moins vite que les individus et passent davantage de leur temps en pause plutôt qu'à marcher.

Les contraintes d'autorité. Cette thèse n'aborde que très peu la question de ce qui représente l'interdit explicite (la réglementation) et l'interdit implicite (règles sociales comme par exemple ne pas crier en présence des autres). Pendant la réalisation de mon travail de recherche, la question de la contrainte d'autorité est restée en suspens. Les contraintes de terrain (par exemple une falaise) sont-elles des contraintes d'autorité par le danger qu'elles représentent, ou une contrainte de capacité par la difficulté qu'ont les humains à franchir ces éléments en toute aisance et non assistés ? Je vois cependant une contrainte d'autorité s'appliquant directement à la mobilité : l'accès en voiture aux chemins forestiers. Les gestionnaires peuvent accéder en voiture à une altitude supérieure de celle des randonneurs. Cette contrainte d'autorité permet aux gestionnaires (bien que dans le cadre de leurs missions) à contourner les contraintes de capacité et de couplage égales à celles du randonneur, d'accéder plus rapidement aux alpages et ils seraient donc susceptibles d'être un facteur de dérangement pour la faune en arrivant très tôt et avant les randonneurs.

Les contraintes liées à la construction sociale. La distinction entre cette contrainte et la précédente est ténue. Les résultats obtenus illustrent un évitement de certains itinéraires et objectifs (sommets) d'itinéraire par les groupes avec la présence de femmes, par rapport aux groupes de genre masculin uniquement. L'utilisation de l'espace est différent selon les genres et il est possible que ce différentiel soit lié à une représentation des contraintes de l'espace. Les femmes pourraient se représenter certains itinéraires comme dangereux ou risqués et cette représentation pourrait être liée à une construction sociale faite d'interdits (Bourdieu 1998). A noter aussi que les femmes ont davantage tendance à partir en groupe. Partir seule serait évité, ce qui représente une contrainte supplémentaire à la mobilité car il est nécessaire de mobiliser d'autres personnes pour pouvoir randonner.

Nos résultats tendent à indiquer que les quatre contraintes gagneraient à être davantage étudiées dans la compréhension des mobilités. Les contraintes décrites par la *time geography* et les critères pour les caractériser doivent être sondées avec des questions ciblées destinées aux pratiquants. Les pratiquants devraient être interrogés sur leur identification de contraintes de ralentissement et sur leur évaluation de ce qui est appelé la *fixity*, ainsi nommée dans Cullen and Godson (1975), Kwan (2000) ou encore Schwanen, Kwan, and Ren (2008), c'est à dire le fait de devoir rester en un lieu pendant un certain temps. Par exemple, si l'un des individus d'un groupe souhaite passer du temps en un lieu spécifique sur l'itinéraire de la randonnée, les autres membres du groupes sont amenés à s'arrêter en ce même lieu avec l'individu et évalueront cela comme une *fixity*. Des questionnaires spécifiques (Cullen and Godson 1975 ; Kwan 2000 ; Schwanen, Kwan, and Ren 2008) pourraient aider à définir et quantifier les *fixities* par individu et par groupe.

10.3. Sur un protocole de questionnaires spécifiques

Pour les recherches menées par le LECA et l'EDYTEM depuis plusieurs années, dans laquelle j'ai effectué ma recherche de thèse, des questionnaires de campagnes de terrain avaient été élaborés ciblant la pratique de la randonnée dans le PNR du Massif des Bauges et proposés lors des étés 2014 et 2015. Ces questionnaires s'inscrivent dans une recherche en sociologie et en géographie, sur la relation que peuvent avoir les pratiquants d'activités récréatives en espaces semi-naturels avec la faune sauvage, sur les représentations et aussi sur leurs connaissances des espèces. Léna Gruas a débuté sa thèse en 2017 en sociologie¹. Elle a effectué une étude bibliographique afin de formaliser à partir de ces premiers questionnaires, de nouveaux questionnaires adaptés à des campagnes de terrain multi-sites dont les deux sites d'étude de ma thèse. Ces questionnaires ont apporté des réponses sur la sociologie des pratiquants d'activités récréatives et sur leurs représentations de la faune sauvage (Perrin-Malterre, Chanteloup, and Gruas 2019 ; Perrin-Malterre and Chanteloup 2018). Je n'ai pas traité ce dernier aspect concernant la faune sauvage dans mon traitement de données, me cantonnant aux variables socio-démographiques. Dans ces questionnaires, très peu de questions étaient liées au comportement spatio-temporel des usagers (une question sur

1. Sujet de thèse de Léna Gruas : « Evolution des usages récréatifs des territoires de montagne et cohabitation avec la faune sauvage emblématique »

l'objectif de la randonnée, des questions sur la fréquence de pratique), ce qui est normal car ce n'était pas leur objectif.

Les résultats de mes recherches ont été principalement obtenus à partir des traces GPS. Ils ont concerné les pauses des randonneurs, leurs vitesses de marche et l'organisation entre temps en pause et temps de marche, le choix des itinéraires. Ils ont abouti à la détermination des patrons spatio-temporels de randonneurs en fonction de leur sociologie. Par cette démarche d'exploration autour des traces GPS et des questionnements trouvés dans la littérature autour du spatio-temporel, je pense à présent que les patrons spatio-temporels trouvés doivent être enrichis de réponses par questionnaires, **questionnaires spécifiques à l'interprétation des analyses spatio-temporelles**. Prenons des exemples concrets :

1. Il apparaît indispensable de confirmer ou d'infirmer la pertinence de la classification des pauses (récupération ou observation) par les commentaires des randonneurs interrogés. Un premier questionnaire spécifique à l'analyse spatio-temporelle ciblant les pauses pourrait contenir des questions concernant la fréquence des pauses, les motivations à faire une pause (attendre un membre du groupe, le paysage, reprendre son souffle, manger) et ce qui est ressenti lorsqu'une pause est faite à un endroit scénique.
2. Nous avons trouvé que certains itinéraires ou certains objectifs d'itinéraires sont sur-sélectionnés par le genre masculin. Nous avons montré également qu'une partie de la littérature sur les *gender studies* étudie l'espace et le genre, notamment en décrivant des représentations de l'espace et des comportements dans l'espace propres à chaque genre. Un deuxième questionnaire spécifique à l'étude spatio-temporelle des mobilités de randonneurs pourrait avoir comme questions : qui oriente habituellement ? Qui conduit en voiture ? Avez-vous peur d'utiliser un tronçon de sentier peu fréquenté ? Quel sentiment à l'idée de rentrer de nuit ? Quel sentiment à l'idée de se perdre ? Ou encore, proposer un gradient de réponse pour la représentation du sommet : est-ce davantage un endroit où admirer le paysage, ou plutôt un défi ?
3. Les vitesses de marche et le temps relatif en pause. Un troisième questionnaire contiendrait des questions afin de quantifier les contraintes qui empêchent un individu de marcher rapidement, ce qui implique nécessairement de trouver une manière de caractériser avec précision le profil du groupe et le profil du porteur du GPS. Ces questions pourraient porter sur la forme physique, l'habitude à pratiquer en montagne et le détail de cette expérience en montagne. Pour les vitesses de marche et la répartition du temps en pause, les questions porteraient sur la qualification précise des variables socio-démographiques qui influencent la vitesse et le *time-budget*. Plus les informations sur ce qui influence la vitesse de marche et la répartition du temps en pause sont nombreuses, plus le modèle d'estimation de la position d'un individu dans un réseau de sentier sera précis. Cet affinage du modèle demande également davantage de données GPS couplées à des questionnaires, afin de chercher à réduire la marge d'erreur.

Au delà des questions qu'il serait nécessaire de poser pour plus d'informations sur les

comportements spatio-temporels des randonneurs, la bonne pratique serait **d'utiliser des questions à échelle**, afin de pouvoir discrétiser davantage les profils de randonneurs entre eux. Par exemple, je fais l'hypothèse qu'il existe un compromis autour de l'objectif sommet² selon lequel le paysage visible à cet endroit pourrait être unique, mais avec une représentation d'un risque de chute élevé. D'autres motivations existent aussi : atteindre le sommet pour repousser ses limites, pour aller au bout de son effort. Les questions du questionnaires devraient tester ces compromis, de la même manière que Chhetri, Arrowsmith, and Jackson (2004) procède pour discrétiser les représentations du paysage parmi les pratiquants d'activités récréatives en espaces semi-naturels. Des photos de paysages locaux pourraient être présentés afin d'être classés selon des critères³, comme plusieurs publications (Gundersen et al. 2017 ; Hammitt, Patterson, and Noe 1994 ; Huang and Lin 2019) ont pu l'expliquer, pour des recherches spécifiques à l'étude du paysage.

Une amélioration majeure serait de proposer un enrichissement sémantique des trajectoires GPS par les réponses des interrogés. Une fois les points GPS traités avec une représentation des indicateurs de pause, des indicateurs de vitesse, de l'itinéraire, une discussion avec l'interrogé permettrait d'enrichir la trajectoire avec des informations supplémentaires. Bien conscient des difficultés matérielles⁴ que représente la visualisation avec l'interrogé d'une trajectoire GPS traitée juste après sa randonnée, cette pratique permettrait d'apporter beaucoup de précisions aux classifications de pauses ou d'itinéraires. Elle permettrait aussi de répondre à des questions sur la représentation du paysage et son lien avec le spatio-temporel, **mais aussi et surtout dans notre contexte, répondre à des questions sur l'interaction avec la faune. Les pratiquants pourraient enrichir les pauses réelles d'une interaction vécue avec les animaux**. Les solutions autour de cet enrichissement sémantique de la trajectoire par l'interrogé existent déjà, avec les GPS traceurs équipés d'un bouton que l'on peut activer à l'endroit d'une photo par exemple, mais que des chercheurs ont utilisé pour signaler les lieux vécus positivement ou négativement par les pratiquants⁵ (Svensson, Pettersson, and Zakrisson 2011). L'autre solution est de rester en contact avec l'interrogé s'il l'accepte pour l'interroger en entretien (Depeau et al. 2017), ou de proposer un questionnaire en ligne (Depeau et al. 2019) autour des trajectoires. Il serait même possible alors de déployer des outils de représentation 3D de paysage pour poser les questions autour de ces scènes vécues, ou pour simplement remémorer l'endroit de la pause afin de poser des questions plus précises. Les biais de ce genre de solutions seraient nombreux et seraient les mêmes que ceux exposés par Shoval and Isaacson (2007) autour de la méthode du *time budget*, que sont l'omission de comportements sur le terrain et l'approximation.

2. de la même manière que les animaux ont un compromis à faire dans un paysage de la peur, entre une nourriture riche à un endroit où ils perçoivent un fort risque de prédation

3. comparaison d'éléments du paysage entre eux : différentes essences d'arbres, clairière/forêt, éléments du relief, présence de bâtiments sur les photos, comparaison bâtiment patrimonial/bâtiment neuf

4. Il faudrait alors un ordinateur portable sur le terrain, dans lequel serait importés et traités automatiquement les points GPS, puis visualisés avec l'interrogé (Drevon et al. 2014). Il faudrait que la batterie de l'ordinateur puisse tenir toute une journée de terrain, que l'export des données se fasse rapidement, que le traitement des données soit robuste et que les agents sur le terrain y soient formés

5. Bien que la visée de l'étude soit l'aménagement d'une méga-station d'activités récréatives estivales et hivernales en Suède

Enfin, afin d'aller vers une recherche plus éthique, mais également qui explore des profils d'utilisateurs qui nous seraient inconnus, il paraît indispensable pour nous chercheurs, **d'exposer les profils auxquels on pense a priori concernant les pratiquants d'activités récréatives en espaces semi-naturels**, comme le propose Hvenegaard (2002). Par exemple, si mon hypothèse de chercheur sur les profils de pauses, a priori de la campagne de terrain, est qu'il y a des pauses d'observation, des pauses principales du midi et des pauses de récupération, je devrais alors proposer aux interrogés de classer leurs pauses selon ces profils ou selon un terme « autres », puis comparer leur propre classification à la classification que j'aurais proposé en suivant mes critères de classification. Il en va de même pour les profils *resters*, *observers*, *mixed*, *speeders* que j'ai proposé dans l'article sur la vitesse des pratiquants. **Les pratiquants devraient pouvoir accepter ou non la catégorie dans laquelle ils peuvent être classifiés, au même titre qu'ils acceptent ou non d'être suivis par GPS ou de répondre à un questionnaire.** De plus, comparer nos résultats obtenus par classification automatique sur les bases de la littérature et la façon dont se considèrent les pratiquants eux-mêmes, pourraient apporter beaucoup d'informations à la qualité de notre recherche et/ou à la représentation qu'ont les pratiquants d'eux mêmes. Si un pratiquant déclare ne pas faire beaucoup de pauses, tandis que l'algorithme ST-DBSCAN a détecté beaucoup de petites pauses avec un taux de réussite supérieur à 90% (comme je l'ai montré), il est probable qu'il ne se rende pas compte de sa fréquence de pauses dans la globalité de sa randonnée.⁶

10.4. Sur les autres jeux de données de fréquentation humaine à traiter

Il existe d'autres jeux de données concernant la fréquentation et la mobilité de pratiquants d'activités récréatives pour le site d'étude du PNR du Massif des Bauges. Je me suis concentré sur les traces GPS car les traiter nécessitait de s'approprier des méthodes de géomatique adaptées et les possibilités d'études statistiques autour des entités spatio-temporelles produites sont riches (étude de la vitesse, analyse des pauses, etc...). Je vais dans ce paragraphe lister les autres jeux de données disponibles et mentionner les noms des collègues qui les ont déjà mis en formes ou analysés :

- Deux éco-compteurs ont été installés à 1800 m et 1300 m d'altitude pour les sites 1 et 2 respectivement. Fonctionnant avec une technologie infrarouge pour détecter les passages d'humains (mais aussi d'animaux), ils sont placés de telle sorte à capter tous les randonneurs d'été montant sur les alpages (bien que j'ai montré dans l'article 2 de la partie III qu'il y a des tronçons de sentier permettant de faire le tour des alpages). Les éco-compteurs fonctionnent en continu et sont exhaustifs temporellement pour l'estimation de la fréquentation, mais ils ne peuvent cependant pas détecter le sens de passage. Lucie

6. Travailler sur les pauses en randonnée m'a permis de remarquer le nombre important de pauses que je peux faire lorsque je randonne, que je n'imaginai pas avant.

Thel (LECA, stage M2) a analysé ces données et a montré un effet météo (précipitations et températures combinées) sur la fréquentation journalière des sites d'étude.

- En parallèle des traces GPS, il a été demandé aux randonneurs de tracer leur itinéraire sur une carte topographique, ainsi que leurs pauses principales. Chaque questionnaire est couplé à une carte annotée et de ce fait, il y a davantage de cartes annotées que de traces GPS. Jean-Noël Avrillier (LECA) a numérisé toutes ces cartes dans un SIG structuré. Le réseau de sentiers a été représenté en graphe pour faciliter la saisie sur le logiciel de cartographie. Les cartes mentionnent parfois le sens, parfois non. Jean-Noël Avrillier m'a également signalé un biais : des itinéraires tracés suivaient un sentier puis des frontières de zone de protection n'existant que sur la carte mais dont la sémiologie peut être similaire aux sentiers (surtout en noir et blanc). La navigation et le repérage sur carte topographique peut mener à des biais d'exhaustivité ou même des erreurs d'itinéraires. À partir de ces données, nous avons pu construire des cartes de fréquentation spatiale. Lucie Thel a pu utiliser ces cartes de fréquentation pour son travail de stage de M2 sur la fréquentation humaine. Les données de cartes dessinées sont adaptées à un questionnement sur la répartition spatiale de fréquentation et éventuellement temporelle mais à une résolution quotidienne seulement.
- Le dernier jeu de données est l'observation in-situ des comportements de randonneurs (Chanteloup et al. 2016), effectuée pendant l'été 2014. Cette méthode issue d'Altmann (1974), exige une grande rigueur dans la caractérisation du protocole et des conditions d'observation (angle de visibilité, conditions météorologiques, localisation précise de l'observateur). Pour l'étude, il s'agissait de relever les positions des randonneurs à chaque heure et de décrire le groupe et son comportement selon des critères (position par rapport au sentier, course à pied / marche / en arrêt, avec/sans chien, taille du groupe). Par ce protocole, j'ai trouvé que la moyenne de la distance au sentier était de 3,44 m et que très peu de randonneurs marchaient en dehors des sentiers (4,79 %). Je n'ai pas exploité davantage ces données afin de me concentrer sur les données GPS⁷.

En plus de ces jeux de données listés, à disposition pour les mobilités de randonneurs estivaux, plusieurs campagnes de terrain ont été menées pour récolter des données GPS de pratiquants de ski de randonnée et de chasseurs. Ces jeux de données étaient disponibles. De la même manière que pour les randonneurs d'été, les traces GPS sont liées à des questionnaires sociologiques.

Les traces GPS provenant de chasseurs sont des données récoltées lors de stages menés par l'ONCFS dans la RNCFS. Dans le protocole, les chasseurs signalent l'heure de leurs tirs, ce qui permettrait dans le traitement des traces GPS, d'enrichir les trajectoires. Après une rapide inspection de ces traces GPS, j'ai pu remarquer que les traces ne suivent que très rarement les sentiers et la forte fréquence de périodes stationnaires assimilables à des pauses. Je pense que la vitesse de marche doit différer de la vitesse de marche des randonneurs. Les comportements spatio-temporels sont je pense, bien différents de ceux des randonneurs en été. Ces différences de comportement spatio-temporel nécessiterait peut-être des traitements de traces GPS différents,

7. J'ai tout de même pu présenter un poster aux Journées de la Recherche de l'IGN, en 2016 (voir appendix B)

car pour les randonneurs en été, j'ai utilisé un réseau de sentiers existant. Ici le réseau n'est pas formalisé sur le terrain (les chasseurs se basent sur les mouvements des animaux repérés), mais il existe peut-être au travers des connaissances d'experts.

Je rebondis sur l'absence de réseau formalisé, pour aborder les traces GPS de ski de randonnée. Ces pratiques ne suivent pas non plus de réseau formalisé a priori, ou plutôt formalisé de manière permanente. Sur le terrain, on peut observer les traces laissées dans la neige pour constater l'existence d'itinéraires semblables. Ces itinéraires peuvent se trouver aussi sur les sites web de ski de randonnée, ou sur les forums. Mais cette donnée d'itinéraires de ski de randonnée, est une donnée absente des bases de données d'information géographique telles que OSM ou celles de l'IGN. Il existe des méthodes d'analyse spatiale permettant la caractérisation d'un réseau de transports à partir de données GPS (Lera et al. 2017). J'ai pu construire une carte des principales zones de fréquentation en montée et en descente à partir des traces GPS de skieurs de randonnée⁸, ce qui laisse présager de ce à quoi ressemblerait le réseau d'itinéraires à ski (figure 10.1).

La difficulté pour créer le réseau d'itinéraires automatiquement, est de trouver les noeuds caractéristiques du réseau d'itinéraires. Une fois les noeuds trouvés, il serait alors possible de segmenter les traces GPS de noeud à noeud. Puis une classification automatique, par distance de Fréchet par exemple, serait nécessaire afin de distinguer les différentes voies possibles allant d'un noeud à un autre. Caractériser un réseau d'itinéraires est utile aux gestionnaires et encore une fois, est utile à la caractérisation spatio-temporelle de zones plus ou moins fréquentées pour l'étude de l'interaction humain-faune sauvage. Les traces de ski de randonnée ont la particularité pour une même activité récréative, d'être multi-modale. L'activité se décompose ainsi : une montée avec une technique similaire ressemblant à la marche à pied, peaux de phoque attachées sous les skis ; une pause afin de détacher les peaux ; une descente avec une technique de ski alpin. Chacune de ces différentes étapes impliquent des pauses plus ou moins longues et des vitesses très différentes. Les patrons spatio-temporels de cette activité diffèrent très certainement selon l'étape de l'activité et ces patrons seraient à caractériser. Les approches méthodologiques pour le traitement automatisé des traces GPS pourraient être différentes, par exemple avec l'utilisation des méthodes de segmentation semi-automatique décrites dans Calenges, Dray, and Royer-Carenzi (2008).

Le projet ANR HUMANI coordonné par Clémence Perrin-Malterre et le projet ANR MOVIT coordonné par Anne Loison, bénéficient donc de ces différents jeux de données pour ce terrain du PNR des Bauges. De plus, ces projets acquièrent de nouveaux jeux de données par les protocoles sus-citées, toujours sur le terrain du PNR du Massif des Bauges, mais également sur d'autres sites comme le massif de Belledonne⁹ par exemple. Les traces GPS pour différentes activités

8. Lors des campagnes de terrain, les GPS ont été programmé malencontreusement différemment que pour les campagnes d'été. Les traces GPS ont des intervalles de temps irrégulier, ce qui ne permet pas l'analyse spatio-temporelle par les algorithmes que j'ai utilisé pour les traces GPS d'été. Enfin, ces traces GPS ont beaucoup de pertes et de points GPS erratiques, ce qui ne facilite pas l'analyse.

9. massif se situant à moins de 30 km, avec des altitudes plus importantes et une espèce d'ongulés en plus : le Bouquetin

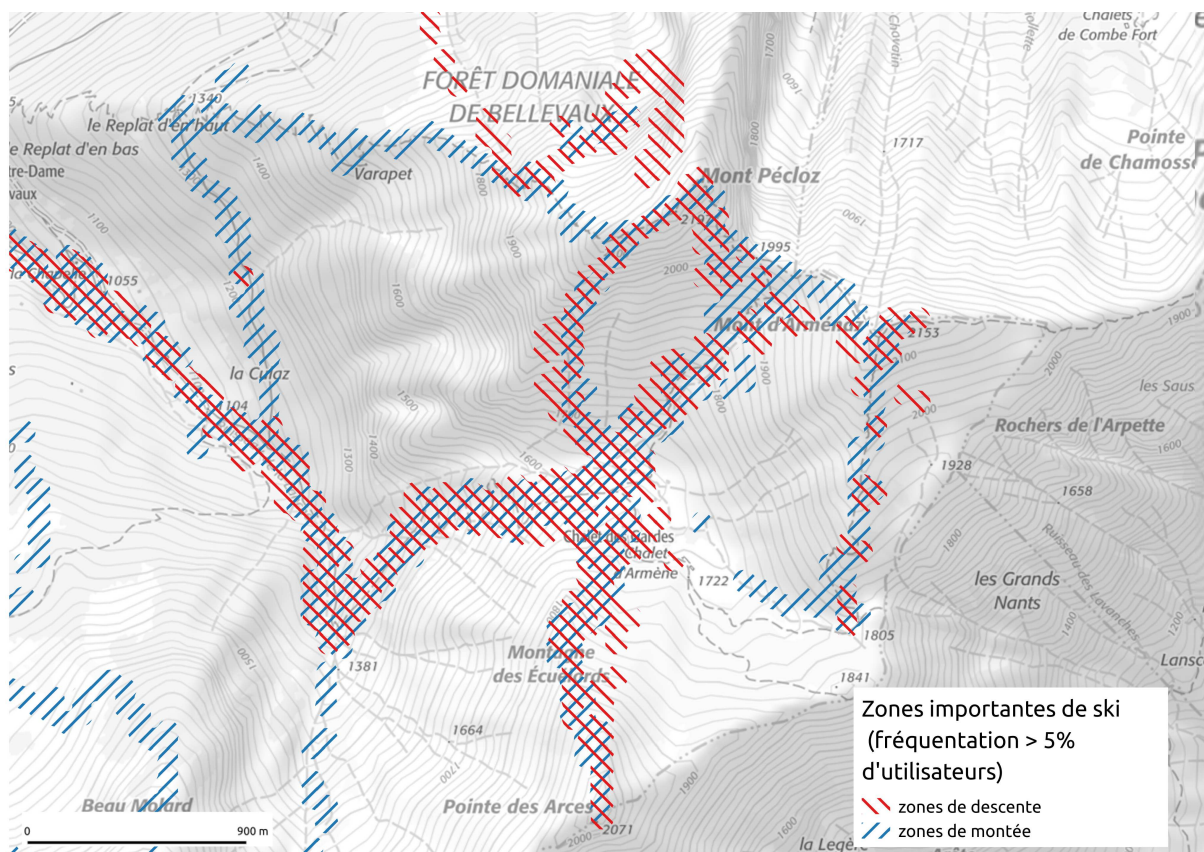


FIGURE 10.1. – Carte des zones de fréquentation en montée et en descente en ski de randonnée. Les zones hachurées représentent l’union de mailles intersectant plus de 5% des traces GPS sur le site

récréatives s'accumulent et l'organisation des outils de traitement de données GPS mise en place permettra éventuellement de produire les mêmes types d'entités spatio-temporelles que ceux de cette présente thèse.

10.5. Applicabilité en géographie et perspectives

L'étude fine des patrons spatio-temporelles de mobilité, c'est-à-dire la construction de pauses de pratiquants d'une durée minimale de 3 minutes, de vitesses de marche et d'itinéraires, pourrait être appliquée aux mobilités humaines dans d'autres contextes et activités récréatives que la randonnée en montagne. Le protocole de distribution de GPS couplée à des questionnaires spécifiques pourrait être transposé soit à des terrains non montagneux en espaces semi-naturels, ou à des parcs en zone urbaine espaces semi-naturels ou non.

Les facteurs environnementaux influençant les objectifs d'activités récréatives pourraient alors être les éléments d'hydrographie, des bâtiments patrimoniaux, des paysages particuliers en forêt, ou encore des arbres particuliers ou patrimoniaux, ou d'autres plantes. Travailler sur d'autres terrains amènerait de nouvelles questions à propos de la notion de paysage : sa visibilité, sa configuration et composition, la représentation de l'esthétique que s'en font les pratiquants. Ces questions étudiées par les paysagistes, les géographes du paysage, bénéficieraient de l'apport des analyses spatio-temporelles. Il serait intéressant d'étudier plusieurs terrains autour de l'hypothèse selon laquelle les éléments du paysage détermineraient les patrons spatio-temporels. Ces études multi-sites permettraient de montrer les différences ou les similarités culturelles autour de la pratique des activités récréatives en espaces semi-naturels qui peuvent exister. Par exemple en contexte urbain, l'idée que les lieux de pauses dans un parc puissent être à proximité des arbres patrimoniaux et ce indépendamment de la ville dans laquelle le parc se situe, ou du quartier, serait à tester. Si les comportements autour de la composition du paysage sont similaires indépendamment des quartiers à très grande échelle, ou des pays à très petite échelle, cela poserait nécessairement la question de l'accessibilité aux compositions paysagères plus coûteuses à atteindre comme les lacs alpins, les sommets avec vue sur de nombreux massifs etc.

Finalement, les caractéristiques socio-démographiques des randonneurs rencontrés sur les sites d'étude semblent homogènes, comme je l'ai montré dans le chapitre préliminaire aux parties II et III. Cette homogénéité pose la question de la pratique des activités récréatives en espaces semi-naturels des autres catégories sociales. Refusant l'idée que les différences de pratiques des activités récréatives en espaces semi-naturels soient seulement liées à des cultures de classes ou de communautés, je fais l'hypothèse qu'il existe de très grandes différences d'accessibilité aux sites de pratique selon les classes sociales qui se cumuleraient aux cultures de classes. Ces grandes différences d'accessibilité seraient expliquées par les contraintes de la *time geography*, de la même manière que pour les différences d'accessibilité selon le genre. La perspective principale en géographie serait d'étudier la relation entre la mobilité régionale et la mobilité locale de randonnée.

Appendix

Appendix A

Questionnaire sociologique estival pour la campagne d'été 2014

Tourisme estival Bauges

Pratique de l'activité

1. Date de la sortie

2. Heure de départ

3. Heure de retour

4. Quelle est la destination de votre sortie d'aujourd'hui ?

5. Sur cette sortie, quelle est l'activité pratiquée ?

1. Randonnée 2. Trail 3. Parapente 4. VTT 5. Autre:.....

6. Depuis combien d'années pratiquez-vous cette activité ?

7. A quelle fréquence pratiquez-vous l'activité ?

1. Plus d'une fois par semaine 2. Une fois par semaine 3. De une à trois fois par mois
 4. Uniquement pendant les vacances

8. Êtes-vous affilié à une fédération sportive de montagne(CAF, FFRP) ?

1. Oui 2. Non

9. Faites-vous de la compétition dans cette activité ?

1. Oui 2. Non

10. Quelles sont les raisons principales qui vous poussent à pratiquer cette activité ? (Ordonnez deux réponses)

1. Le dépassement de soi 2. Les relations sociales/la convivialité 3. Le contact avec la nature
4. L'entretien physique/la santé/le bien-être 5. Observer les animaux 6. Le plaisir de la randonnée
7. Autre:.....

Ordonnez 2 réponses.

11. Le plus souvent, avec qui pratiquez-vous l'activité ?

1. Seul 2. Avec des amis 3. En famille 4. Avec les membres d'une association

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

12. Dans les autres sports de nature pratiqués, quel aspect privilégiez-vous ?

1. Je n'en pratique pas 2. L'entretien physique 3. La recherche de sensations 4. La performance
 5. La découverte du milieu naturel 6. Le dépassement de soi

13. Pourquoi êtes-vous venu dans les Bauges aujourd'hui ? (Deux réponses possibles)

1. La proximité 2. La beauté des paysages
 3. La tranquillité 4. La pratique d'activités sportives de nature
 5. Voir des animaux sauvages 6. Vous êtes en vacances sur le massif
 7. Autre:.....

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

Milieu naturel et faune sauvage

14. Selon vous, le milieu montagnard est avant tout un lieu ...

1. A exploiter 2. A préserver 3. A aménager 4. A vaincre 5. A laisser vierge
 6. A conquérir 7. A découvrir

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

15. Pour vous, le milieu montagnard est un lieu...

1. De vie 2. De ressourcement 3. D'entraînement 4. De loisir 5. De contemplation
 6. De travail 7. D'effort

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

16. Si vous deviez décrire le massif des Bauges à un ami, que diriez-vous ?

17. Parmi ces différents classements, lesquels s'appliquent sur le territoire des Hautes-Bauges ?

1. Parc national 2. Zone natura 2000 3. Réserve naturelle
 4. Réserve nationale de chasse et de faune sauvage 5. Réserve de biosphère 6. Parc naturel régional
 7. Geopark 8. Réserve biologique intégrale 9. Zone de quiétude de la faune

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

18. D'après vous, quels sont les animaux sauvages présents sur le massif ?

1. Mouflon 2. Bouquetin 3. Sanglier 4. Loup 5. Cerf
 6. Chamois 7. Aigle 8. Chevreuil 9. Lynx 10. Gypaète
 11. Tétra Lyre 12. Marmotte 13. Grand Tétra

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

19. Comment connaissez vous ces espèces ?

1. Vous n'avez aucune connaissance particulière
 2. Vous avez une formation liée aux environnements de montagne
 3. Vous vivez et/ou travaillez en zone de montagne
 4. Vous allez les observer pendant vos loisirs
 5. Vous faites partie d'une association naturaliste
 6. Vous possédez des livres sur la faune de montagne
 7. Vous en avez entendu parler par des amis ou dans les médias
 8. Vous avez visité un musée naturaliste (type maison faune-flore)
 9. Autre:.....

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

20. Avez-vous vu des animaux sauvages lors de cette sortie ?

1. Oui 2. Non

Si non, allez directement à la question 30

21. Lesquels ?

22. A quelle distance étaient-ils ?

1. Moins de 5 mètres 2. Entre 5 et 30 mètre 3. Entre 30 et 100 mètres 4. Plus de 100 mètres

23. Qu'avez-vous fait au moment de cette rencontre ?

1. Vous avez continué votre itinéraire au même rythme 2. Vous avez continué en ralentissant votre rythme
 3. Vous vous êtes arrêté pour l'observer à l'oeil nu 4. Vous avez sorti des jumelles pour mieux l'observer
 5. Vous avez pris une photo ou un film 6. Vous vous êtes approché de lui
 7. Autre:.....

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

24. Si vous vous êtes arrêté, pendant combien de temps ?

1. Moins de 3 minutes 2. Entre 3 et 10 minutes 3. Plus de 10 minutes

25. Pensez-vous avoir été une source de dérangement pour l'animal ?

1. Oui, un peu 2. Oui, beaucoup 3. Non, pas du tout

26. Quel a été le comportement de l'animal ?

1. Il était trop loin pour en juger
 2. Il s'est enfui hors de votre vue
 3. Il s'est déplacé mais est resté dans votre champ de vision
 4. Il a changé d'attitude et de comportement sans changer de place
 5. Il vous a regardé
 6. Il a émis un son
 7. Il a continué son activité sans s'occuper de vous

Vous pouvez cocher plusieurs cases (5 au maximum).

27. Ces animaux avaient-ils un collier ?

1. Oui 2. Non

28. Que pensez-vous des colliers?

29. Savez-vous pourquoi ils sont marqués ?

1. Oui 2. Non

30. En général, quand vous voyez des animaux sauvages, que ressentez-vous ?

1. Vous trouvez cela ordinaire/banal 2. Vous êtes émerveillé 3. Vous êtes simplement content 4. Vous avez peur
 5. Vous êtes surpris/étonné 6. Autre.....

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

31. Pourquoi ?

32. En général, lors de votre pratique, pensez-vous être une source de dérangement pour les animaux ?

1. Oui souvent 2. Oui rarement 3. Non

33. Selon vous, lequel de ces utilisateurs du milieu naturel est le plus dérangent pour la faune ?

1. Pratiquants isolés (jusqu'à trois) 2. Pratiquants en groupe (plus de trois)
 3. Agriculteurs 4. Chasseurs
 5. Gestionnaires du territoire (ONF, ONCFS, Parc) 6. Scientifiques
 7. Photographe animalier

34. Expliquez votre choix

35. Avez-vous connaissance des zones de quiétude de la faune ?

1. Oui 2. Non

Si non, passez directement à la question 38

36. Si oui, les avez-vous évitées ?

1. Oui 2. Non 3. Je ne sais pas

37. Si non, Pourquoi ?

38. Si vous aviez connaissance de zone de sensibilité pour la faune sauvage, est-ce que vous modifieriez votre itinéraire pour en tenir compte ?

1. Oui, sûrement 2. Oui, peut-être 3. Probablement pas 4. Non 5. Je ne sais pas

39. Vous arrive-t-il de sortir des chemins balisés ?

1. Oui, parfois 2. Oui, souvent 3. Non, jamais

40. Si oui, pourquoi ?

41. Lors de votre sortie, avez-vous vu des dispositifs particuliers ?

1. Non 2. Oui, des cages 3. Oui, un mât avec un filet 4. Oui, les deux

Si non, passez directement à la question 44

42. Si vous avez vu des cages, d'après vous, quelle est leur utilisation ?

1. Etude de la neige 2. Station météo 3. Etude de la végétation 4. Capture d'animaux
 5. Mesure topographique 6. Protection des plantes rares 7. Je ne sais pas

43. Si vous avez vu un mât avec un filet, d'après vous, quelle est son utilisation ?

1. Etude de la neige 2. Station météo 3. Capture d'animaux 4. Mesure topographique
 5. Observation astronomique 6. Relais radio 7. Je ne sais pas

44. Avez-vous parlé avec un éco-volontaire ?

1. Oui 2. Non

Si non, allez directement à la question 47

45. Cette discussion a-t-elle influencé vos réponses aujourd'hui ?

1. Oui 2. Non

46. Est-ce que cette rencontre aura une influence sur votre pratique de la montagne ?

1. Oui, beaucoup 2. Oui, un peu 3. Non, vous n'en tenez pas compte
 4. Non car vous en teniez déjà compte avant.

Identité

47. Etes-vous...

1. Un homme 2. Une femme

48. Quelle est votre année de naissance ?

49. Quel est votre diplôme le plus élevé ?

1. Aucun 2. CAP BEP 3. Bac 4. Bac+2 5. Bac+3 6. Bac+5 7. Bac+8 et plus

50. Quelle est votre catégorie socio-professionnelle ?

1. Agriculteur 2. Commerçant, artisan, chef Entreprise 3. Cadre.Prof.Intellectuelle.Sup.
 4. Profession intermédiaire 5. Employé 6. Ouvrier
 7. Chômeur 8. Elève, Etudiant 9. Retraité
 10. En recherche d'emploi

51. Dans quelle tranche de revenu mensuel net vous situez-vous ?

1. Moins de 1200€ 2. de 1200€ à 2000€ 3. de 2000€ à 3000€ 4. Plus de 3000€

52. Quelle est votre situation matrimoniale ?

1. Célibataire 2. Marié(e) 3. Vivant maritalement 4. Veuf(ve) 5. Divorcé(e) 6. Séparé(e)

53. Combien avez-vous d'enfants ?

54. Quel est votre code postal et votre commune de résidence ?

55. Où se situe votre habitation ?

1. En zone urbaine 2. En zone péri-urbaine 3. Dans un village 4. Habitat isolé

Autre

56. Avez-vous d'autres commentaires à faire sur votre sortie ?

57. Seriez-vous intéressé de poursuivre ces échanges en entretien ? Si oui, merci d'indiquer vos coordonnées

58. Pouvez-vous nous indiquer l'itinéraire suivi sur cette carte en indiquant le lieu de pique-nique et les endroits où vous avez fait un arrêt de plus de 10 minutes ?

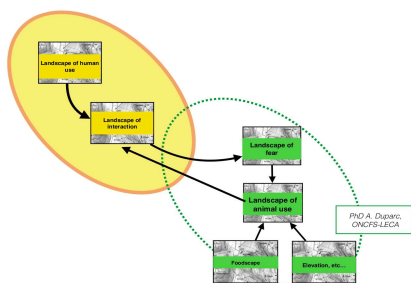
Appendix B

Poster réalisé aux Journées de la Recherche IGN, en 2016.

1. Contexte

L'humain peut être un facteur de dérangement pour les ongulés (Gander et Ingold, 1997 ; Stankowich, 2008). Pouvant être considéré comme un prédateur, il peut modifier la perception du paysage qu'ont les ongulés. Cette faune considère un espace pour sa survie alimentaire, mais également pour sa survie face au risque de prédation : c'est le "paysage de la peur" (Laundré *et al.*, 2001).

Dans un espace naturel touristique en pleine mutation par la diversification des activités et augmentation des pratiquants (Corneloup, 2003), les pratiques et les fréquences de pratiques sont encore mal quantifiées et qualifiées.



2. Objectifs

Cette thèse a pour but d'étudier les interactions humain/animal (faune de montagne) au travers de leur comportement spatial, puis de coupler les connaissances sur l'homme aux données sur la distribution de la faune pour une meilleure compréhension des dynamiques de populations reposant sur différents scénarios de mesures de gestion et de flux des activités humaines.

3. Protocoles de collecte de données et propositions d'analyses

Méthode 1 : observation directe des humains et de la faune (carte partie 4)

Deux alpages sont observés heure par heure, les jours d'été (14 juillet jusqu'à 15 août). Les usagers sont décrits selon plusieurs critères tels que l'éloignement au sentier, le bruit, ou encore l'accompagnement par un chien. Les positions des animaux sont également relevées. Les espaces occupés seront comparés. Cette méthode est nommée "scans".

Méthode 2 : distribution de GPS-traceurs (cartes en partie 5)

Des GPS-traceurs sont prêtés aux randonneurs à partir de leur point de départ. Ces traceurs enregistrent une position géographique toutes les 10 secondes. Il est proposé ensuite à certains randonneurs de remplir un questionnaire sociologique à leur retour de sortie. Ces positions géographiques sont converties en traces linéaires à l'aide d'outils en géomatique (SIG). Des trajectoires spatio-temporelles peuvent ainsi être construites puis analysées : temps de repos, vitesses moyennes, relations vitesse/pente. Elles sont ensuite analysées avec les résultats des questionnaires.

Contact



colin.kerouanton@univ-savoie.fr

Committee in charge

Anne Loison (LECA, University of Savoie)
Laurence Jolivet (COGIT Lab, IGN)
Clémence Perrin-Malterre (EDYTEM, University of Savoie)

Personnal Website



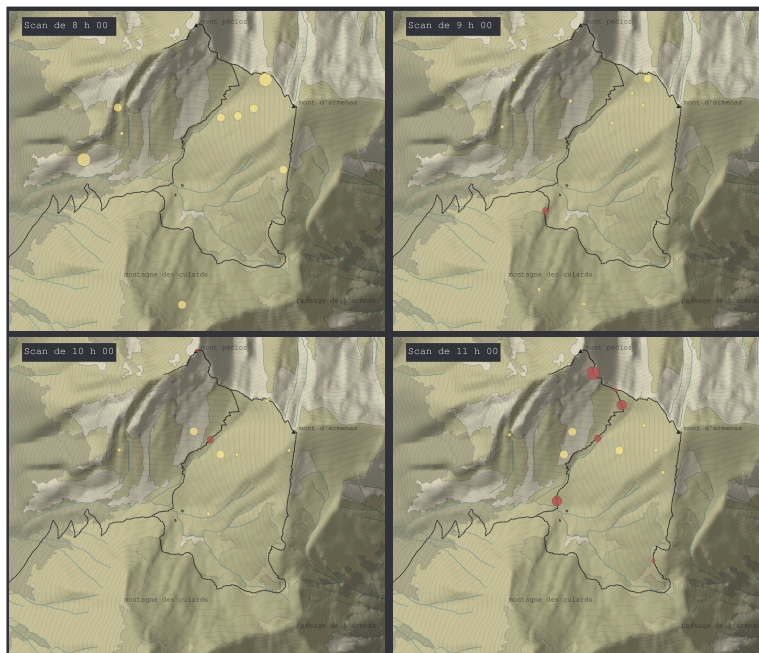
Ce projet est soutenu par la région Rhône-Alpes



4. Visualisation des données "scans"

Fréquentation touristique et grands ongulés sauvages de montagne

L'exemple de randonneurs et de chamois *Rupicapra rupicapra* le 27 juillet 2014 au Mont Pécloz, alpage au sein du PNR du Massif des Bauges



Nombre de touristes observés des randonneurs aux coureurs en passant par les naturalistes

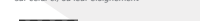


Nombre de chamois observés L'espèce observée sur ce site d'étude est le chamois *Rupicapra rupicapra*



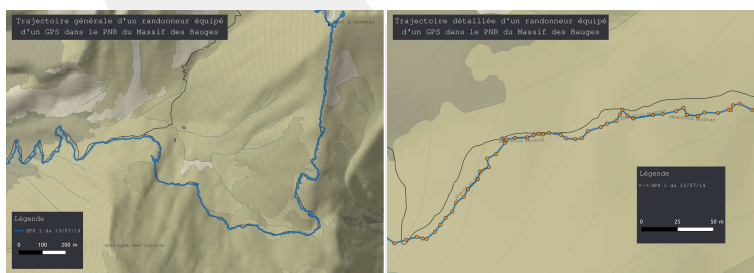
Chemin de randonnée

Les touristes sont observés selon leur présence sur sentier, ou leur éloignement



Le fond topographique est un fond élaboré selon les données IGN, l'ombrage et les isolignes (20m) ont été modélisés sur le logiciel QGIS. Cartes réalisées à l'aide du logiciel QGIS, selon des données analysées avec le logiciel de programmation statistique libre R. Auteur : Kerouanton C., mars 2016

5. Visualisation des données "trajectoires"



6. Perspectives et application de la thèse

- La prochaine session de terrain sera organisée à l'été 2016, et d'autres sessions seront planifiées par la suite pour les saisons hivernales également.
- Les données récoltées par observation et par GPS doivent être analysées. Ce sera effectué principalement à l'aide du logiciel libre de programmation statistique R.
- A plus long terme, les résultats de la thèse serviront à l'élaboration de modèles spatiaux prédictifs pour une meilleure gestion et sensibilisation dans le PNR du Massif des Bauges

Références

- Corneloup, J., 2003. Les cultures sportives de la montagne d'aujourd'hui et de demain 135-162.
- Gander, H., Ingold, P., 1997. Reactions of male alpine chamois *Rupicapra r. rupicapra* to hikers, joggers and mountainbikers. *Biol. Conserv.* 79, 107-109.
- Laundré, J.W., Hernández, L., Altendorf, K.B., 2001. Wolves, elk, and bison: reestablishing the "landscape of fear" in Yellowstone National Park, USA. *Can J Zool* 79, 1401-1409.
- Stankowich, T., 2008. Ungulate flight responses to human disturbance: A review and meta-analysis. *Biol. Conserv.* 141, 2159-2173.

Appendix C

Kerouanton, Colin, Laurence Jolivet, Clémence Perrin-Malterre, et Anne Loison. 2017. « Obtention d'une typologie d'itinéraires de randonnée à partir de données GPS ». In Journées de la Recherche. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01522884/>.

Obtention d'une typologie d'itinéraires de randonnée à partir de données GPS

Colin KEROUANTON

Encadrement : Laurence JOLIVET (IGN), Clémence PERRIN-MALTERRE (EDYTEM), Anne LOISON (LECA)

colin.kerouanton@univ-smb.fr

Contexte et objectifs de la thèse

L'augmentation ces dernières décennies de la pratique de la randonnée conduit à une présence humaine importante en montagne, **augmentant les contacts avec la faune sauvage**. Cette problématique est au cœur des préoccupations des gestionnaires d'espaces protégés.

Dans le cadre d'un projet pluri-disciplinaire sur l'interaction Homme-Faune, l'ONCFS^a, le PNR^b du Massif des Bauges, le LECA^c et EDYTEM^d ont équipé de GPS des ongulés sauvages ainsi que des randonneurs au sein d'un espace partagé avec comme objectif de **comprendre la mobilité humaine et qualifier l'interaction Homme-Faune** (Chanteloup et al., 2016).

C'est dans ce contexte que l'**échantillonnage et le traitement statistique des trajectoires** est une étape importante en particulier pour comprendre le comportement spatial des randonneurs. Nous présentons la méthode globale qui permet **d'accéder à une information d'itinéraire par trajectoire dans le but de créer une typologie d'itinéraires**.

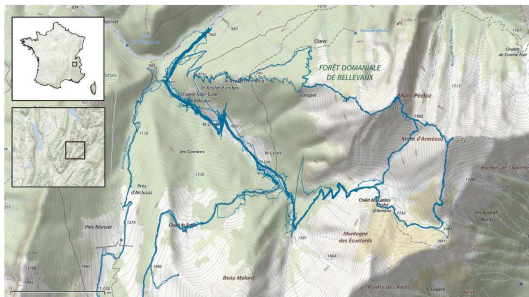


Figure 1. Site d'étude dans le PNR du massif des Bauges et trajectoires GPS testées

- a. Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage
- b. Parc Naturel Régional
- c. Laboratoire d'Ecologie Alpine
- d. Environnements Dynamiques Territoires Montagnes

Méthode

1. Récolte de traces GPS

Deux campagnes de terrain ont été menées les étés 2014 et 2015 dans le PNR du Massif des Bauges. Des GPS "bas-coût" (modèle **IgotU GT-120**) ont été distribués aux randonneurs puis récupérés à la fin des excursions. Les deux zones étudiées ont un réseau de sentiers formant une boucle, ce qui nous assure une bonne représentativité des itinéraires possibles. 250 traces ont ainsi été récoltées. Nous nous intéressons ici à un **sous-échantillon de 12 traces GPS** récoltées le 16 juillet 2015 (figure 2). Ces traces n'ont pas de données de précision (type DOP).

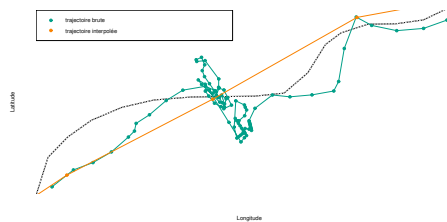


Figure 3. Trajectoire interpolée (en orange), résolution : 50 mètres

2. Traitement statistique des traces GPS

Les traces GPS sont très imprécises (appareil et forte hétérogénéité de paysages de montagne). Cette partie illustre le pré-traitement statistique nécessaire avant de pouvoir analyser les trajectoires et de produire des itinéraires. Afin d'éliminer les points aberrants, **régulariser la trajectoire**, nous avons utilisé les fonctions d'interpolation linéaire pour la re-discretisation spatiale et temporelle de trajectoires, développées par Calenge et al. (2009). Les pauses des randonneurs ont été extraites par l'usage de l'algorithme ST-DBSCAN (Birant and Kut, 2007), évaluant les densités de points le long de la trajectoire.

3. Enrichissement des trajectoires

Afin de déterminer l'itinéraire d'un randonneur, il est essentiel de récupérer une information géographique pour déterminer les lieux visités, ou les portions de **sentiers parcourus par une trajectoire**. Les points des trajectoires sont enrichis par l'information du sentier le plus proche.

Les points projetés aberrants sont supprimés avec des tests logiques (temps passé sur le sentier, distance parcourue sur le sentier).

4. Production d'itinéraires et clustering

Nous avons créé des itinéraires pour chaque trajectoire grâce à l'information du sentier (de type : "id1-id3-id54"). Nous avons calculé l'indice de **dissimilarité des itinéraires entre chaque trajectoire** (distance de Jaccard), puis nous avons appliqué une classification hiérarchique basée sur ces indices. La figure 4 montre les 5 groupes d'itinéraires trouvés.

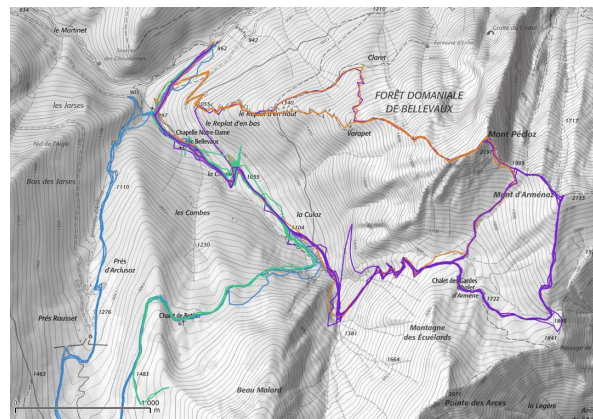


Figure 4. Groupes de trajectoires (une couleur = un type d'itinéraire)

Conclusion et perspectives

Les groupes d'itinéraires qui peuvent être distingués par cette méthode serviront à :

- dresser une **typologie de groupes de randonneurs** qui utilisent l'espace différemment, et plus ou moins rapidement,
- être croisés aux données **d'ongulés sauvages**.

Références

- Birant, D. and Kut, A. (2007). ST-DBSCAN: An algorithm for clustering spatial-temporal data. *Data & Knowledge Engineering*, 60(1):208–221.
- Calenge, C., Dray, S., and Froyer-Carenzi, M. (2009). The concept of animals' trajectories from a data analysis perspective. *Ecological informatics*, 4(1):34–41.
- Chanteloup, L., Perrin-Malterre, C., Duparc, A., and Loison, A. (2016). Quels points de vue sur les espaces partagés entre humains et animaux sauvages ? *Espaces et sociétés*, (1):33–47.

Appendix D

Kerouanton, Colin, Antoine Duparc, Laurence Jolivet, Clémence Perrin-Malterre, et Anne Loison. 2017. « Détecter les pauses de randonneurs par l'usage de ST-DBSCAN : analyse de sensibilité ». In Treizièmes Rencontres de Théo Quant. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01554542/>.

Outdoor recreationists, how to find their pauses by using ST-DBSCAN clustering algorithm

Colin Kerouanton¹, Laurence Jolivet², Clémence Perrin-Malterre³, and Anne Loison¹

LECA, UMR 5553, Université Grenoble Alpes, France¹

Univ. Paris-Est, LASTIG COGIT, IGN, ENSG, F-94160 Saint-Mande, France²

EDYTEM, UMR5204, Université de Savoie Mont Blanc, France³

Mots-clefs - ST-DBSCAN; Density-based clustering; sensitivity; spatial analysis; outdoor recreationists

Context

Since the 80s, nature-based recreational activities are more popular and more diversified. For example, climbing changed to many climbing sub-categories, as well as biking and hiking (Corneloup, 2003). These changes have some effects on the environment, such as impacts on wildlife behaviour (Burger, 1981). This phenomenon is observed in many parks located in the USA, Australia and Europe (Beeco et al., 2013; Wolf et al., 2012; Braunisch et al., 2011).

A collaboration is led in the context of a PHD thesis entitled *Spatial analysis of the human-wildlife interactions, and spatial management scenarios* whose aim is to study outdoor recreationist mobility within a natural area (Parc Naturel Régional du Massif des Bauges). As the Laboratoire d'Ecologie Alpine has studied wildlife in this area since numerous years, we use both wildlife data and outdoor recreationist data in order to compute the human effects on wild ungulates.

A part of the outdoor recreationist dataset is provided by a low cost GPS trackers distribution campaign. Through this data, we want to better understand where and how the outdoor recreationists practice their activities and where they make pauses. Our communication deals with that last question, and the necessary methodological steps to obtain the outdoor recreationists pauses.

State of the art

There are several methods to detect pauses in GPS trajectories such as time geography and processing speed levels (Buard and Brasebin, 2012; Hagerstrand, 1970), turning angles, but our dataset has a high imprecision due to the low cost GPS (i-gotU GT-120) we use (Duncan et al., 2013), and due to the study area. Therefore we think that other statistical approaches might be better for our case study. One approach for detecting pauses is processed by computing densities. This approach is used to detect predators kills in ecology (Sand et al., 2005), by aggregated buffers around trajectory stamps. Ecology methods also use clustering algorithm, such as those developed in genetics, applied in trajectory studies (Calenge, 2006).

In our study, we consider the gps trajectories as spatial points. One would say that DBSCAN algorithm (Ester et al., 1996), by its simplicity and its robustness is fitted to a spatial point dataset, but our dataset has a last dimension which is not used in DBSCAN : time. An alternative to DBSCAN is GDBSCAN, which proposes a threshold to detect noisy points in clusters (Sander et al., 1998).

ST-DBSCAN proposes to compute density-based clusters on multi-dimensionnal datasets (Biran and Kut, 2007). We chose to work on our dataset with this method.

Like DBSCAN (Wong and Huang, 2016), the ST-DBSCAN algorithm could be sensible to its three main parameters presented below. Our paper illustrates a way of finding pauses in a low cost GPS trajectory by clustering with the algorithm ST-DBSCAN, and also discuss its sensitivity. For our context, we will try to find the best fit for ST-DBSCAN parameters.

Material and method

Study area

We study an alpine pasture in the Parc Naturel Regional du Massif des Bauges, a mountainous massif in Savoy. Also situated in a National Hunting and Wildlife Reserve, the Armene pasture is used for pastoralism, non-consumptive nature-based recreational activities such as hiking and skiing, and consumptive for hunting. Many scientific studies are lead, in this area in ecology, sociology and geography (Chanteloup et al., 2016).

Data collection

During summer campaigns, we provide to outdoor recreationist GPS trackers (i-gotU GT-120) at the departure of a hiking path on two study sites. We advice to display the GPS on the top of the backpack or on top of the person, in order to reduce imprecision. As soon the hiking tour finishes, the recreationists give the GPS tracker back and fill a sociological questionnaire. We collect 294 GPS traces on summer 2014 and 2015 and we used 282 traces for our analyses.

Method

The GPS traces are made of a succession of geographic points ordered by time. The GPS frequency is one point every 10 seconds. When there is a pause, GPS points density increase spatio-temporally. In a trace, there are dense points clouds which correspond to pauses (see figure 1).

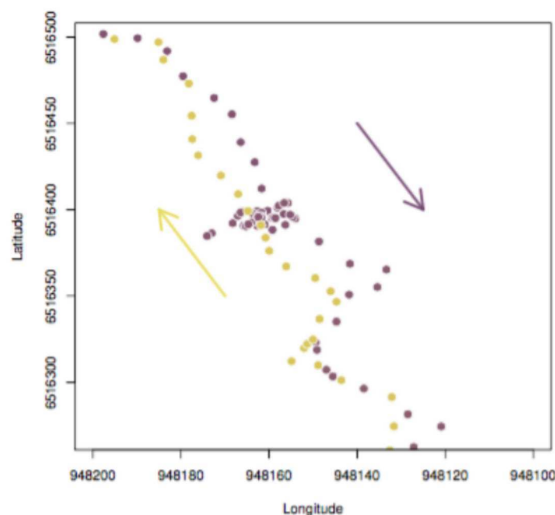


Figure 1 : Cloud of points in a recreationist trajectory representing a pause. Arrows show the direction of the trajectory, whereas colors illustrate the moment of the trajectory (purple is the beginning, red the ending)

STDBSCAN algorithm is designed to compute spatial and temporal similarities, and correlate both. This method has the advantage to be simple and quick to use, for a data collection such as ours.

As a recreationist can come back on the same hiking path, a difference had to be made between points from the first passage and from the return, and those which are consecutive. In order to use STDBSCAN, we built a 3-dimensional matrix for every trajectory : longitude (x), latitude (y), and cumulated timestamps (t). STDBSCAN takes as inputs three main parameters which are min pts, eps1 and eps2. To consider points as a cluster, min pts is the number of points minimum, eps1 is the maximal spatial distance between points of a same cluster, and eps2 is the maximum temporal window. In our contribution, we test our approach on a subset of 15 trajectories. The min pts parameter here is a way of controlling the minimum time of clusters, as two GPS points are separated by 10 seconds.

First, in order to test the sensibility of these parameters, we use an interactive geo-visualization to detect visually the pauses that a recreationist could have made, as on figure 1. We produce a ground truth by determining from the trajectory if points may be considered as a pause considering a duration between 2 and 4 minutes, or more than 4 minutes. These results are compared to the algorithm ST-DBSCAN results. Secondly, we use three lists of values to test as the ST-DBSCAN parameters, and compute the algorithm for all these values, and

for the 15 trajectories. The results obtained are the total number of clusters found for the whole subset.

Finally, we display the ST-DBSCAN clusters in the geo-visualization with a different color for each cluster, using the best fitted parameters regarding the first visual results. We control whereas clusters are wrong or not, and if the time of pause corresponds to the number of points attended.

In order to visualize the trajectories and to test the ST-DBSCAN algorithm, we use the R program (R Core Team, 2016).

Results

i) Visual interpretation

The observation of the 15 trajectories leads to a result of 124 clusters found. We also observe that some clouds of points are due to the high steepness of the study area that causes the low recreationist speed, and the hiking path turns. We count 57 pauses between 2 and 4 minutes, and 67 pauses longer than 4 minutes.

ii) Parameters sensitivity

After having tested the parameters, we can observe a high variance between the results, and a sensitivity for the min pts parameter (see figure 2). For the next months, we will test the algorithm again, in order to compute the whole sensivity of ST-DBSCAN to the parameters.

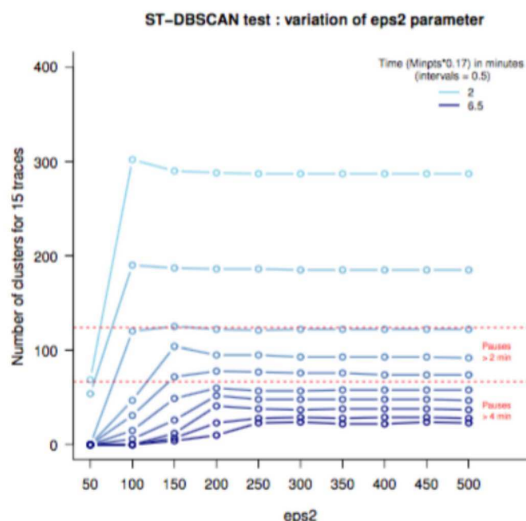


Figure 2 : Sensivity of the eps2 parameter, for a eps parameter fixed to 20 meters

iii) Results validation

Those results will be confirmed by observing the validity of the computed clusters, using the same geovisualisation that we used to detect clouds of points or pauses.

Discussion

We find ST-DBSCAN quick and simple to use. Our dataset is very noisy, as the study area is mountainous and the GPS lowcost. We think that algorithm parameters a heuristic study has to be made before computing ST-DBSCAN. We have also found some limitations to the use of density-based clustering in a mountainous context : very steep hiking path, high turning angles, low speed. Those limitations means that the algorithm detects short pauses where recreationist go slower when turning. We propose to use the algorithm several times, with different parameters each time, to extract longer and shorter pauses.

Conclusion

We use ST-DBSCAN to detect outdoor recreationist pauses. We study its sensivity to

its parameters. We will use it further in our studies to extract the pauses in trajectories, but also to extract noisy points, in order to clean trajectories. Pauses extracted and pauses times will further be analysed in regards to answers to sociological questionnaires. Understanding where recreationists pause and how long they pause could lead to a better knowledge on human and wildlife interaction, and could help managers in decisions.

Références

- Beeco, J. A., Huang, W.-J., Hallo, J. C., Norman, W. C., McGehee, N. G., McGee, J., and Goetcheus, C. (2013). GPS Tracking of Travel Routes of Wanderers and Planners. *Tourism Geographies*, 15(3) :551–573.
- Birant, D. and Kut, A. (2007). ST-DBSCAN : An algorithm for clustering spatial-temporal data. *Data & Knowledge Engineering*, 60(1) :208–221.
- Braunisch, V., Patthey, P., and Arlettaz, R. (2011). Spatially explicit modeling of conflict zones between wildlife and snow sports : prioritizing areas for winter refuges. *Ecological Applications*, 21(3) :955–967.

- Buard, E. and Brasebin, M. (2012). Exploration visuelle de trajectoires de grands animaux. *Cartes et géomatique*, (211) :101–113.
- Burger, J. (1981). Effects of human disturbance on colonial species, particularly gulls. *Colonial Waterbirds*, pages 28–36.
- Calenge, C. (2006). The package “adehabitat” for the R software : A tool for the analysis of space and habitat use by animals. *ecological modelling*, 197 :516–519.
- Chanteloup, L., Perrin-Malterre, C., Duparc, A., and Loison, A. (2016). Quels points de vue sur les espaces partagés entre humains et animaux sauvages ? *Espaces et sociétés*, (1) :33–47.
- Corneloup, J. (2003). Les cultures sportives de la montagne d’aujourd’hui et de demain. pages 135–162.
- Duncan, S., Stewart, T. I., Oliver, M., Mavoia, S., MacRae, D., Badland, H. M., and Duncan, M. J. (2013). Portable global positioning system receivers : static validity and environmental conditions. *American journal of preventive medicine*, 44(2) :e19–e29.
- Ester, M., Kriegel, H.-P., Sander, J., and Xu, X. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In *Kdd*, volume 96, pages 226–231.
- Hagerstrand, T. (1970). What about People in Regional. *Papers of the Regional Science Association*, 24 :1–12.
- R Core Team (2016). *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Sand, H. a., Zimmermann, B., Wabakken, P., Andrén, H., and Pedersen, H. C. (2005). Using GPS technology and GIS cluster analyses to estimate kill rates in wolf-ungulate ecosystems. *Wildlife Society Bulletin*, 33(3) :914–925.
- Sander, J., Ester, M., Kriegel, H.-P., and Xu, X. (1998). Density-Based Clustering in Spatial Databases : The Algorithm GDBSCAN and its Applications.
- Wolf, I. D., Hagenloh, G., and Croft, D. B. (2012). Visitor monitoring along roads and hiking trails : How to determine usage levels in tourist sites. *Tourism Management*, 33(1) :16–28.
- Wong, D. W. and Huang, Q. (2016). Sensitivity of DBSCAN in identifying activity zones using online footprints.

Appendix E

Kerouanton, Colin, Jean-Noël Avrillier, Laurence Jolivet, Clémence Perrin-Malterre, et Anne Loison. 2017. « Construction d'un SIG, outil facilitant le suivi d'activités touristiques en milieu non-aménagé ». In *Tourisme (s) et adaptation (s)*, 7e édition du colloque pluridisciplinaire & international AsTRES. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01545849/>.

Le SIG, approche facilitant le suivi d'activités touristiques en milieu non-aménagé

Colin Kerouanton¹, Jean-Noel Avrillier¹, Laurence Jolivet², Clémence Perrin-Malterre³, Anne Loison¹

¹ *Laboratoire d'Écologie Alpine, Université Grenoble Alpes*

² *LASTIG, Institut National de l'Information Géographique et Forestière*

³ *EDYTEM, Université de Savoie Mont-Blanc*

Le tourisme en montagne s'est principalement développé avec l'aménagement des stations de ski. Actuellement un nombre croissant de touristes souhaitent un contact direct avec la nature, ce qui les conduit à fréquenter davantage les milieux non aménagés. Ainsi les activités touristiques de pleine nature s'intensifient et se diversifient dans ces milieux, notamment en moyenne montagne. Cependant, celles-ci peuvent avoir un effet sur les milieux (Braunisch et al., 2011; Gander and Ingold, 1997). Il apparaît alors nécessaire de mieux appréhender ces nouvelles pratiques.

L'objectif de notre recherche est de quantifier et qualifier les évolutions des activités touristiques de pleine-nature et de leurs éventuels effets sur la faune sauvage dans le Massif des Bauges. Nous proposons une approche pluri-disciplinaire alliant géographie, sociologie et écologie (Chanteloup et al., 2016). Cette approche mobilise des expérimentations de différentes natures : éco-compteurs, gps randonneurs, gps animaux, questionnaires et entretiens semi-directifs, cartes dessinées, observations in-situ. Les données à disposition sur les pratiques touristiques sont donc hétérogènes et nombreuses.

Nous souhaitons à travers cette communication évaluer l'intérêt d'une approche SIG qui permettrait la centralisation de ces données hétérogènes, afin de faciliter leur analyse spatio-temporelle, la visualisation des résultats de dynamiques spatio-temporelles, ainsi que de tester des scénarios d'adaptation des pratiques touristiques.

Nous avons constitué un SIG en utilisant QGIS et le langage de programmation R. Nous intégrons dans ce SIG les données sur les pratiques touristiques ainsi que la base de données BD TOPO de description de l'environnement spatial. Notre intérêt particulier porte sur le réseau de sentiers de randonnée qui est renseigné par la BD TOPO et par la connaissance du terrain. Nous avons enrichi le réseau de sentiers par des informations topographiques précises, compilant les pentes, pentes moyennes, dénivelés, distances planimétriques et distances réelles (en tenant compte de la pente).

Ce réseau de sentiers correspond à une modélisation des conditions de terrain dont la résolution est de 5 m environ. Le contexte spatial est ainsi caractérisé par des tronçons dont la difficulté pour un randonneur varie fortement. Celui-ci permettra également de distinguer des profils de randonneurs selon leur itinéraire.

Notre approche pluri-disciplinaire nous permettra d'enrichir le SIG avec les données récoltées sur le terrain. La caractérisation fine de l'espace d'étude facilite l'analyse spatio-temporelle des jeux de données différents, afin de mieux comprendre les activités touristiques et ses évolutions. Au regard de ces premiers résultats, le SIG proposé issu de cette recherche seront une aide à la décision pour les gestionnaires d'espaces protégés leur permettant de mieux gérer les évolutions des activités touristiques sur leur territoire.

Braunisch, V., Patthey, P., Arlettaz, R., 2011. Spatially explicit modeling of conflict zones between wildlife and snow sports: prioritizing areas for winter refuges. *Ecol. Appl.* 21, 955–967.

Chanteloup, L., Perrin-Malterre, C., Duparc, A., Loison, A., 2016. Quels points de vue sur les espaces partagés entre humains et animaux sauvages ? *Espac. Sociétés* 33–47.

Gander, H., Ingold, P., 1997. Reactions of male alpine chamois *Rupicapra r. rupicapra* to hikers, joggers and mountainbikers. *Biol. Conserv.* 79, 107–109.

Bibliographie

- Ahmed, K. Nafees, and T. Abdul Razak. 2014. "A Comparative Study of Different Density Based Spatial Clustering Algorithms."
- Altmann, Jeanne. 1974. "Observational Study of Behavior : Sampling Methods."
- Alvares, Luis Otavio, Vania Bogorny, Bart Kuijpers, Jose Antonio Fernandes de Macedo, Bart Moelans, and Alejandro Vaisman. 2007. "A Model for Enriching Trajectories with Semantic Geographical Information." In, 1. ACM Press. doi :10.1145/1341012.1341041.
- Anderegg, William RL. 2010. "Moving Beyond Scientific Agreement." *Climatic Change* 101 (3-4) : 331–37.
- Anderson, J. 1971. "Space-Time Budgets and Activity Studies in Urban Geography and Planning." *Environment and Planning A* 3 (4) : 353–68.
- Andrienko, Gennady, Natalia Andrienko, Urska Demsar, Doris Dransch, Jason Dykes, Sara Irina Fabrikant, Mikael Jern, Menno-Jan Kraak, Heidrun Schumann, and Christian Tominski. 2010. "Space, Time and Visual Analytics." *International Journal of Geographical Information Science* 24 (10) : 1577–1600. doi :10.1080/13658816.2010.508043.
- Ankerst, Mihael, Markus M Breunig, and Hans-Peter Kriegel. 1999. "OPTICS : Ordering Points to Identify the Clustering Structure," 12.
- Antrop, Marc. 2004. "Landscape Change and the Urbanization Process in Europe." *Landscape and Urban Planning* 67 (1-4) : 9–26. doi :10.1016/S0169-2046(03)00026-4.
- Arlettaz, Raphaël, Patrick Patthey, Marjana Baltic, Thomas Leu, Michael Schaub, Rupert Palme, and Susanne Jenni-Eiermann. 2007. "Spreading Free-Riding Snow Sports Represent a Novel Serious Threat for Wildlife." In *Proc. R. Soc. B*, 274 :1219–24.
- Arnberger, Arne, and Christine Brandenburg. 2002. "Visitor Structure of a Heavily Used Conservation Area : The Danube Floodplains National Park, Lower Austria." In *Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational Protected Areas*, Ed. A. Arnberger, C. Brandenburg, and A. Muhar, *Conference Proceedings*, 7–13.
- Arnberger, Arne, Wolfgang Haider, and Christiane Brandenburg. 2005. "Evaluating Visitor-Monitoring Techniques : A Comparison of Counting and Video Observation Data." *Environmental Management* 36 (2) : 317–27. doi :10.1007/s00267-004-8201-6.
- Augustin, Jean-Pierre. 2007. *Géographie du sport : Spatialités contemporaines et mondialisation*. Armand Colin.
- Augustin, Jean-Pierre, Philippe Bourdeau, and Loïc Ravenel. 2008. *Géographie des sports en France*.
- Babad, Géraldine. 1997. "Etude Des Relations Entre Un Peuplement Animal et La Vegetation : Impacts Du Chamois, Du Chevreuil et Du Mouflon Sur Les Peuplements Forestiers Dans La

- Reserve Nationale de Faune Sauvage et de Chasse Des Bauges (Savoie).” PhD Thesis, Chambéry.
- Ballantyne, Mark, and Catherine Marina Pickering. 2015. “Differences in the Impacts of Formal and Informal Recreational Trails on Urban Forest Loss and Tree Structure.” *Journal of Environmental Management* 159 : 94–105.
- Barraquand, Frédéric, and Simon Benhamou. 2008. “Animal Movements in Heterogeneous Landscapes : Identifying Profitable Places and Homogeneous Movement Bouts.” *Ecology* 89 (12) : 3336–48. doi :10.1890/08-0162.1.
- Barros, Agustina, and Catherine Marina Pickering. 2017. “How Networks of Informal Trails Cause Landscape Level Damage to Vegetation.” *Environmental Management* 60 (1) : 57–68.
- Basille, Mathieu, Ivar Herfindal, Hugues Santin-Janin, John DC Linnell, John Odden, Reidar Andersen, Kjell Arild Høgda, and Jean-Michel Gaillard. 2009. “What Shapes Eurasian Lynx Distribution in Human Dominated Landscapes : Selecting Prey or Avoiding People?” *Ecography* 32 (4) : 683–91.
- Bateman, P. W., and P. A. Fleming. 2014. “Does Human Pedestrian Behaviour Influence Risk Assessment in a Successful Mammal Urban Adapter?” *Journal of Zoology* 294 (2) : 93–98. doi :10.1111/jzo.12156.
- Bates, Douglas, Martin Maechler, Ben Bolker, Steven Walker, Rune Haubo Bojesen Christensen, Henrik Singmann, Bin Dai, et al. 2019. “Lme4 : Linear Mixed-Effects Models Using ‘Eigen’ and S4.”
- Baudat, Émilie, and Laine Chanteloup. 2018. “Des marmottes et des hommes.” *Mappemonde. Revue Trimestrielle Sur L’image Géographique et Les Formes Du Territoire*, no. 124 (July).
- Bauder, Michael. 2014. “Using GPS Supported Speed Analysis to Determine Spatial Visitor Behaviour.” *International Journal of Tourism Research*.
- Beale, Colin M., and Pat Monaghan. 2004a. “Behavioural Responses to Human Disturbance : A Matter of Choice?” *Animal Behaviour* 68 : 1065–9.
- . 2004b. “Human Disturbance : People as Predation-Free Predators?” *Journal of Applied Ecology* 41 (2) : 335–43. doi :10.1111/j.0021-8901.2004.00900.x.
- Beeco, J. Adam, and Jeffrey C. Hallo. 2014. “GPS Tracking of Visitor Use : Factors Influencing Visitor Spatial Behavior on a Complex Trail System.” *Journal of Park and Recreation Administration* 32 (2).
- Beeco, J. Adam, Jeffrey C. Hallo, and Matthew T.J. Brownlee. 2014. “GPS Visitor Tracking and Recreation Suitability Mapping : Tools for Understanding and Managing Visitor Use.” *Landscape and Urban Planning* 127 (July) : 136–45. doi :10.1016/j.landurbplan.2014.04.002.
- Beeco, J. Adam, Jeffrey C. Hallo, William “Rockie” English, and Gary W. Giumetti. 2013. “The Importance of Spatial Nested Data in Understanding the Relationship

- Between Visitor Use and Landscape Impacts.” *Applied Geography* 45 (December) : 147–57. doi :10.1016/j.apgeog.2013.09.001.
- Beeco, J. Adam, Wei-Jue Huang, Jeffrey C. Hallo, William C. Norman, Nancy G. McGehee, John McGee, and Cari Goetcheus. 2013. “GPS Tracking of Travel Routes of Wanderers and Planners.” *Tourism Geographies* 15 (3) : 551–73. doi :10.1080/14616688.2012.726267.
- Bell, Claudia, and John Lyall. 2002. “The Accelerated Sublime : Thrill-Seeking Adventure Heroes in the Commodified Landscape.” *Tourism : Between Place and Performance*, 21–37.
- Benhamou, Simon. 2007. “How Many Animals Really Do the Lévy Walk?” *Ecology* 88 (8) : 1962–9. doi :10.1890/06-1769.1.
- . 2014. “Of Scales and Stationarity in Animal Movements.” Edited by Ran Nathan. *Ecology Letters* 17 (3) : 261–72. doi :10.1111/ele.12225.
- Benhamou, Simon, and Louise Riotte-Lambert. 2012. “Beyond the Utilization Distribution : Identifying Home Range Areas That Are Intensively Exploited or Repeatedly Visited.” *Ecological Modelling* 227 (February) : 112–16. doi :10.1016/j.ecolmodel.2011.12.015.
- Bennett, Andrew F. 1999. *Linkages in the Landscape : The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*. 1. Iucn.
- Beschta, Robert L., and W. J. Ripple. 2006. “River Channel Dynamics Following Extirpation of Wolves in Northwestern Yellowstone National Park, USA.” *Earth Surface Processes and Landforms* 31 (12) : 1525–39. doi :10.1002/esp.1362.
- Beza, Beau B. 2010. “The Aesthetic Value of a Mountain Landscape : A Study of the Mt. Everest Trek.” *Landscape and Urban Planning* 97 (4) : 306–17.
- Birant, Derya, and Alp Kut. 2007. “ST-DBSCAN : An Algorithm for Clustering Spatial–Temporal Data.” *Data & Knowledge Engineering* 60 : 208–21.
- Bison, Marjorie. 2015. “Approches Taxonomique et Fonctionnelle Des Interactions Trophiques Entre Grands Herbivores et Communautés Végétales Dans Un écosystème de Montagne.” Thesis, Grenoble Alpes.
- Blidon, Marianne. 2016. *Espace urbain*. La Découverte.
- Bogorny, Vania, Carlos Alberto Heuser, and Luis Otavio Alvares. 2010. “A Conceptual Data Model for Trajectory Data Mining.”
- Bohannon, Richard W., and A. Williams Andrews. 2011. “Normal Walking Speed : A Descriptive Meta-Analysis.” *Physiotherapy* 97 (3) : 182–89. doi :10.1016/j.physio.2010.12.004.
- Bolduc, Vincent. 1973. “Backpacking : A Pilot Study of Hikers,” 26.
- Bouchon-Meunier, Bernadette. 1995. “La Logique Floue et Ses Applications.” Addison-Wesley

France.

Bourdeau, Philippe, and Pascal Mao. 2004. "Espaces Sportifs de Nature En Montagne, Innovation Spatiale et Recomposition Des Systèmes Touristiques Locaux (1980-2003)."

Bourdieu, Pierre. 1998. *La Domination Masculine*. Le Seuil.

Bourdieu, Pierre, and Monique De Saint Martin. 1976. "Anatomie du gout." *Actes de La Recherche En Sciences Sociales* 2 (5) : 2–81. doi :10.3406/arss.1976.3471.

Boyce, Mark S., and Lyman L. McDonald. 1999. "Relating Populations to Habitats Using Resource Selection Functions." *Trends in Ecology & Evolution* 14 (7) : 268–72.

Boyle, Stephen A., and Fred B. Samson. 1985. "Effects of Nonconsumptive Recreation on Wildlife : A Review." *Wildlife Society Bulletin*, 110–16.

Bracha, H. Stefan. 2004. "Freeze, Flight, Fight, Fright, Faint : Adaptationist Perspectives on the Acute Stress Response Spectrum." *CNS Spectrums* 9 (9) : 679–85.

Braunisch, Veronika, Patrick Patthey, and Raphaël Arlettaz. 2011. "Spatially Explicit Modeling of Conflict Zones Between Wildlife and Snow Sports : Prioritizing Areas for Winter Refuges." *Ecological Applications* 21 (3) : 955–67.

Breivik, Gunnar. 2010. "Trends in Adventure Sports in a Post-Modern Society." *Sport in Society* 13 (2) : 260–73. doi :10.1080/17430430903522970.

Brown, David. 2006. "Pierre Bourdieu's 'Masculine Domination' Thesis and the Gendered Body in Sport and Physical Culture." *Sociology of Sport Journal* 23 (2) : 162–88. doi :10.1123/ssj.23.2.162.

Brown, Joel S., John W. Laundré, and Mahesh Gurung. 1999. "The Ecology of Fear : Optimal Foraging, Game Theory, and Trophic Interactions." *Journal of Mammalogy* 80 (2) : 385–99.

Brown, Katrina M. 2017. "The Haptic Pleasures of Ground-Feel : The Role of Textured Terrain in Motivating Regular Exercise." *Health & Place* 46 : 307–14.

Brown, Perry J. 2019. "Defining the Recreation Experience." In *Managing Air Quality and Scenic Resources at National Parks and Wilderness Areas*, 3–12. Routledge.

Bruinderink, GWTA Groot, and E Hazebroek. 1996. "Ungulate Traffic Collisions in Europe." *Conservation Biology* 10 (4). Wiley Online Library : 1059–67.

Brunet, Roger. 1972. "Pour une théorie de la géographie régionale." *Tigr* 11 (1) : 3–14. doi :10.3406/tigr.1972.949.

Bryan, Hobson. 1977. "Leisure Value Systems and Recreational Specialization : The Case of Trout Fishermen." *Journal of Leisure Research* 9 (3) : 174–87.

Buard, Élodie. 2013. "Dynamiques Des Interactions Espèces-Espace : Mise En Relation Des Pratiques de Déplacement Des Populations d'herbivores et de L'évolution de L'occupation Du

- Sol Dans Le Parc de Hwange (Zimbabwe).” PhD Thesis, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I.
- Buard, Élodie, and Mickaël Brasebin. 2012. “Exploration Visuelle de Trajectoires de Grands Animaux.” *Cartes & Géomatique*, no. 211 : 101–13.
- Bunel, Mattia, Cécile Duchêne, Ana-Maria Olteanu-Raimond, Marlène Villanova-Oliver, Grégoire Bonhoure, and Tiphaine Jouan. 2019. “An Approach for Identifying and Analysing Reference Features and Spatial Relations Used in Mountain Emergency Calls.” *Proc. Int. Cartogr. Assoc.* 2 (July) : 1–8. doi :10.5194/ica-proc-2-12-2019.
- Burt, William Henry. 1943. “Territoriality and Home Range Concepts as Applied to Mammals.” *Journal of Mammalogy* 24 (3) : 346–52.
- Byczek, Coline, Pierre-Yves Longaretti, Julien Renaud, and Sandra Lavorel. 2018. “Benefits of Crowd-Sourced GPS Information for Modelling the Recreation Ecosystem Service.” Edited by Lixiang Li. *PLOS ONE* 13 (10) : e0202645. doi :10.1371/journal.pone.0202645.
- Calenge, Clément. 2005. “Des Outils Statistiques Pour L’analyse Des Semis de Points Dans L’espace écologique.” PhD thesis, Lyon 1.
- . 2006. “The Package ‘Adehabitat’ for the R Software : A Tool for the Analysis of Space and Habitat Use by Animals.” *Ecological Modelling* 197 : 516–19.
- Calenges, Clément, Stéphane Dray, and Manuela Royer-Carenzi. 2008. “The Concept of Animals’ Trajectories from a Data Analysis Perspective.”
- Cavens, Duncan, Christian Gloor, Kai Nagel, Eckart Lange, and Willy A. Schmid. 2004. “A Framework for Integrating Visual Quality Modelling Within an Agent-Based Hiking Simulation for the Swiss Alps.” *Policies, Methods and Tools for Visitor Management—Proceedings of the Second International*, 70.
- Chanteloup, Laine. 2013. “À La Rencontre de L’animal Sauvage : Dynamiques, Usages et Enjeux Du Récréotourisme Faunique. : Une Mise En Perspective Franco-Canadienne de Trois Territoires : Bauges, Gaspésie, Nunavut.” PhD Thesis, Grenoble.
- Chanteloup, Laine, Clémence Perrin-Malterre, Antoine Duparc, and Anne Loison. 2016. “What Points of View on Shared Spaces Between Humans and Wild Animals?” *Espaces et Sociétés*, no. 1 : 33–47.
- Chardonnel, Sonia. 1999. “Emplois Du Temps et de L’espace. Pratiques Des Populations d’une Station Touristique de Montagne.” PhD thesis, Université Joseph-Fourier-Grenoble I.
- Chardonnel, Sonia, and Thomas Thévenin. 2012. “Les Apports de La Time Geography Dans Les Représentations Spatio-Temporelles.” *Science* 24 : 7–24.
- Chardonnel, Sonia, and W. Van der Knaap. 2002. “Managing Tourist Time-Space Movements in Recreational Areas. A Comparative Study of a Protected Natural Park in the French Alps and the «de Hoge Veluwe». Dutch National Park Using the Same Methodology/Gérer Les Mouvements Spatio-Temporels Des Touristes Dans Les Espaces Récréatifs ; étude Comparée à

- Partir d'une Méthodologie Commune, Dans Les Espaces Protégés de Montagnes Françaises et Un Parc National Néerlandais." *Revue de Géographie Alpine* 90 (1) : 37–48.
- Chen, Wen, Minhe Ji, and Jianmei Wang. 2014. "T-DBSCAN : A Spatiotemporal Density Clustering for GPS Trajectory Segmentation." *International Journal of Online Engineering (iJOE)* 10 (6) : 19. doi :10.3991/ijoe.v10i6.3881.
- Chhetri, Prem. 2015. "A GIS Methodology for Modelling Hiking Experiences in the Grampians National Park, Australia." *Tourism Geographies* 17 (5) : 795–814. doi :10.1080/14616688.2015.1083609.
- Chhetri, Prem, Colin Arrowsmith, and Mervyn Jackson. 2004. "Determining Hiking Experiences in Nature-Based Tourist Destinations." *Tourism Management* 25 : 31–43.
- Chinchor, Nancy. 1992. "MUC-4 Evaluation Metrics." In *Proceedings of the 4th Conference on Message Understanding*, 22–29. Association for Computational Linguistics.
- Chowdhury, Nirmalya, and Preetha Bhattacharjee. 2014. "Using an MST Based Value for Epsilon in DBSCAN Algorithm for Obtaining Better Result." *International Journal of Information Technology and Computer Science (IJITCS)* 6 (6) : 55.
- Christaller, Walter. 1964. "Some Considerations of Tourism Location in Europe : The Peripheral Regions-Underdeveloped Countries-Recreation Areas." *Papers in Regional Science* 12 (1) : 95–105.
- Clayton, Susan, Agathe Colléony, Pauline Conversy, Etienne Maclouf, Léo Martin, Ana-Cristina Torres, Minh-Xuan Truong, and Anne-Caroline Prévot. 2017. "Transformation of Experience : Toward a New Relationship with Nature : New Experiences of Nature." *CONSERVATION LETTERS* 10 (5) : 645–51. doi :10.1111/conl.12337.
- Coble, Theresa G., Steve W. Selin, and Beth B. Erickson. 2003. "Hiking Alone : Understanding Fear, Negotiation Strategies and Leisure Experience." *Journal of Leisure Research* 35 (1) : 1–22. doi :10.18666/jlr-2003-v35-i1-608.
- Cole, David N. 1989. "Recreation Ecology : What We Know, What Geographers Can Contribute." *The Professional Geographer* 41 (2) : 143–48.
- Colléony, Agathe, Anne-Caroline Prévot, Michel Saint Jalme, and Susan Clayton. 2017. "What Kind of Landscape Management Can Counteract the Extinction of Experience?" *Landscape and Urban Planning* 159 : 23–31.
- Cook, John, and Stephan Lewandowsky. 2016. "Rational Irrationality : Modeling Climate Change Belief Polarization Using Bayesian Networks." *Topics in Cognitive Science* 8 (1) : 160–79.
- Cook, John, Dana Nuccitelli, Sarah A. Green, Mark Richardson, Bärbel Winkler, Rob Painting, Robert Way, Peter Jacobs, and Andrew Skuce. 2013. "Quantifying the Consensus on Anthropogenic Global Warming in the Scientific Literature." *Environmental Research Letters* 8 (2) : 024024.
- Cordell, H. Ken. 2008. "The Latest Trends in Nature-Based Outdoor Recreation." *Forest History*

Today, Spring 2008.

Corneloup, Jean. 2003. "Les cultures sportives de la montagne d'aujourd'hui et de demain," 135–62.

Creel, Scott, JENNIFER E. Fox, AMANDA Hardy, JENNIFER Sands, BOB Garrott, and ROLF O. Peterson. 2002. "Snowmobile Activity and Glucocorticoid Stress Responses in Wolves and Elk." *Conservation Biology* 16 (3) : 809–14.

Cullen, I., and V. Godson. 1975. "Urban Networks : The Structure of Activity Patterns." *Progress in Planning* 4 (January) : 1–96. doi :10.1016/0305-9006(75)90006-9.

D'Antonio, Ashley, and Christopher Monz. 2016. "The Influence of Visitor Use Levels on Visitor Spatial Behavior in Off-Trail Areas of Dispersed Recreation Use." *Journal of Environmental Management* 170 : 79–87.

D'Antonio, Ashley, Christopher Monz, Steve Lawson, Peter Newman, Dave Pettebone, and Alyson Courtemanch. 2010. "GPS-Based Measurements of Backcountry Visitors in Parks and Protected Areas : Examples of Methods and Applications from Three Case Studies." *Journal of Park and Recreation Administration* 28 (3).

Dagorn, Gary. 2015. "Comment la théorie de la relativité d'Einstein a changé nos vies." *Le Monde.fr*, November.

Damiani, Maria Luisa, Hamza Issa, Giuseppe Fotino, Marco Heurich, and Francesca Cagnacci. 2016. "Introducing 'Presence' and 'Stationarity Index' to Study Partial Migration Patterns : An Application of a Spatio-Temporal Clustering Technique." *International Journal of Geographical Information Science* 30 (5) : 907–28. doi :10.1080/13658816.2015.1070267.

Darmon, Gaëlle. 2007. "Influence Des Interactions Interspécifiques Sur L'utilisation de L'habitat Par Les Ongulés Sauvages : Cas Du Chamois et Du Mouflon Dans Le Massif Des Bauges." Thesis, Lyon 1.

De Decker, Rik, Gela Tölken, and John Roos. 2017. "Human Factors : Predictors of Avoidable Wilderness Accidents?" *South African Medical Journal* 107 (8) : 669–73.

De Groeve, Johannes, Nico Van de Weghe, Nathan Ranc, Tijs Neutens, Lino Ometto, Omar Rota-Stabelli, and Francesca Cagnacci. 2015. "Extracting Spatio-Temporal Patterns in Animal Trajectories : An Ecological Application of Sequence Analysis Methods." Edited by Stéphane Dray. *Methods in Ecology and Evolution*, September, n/a–n/a. doi :10.1111/2041-210X.12453.

Deem, Rosemary. 1986. *All Work and No Play ? : A Study of Women and Leisure*. Open University Press.

Delaplace, Marie, and Elsa Gatelier. 2014. "Patrimonialisation Individuelle et Collective et Développement de L'œnotourisme En Bourgogne." *Territoire En Mouvement Revue de Géographie et Aménagement. Territory in Movement Journal of Geography and Planning*, no. 21. Université

Lille 1 Sciences et Technologies : 40–53.

Delaplace, Marie, and Gwendal Simon. 2017. *Touristes et Habitants. Conflits, Complémentarités et Arrangements*.

Demšar, Urška, and Kirsi Virrantaus. 2010. “Space–Time Density of Trajectories : Exploring Spatio-Temporal Patterns in Movement Data.” *International Journal of Geographical Information Science* 24 (10) : 1527–42. doi :10.1080/13658816.2010.511223.

Demšar, Urška, Kevin Buchin, Francesca Cagnacci, Kamran Safi, Bettina Speckmann, Nico Van de Weghe, Daniel Weiskopf, and Robert Weibel. 2015. “Analysis and Visualisation of Movement : An Interdisciplinary Review.” *Movement Ecology* 3 : 5. doi :10.1186/s40462-015-0032-y.

Demšar, Urška, Kevin Buchin, E. Emiel van Loon, and Judy Shamoun-Baranes. 2014. “Stacked Space-Time Densities : A Geovisualisation Approach to Explore Dynamics of Space Use over Time.” *Geoinformatica* 19 (1) : 85–115. doi :10.1007/s10707-014-0207-5.

Deng, Ke, Kexin Xie, Kevin Zheng, and Xiaofang Zhou. 2011. “Trajectory Indexing and Retrieval.” In *Computing with Spatial Trajectories*, 35–60. Springer.

Depeau, Sandrine, Olivier Bedel, Pierre Cherel, Isabelle André-Poyaud, Yoan Catheline, Sonia Chardonnel, Gombaudo Jérôme, et al. 2019. “MK-MOBIBACK : un dispositif hybride et intégré pour enquêter finement les mobilités quotidiennes des familles,” November.

Depeau, Sandrine, Sonia Chardonnel, Isabelle André-Poyaud, Arnaud Lepetit, Francis Jambon, Erwan Quesseveur, Jérôme Gombaudo, Théodora Allard, and Charles-Antoine Choquet. 2017. “Routines and Informal Situations in Children’s Daily Lives.” *Travel Behaviour and Society*, July. doi :10.1016/j.tbs.2017.06.003.

Depraz, Samuel. 2008. *Les parcs nationaux d’Europe centrale au risque du développement durable*. Ellipses.

Devogele, Thomas, Laurent Etienne, Maxence Esnault, and Florian Lardy. 2017. “Optimized Discrete Fréchet Distance Between Trajectories.” In, 11–19. ACM Press. doi :10.1145/3150919.3150924.

Di Méo, Guy. 1999. “Géographies tranquilles du quotidien. Une analyse de la contribution des sciences sociales et de la géographie à l’étude des pratiques spatiales.” *Cahiers de Géographie Du Québec* 43 (118) : 75. doi :10.7202/022788ar.

Dodge, Somayeh, Patrick Laube, and Robert Weibel. 2012. “Movement Similarity Assessment Using Symbolic Representation of Trajectories.” *International Journal of Geographical Information Science* 26 (9) : 1563–88. doi :10.1080/13658816.2011.630003.

Dodge, Somayeh, Robert Weibel, and Anna-Katharina Lautenschütz. 2008. “Towards a Taxonomy of Movement Patterns.” *Information Visualization* 7 (3-4) : 240–52.

Doherty, Sean T., Christopher J. Lemieux, and Culum Canally. 2014. “Tracking Human Activity and Well-Being in Natural Environments Using Wearable Sensors and Experience Sampling.”

- Social Science & Medicine* 106 (April) : 83–92. doi :10.1016/j.socscimed.2014.01.048.
- Doledec, S., and D. Chessel. 1989. “Seasonal Rhythms and Components by Station in the Aquatic Environment : II. Taking into Account and Eliminating Their Effects from a Faunistic Catalog(Rythmes Saisonniers et Composantes Stationnelles En Milieu Aquatique : II. Prise En Compte et Elimination d’effets Dans Un Tableau Faunistique).” *Acta Oecologia Oecologia Generalis AOSGD* 7, 10 (3) : 207–32.
- Drevon, Guillaume, Francis Jambon, Sonia Chardonnel, Sidonie Christophe, Isabelle André-Poyaud, Paule-Annick Davoine, and Céline Lutoff. 2014. “Évaluation comparée de l’apport de l’assistance GPS aux enquêtes de mobilité.” *Netcom. Réseaux, Communication et Territoires*, no. 28-1/2 (December) : 13–34. doi :10.4000/netcom.1527.
- Duffus, David A., and Philip Dearden. 1990. “Non-Consumptive Wildlife-Oriented Recreation : A Conceptual Framework.” *Biological Conservation* 53 (3) : 213–31. doi :10.1016/0006-3207(90)90087-6.
- Dumolard, Pierre. 1975. “Région et régionalisation. [Une approche systémique] : Une approche systémique.” *Spgeo* 4 (2) : 93–111. doi :10.3406/spgeo.1975.1543.
- Duncan, Scott, Tom I. Stewart, Melody Oliver, Suzanne Mavoia, Deborah MacRae, Hannah M. Badland, and Mitch J. Duncan. 2013. “Portable Global Positioning System Receivers : Static Validity and Environmental Conditions.” *American Journal of Preventive Medicine* 44 (2) : e19–e29.
- Duparc, Antoine. 2016. “Dynamiques Spatio-Temporelles Des Ressources Alimentaires et Des Activités Humaines : Impacts Sur La Sélection d’habitat d’un Grand Herbivore de Montagne.” Thesis, Grenoble Alpes.
- Edelhoff, Hendrik, Johannes Signer, and Niko Balkenhol. 2016. “Path Segmentation for Beginners : An Overview of Current Methods for Detecting Changes in Animal Movement Patterns.” *Movement Ecology* 4 : 21. doi :10.1186/s40462-016-0086-5.
- Ekkekakis, Panteleimon, Gaynor Parfitt, and Steven J. Petruzzello. 2011. “The Pleasure and Displeasure People Feel When They Exercise at Different Intensities.” *Sports Medicine* 41 : 641–71. doi :10.2165/11590680-000000000-00000.
- Ellis, Mark, Richard Wright, and Virginia Parks. 2004. “Work Together, Live Apart ? Geographies of Racial and Ethnic Segregation at Home and at Work.” *Annals of the Association of American Geographers* 94 (3) : 620–37.
- Engels, Friedrich. 1892. *The Condition of the Working Class in England in 1844*. Allen and Unwin London.
- Ester, Martin, Hans-Peter Kriegel, Jörg Sander, and Xiaowei Xu. 1996. “A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise.” In *Kdd*, 96 :226–31.
- Etienne, Laurent. 2011. “Motifs Spatio-Temporels de Trajectoires d’objets Mobiles, de L’extraction

à La Détection de Comportements Inhabituels. Application Au Trafic Maritime.” PhD thesis, Université de Bretagne occidentale-Brest.

Étienne, Laurent. 2013. “Motifs Spatio-Temporels de Trajectoires, de L’extraction à La Détection de Comportements Inhabituels.”

Etienne, Laurent, and Thomas Devogele. 2012. “Mesures de Similarité de Trajectoires Basées Sur L’utilisation de Patrons Spatio-Temporels.” *ISI* 17 (1).

Etienne, Laurent, Thomas Devogele, and Alain Bouju. 2012. “Spatio-Temporal Trajectory Analysis of Mobile Objects Following the Same Itinerary.” *Advances in Geo-Spatial Information Science* 10 : 47–57.

Etienne, Laurent, Thomas Devogele, Maïke Buchin, and Gavin McArdle. 2016. “Trajectory Box Plot : A New Pattern to Summarize Movements.” *International Journal of Geographical Information Science* 30 (5) : 835–53. doi :10.1080/13658816.2015.1081205.

Fennell, David A. 1996. “A Tourist Space-Time Budget in the Shetland Islands.” *Annals of Tourism Research* 4 (23) : 811–29.

Fieberg, John, and Christopher O. Kochanny. 2005. “Quantifying Home-Range Overlap : The Importance of the Utilization Distribution.” *The Journal of Wildlife Management* 69 (4) : 1346–59.

Forin-Wiart, M. A., P. Hubert, P. Sirguy, and M. L. Poulle. 2015. “Performance and Accuracy of Lightweight and Low-Cost GPS Data Loggers According to Antenna Positions, Fix Intervals, Habitats and Animal Movements.” *PLoS ONE* 10 (6) : e0129271.

Fortin, Daniel, Hawthorne L. Beyer, Mark S. Boyce, Douglas W. Smith, Thierry Duchesne, and Julie S. Mao. 2005. “Wolves Influence Elk Movements : Behavior Shapes a Trophic Cascade in Yellowstone National Park.” *Ecology* 86 (5) : 1320–30.

Frémont, Armand. 1999. *La région, espace vécu*. Flammarion.

Frid, Alejandro, and Lawrence M. Dill. 2002. “Human-Caused Disturbance Stimuli as a Form of Predation Risk.” *Conservation Ecology* 6 (1) : 11.

Gander, Hans, and Paul Ingold. 1997. “Reactions of Male Alpine Chamois *Rupicapra R. Rupicapra* to Hikers, Joggers and Mountainbikers.” *Biological Conservation* 79 (1) : 107–9.

Gartner, William C., and David W. Lime. 2000. *Trends in Outdoor Recreation, Leisure, and Tourism*. CABI.

Geffroy, Benjamin, Diogo SM Samia, Eduardo Bessa, and Daniel T. Blumstein. 2015. “How Nature-Based Tourism Might Increase Prey Vulnerability to Predators.” *Trends in Ecology & Evolution* 30 (12).

Geiger, Flavia, Jan Bengtsson, Frank Berendse, Wolfgang W. Weisser, Mark Emmerson, Manuel B. Morales, Piotr Ceryngier, et al. 2010. “Persistent Negative Effects of Pesticides on Biodiversity

- and Biological Control Potential on European Farmland.” *Basic and Applied Ecology* 11 (2) : 97–105. doi :10.1016/j.baae.2009.12.001.
- Gelter, Hans. 2000. “Friluftsliv : The Scandinavian Philosophy of Outdoor Life.” *Canadian Journal of Environmental Education* 5 : 77.
- Giddy, Julia K. 2018. “Adventure Tourism Motivations : A Push and Pull Factor Approach.” *Bulletin of Geography. Socio-Economic Series* 42 (42) : 47–58. doi :10.2478/bog-2018-0030.
- Gimblett, Randy, John Lynch, Terry Daniel, Lisa Ribes, and Garry Oye. 2002. “Deriving Artificial Models of Visitors from Dispersed Patterns of Use in Sierra Nevada Wilderness.”
- González, Marta C., César A. Hidalgo, and Albert-László Barabási. 2008. “Understanding Individual Human Mobility Patterns.” *Nature* 453 (7196) : 779–82. doi :10.1038/nature06958.
- Goodchild, Michael F., and Donald G. Janelle. 1984. “The City Around the Clock : Space—Time Patterns of Urban Ecological Structure.” *Environment and Planning A* 16 (6) : 807–20.
- Granet, Anne-Marie, and Michelle Dobré. 2009. “Les Citadins et La Forêt En France.”
- Green, Ken, Miranda Thurston, and Odd Vaage. 2015. “Isn’t It Good, Norwegian Wood? Lifestyle and Adventure Sports Participation Among Norwegian Youth.” *Leisure Studies* 34 (5) : 529–46. doi :10.1080/02614367.2014.938771.
- Grewal, Mohinder S., Lawrence R. Weill, and Angus P. Andrews. 2001. *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*. New York : John Wiley.
- Gruas, Léna, Clémence Perrin-Malterre, and Laine Chanteloup. 2016. “Perceptions and Behaviour of Winter Sports Participants in Regional Natural Park of Bauges,” September.
- Gueguen, Laurent. 2009. “Computing the Likelihood of Sequence Segmentation Under Markov Modelling.” *arXiv Preprint arXiv :0911.3070*.
- Gundersen, V., E. E. Stange, B. P. Kaltenborn, and O. I. Vistad. 2017. “Public Visual Preferences for Dead Wood in Natural Boreal Forests : The Effects of Added Information.” *Landscape and Urban Planning* 158 : 12–24.
- Hägerstrand, Torsten. 1970. “What About People in Regional.” *Papers of the Regional Science Association* 24 : 1–12.
- Hallo, J. C., J. A. Beeco, C. Goetcheus, J. McGee, N. G. McGehee, W. C. Norman, and others. 2012. “GPS as a Method for Assessing Spatial and Temporal Use Distributions of Nature-Based Tourists.” *Journal of Travel Research* 51 (5) : 591–606.
- Hammitt, William E., David N. Cole, and Christopher A. Monz. 2015. *Wildland Recreation : Ecology and Management*. John Wiley & Sons.
- Hammitt, William E., Michael E. Patterson, and Francis P. Noe. 1994. “Identifying and Predicting Visual Preference of Southern Appalachian Forest Recreation Vistas.” *Landscape and Urban*

Planning 29 (2) : 171–83. doi :10.1016/0169-2046(94)90026-4.

Hamr, Joseph. 1988. “Disturbance Behaviour of Chamois in an Alpine Tourist Area of Austria.” *Mountain Research and Development* 8 (1) : 65–73. doi :10.2307/3673407.

Hanna, Paul, Sarah Wijesinghe, Ilias Paliatsos, Carl Walker, Matthew Adams, and Albert Kimbu. 2019. “Active Engagement with Nature : Outdoor Adventure Tourism, Sustainability and Wellbeing.” *Journal of Sustainable Tourism* 27 (9) : 1355–73. doi :10.1080/09669582.2019.1621883.

Hanson, Sarah, and Andy Jones. 2015. “Is There Evidence That Walking Groups Have Health Benefits ? A Systematic Review and Meta-Analysis.”

Hartmann, Lawrence, and H Ken Cordell. 1989. “An Overview of the Relationship Between Social and Demographic Factors and Outdoor Recreation Participation.” In *Outdoor Recreation Benchmark 1988 : Proceedings of the National Outdoor Recreation Forum*.

Hautbois, Christopher, Pascal Mao, and Marc Langenbach. 2009. “Outdoor Recreational Activities in France : Comparative Analysis of Territorial Resources.” *Loisir et Société/Society and Leisure* 32 (2) : 299–314.

Henderson, Karla A., and M. Deborah Bialeschki. 1993. “Fear as a Constraint to Active Lifestyles for Females.” *Journal of Physical Education, Recreation & Dance* 64 (1) : 44–47. doi :10.1080/07303084.1993.10606673.

Héritier, Stéphane, and Lionel Laslaz. 2008. *Les Parcs Nationaux dans le Monde. Protection, gestion et développement durable*.

Hinterberger, Beate, Arne Arnberger, and Andreas Muhar. 2002. “GIS-Supported Network Analysis of Visitor Flows in Recreational Areas.” In *Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas. Conference Proceedings, Bodenkultur University Vienna, Austria*, 7–13.

Hoblea, Fabien. 2013. “Le Patrimoine Géologique, Marqueur Territorial Du Parc Naturel Régional Du Massif Des Bauges.” *Espaces*, pp–122.

Hoblea, Fabien, Nathalie Cayla, and Pierre Renau. 2011. “The Concept of ‘Hybrid Research’ Applied to the Geoheritage of the Bauges Massif (French Alps) : When the Promotion of the Geoheritage Helps Geosciences and Vice Versa.” *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 4–2.

Hofman, M. P. G., M. W. Hayward, M. Heim, P. Marchand, C. M. Rolandsen, J. Mattisson, F. Urbano, et al. 2019. “Right on Track ? Performance of Satellite Telemetry in Terrestrial Wildlife Research.” Edited by Antoni Margalida. *PLoS ONE* 14 (5) : e0216223. doi :10.1371/journal.pone.0216223.

Hofmann Wellenhof, Bernhard, Herbert Lichtenegger, and James Collins. 1997. *Global Positioning System : Theory and Practice*. Vienna : Springer Vienna. doi :10.1007/978-3-7091-3297-5.

Holland Smith, David. 2015. “‘All the Places We Were Not Supposed to Go’ : A Case Study of

- Formative Class and Gender Habitus in Adventure Climbing.” *Education and Society*, 18.
- Hörnsten, Lisa. 2000. *Outdoor Recreation in Swedish Forests*. Vol. 169.
- Hothorn, Torsten, Frank Bretz, Peter Westfall, Richard M Heiberger, Andre Schuetzenmeister, Susan Scheibe, and Maintainer Torsten Hothorn. 2016. “Package ‘Multcomp’.” *Simultaneous Inference in General Parametric Models. Project for Statistical Computing, Vienna, Austria*.
- Huang, Angela Shi-Han, and Yann-Jou Lin. 2019. “The Effect of Landscape Colour, Complexity and Preference on Viewing Behaviour.” *Landscape Research* 0 (0) : 1–14. doi :10.1080/01426397.2019.1593336.
- Hugo, M. Leon. 1999. “Energy Equivalent as a Measure of the Difficulty Rating of Hiking Trails.” *Tourism Geographies* 1 (3) : 358–73. doi :10.1080/14616689908721327.
- Hunziker, Marcel, and Christina Zeidenitz. 2006. “Outdoor Leisure Activities : Motivation, Attitudes and Strategies Promoting Responsible Behaviour Towards Nature and Landscape.” *Exploring the Nature of Management*, 295.
- Hvenegaard, Glen T. 2002. “Using Tourist Typologies for Ecotourism Research.” *Journal of Ecotourism* 1 (1) : 7.
- Irmischer, Ian J., and Keith C. Clarke. 2017. “Measuring and Modeling the Speed of Human Navigation.” *Cartography and Geographic Information Science* 45 (2) : 177–86. doi :10.1080/15230406.2017.1292150.
- Ivanović, Stefan S, Ana-Maria Olteanu Raimond, Sébastien Mustière, and Thomas Devogele. 2016. “Detection of Outliers in Crowdsourced GPS Traces,” 6.
- Ivanovic, Stefan S., Ana-Maria Olteanu-Raimond, Sébastien Mustière, and Thomas Devogele. 2019. “A Filtering-Based Approach for Improving Crowdsourced GNSS Traces in a Data Update Context.” *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8 (9) : 380. doi :10.3390/ijgi8090380.
- Jacoby, David MP, and Robin Freeman. 2016. “Emerging Network-Based Tools in Movement Ecology.” *Trends in Ecology & Evolution* 31 (4) : 301–14.
- Jayakody, Sevvandi, Angela M. Sibbald, Iain J. Gordon, and Xavier Lambin. 2008. “Red Deer *Cervus Elephus* Vigilance Behaviour Differs with Habitat and Type of Human Disturbance.” *Wildlife Biology* 14 (1) : 81.
- Jayakody, Sevvandi, Angela M. Sibbald, Robert W. Mayes, Russell J. Hooper, Iain J. Gordon, and Xavier Lambin. 2011. “Effects of Human Disturbance on the Diet Composition of Wild Red Deer (*Cervus Elaphus*).” *Eur J Wildl Res* 57 (4) : 939–48. doi :10.1007/s10344-011-0508-z.
- Jolivet, Laurence. 2014. “Modélisation des déplacements d’animaux dans un espace géographique : analyse et simulation,” May.
- Jones, Timothy F., and Charles B. Eaton. 1994. “Cost-Benefit Analysis of Walking to Prevent

- Coronary Heart Disease.” *Archives of Family Medicine* 3 (8) : 703–10.
- Juillard, Étienne. 1962. “La région : essai de définition.” *Geo* 71 (387) : 483–99. doi :10.3406/geo.1962.16260.
- Kaplan, Stephen. 1979. “Perception and Landscape : Conceptions and Misconceptions.”
- Karami, Amin, and Ronnie Johansson. 2014. “Choosing DBSCAN Parameters Automatically Using Differential Evolution.” *International Journal of Computer Applications* 91 (7).
- Kay, Anthony. 2012. “Route Choice in Hilly Terrain,” 55.
- Kennedy, Michael. 2002. *The Global Positioning System and GIS : An Introduction*. London ; New York : Taylor & Francis.
- Kerlinger, Paul, Joanna Burger, H Ken Cordell, Daniel J Decker, David N Cole, Peter Landres, E Norbert Smith, et al. 2013. *Wildlife and Recreationists : Coexistence Through Management and Research*. Island Press.
- Kerouanton, Colin, Antoine Duparc, Laurence Jolivet, Clémence Perrin-Malterre, and Anne Loison. 2017. “Détecter Les Pauses de Randonneurs Par L’usage de ST-DBSCAN : Analyse de Sensibilité.” In *Treizièmes Rencontres de Théo Quant*.
- Kim, Hyun, and Hwasung Song. 2017. “Measuring Hiking Specialization and Identification of Latent Profiles of Hikers.” *Landscape Ecol Eng* 13 (1) : 59–68. doi :10.1007/s11355-016-0301-y.
- Kondo, Yasuhisa, and Yoichi Seino. 2010. “GPS-Aided Walking Experiments and Data-Driven Travel Cost Modeling on the Historical Road of Nakasendō-Kisoji (Central Highland Japan).”
- Korpilo, Silviya, Tarmo Virtanen, and Susanna Lehvävirta. 2017. “Smartphone GPS Tracking—Inexpensive and Efficient Data Collection on Recreational Movement.” *Landscape and Urban Planning* 157 : 608–17.
- Kramer, Patricia Ann. 2010. “The Effect on Energy Expenditure of Walking on Gradients or Carrying Burdens.” *American Journal of Human Biology* 22 (4) : 497–507. doi :10.1002/ajhb.21027.
- Kwan, Mei-Po. 1999. “Gender and Individual Access to Urban Opportunities : A Study Using Space–Time Measures.” *The Professional Geographer* 51 (2) : 211–27. doi :10.1111/0033-0124.00158.
- . 2000. “Gender Differences in Space-Time Constraints.” *Area* 32 (2) : 145–56. doi :10.1111/j.1475-4762.2000.tb00125.x.
- . 2002. “Feminist Visualization : Re-Envisioning GIS as a Method in Feminist Geographic Research.” *Annals of the Association of American Geographers* 92 (4) : 645–61. doi :10.1111/1467-8306.00309.
- Kwan, Mei-Po, and Alexander Kotsev. 2015. “Gender Differences in Commute Time and Accessibility in Sofia, Bulgaria : A Study Using 3d Geovisualisation : Gender Differences

in Commute Time and Accessibility in Sofia.” *The Geographical Journal* 181 (1) : 83–96. doi :10.1111/geoj.12080.

Langmuir, Eric. 1969. *Mountain Leadership : The Official Handbook of the Mountain Leadership Training Boards of Great Britain*. Scottish Council of Physical Recreation.

Larijani, Anahid Nabavi, Ana-Maria Olteanu-Raimond, Julien Perret, Mathieu Brédif, and Cezary Ziemlicki. 2015. “Investigating the Mobile Phone Data to Estimate the Origin Destination Flow and Analysis ; Case Study : Paris Region.” *Transportation Research Procedia* 6 : 64–78. doi :10.1016/j.trpro.2015.03.006.

Laube, Patrick, Stephan Imfeld, and Robert Weibel. 2005. “Discovering Relative Motion Patterns in Groups of Moving Point Objects.” *International Journal of Geographical Information Science* 19 : 639–68. doi :10.1080/13658810500105572.

Laundré, John W., Lucina Hernández, and Kelly B. Altendorf. 2001. “Wolves, Elk, and Bison : Reestablishing the ‘Landscape of Fear’ in Yellowstone National Park, USA.” *Can. J. Zool* 79 : 1401–9.

Lavielle, Marc. 1999. “Detection of Multiple Changes in a Sequence of Dependent Variables.” *Stochastic Processes and Their Applications* 83 : 79–102.

Lawton, Carol A. 2010. “Gender, Spatial Abilities, and Wayfinding.” In *Handbook of Gender Research in Psychology : Volume 1 : Gender Research in General and Experimental Psychology*, edited by Joan C. Chrisler and Donald R. McCreary, 317–41. New York, NY : Springer. doi :10.1007/978-1-4419-1465-1_16.

Le Roux, Guillaume, Julie Vallée, and Hadrien Commenges. 2017. “Social Segregation Around the Clock in the Paris Region (France).” *Journal of Transport Geography* 59 (February) : 134–45. doi :10.1016/j.jtrangeo.2017.02.003.

Lee, Chanam, and Anne Vernez Moudon. 2006. “Correlates of Walking for Transportation or Recreation Purposes.” *Journal of Physical Activity and Health* 3 (s1) : S77–S98. doi :10.1123/jpah.3.s1.s77.

Lee, I.-Min, and David M. Buchner. 2008. “The Importance of Walking to Public Health.” *Medicine & Science in Sports & Exercise* 40 (7) : S512–S518.

Lefebvre, Tiphaine. 2016. “Influence de L’herbivorie Sauvage et Domestique En Prairie Subalpine : Réponse Métabolique Des Plantes et Conséquences Fonctionnelles Sur La Décomposition Des Litières.” Thesis, Grenoble Alpes.

Lefèvre, Brice. 2004a. “Contribution à l’étude de la structuration sociale des pratiques de haute montagne : l’exemple des usagers dans le massif du Mont-Blanc.” *Revue de Géographie Alpine* 92 (4) : 67–75. doi :10.3406/rga.2004.2320.

———. 2004b. “Contribution to the Study of the Social Structure of High-Altitude Mountain Activities : Example of Users in the Mont-Blanc Massif.” *Revue de Géographie Alpine* 92 (4) :

76–85. doi :10.3406/rga.2004.4664.

Lepillé, Romain, Barbara Evrard, Michel Bussi, and Damien Féménias. 2017. “Formes de marche et immersions dans la nature : ressourcements et dépaysements dans les forêts urbaines.” *Loisir et Société / Society and Leisure* 40 (1) : 113–36. doi :10.1080/07053436.2017.1282029.

Lera, Isaac, Toni Pérez, Carlos Guerrero, Víctor M. Eguíluz, and Carlos Juiz. 2017. “Analysing Human Mobility Patterns of Hiking Activities Through Complex Network Theory.” Edited by Irene Sendiña-Nadal. *PLOS ONE* 12 (5) : e0177712. doi :10.1371/journal.pone.0177712.

Lévy, Jacques, and Michel Lussault. 2013. *Dictionnaire de géographie et de l'espace des sociétés*.

Lew, Alan, and Bob McKercher. 2006. “Modeling Tourist Movements.” *Annals of Tourism Research* 33 (2) : 403–23. doi :10.1016/j.annals.2005.12.002.

Li, Zhilin, Qiliang Liu, Jianbo Tang, and Min Deng. 2018. “An Adaptive Method for Clustering Spatio-Temporal Events.” *Transactions in GIS* 22 (1) : 323–47.

Liddle, Michael. 1997. *Recreation Ecology : The Ecological Impact of Outdoor Recreation and Ecotourism*. Chapman & Hall Ltd.

Little, Donna E. 2002. “Women and Adventure Recreation : Reconstructing Leisure Constraints and Adventure Experiences to Negotiate Continuing Participation.” *Journal of Leisure Research* 34 (2) : 157–77.

Loglisci, Corrado. 2018. “Using Interactions and Dynamics for Mining Groups of Moving Objects from Trajectory Data.” *International Journal of Geographical Information Science* 32 (7) : 1436–68. doi :10.1080/13658816.2017.1416473.

Lovelock, Brent, Trudie Walters, Carla Jellum, and Anna Thompson-Carr. 2016. “The Participation of Children, Adolescents, and Young Adults in Nature-Based Recreation.” *Leisure Sciences* 38 (5) : 441–60. doi :10.1080/01490400.2016.1151388.

Lowyck, E., L. van Langenhove, and L. Bollaert. 1992. “Typologies of Tourist Roles.” *Typologies of Tourist Roles.*, 13–32.

Mackenzie, Susan Houge, and Eric Brymer. 2018. “Conceptualizing Adventurous Nature Sport : A Positive Psychology Perspective.” *Annals of Leisure Research* 0 (0) : 1–13. doi :10.1080/11745398.2018.1483733.

Mackintosh, C., G. Griggs, and R. Tate. 2018. “Understanding the Growth in Outdoor Recreation Participation : An Opportunity for Sport Development in the United Kingdom.” *Managing Sport and Leisure* 23 (4-6) : 315–35. doi :10.1080/23750472.2019.1595093.

Magdy, Nehal, Mahmoud A. Sakr, Tamer Mostafa, and Khaled El-Bahnasy. 2015. “Review on Trajectory Similarity Measures.” In *2015 IEEE Seventh International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS)*, 613–19. IEEE.

Manly, B. F. L., Lyman McDonald, Dana Thomas, Trent L. McDonald, and Wallace P. Erickson.

2007. *Resource Selection by Animals : Statistical Design and Analysis for Field Studies*. Springer Science & Business Media.
- Manning, Robert E. 2010. *Studies in Outdoor Recreation : Search and Research for Satisfaction*. Oregon State University Press.
- Marchand, Pascal. 2013. “Déterminants Spatio-Temporels de La Sélection de L’habitat Chez Le Mouflon Méditerranéen *Ovis Gmelini* Musimon X *Ovis Sp.*” Thesis, Grenoble.
- Marchand, Pascal, Mathieu Garel, Gilles Bourgoïn, Dominique Dubray, Daniel Maillard, and Anne Loison. 2014. “Impacts of Tourism and Hunting on a Large Herbivore’s Spatio-Temporal Behavior in and Around a French Protected Area.” *Biological Conservation* 177 : 1–11.
- Marion, Jeffrey L., Yu-Fai Leung, Holly Eagleston, and Kaitlin Burroughs. 2016. “A Review and Synthesis of Recreation Ecology Research Findings on Visitor Impacts to Wilderness and Protected Natural Areas.” *Journal of Forestry* 114 (3) : 352–62. doi :10.5849/jof.15-498.
- Martin, Jodie, Mathieu Basille, Bram Van Moorter, Jonas Kindberg, Dominique Allaine, and Jon E. Swenson. 2010. “Coping with Human Disturbance : Spatial and Temporal Tactics of the Brown Bear (*Ursus Arctos*).” *Canadian Journal of Zoology* 88 (9) : 875–83.
- Martín-López, Berta, Ines Leister, Pedro Lorenzo Cruz, Ignacio Palomo, Adrienne Grêt-Regamey, Paula A. Harrison, Sandra Lavorel, Bruno Locatelli, Sandra Luque, and Ariane Walz. 2019. “Nature’s Contributions to People in Mountains : A Review.” *PLOS ONE* 14 (6) : e0217847. doi :10.1371/journal.pone.0217847.
- Marzano, Mariella, and Norman Dandy. 2012. “Recreationist Behaviour in Forests and the Disturbance of Wildlife.” *Biodiversity and Conservation* 21 (11) : 2967–86. doi :10.1007/s10531-012-0350-y.
- McArdle, Gavin, Urška Demšar, Stefan van der Spek, and Seán McLoone. 2014. “Classifying Pedestrian Movement Behaviour from GPS Trajectories Using Visualization and Clustering.” *Annals of GIS* 20 (2) : 85–98.
- McKercher, Bob, Noam Shoval, Erica Ng, and Amit Birenboim. 2012. “First and Repeat Visitor Behaviour : GPS Tracking and GIS Analysis in Hong Kong.” *Tourism Geographies* 14 (1) : 147–61. doi :10.1080/14616688.2011.598542.
- McKinney, Michael L. 2005. “Scaling of Park Trail Length and Visitation with Park Area : Conservation Implications.”
- McNiel, Jamie N., Deborah A. Harris, and Kristi M. Fondren. 2012. “Women and the Wild : Gender Socialization in Wilderness Recreation Advertising.” *Gend. Issues* 29 (1-4) : 39–55. doi :10.1007/s12147-012-9111-1.
- Mehmetoglu, Mehmet. 2007. “Typologising Nature-Based Tourists by Activity—Theoretical and

- Practical Implications.” *Tourism Management* 28 (3) : 651–60. doi :10.1016/j.tourman.2006.02.006.
- Métailié, Jean-Paul. 2006. *La “ Dégradation Des Montagnes ” Au XIXè Siècle Dans Les Pyrénées.*
- Miller, Jennifer A. 2015. “Towards a Better Understanding of Dynamic Interaction Metrics for Wildlife : A Null Model Approach.” *Transactions in GIS* 19 (3) : 342–61. doi :10.1111/tgis.12149.
- Minetti, A. E. 1995. “Optimum Gradient of Mountain Paths.” *Journal of Applied Physiology* 79 (5) : 1698–1703. doi :10.1152/jappl.1995.79.5.1698.
- Moles, Abraham André, and Elisabeth Rohmer. 1972. “Psychologie de L’espace.”
- Molinier, Jean. 1977. “L’évolution de La Population Agricole Du XVIIIe Siècle à Nos Jours.” *Économie et Statistique* 91 (1). Institut national de la statistique et des études économiques : 79–84.
- Monz, Christopher A., Catherine M. Pickering, and Wade L. Hadwen. 2013. “Recent Advances in Recreation Ecology and the Implications of Different Relationships Between Recreation Use and Ecological Impacts.” *Front Ecol Environ* 11 (8) : 441–46.
- Monz, Christopher, and Ashley D’Antonio. 2009. “An Assessment of Recreation Impacts in Alpine and Subalpine Areas of Grand Teton National Park : Preliminary Findings” 32 : 7.
- Morris, Gail, and L. Mike Conner. 2017. “Assessment of Accuracy, Fix Success Rate, and Use of Estimated Horizontal Position Error (EHPE) to Filter Inaccurate Data Collected by a Common Commercially Available GPS Logger.” *PLOS ONE* 12 (11) : e0189020. doi :10.1371/journal.pone.0189020.
- Mounet, Jean-Pierre. 2007. “Sports de nature, développement durable et controverse environnementale.” *Natures Sciences Sociétés* 15 (2) : 162–66. doi :10.1051/nss:2007043.
- Murphy, Peter E. 2013. *Tourism : A Community Approach (RLE Tourism)*. Routledge.
- Naismith, William. 1892. “Cruach Ardran, Stobinian, and Ben More.” *Scottish Mountaineering Club Journal* 2 (3).
- Nasar, Jack L., and Kym M. Jones. 1997. “Landscapes of Fear and Stress.” *Environment and Behavior* 29 (3) : 291–323. doi :10.1177/001391659702900301.
- Nathan, Ran, Wayne M. Getz, Eloy Revilla, Marcel Holyoak, Ronen Kadmon, David Saltz, and Peter E. Smouse. 2008. “A Movement Ecology Paradigm for Unifying Organismal Movement Research.” *PNAS* 105 (49).
- Nepal, Sanjay K., and Raymond Chipeniuk. 2005. “Mountain Tourism : Toward a Conceptual Framework.” *Tourism Geographies* 7 (3) : 313–33. doi :10.1080/14616680500164849.
- Neutens, Tijs, Tim Schwanen, and Frank Witlox. 2010. “The Prism of Everyday Life : Towards a New Research Agenda for Time Geography,” 23.
- Newson, Paul, and John Krumm. 2009. “Hidden Markov Map Matching Through Noise and

Sparseness.”

Olteanu-Raimond, Ana-Maria, Paule-Annick Davoine, Mauro Gaio, Eric Gouarderes, Marie-Dominique Van Damme, Marlène Villanova-Oliver, Mickaël Brasebin, et al. 2017. “Projet CHOUCAS : Intégration de données hétérogènes et raisonnement spatial pour l’aide à la localisation des victimes en montagne,” 6.

OMT. 2008. “The Conceptual Framework for Tourism Statistics - International Recommendations for Tourism Statistics 2008 (IRTS 2008) | Statistics.” <http://statistics.unwto.org/content/conceptual-framework-t>

Orellana, Daniel, Arnold K. Bregt, Arend Ligtenberg, and Monica Wachowicz. 2012. “Exploring Visitor Movement Patterns in Natural Recreational Areas.” *Tourism Management* 33 (67) : 2e682.

Orellana Vintimilla, D.A. 2012. “Exploring Pedestrian Movement Patterns.” PhD thesis, S.l. : s.n.].

Pappalardo, Luca, Filippo Simini, Salvatore Rinzivillo, Dino Pedreschi, Fosca Giannotti, and Albert-László Barabási. 2015. “Returners and Explorers Dichotomy in Human Mobility.” *Nature Communications* 6 (1). doi :10.1038/ncomms9166.

Parent, Christine, Nikos Pelekis, Yannis Theodoridis, Zhixian Yan, Stefano Spaccapietra, Chiara Renso, Gennady Andrienko, et al. 2013. “Semantic Trajectories Modeling and Analysis.” *ACM Computing Surveys* 45 (4) : 1–32. doi :10.1145/2501654.2501656.

Pearce, Douglas G. 1988. “Tourist Time-Budget.” *Annals of Tourism Research* 15 (1) : 106–21.

Péron, Guillaume. 2019a. “The Time Frame of Home-Range Studies : From Function to Utilization.” *Biological Reviews* 94 (6) : 1974–82. doi :10.1111/brv.12545.

———. 2019b. “Modified Home Range Kernel Density Estimators That Take Environmental Interactions into Account.” *Mov Ecol* 7 (1) : 16. doi :10.1186/s40462-019-0161-9.

Perrin, Clémence, and Jean-Pierre Mounet. 2004. “L’insertion de L’offre de Canyoning Dans L’industrie Touristique : Une étude Comparative Entre Le Massif Des Bauges et Le Vercors.” *Loisir et Société/Society and Leisure* 27 (1) : 143–72.

Perrin-Malterre, Clémence. 2016. “Processus de diversification touristique autour des sports de nature dans une station de moyenne montagne.” *Mondes Du Tourisme*, no. 11 (May). doi :10.4000/tourisme.1012.

Perrin-Malterre, Clémence, and Laine Chanteloup. 2018. “Ski Touring and Snowshoeing in the Hautes-Bauges (Savoie, France) : A Study of Various Sports Practices and Ways of Experiencing Nature.” *Journal of Alpine Research | Revue de Géographie Alpine*, no. 106-4 (October). doi :10.4000/rga.3934.

Perrin-Malterre, Clémence, Laine Chanteloup, and Léna Gruas. 2019. “Outdoor Recreation in a Regional Park : Types of Hikers, Ski Tourers and Snowshoers in the Hautes-Bauges (Savoie,

- France).” *Annals of Leisure Research* 0 (0) : 1–19. doi :10.1080/11745398.2019.1682016.
- Petit-Berghem, Yves. 2003. “Le déterminisme des landes atlantiques : quelle réalité ?” *Cybergeo : European Journal of Geography*, June. doi :10.4000/cybergeo.4167.
- Pettebone, David, Peter Newman, and Steven R. Lawson. 2010. “Estimating Visitor Use at Attraction Sites and Trailheads in Yosemite National Park Using Automated Visitor Counters.” *Landscape and Urban Planning* 97 : 229–38.
- Pfoser, Dieter, and Yannis Theodoridis. 2003. “Generating Semantics-Based Trajectories of Moving Objects.” *Computers, Environment and Urban Systems* 27 : 243–63.
- Philips, I., David Watling, and Paul Timms. 2015. “Improving Estimates of Capacity of Populations to Make Journeys by Walking and Cycling : An Individual Modelling Process Applied to Whole Populations Using Spatial Microsimulation.” *University Transport Studies Group. City University London*.
- Pickering, Catherine Marina, and Agustina Barros. 2015. “Using Functional Traits to Assess the Resistance of Subalpine Grassland to Trampling by Mountain Biking and Hiking.” *Journal of Environmental Management* 164 (December) : 129–36. doi :10.1016/j.jenvman.2015.07.003.
- Pickering, Catherine, Sebastian Dario Rossi, Ana Hernando, and Agustina Barros. 2018. “Current Knowledge and Future Research Directions for the Monitoring and Management of Visitors in Recreational and Protected Areas.” *Journal of Outdoor Recreation and Tourism* 21 (March) : 10–18. doi :10.1016/j.jort.2017.11.002.
- Pingel, Thomas J. 2010. “Modeling Slope as a Contributor to Route Selection in Mountainous Areas.” *Cartography and Geographic Information Science* 37 (2) : 137–48.
- Pitte, Jean-Robert. 1989. “Histoire Du Paysage Français.”
- “Plan départemental des itinéraires de promenade et de randonnée.” 2019. *Wikipédia*, March.
- Pomfret, Gill, and Adele Doran. 2015. “Gender and Mountaineering Tourism.” In *Mountaineering Tourism*, 164–81. Routledge.
- Potamias, Michalis, Kostas Patroumpas, and Timos Sellis. 2006. “Sampling Trajectory Streams with Spatiotemporal Criteria.” In *Scientific and Statistical Database Management, 2006. 18th International Conference on*, 275–84. IEEE.
- Pottier, Aude. 2014. “Le massif forestier des Landes de Gascogne, un patrimoine naturel ? Le regard des gestionnaires.” *Annales de Géographie* n° 698 (4) : 1016–38.
- Powers, David Martin. 2011. “Evaluation : From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness and Correlation.”
- Raadik, Jana, Stuart P. Cottrell, Peter Fredman, Paul Ritter, and Peter Newman. 2010. “Understanding Recreational Experience Preferences : Application at Fulufjället National Park,

Sweden.” *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism* 10 (3) : 231–47.

Rech, Yohann, Jean-Pierre Mounet, and Marika Briot. 2009. “L’innovation dans les sports de nature : l’irruption de nouvelles activités dans une station de sports d’hiver.” *Espaces et Sociétés* n° 136-137 (1) : 155–71.

Rech, Yohann, Jean-Pierre Mounet, and Élodie Paget. 2011. “Mobilité Urbaine et Loisirs Sportifs de Nature. Le Cas de L’agglomération Grenobloise (France).” *Loisir et Société / Society and Leisure* 34 (2) : 19–41. doi :10.1080/07053436.2011.10707825.

Reclus, Élisée. 1866. “Du Sentiment de La Nature Dans Les Sociétés Modernes.”

Redjadj, Claire. 2010. “Etude Inter-et Intra-Spécifique Des Variations Spatio-Temporelles de L’utilisation Des Ressources Alimentaires Au Sein d’une Communauté de Grands Herbivores de Montagne.” Thesis, Grenoble.

Rees, W.G. 2004. “Least-Cost Paths in Mountainous Terrain.” *Computers & Geosciences* 30 (3) : 203–9. doi :10.1016/j.cageo.2003.11.001.

Reid, Neil, and Alan T. Harrison. 2010. “Post-Release GPS Tracking of Hand-Reared Irish Hare *Lepus timidus hibernicus* Leverets, Slemish, Co. Antrim, Northern Ireland.” *Conservation Evidence* 7 : 32–38.

Reis, Arianne Carvalhedo, and James ES Higham. 2009. “Recreation Conflict and Sport Hunting : Moving Beyond Goal Interference Towards Social Sustainability.”

Riotte-Lambert, Louise, Simon Benhamou, and Simon Chamailé-Jammes. 2013. “Periodicity Analysis of Movement Recursions.” *Journal of Theoretical Biology* 317 (January) : 238–43. doi :10.1016/j.jtbi.2012.10.026.

Ripple, William J, Eric J Larsen, Roy A Renkin, and Douglas W Smith. 2001. “Trophic Cascades Among Wolves, Elk and Aspen on Yellowstone National Park’s Northern Range.” *Biological Conservation* 102 (3) : 227–34. doi :10.1016/S0006-3207(01)00107-0.

Rollin, Oriane, Vincent Bretagnolle, Axel Decourtye, Jean Aptel, Nadia Michel, Bernard E. Vaissière, and Mickaël Henry. 2013. “Differences of Floral Resource Use Between Honey Bees and Wild Bees in an Intensive Farming System.” *Agriculture, Ecosystems & Environment* 179 (October) : 78–86. doi :10.1016/j.agee.2013.07.007.

Rota, Joan Jurado, María Yolanda Pérez Albert, and David Serrano Giné. 2019. “Visitor Monitoring in Protected Areas : An Approach to Natura 2000 Sites Using Volunteered Geographic Information (VGI).” *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography* 119 (1) : 69–83. doi :10.1080/00167223.2019.1573409.

Sahraoui, Yohan, Gilles Vuidel, Daniel Joly, and Jean-Christophe Foltête. 2018. “Integrated GIS Software for Computing Landscape Visibility Metrics.” *Transactions in GIS* 22 (5) : 1310–23.

Sand, Hakan, Barbara Zimmermann, Petter Wabakken, Henrik Andrèn, and Hans C. Pedersen. 2005. “Using GPS Technology and GIS Cluster Analyses to Estimate Kill Rates in Wolf-Ungulate

Ecosystems.” *Wildlife Society Bulletin* 33 (3) : 914–25.

Sander, Jörg, Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, and Xiaowei Xu. 1998. “Density-Based Clustering in Spatial Databases : The Algorithm GDBSCAN and Its Applications.”

Sasaki, Yutaka. 2007. “The Truth of the F-Measure.” *Teach Tutor Mater* 1 (5) : 1–5.

Scarf, Philip. 2007. “Route Choice in Mountain Navigation, Naismith’s Rule, and the Equivalence of Distance and Climb.” *Journal of Sports Sciences* 25 (6) : 719–26. doi :10.1080/02640410600874906.

Scarpa, Riccardo, Susan M. Chilton, W. George Hutchinson, and Joseph Buongiorno. 2000. “Valuing the Recreational Benefits from the Creation of Nature Reserves in Irish Forests.” *Ecological Economics* 33 : 237–50.

Schamel, Johannes. 2017. “A Demographic Perspective on the Spatial Behaviour of Hikers in Mountain Areas : The Example of Berchtesgaden.” *Eco. Mont-Journal on Protected Mountain Areas Research* 9 : 66–74.

Schamel, Johannes, and Hubert Job. 2017. “National Parks and Demographic Change – Modelling the Effects of Ageing Hikers on Mountain Landscape Intra-Area Accessibility.” *Landscape and Urban Planning* 163 : 32–43.

Schirpke, Uta, Andreas Altzinger, Georg Leitinger, and Erich Tasser. 2019. “Change from Agricultural to Touristic Use : Effects on the Aesthetic Value of Landscapes over the Last 150 Years.” *Landscape and Urban Planning* 187 (July) : 23–35. doi :10.1016/j.landurbplan.2019.03.004.

Schirpke, Uta, Erich Tasser, and Ulrike Tappeiner. 2013. “Predicting Scenic Beauty of Mountain Regions.” *Landscape and Urban Planning* 111 : 1–12.

Schwanen, Tim, Mei-Po Kwan, and Fang Ren. 2008. “How Fixed Is Fixed? Gendered Rigidity of Space–Time Constraints and Geographies of Everyday Activities.” *Geoforum* 39 : 2109–21.

Seiler, Andreas. 2004. “Trends and Spatial Patterns in Ungulate-Vehicle Collisions in Sweden.” *Wildlife Biology* 10 (1). BioOne : 301–13.

Shoval, Noam, and Michal Isaacson. 2007. “Tracking Tourists in the Digital Age.” *Annals of Tourism Research* 34 (1) : 141–59. doi :10.1016/j.annals.2006.07.007.

———. 2009. *Tourist Mobility and Advanced Tracking Technologies*. Routledge.

Sibbald, Angela Margaret, Russell J. Hooper, James E. McLeod, and Iain J. Gordon. 2011. “Responses of Red Deer (*Cervus Elaphus*) to Regular Disturbance by Hill Walkers.” *Eur J Wildl Res* 57 (4) : 817–25. doi :10.1007/s10344-011-0493-2.

Slabbert, Liandi, and Elizabeth Ann Du Preez. 2017. “Trail Accreditation as a Mechanism to Enhance Hikers’ Confidence During Decision-Making.” *Tourism Review International* 21 (3) : 255–73.

Sorokin, Pitirim A., and Clarence Q. Berger. 1939. *Time-Budgets of Human Behavior*. 1st US -

1st Printing edition. Harvard University Press.

Soule, Bastien, Véronique Reynier, Brice Lefevre, and Eric Boutroy. 2017. “Who Is at Risk in the French Mountains? Profiles of the Accident Victims in Outdoor Sports and Mountain Recreation.” *J. Mt. Sci.* 14 (8) : 1490–9. doi :10.1007/s11629-016-4146-5.

Spaccapietra, Stefano, Christine Parent, Maria Luisa Damiani, Jose Antonio de Macedo, Fabio Porto, and Christelle Vangenot. 2008. “A Conceptual View on Trajectories.” *Data & Knowledge Engineering* 65 : 126–46.

Spangenberg, Thomas. 2014. “Development of a Mobile Toolkit to Support Research on Human Mobility Behavior Using GPS Trajectories.”

Stankowich, Theodore. 2008. “Ungulate Flight Responses to Human Disturbance : A Review and Meta-Analysis.” *Biological Conservation* 141 (9) : 2159–73. doi :10.1016/j.biocon.2008.06.026.

Stoddart, Mark CJ. 2011. “Constructing Masculinized Sportscares : Skiing, Gender and Nature in British Columbia, Canada.” *International Review for the Sociology of Sport* 46 (1) : 108–24. doi :10.1177/1012690210373541.

Stothard, J. Russell, Jose C. Sousa-Figueiredoa, Martha Betsona, and Edmund YW Setoc. n.d. “Investigating the Spatial Micro-Epidemiology of Diseases Within a Point-Prevalence Sample : A Field Applicable Method for Rapid Mapping of Households Using Low-Cost GPS-Dataloggers.”

Suchet, André, and Dominique Jorand. 2007. “Les Usagers des parcours naturels de canyoning et de la structure artificielle Canyoning Park (France) : une approche socio-culturelle.” *Loisir et Société / Society and Leisure* 30 (2) : 417–41. doi :10.1080/07053436.2007.10707759.

Svensson, Bo, Robert Pettersson, and Ingrid Zakrisson. 2011. “Tracking Tourists : Mobility, Experiences and the Supply-Demand Gap in a Swedish Mountain Resort.” *Journal of Tourism Consumption and Practice Volume 3* (2).

Syarstad, Hanne. 2010. “Why Hiking? Rationality and Reflexivity Within Three Categories of Meaning Construction.” *Journal of Leisure Research* 42 (1) : 91–110.

Ta, Na, Mei-Po Kwan, Yanwei Chai, and Zhilin Liu. 2016. “Gendered Space-Time Constraints, Activity Participation and Household Structure : A Case Study Using A GPS-Based Activity Survey in Suburban Beijing, China.” *Tijds. Voor Econ. En Soc. Geog* 107 (5) : 505–21. doi :10.1111/tesg.12167.

Tablado, Zulima, and Lukas Jenni. 2015. “Determinants of Uncertainty in Wildlife Responses to Human Disturbance.” *Biological Reviews*, 000–000.

Taczanowska, K., L. M. González, X. Garcia-Massó, A. Muhar, C. Brandenburg, J. L. Toca-Herrera, and others. 2014. “Evaluating the Structure and Use of Hiking Trails in Recreational Areas Using a Mixed GPS Tracking and Graph Theory Approach.” *Applied Geography* 55 : 184–92.

Taczanowska, Karolina. 2009. *Modelling the Spatial Distribution of Visitors in Recreational Areas.*

na.

Taczanowska, Karolina, Andreas Muhar, and Christiane Brandenburg. 2008. "Potential and Limitations of GPS Tracking for Monitoring Spatial and Temporal Aspects of Visitor Behaviour in Recreational Areas." *Management for Protection and Sustainable Development, Conciglio Nazionale Della Ricerche, Montecatini, Italy*, 451–55.

Tewksbury, Joshua J, Douglas J Levey, Nick M Haddad, Sarah Sargent, John L Orrock, Aimee Weldon, Brent J Danielson, Jory Brinkerhoff, Ellen I Damschen, and Patricia Townsend. 2002. "Corridors Affect Plants, Animals, and Their Interactions in Fragmented Landscapes." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99 (20). National Acad Sciences : 12923–6.

Tietbohl, Andrey, Vania Bogorny, Bart Kuijpers, and Luis Otavio Alvares. 2008. "A Clustering-Based Approach for Discovering Interesting Places in Trajectories."

Tobler, Waldo. 1993. *Three Presentations on Geographical Analysis and Modeling*.

Tolon, V., S. Dray, A. Loison, A. Zeileis, C. Fischer, and E. Baubet. 2009. "Responding to Spatial and Temporal Variations in Predation Risk : Space Use of a Game Species in a Changing Landscape of Fear." *Can. J. Zool* 87 : 1129–37.

Toohey, Kevin, and Matt Duckham. 2015. "Trajectory Similarity Measures." *SIGSPATIAL Special* 7 (1) : 43–50. doi :10.1145/2782759.2782767.

Törn, A., A. Tolvanen, Y. Norokorpi, R. Tervo, and P. Siikamäki. 2009. "Comparing the Impacts of Hiking, Skiing and Horse Riding on Trail and Vegetation in Different Types of Forest." *Journal of Environmental Management* 90 (3) : 1427–34. doi :10.1016/j.jenvman.2008.08.014.

Ulrich, Roger S. 1986. "Human Responses to Vegetation and Landscapes." *Landscape and Urban Planning* 13 : 29–44.

Van Damme, Marie-Dominique Van, Ana-Maria Olteanu-Raimond, and Yann Méneroux. 2019. "Potential of Crowdsourced Data for Integrating Landmarks and Routes for Rescue in Mountain Areas." *International Journal of Cartography*, 1–19.

van Marwijk, R., B. H. M. Elands, and J. Lengkeek. 2007. "Experiencing Nature : The Recognition of the Symbolic Environment Within Research and Management of Visitor Flows." *Forest Snow and Landscape Research* 81 (1-2) : 59–76.

Vannier, Clémence, Jérémie Lefebvre, Pierre-Yves Longaretti, and Sandra Lavorel. 2016. "Patterns of Landscape Change in a Rapidly Urbanizing Mountain Region." *Cybergeo : Revue Européenne de Géographie / European Journal of Geography*, October. doi :10.4000/cybergeo.27800.

Vanpouille, Maud, Elie Vignac, and Bastien Soulé. 2017. "Accidentology of Mountain Sports : An Insight Provided by the Systemic Modelling of Accident and Near-Miss Sequences." *Safety Science* 99 : 36–44.

Vazquez-Prokopec, Gonzalo M., Steven T. Stoddard, Valerie Paz-Soldan, Amy C. Morrison, John P. Elder, Tadeusz J. Kochel, Thomas W. Scott, and Uriel Kitron. 2009. "Usefulness of

- Commercially Available GPS Data-Loggers for Tracking Human Movement and Exposure to Dengue Virus.” *International Journal of Health Geographics* 8 (1).
- Walden Schreiner, Chelsey, Sebastian Dario Rossi, Agustina Barros, Catherine Pickering, and Yu-Fai Leung. 2018. “Using Crowd-Sourced Photos to Assess Seasonal Patterns of Visitor Use in Mountain-Protected Areas.” *Ambio*, February. doi :10.1007/s13280-018-1020-4.
- Wang, Dong, Gregory Brown, and Yan Liu. 2015. “The Physical and Non-Physical Factors That Influence Perceived Access to Urban Parks.” *Landscape and Urban Planning* 133 (January) : 53–66. doi :10.1016/j.landurbplan.2014.09.007.
- Weissgerber, Magali, Samuel Roturier, Romain Julliard, and Fanny Guillet. 2019. “Biodiversity Offsetting : Certainty of the Net Loss but Uncertainty of the Net Gain.” *Biological Conservation* 237 (September) : 200–208. doi :10.1016/j.biocon.2019.06.036.
- Westekemper, Katharina, Horst Reinecke, Johannes Signer, Marcus Meißner, Sven Herzog, and Niko Balkenhol. 2018. “Stay on Trails – Effects of Human Recreation on the Spatiotemporal Behavior of Red Deer *Cervus Elaphus* in a German National Park.” *Wildlife Biology* 2018 (1). doi :10.2981/wlb.00403.
- Whittington, Jesse, Colleen Cassady St. Clair, and George Mercer. 2005. “Spatial Responses of Wolves to Roads and Trails in Mountain Valleys.” *Ecological Applications* 15 (2) : 543–53.
- Windsor, J S, P G Firth, M P Grocott, G W Rodway, and H E Montgomery. 2009. “Mountain Mortality : A Review of Deaths That Occur During Recreational Activities in the Mountains.” *Postgraduate Medical Journal* 85 (1004) : 316–21. doi :10.1136/pgmj.2009.078824.
- Wolf, Isabelle D., and Teresa Wohlfart. 2014. “Walking, Hiking and Running in Parks : A Multidisciplinary Assessment of Health and Well-Being Benefits.” *Landscape and Urban Planning* 130 (October) : 89–103. doi :10.1016/j.landurbplan.2014.06.006.
- Wolff, Axel, Jean-Philippe Paul, Jean-Louis Martin, and Vincent Bretagnolle. 2001. “The Benefits of Extensive Agriculture to Birds : The Case of the Little Bustard.” *Journal of Applied Ecology* 38 (5). Wiley Online Library : 963–75.
- Wong, David WS, and Qunying Huang. 2016. “Sensitivity of DBSCAN in Identifying Activity Zones Using Online Footprints.”
- Wood, Nathan J., and Mathew C. Schmidtlein. 2012. “Anisotropic Path Modeling to Assess Pedestrian-Evacuation Potential from Cascadia-Related Tsunamis in the US Pacific Northwest.” *Nat Hazards* 62 (2) : 275–300. doi :10.1007/s11069-011-9994-2.
- Yan, Zhixian, Dipanjan Chakraborty, Christine Parent, Stefano Spaccapietra, and Karl Aberer. 2013. “Semantic Trajectories : Mobility Data Computation and Annotation.” *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)* 4 (3) : 49.
- Yang, Xue, Luliang Tang, Kathleen Stewart, Zhen Dong, Xia Zhang, and Qingquan Li. 2018. “Automatic Change Detection in Lane-Level Road Networks Using GPS

Trajectories.” *International Journal of Geographical Information Science* 32 (3) : 601–21.
doi :10.1080/13658816.2017.1402913.

Zheng, Yu, and Xiaofang Zhou. 2011. *Computing with Spatial Trajectories*. Springer Science & Business Media.