



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

Analyse des effets réciproques entre les activités de loisirs et de détente, l'écosystème forestier, sa diversité d'habitats et d'espèces et ses autres services écosystémiques

Rapport Final

(11.03.2020)

Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement OFEV

Impressum

Mandant

Office fédéral de l'environnement OFEV, Division Forêts, CH-3003 Berne

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Mandataires

Haute école spécialisée bernoise BFH

Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires BFH-HAFL

Équipe BFH et auteurs

Dr. Gaspard Dumollard (Responsable du projet et auteur)

Dr. Valère Martin (Auteur)

Prof. Dr. Christian Rosset (Supervision du projet)

Prof. Dr. Thibault Lachat (Supervision du projet)

Groupe d'accompagnement OFEV

Dr. Clémence Dirac Ramohavelo

Remarque

Ce rapport a été rédigé sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement OFEV. Seul le mandataire porte la responsabilité de son contenu.

Table des matières

Abstract	7
Résumé exécutif	8
Résumé et recommandations pour les acteurs de la pratique	12
Introduction générale	23
Partie 1 - L'impact des activités récréatives sur la biodiversité en forêt : état des lieux et mesures d'atténuation	25
1. Introduction	26
1.1 L'objectif de cette revue de littérature	26
1.2 Une typologie des activités récréatives	26
1.3 Les formes de récréation considérées	28
1.4 Les infrastructures d'accueil et de transport	29
1.5 Quelques définitions : dérangement, perturbation, impact, effet	30
1.6 La zone géographique considérée	30
1.7 Les espèces considérées	30
1.8 Les milieux naturels considérés	31
1.9 La méthodologie de recherche de littérature	31
1.10 L'organisation du document	31
2. Quelques bases théoriques sur la mesure de l'impact des activités récréatives sur les animaux	32
2.1 Méthodes modernes de mesure pour l'avifaune	35
2.2 Méthodes modernes de mesure pour les mammifères	35
2.3 Méthodes modernes de mesure pour le sol et la végétation	35
3. Impact des activités récréatives sur l'avifaune forestière	35
3.1 Effet du bruit sur l'avifaune	37
3.2 Effet de la lumière artificielle sur les oiseaux	38
3.3 Impact des chiens sur les oiseaux	39
3.4 Impact des chats domestiques dans l'environnement forestier	40
3.5 Vols de loisirs et oiseaux : Drones, parapentes et ballons à air chaud	41
3.6 Chemins et dessertes forestières	41
3.7 Distance de fuite comme proxy de l'impact des dérangements	44
3.8 Effet des dérangements sur les populations et les communautés d'oiseaux	46
3.9 Impact sur certaines espèces et groupes d'oiseaux	47
3.9.1 Rapaces forestiers	47

3.9.2 <i>Tétras lyre (Lyrurus tetrix)</i>	49
3.9.3 <i>Grand Tétras (Tetrao urogallus)</i>	49
3.9.4 <i>Bécasse des bois (Scolopax rusticola)</i>	50
3.9.5 <i>Gélinotte des bois (Bonasia bonasia)</i>	51
3.9.6 <i>Engoulevent d'Europe (Caprimulgus europaeus)</i>	51
3.10 Mesures d'atténuation de l'impact des activités récréatives sur les oiseaux	51
4. Impact des activités humaines sur les mammifères forestiers	53
4.1 Impact sur certaines espèces et groupes de mammifères	54
4.1.1 <i>Les mammifères carnivores</i>	54
4.1.2 <i>Ours brun (Ursus arctos)</i>	54
4.1.3 <i>Lynx d'Europe (Lynx lynx)</i>	55
4.1.4 <i>Loup gris (Canis lupus)</i>	55
4.1.5 <i>Les mammifères ongulés</i>	56
4.1.6 <i>Cerf élaphe (Cervus elaphus)</i>	57
4.1.7 <i>Chevreuil d'Europe (Capreolus capreolus)</i>	58
4.1.8 <i>Chamois (Rupicapra rupicapra)</i>	59
4.1.9 <i>Chauves-souris</i>	60
4.2 Impact des chiens sur les mammifères	61
5. Reptiles et Amphibiens	62
6. Insectes et arthropodes	63
7. Effets globaux de la pollution lumineuse	64
8. Impact sur la végétation et le sol	64
8.1 Eléments généraux sur les impacts sur le sol	65
8.2 Impacts spécifiques de différents types d'activités récréatives	65
8.3 Falaises en forêt	67
9. Effet de la perception sensorielle sur le comportement des visiteurs	67
10. Discussion des résultats et des mesures d'atténuation	69
10.1 Synthèse des impacts sur les espèces animales	69
10.2 Détermination des impacts des activités récréatives sur la biodiversité	73
10.3 Les impacts des activités récréatives sur le sol et la végétation	73
10.4 Potentiel de généralisation des résultats	74
10.5 Priorisation dans l'analyse des impacts	75
10.6 Les mesures d'atténuation	75

<i>10.6.1 Concentration des activités récréatives</i>	75
<i>10.6.2 Réduction locale des stimuli et des contacts</i>	76
<i>10.6.3 Réduction de l'impact des chiens</i>	76
<i>10.6.4 Mesures de compensation</i>	76
10.7 Méthode de planification	76
Partie 2 - Les activités récréatives et la gestion forestière	81
Introduction	83
1. Attentes de la société et perception de la multifonctionnalité	84
2. Impacts directs des activités récréatives sur la gestion sylvicole	85
3. Activités récréatives et processus de planification	87
3.1. Monitoring de la récréation en forêt	87
3.2. Intégration des activités récréatives dans le processus de planification	89
3.3. Planification des chemins et sentiers forestiers	90
3.3.1. Objectifs de la planification et mise en œuvre institutionnelle	90
3.3.2. Le processus de planification et les modifications du réseau de chemins de randonnée pédestre	92
3.4. Communication auprès des visiteurs	94
4. Conflits d'usage	94
4.1. Les conflits d'usage entre activités récréatives et gestion forestière	94
4.2. Approches de résolution des conflits	95
5. Préférences esthétiques du public en forêt	96
6. Demande de récréation et valeur économique	99
7. Les coûts du service de récréation pour les entreprises forestières et sa valorisation financière	102
8. Interactions entre services de protection des personnes et des biens et services de récréation	106
Conclusion	107
Partie 3 - Etude de cas : l'intégration des activités récréatives dans la gestion des forêts de la Ville de Lausanne	110
Introduction	112
1. Planification directrice dans les forêts de la Région Centre	113
1.1. Le diagnostic des forêts de la Région Centre, en bref	114
1.2. Planification directrice forestière et fonctions forestières	115
1.2.1. Définition des fonctions prépondérantes	115
1.2.2. Carte des fonctions prépondérantes et antagonismes entre fonctions	116

1.2.3. Les stratégies sectorielles du Plan directeur forestier de la Région Centre	122
1.3. Planification directrice et accueil du public en forêt	123
2. Gestion forestière	124
2.1. Contextes sylvicoles et gestion forestière dans les forêts de la ville de Lausanne	124
2.2. Planification d'entreprise et prise en compte de l'accueil du public	126
2.2.1. Le plan de gestion de 1995	126
2.2.2. Le « plan » de gestion des massifs urbains (2013)	127
2.2.3. Elaboration d'un nouveau plan de gestion (2021)	127
2.3. Solutions pratiques pour l'accueil du public en forêt	128
2.4. Impact des activités de détente et de loisirs sur les coûts d'exploitation	130
3. Le projet de parc naturel périurbain du Jorat	131
3.1. Historique de lancement du projet de parc dans le Jorat	131
3.2. Le projet de Parc	131
3.3. Sélection des surfaces à mettre en réserve	133
3.4. Effets attendus de la mise en place du parc sur la fonction biologique	133
3.5. La question des chemins et des dessertes dans la Zone Centrale	136
3.6. Accueil et canalisation du public en forêt	139
3.7. Projet de monitoring dans le parc du Jorat	140
Conclusion	141
Discussion générale	143
Références	145

Abstract

La forêt suisse revêt une grande importance en tant qu'espace récréatif. Afin de garantir la pérennité de ce service de récréation, l'Office fédéral de l'environnement a élaboré une « Stratégie pour la récréation en forêt » devant assurer une gestion durable des forêts offrant un service de récréation.

Les activités récréatives ont en effet un impact sur la biodiversité et de manière générale sur la qualité de l'habitat forestier. En outre, les activités récréatives entrent également en interaction avec les autres services écosystémiques rendus par la forêt : protection contre les dangers naturels et production de bois. Cette étude propose une analyse de ces impacts et des effets réciproques entre services écosystémiques sur la base d'une revue de littérature et d'une étude de cas basée sur les forêts de la Ville de Lausanne.

La revue de littérature permet d'identifier les types d'impact causés par les activités récréatives sur la biodiversité forestière et les mesures d'atténuation correspondantes. La transposition des résultats de la littérature pour une application en Suisse n'est cependant pas triviale du fait de contextes naturels et socioculturels différents. Une canalisation douce du public, obtenue en jouant sur l'attractivité des chemins et sentiers en forêt et sur une communication auprès du public apparaît comme le principal moyen de réduire les impacts des activités récréatives sur la biodiversité. La revue de littérature et l'étude de cas montrent également que les activités récréatives devraient être intégrées aux processus de planification et de gestion forestières afin d'anticiper et d'atténuer les problèmes potentiels.

Résumé exécutif

Contexte et objectif de l'étude

L'importance de la forêt suisse comme espace récréatif n'est plus à démontrer. Les précédentes enquêtes menées au niveau national (OFEV et WSL, 2013) ont permis de caractériser la grande importance de la forêt pour les populations, ainsi que la fréquence élevée des visites en forêt. Certains chiffres illustrent avec éloquence l'importance des activités récréatives en forêt : en Suisse, elles concernent 90% de la population et leur valeur socioéconomique annuelle est estimée entre 2 et 4 milliards de francs (OFEV, 2018).

Cependant, l'ampleur des activités récréatives pose certains défis, notamment sociaux, écologiques et économiques (voir Bernasconi et Schroff, 2008, Volz et Mann 2006, Ammer et Pröbst, 1991). Afin de garantir la pérennité du service de récréation des forêts suisses (qui revêt une signification particulière pour environ 15% de la surface forestière), l'Office fédéral de l'environnement a élaboré, en collaboration avec les acteurs concernés, une « Stratégie pour la récréation en forêt » devant assurer la gestion durable des forêts offrant un service de récréation.

Les activités récréatives ont en effet un impact sur la biodiversité (ex. dérangement de la faune, prélèvements et apports de matériel vivant) et de manière générale sur la qualité de l'habitat forestier (ex. occupation du sol par des infrastructures telles que les chemins, fragmentation des habitats, compactage ou érosion du sol). Au-delà des questions de biodiversité, les activités récréatives entrent également en interaction avec les autres services écosystémiques rendus par la forêt : protection des personnes et des infrastructures contre les dangers naturels, et production de bois qui forme souvent l'assise économique des propriétaires forestiers.

Cette étude a pour objectif initial de répondre à la mesure 3.1 de cette stratégie qui consiste à « analyser les effets réciproques entre les activités de loisirs et de détente, l'écosystème forestier, sa diversité d'habitats et d'espèces et ses autres services écosystémiques (prévention de l'érosion, approvisionnement en produits ligneux). » La mesure 3.1 a constitué le point de départ de cette étude, l'angle selon lequel la collecte d'information a été abordée. Les informations collectées et synthétisées dans ce rapport ont en revanche une portée bien plus large et s'appliquent aux trois dimensions de la Stratégie : la dimension sociale, la dimension écologique et la dimension économique, car la littérature et la réalité sur le terrain ne sont pas complètement cloisonnées de cette manière.

Cette étude est constituée de trois parties : 1) une revue de la littérature traitant des impacts des activités récréatives sur la biodiversité forestière et l'habitat forestier, 2) une revue de la littérature portant sur l'intégration des activités récréatives à la planification et à la gestion forestières, et 3) une étude de cas basée sur les forêts de la Ville de Lausanne et portant sur l'articulation entre les activités récréatives et les autres services rendus par la forêt en milieu urbain/périurbain. Les résultats respectifs sont présentés, synthétisés et discutés dans les trois parties de ce rapport. Une synthèse comparative des trois parties est présentée à la fin de ce rapport, en guise de discussion générale.

Partie 1 : Revue de la littérature portant sur les impacts des activités récréatives sur la biodiversité forestière et l'habitat forestier

L'objectif de cette revue de littérature est d'offrir un large panorama des impacts possibles des activités récréatives sur la biodiversité forestière et de la capacité des forêts à remplir leur fonction d'habitat. Ce panorama a pour objectif d'être le plus pertinent possible, voire constituer un état des lieux, pour la Suisse. Ce faisant, il s'agit également de présenter et d'analyser de manière critique les différentes méthodes utilisées pour assurer un suivi de ces impacts. Enfin, il s'agit d'identifier les bonnes pratiques qui permettent de les atténuer.

La plupart des publications trouvées sur ce sujet sont issues de la littérature scientifique. Bien que la Suisse constitue le focus principal de cette étude, il était nécessaire d'élargir cette revue à des études menées à l'étranger (en particulier à l'Amérique du Nord, l'Australie et l'Europe du Nord) pour couvrir l'ensemble de la thématique et croiser les différents résultats. Si la typologie des impacts identifiés dans ces études à l'étranger reste pertinente pour le cas suisse, l'importance

respective des différents types impacts et les mesures d'atténuation sont parfois difficilement transposables du fait de contextes naturels et socioculturels différents.

De la même manière, la revue ne s'est pas restreinte aux études sur les espèces indigènes à la Suisse. L'ensemble des taxons pertinents dans le contexte de l'impact des activités récréatives ont été inclus, l'objectif étant d'en tirer des conclusions aussi pertinentes et générales que possibles, potentiellement applicables à la Suisse. La littérature sur certains groupes s'est avérée très lacunaire, voire inexistante alors que de nombreuses études traitent d'espèces communes, pour des raisons pratiques ou éthiques. Ces résultats ne peuvent être extrapolés que dans une certaine mesure pour des espèces peu fréquentes ou menacées. Certains groupes ne sont que peu ou pas traités, comme par exemple les mollusques ou les annélides. Pour ces groupes, l'impact réel, direct et indirect est difficile à évaluer. Le sol, en tant qu'habitat a toutefois été considéré. Ainsi, le traitement des différentes espèces dans la littérature scientifique n'est pas représentatif de leur distribution réelle (*a fortiori* de leur distribution en Suisse) ni de la criticité de leur situation vis-à-vis des activités récréatives.

Enfin, la plupart des études traitant des effets des activités récréatives sur la biodiversité se focalisent sur un nombre restreint d'espèces et sur les comportements individuels. Ce biais résulte en partie de facilités pratiques, financières mais aussi éthiques associées à la réalisation de ce type d'études. A contrario, les études de longue durée et portant sur des communautés d'espèces sont beaucoup plus rares. En outre, il n'est pas évident de lier les dérangements observés à des effets réels sur le *fitness* (la capacité d'un individu à se reproduire) ou directement sur la reproduction.

Sous réserve de ces précisions, certaines conclusions peuvent être tirées de la littérature. De manière générale, les activités récréatives impactent négativement la biodiversité. Les oiseaux sont affectés négativement par les activités récréatives au niveau des populations et des communautés. Les grands mammifères sont affectés négativement au niveau des populations et il existe très peu d'informations sur les petits mammifères. Dans les deux cas, l'impact se produit à travers un contact visuel entre l'animal et des personnes (ou des chiens). Les oiseaux sont en plus sensibles aux bruits et lumières artificiels. L'impact direct des activités récréatives sur d'autres taxons comme les insectes, les reptiles et les batraciens est peu étudié et reste inconnu. Cet impact se matérialise probablement en premier lieu par la qualité et la quantité des habitats (ex. bois mort, zones humides) qui peuvent être affectées par les activités récréatives mais qui dépendent également fortement d'autres activités telles que la production de bois. La végétation et le sol au niveau des infrastructures ponctuelles ou linéaires (ex. places de pique-nique, sentiers) et de leur voisinage immédiat sont fortement impactés par les activités récréatives. En outre, il est noté que dans le contexte actuel d'intensification et de diversification des activités récréatives en forêt, les impacts tendent à s'accroître.

De manière générale, la question de l'impact des activités récréatives sur la biodiversité est indissociable de la densité et de la distribution spatiale des infrastructures d'accueil du public. De ce fait, la plupart des mesures d'atténuation qui émergent de la littérature portent sur la planification et l'aménagement de ces infrastructures. Il est par exemple préconisé d'aménager des zones moins fréquentées ou non fréquentées dans les massifs forestiers, par ex. en cœur de massif, afin d'y limiter les impacts. Il est également possible d'aménager les infrastructures de sorte à réduire les impacts, par ex. par l'installation de lisières limitant la visibilité grâce à une strate arbustive ou inférieure dense.

Partie 2 : Revue de littérature sur l'intégration des activités récréatives à la planification et à la gestion forestières

L'idée initiale pour cette seconde partie était de considérer les effets d'interaction entre le service de récréation et le service de production de bois d'une part, et entre le service de récréation et le service de protection contre les dangers naturels d'autre part. Cependant, la littérature sur l'interaction entre le service de récréation et celui de protection s'est avérée quasiment inexistante. D'autre part, la question des interactions directes entre production de bois et activités récréatives correspond en partie à la question des impacts des activités récréatives sur l'écosystème forestier, question déjà traitée en profondeur dans la partie 1.

Toutefois, l'interaction entre production de bois et activités récréatives est en grande partie indirecte au sens où ces dernières sont intégrées à l'ensemble des processus de planification et de gestion forestières dans le cadre d'une gestion multifonctionnelle. C'est donc à travers l'ensemble de ces processus que les différents services écosystémiques interagissent entre eux. En outre, les activités de production et le service de protection contre les dangers naturels sont centraux dans la question du financement des entreprises forestières. Cette question revêt une importance particulière pour les activités récréatives dans la mesure où celles-ci ne bénéficient pas de subvention au niveau fédéral.

Les publications recensées dans cette étude sont principalement issues de la littérature « grise » (rapports techniques par ex. de l'OFEV, articles publiés dans des journaux professionnels) ou de la littérature académique mais fortement orientée vers la pratique (ex. Journal Forestier Suisse). La plupart de ces références concernent les forêts suisses, en général ou à travers des études de cas.

La perception de la multifonctionnalité et de la gestion forestière par la population suisse est importante car elle conditionne en partie la relation entre les visiteurs en forêt et les entreprises forestières. La population suisse s'avère globalement satisfaite du service de récréation en forêt et comprend et accepte de mieux en mieux les interventions sylvicoles. En outre, la population suisse, même si elle ne perçoit pas à l'heure actuelle de conflits marqués entre les différents services rendus par la forêt, reconnaît leur fonction d'habitat comme importante et tend à la considérer comme prioritaire. Elle apparaît plus partagée sur la priorité à accorder entre activités récréatives et activités de production. En revanche, la population suisse perçoit largement la forêt comme un bien public, ce qui complique la limitation de l'accès ou tout du moins la canalisation du public en forêt.

L'implication de la population dans les processus de planification (à travers des groupes d'intérêt), ainsi qu'une communication continue pour rappeler la raison des interventions sylvicoles et pour expliquer certaines contraintes sont essentielles, en particulier quand tous les groupes d'intérêt ne peuvent pas être satisfaits. De manière générale, les conflits potentiels entre fonctions forestières ou entre différents types de visiteurs en forêt doivent être pris en compte au niveau stratégique (planification directrice forestière et planification d'entreprise) pour être déminés. Un accompagnement des entreprises en ce sens peut s'avérer nécessaire.

Les activités récréatives peuvent avoir un impact direct sur les écosystèmes forestiers (sur le sol et la végétation au sol) qui influence directement la sylviculture et sa capacité à atteindre les objectifs fixés (en particulier le rajeunissement). Ces impacts sont toutefois très localisés autour des infrastructures d'accueil et ne constituent pas un problème généralisé. En revanche, les activités récréatives ont un fort impact financier sur les entreprises, qui est lié à l'entretien et la sécurisation des infrastructures (en particulier les sentiers), ainsi qu'à la sécurisation et aux contraintes pesant sur les interventions sylvicoles. Cette charge financière est très variable d'un emplacement à l'autre mais son ordre de grandeur varie entre une centaine de francs et plusieurs milliers de francs par hectare et par an (estimation sur la base de quelques cas d'étude seulement).

Des données précises et détaillées sont nécessaires à une bonne intégration des activités récréatives aux processus de planification (planification directrice forestière et planification d'entreprise). Les enquêtes socioculturelles WaMos 1 et 2 fournissent une information précieuse mais générale et non spatialisée sur les habitudes de la population suisse en forêt. L'Inventaire forestier national apporte une information spatialisée sur la fréquentation des forêts par le public mais l'échelle et la précision peuvent poser question pour un usage en planification forestière. A noter que la tendance est à une diversification des formes de récréation, en particulier à un développement des formes actives. Cette diversification renforce le risque de conflits entre les différents types de visiteurs en forêt. Il n'existe pas non plus d'évaluation économique systématique et spatialisée du service de récréation rendu par les forêts suisses.

La littérature permet d'identifier une large base de préférences esthétiques partagées au sein du public en ce qui concerne les attributs forestiers. Ce lien démontre que l'aménagement d'infrastructures et la sylviculture permettent d'améliorer l'esthétique et donc l'attractivité des forêts pour les visiteurs.

Partie 3 : Etude de cas basée sur les forêts de la Ville de Lausanne

Le choix d'un cas d'étude s'est porté sur les forêts de la Ville de Lausanne car elles sont emblématiques des défis croissants liés à la multifonctionnalité, rencontrés dans les zones urbaines et périurbaines densément peuplées. Les forêts de la Ville de Lausanne sont l'objet d'une demande sociale de plus en plus forte pour des activités de loisirs et de détente. Cette demande accrue pour les loisirs en forêt exerce une pression sur les autres services écosystémiques. En outre, le projet de mise en place d'un parc naturel périurbain dans le massif du Jorat, qui prévoit la mise en réserve d'une importante surface forestière à proximité d'un grand centre urbain, renforce encore le questionnement sur l'interaction entre fonction biologique et fonction d'accueil de la forêt.

Cette étude de cas s'intéresse à la manière dont sont prises en compte les différentes fonctions forestières dans les processus de planification et de gestion. Cette étude de cas est basée sur une série d'entretiens auprès de responsables de la planification et de la gestion forestière au niveau de la Région Centre (pour la Planification directrice forestière) et de la Ville de Lausanne, de la responsable de la section biodiversité en forêt du Canton de Vaud, d'un biologiste et des responsables du projet de Parc naturel périurbain dans le Jorat.

Cette étude de cas montre que les antagonismes entre services récréatifs et services de protection de la biodiversité sont concentrées spatialement et ne concernent qu'une petite proportion de la surface totale (massifs urbains et dans certaines zones des massifs périurbains). En comparaison, les antagonismes entre service de protection de la biodiversité et service de production concernent une plus grande part de la surface forestière. Bien que la pression exercée par le public sur le territoire forestier soit jugée globalement supportable à l'heure actuelle, la tendance est à un accroissement du fait d'une hausse de la fréquentation et d'une multiplication des types d'activités. Cette pression accrue renforce le risque de conflits d'usage entre différents types de visiteurs. Le développement des transports urbains (en particulier le métro) en direction des espaces forestiers est un déterminant important de cette tendance.

Bien que la fréquentation par le public soit concentrée dans certaines zones, les infrastructures d'accueil du public, ponctuelles et surtout linéaires, sont présentes sur l'ensemble de la surface forestière. En fonction des objectifs fixés en termes de protection de la biodiversité, cela peut s'avérer problématique. Ainsi, le projet de Parc naturel périurbain dans le Jorat prévoit la création d'une réserve intégrale laissant libre cours aux mécanismes naturels à l'œuvre en forêt. Cette réserve aurait entre autres pour conséquences (recherchées) une accumulation de bois mort et la création de zones à l'ambiance ombragée, propices à certaines espèces. De ce point de vue, les infrastructures linéaires peuvent poser deux problèmes principaux. D'une part, elles constituent des lisières internes qui interrompent les zones ombragées et d'autre part, la sécurisation de ces infrastructures requiert l'abattage des arbres instables. Il est toutefois possible de procéder à cette sécurisation sans entraver l'accumulation de bois mort, en laissant les arbres abattus en forêt. Dans ce cas et de manière générale, il s'avère politiquement très difficile de supprimer ou d'obstruer des sentiers ou chemins. En revanche, il est possible de jouer sur l'attractivité différenciée de ces chemins pour canaliser le public de manière douce.

Certains concepts sylvicoles destinés à renforcer l'attractivité esthétique de la forêt dans certaines zones ont été élaborés par la Ville de Lausanne. Malgré le savoir-faire des gestionnaires forestiers et l'existence de principes guidant l'accueil du public en forêt, il manque une vraie stratégie pour cet accueil. Une condition préalable à l'élaboration d'une telle stratégie est la disponibilité de données objectives, systématiques et spatialisées sur la fréquentation, les attentes et les caractéristiques sociodémographiques du public en forêt. La mise en place d'un observatoire des activités récréatives et l'élaboration d'une stratégie pour l'accueil du public sont prévues au niveau du Canton de Vaud.

Enfin, l'accueil du public a un fort impact sur le dimensionnement et la sécurisation des coupes, ce qui a un impact financier important pour la Ville de Lausanne. Cet impact est d'autant plus fort que la fréquentation du massif est élevée.

Résumé et recommandations pour les acteurs de la pratique

Cette section propose un résumé du contenu de ce rapport à l'attention des acteurs du secteur forestier tels que les services forestiers, les entreprises forestières/propriétaires forestiers, les associations ou les communes. Ce résumé porte sur les éléments les plus proches de la pratique et rassemble en particulier les recommandations qui permettraient une intégration encore meilleure des activités récréatives à la gestion forestière.

Partie 1 – L'impact des activités récréatives sur la biodiversité en forêt : état des lieux et mesures d'atténuation (Revue de littérature)

1. Les principaux impacts et les principales sources d'impact

L'impact des activités récréatives sur l'avifaune et les mammifères (carnivores et ongulés) a été particulièrement bien étudié et fait l'objet de nombreuses publications. Les impacts se produisent au niveau des individus, souvent à travers des dérangements occasionnés par une ou des activités récréatives. Ces impacts peuvent aller jusqu'à affecter la capacité des individus à se reproduire (le *fitness*), ce qui a un impact sur la dynamique des populations, voire sur les communautés si l'équilibre interspécifique est modifié.

Les principaux types de dérangement qui peuvent être associés aux activités récréatives en forêt sont les suivants :

- les *stimuli* visuels entre visiteur et animal qui peuvent causer interruptions d'activités et fuites, évitements de zones et réponses physiologiques,
- les *stimuli* sonore entre visiteur et animal, surtout causés par les activités avec moyen de locomotion (ex. vélo) qui peuvent causer des interruptions d'activités,
- la présence de lumières artificielles, principalement les lumières urbaines et périurbaines dont certaines peuvent être liées aux infrastructures d'accueil du public, peut entraîner des modifications du sommeil et des comportements nocturnes,
- l'interaction avec des animaux domestiques, surtout les chiens, qui peuvent causer interruptions d'activités et fuites, évitements de zones et réponses physiologiques (en sus des impacts liés à la prédation),
- les *stimuli* aériens dus par ex. aux ailes delta, parapentes, ballons à air chaud, drones, qui peuvent provoquer interruptions d'activités et fuites.

L'avifaune est négativement impactée par les pratiques récréatives en forêt, au niveau des individus, des populations et des communautés. L'impact se produit par contact visuel entre l'oiseau et les personnes exerçant une activité récréative, mais aussi à travers la présence des infrastructures d'accueil du public, les chiens, ainsi que les bruits et les lumières artificielles. Les grands mammifères sont affectés négativement par les activités récréatives à l'échelle des individus et des populations. L'impact se produit surtout par contact visuel entre l'animal et les personnes mais aussi à travers la présence de chiens.

Il faut toutefois noter que la plupart des résultats portant sur l'avifaune et les grands mammifères sont basés sur l'observation du comportement des individus, souvent par facilité méthodologique alors que l'étude des populations et du taux de reproduction des individus de ces populations est plus à même d'évaluer correctement l'impact des activités récréatives. Il existe par ailleurs très peu d'informations sur les petits mammifères.

Les impacts des activités récréatives sur les reptiles et amphibiens sont en général causés par une détérioration de leur habitat. Cet habitat, par ex. les zones ouvertes sèches ou les mares, sont parfois attractifs pour le public et peuvent subir une pression importante de la part des visiteurs.

L'impact direct des activités récréatives en forêt sur les insectes et arthropodes est probablement faible. L'impact des activités récréatives sur les insectes est donc principalement indirect, à travers la perte et la fragmentation des habitats. En ce qui concerne les espèces saproxyliques, l'abondance

et la qualité de l'habitat sont liées à l'abondance de bois mort, qui peut être antagoniste avec la sécurisation des sentiers (voir Partie 3). La fragmentation de l'habitat est également en partie liée à la présence d'infrastructures de transport et d'accueil du public en forêt.

Les impacts principaux des activités récréatives sur le sol sont la compaction et l'érosion. Le piétinement par les visiteurs a un impact sur le sol et la végétation du sol, qu'elle soit herbacée ou arbustive, ce qui peut poser problème vis-à-vis du rajeunissement naturel. Toutefois, ces impacts ne concernent qu'une faible proportion de la surface forestière (de l'ordre de 1% de la surface forestière suisse totale) et sont concentrés le long et autour des infrastructures d'accueil du public. Toutefois, cette proportion est variable d'une région à l'autre et ces impacts peuvent localement poser des problèmes significatifs.

2. Les principales mesures d'atténuation

Canalisation spatiale des activités récréatives

Les mesures d'atténuation proposées dans la littérature se basent essentiellement sur la canalisation spatiale des activités récréatives par des aménagements et infrastructures appropriés et la création concomitante d'espaces de tranquillité pour la faune. Plutôt qu'une interdiction stricte de l'accès à certaines zones, qui peut être contre-productive en attisant la défiance du public, il est conseillé de pratiquer une canalisation douce de ce public grâce à différentes mesures :

- une planification des chemins de manière à conserver des zones sans accès ou avec un accès difficile et long,
- un aménagement et un entretien différenciés des chemins et sentiers de sorte à rendre les itinéraires préférables plus attractifs,
- des restrictions douces d'accès (l'absence de chemins, des obstacles ou des barrières (préférentiellement naturelles) comme des haies, des étendues d'eau ou marécageuses, des troncs d'arbres couchés, des tas de branches, etc.),
- des aménagements végétaux en bordure des chemins, par exemple buissons ou ronces pour limiter la visibilité et les sorties hors des chemins,
- en cas d'interdiction, l'installation de panneaux informatifs en expliquant la raison au public,
- l'exclusion ou des restrictions concernant les chiens et certains modes de locomotions (par ex. le vélo qui permet d'atteindre des zones plus éloignées qu'en randonnée du fait de sa rapidité) ; ces restrictions peuvent aussi ne s'appliquer que sur certaines périodes annuelles correspondant aux activités biologiques concernées (typiquement la nidification pour les oiseaux),

Ces mesures de gestion des visiteurs s'accompagnent de mesures d'aménagement forestier favorables aux espèces dans les zones de tranquillité créées par la planification des chemins. Pour les espèces mentionnées ci-dessus, de tels aménagements sont par exemple des clairières, des strates inférieures riches en buissons ou encore du bois mort sur pied ou au sol. Ces aménagements sont particulièrement importants pour l'utilisation de ces zones de tranquillité par les espèces cibles.

L'objectif de cette canalisation des flux de visiteurs est de protéger la faune et éventuellement la flore et le sol tout en tenant compte des préférences du public. L'encart suivant esquisse une proposition d'approche méthodologique pour cette planification.

Proposition d'approche méthodologique pour la cohabitation de la biodiversité et des activités récréatives en forêt

Cet encart propose une approche méthodologique pour une canalisation douce du public en forêt dans le but de préserver la biodiversité.

Principes de bases :

- limiter les accès, les infrastructures et les chemins pour réduire l'impact des activités récréatives sur la biodiversité en forêt,
- favoriser une approche participative à la place d'une approche restrictive (interdictions),
- canaliser les visiteurs hors des zones de tranquillité pour la faune et aménagement de ces zones,
- considérer une approche dynamique en fonction des saisons mais aussi en fonctions des espèces et des années (par exemple pour régénérer la végétation des sentiers mais aussi permettre la reproduction des animaux).

Afin de canaliser efficacement le public, la planification des chemins et sentiers doit prendre en compte de nombreuses dimensions : pédologiques, géomorphologiques, floristiques et faunistiques mais aussi sociologiques et psychologiques (facilité et aisance d'accès, perception positive des zones protégées, perception des chemins, type d'activités).

L'approche proposée se décline en plusieurs points :

- identifier les espèces ou les communautés sensibles aux activités récréatives ou prioritaires,
- mesurer ou prédire l'intensité et la nature de la perturbation due aux activités récréatives.
- identifier les conditions biotiques et abiotiques externes au massif forestier (sources de lumières et de bruits, couloirs de faune et typologie des biotopes identiques, routes, autres contraintes externes à la forêt),
- déterminer la position de/des accès en véhicules motorisés et, des accès à pied si la forêt est proche d'une zone urbaine,
- déterminer les secteurs réservés à la biodiversité et leur accès par les espèces cibles en tenant compte des points précédents,
- déterminer les chemins et parcours pour les différentes activités récréatives, sans négliger de créer une expérience vécue positive entre les visiteurs et la nature; ces parcours peuvent être différents d'une saison à l'autre,
- le cas échéant, déterminer les besoins non liés aux activités récréatives (exploitation du bois par exemple),
- aménager des obstacles sous la forme de haies, d'étangs ou de tas de bois pour limiter les passages dans les endroits importants pour le concept d'aménagement, sans oublier que des chemins boueux seront moins fréquentés que des chemins de bonne qualité,
- planifier les mesures d'atténuation de l'impact le long des chemins fréquentés (haies, strates basses dense, tas de bois, largeur des chemins),
- le cas échéant, informer sur une (des) espèce(s) emblématique(s) et leurs besoins, en créant une opportunité de rencontrer cette (ces) espèce(s),
- vérifier l'efficacité de l'aménagement pour la préservation et la promotion des espèces cibles, en utilisant des variables observées reliées aux populations et à la reproduction.

Plus largement, la régulation des flux de visiteurs en forêt est liée à la question de l'accès aux massifs forestiers par les transports collectifs ou individuels. Cette question se doit d'être posée mais à une échelle spatiale et sectorielle qui va au-delà du massif forestier et du secteur forestier.

Réduction locale des stimuli et des contacts

Parmi les mesures d'accompagnement des flux de visiteurs, les *stimuli* visuels des animaux peuvent être limités par des aménagements le long des chemins, tels qu'une strate végétale inférieure dense (arbres ou buissons). Il est également possible de jouer sur la largeur des chemins, dans la mesure où une grande largeur permet d'éloigner les visiteurs de la faune.

En outre, les *stimuli* sonores et lumineux doivent être considérés car ils portent potentiellement sur de plus grandes distances. Pour le premier, les infrastructures aux abords des forêts mais aussi

le comportement des visiteurs sont les leviers d'action. Pour le second, les éclairages de tous types devraient être réduits, dans un contexte plus large que le cadre forestier.

Réduction de l'impact des chiens

Les chiens sont perçus comme des prédateurs par la faune et ont un comportement propre (plus grands déplacements que les humains et prédation de nids ou de jeunes animaux) à même d'impacter cette faune. Ils augmentent la surface du « paysage de la peur » (*landscape of fear*, Laundre et al., 2010). Les réglementations restrictives sur les chiens sont donc justifiées. Tenir les chiens en laisse apparaît comme un bon compromis pour satisfaire leur propriétaire et protéger la biodiversité. Il faut relever que l'impact de cette mesure dépend fortement de la densité de chiens.

Mesures de compensation

Le développement des activités récréatives peut aussi s'accompagner de mesures de compensation pour la biodiversité. Ces mesures pourraient consister par exemple en des aménagements et en la restauration de biotopes (humides, secs) en forêt ou en la gestion de petites falaises forestières pour la biodiversité, voire des clairières en milieu sec. Toutefois, ces aménagements sont également attractifs pour le public, ce qui implique d'en gérer les accès en conséquence. Sans cette réflexion, ces aménagements n'apporteront pas les effets escomptés.

Adaptation de l'entretien des infrastructures d'accueil du public

L'entretien des infrastructures d'accueil du public, en particulier le long des chemins et sentiers a un impact sur la biodiversité forestière. La sécurisation des itinéraires en forêt par l'abattage des arbres morts ou instables menaçant les visiteurs a, par exemple, un impact fort sur la quantité de bois mort disponible pour les espèces saproxyliques et sur l'abondance et la qualité des dendromicrohabitats (voir partie 3). D'une manière similaire, les fauches répétées en bordure des chemins ont un impact sur l'habitat de certaines espèces, par ex. les insectes. Afin d'éviter ces problèmes, les mesures d'entretien peuvent être soit évitées, soit adaptées dans le sens d'une moindre intervention, ce qui ne signifie pas nécessairement un moindre effort (voir partie 3 au sujet de la sécurisation des sentiers).

Partie 2 - Les activités récréatives et la gestion forestière (revue de littérature)

Intégration des activités récréatives à la planification directrice forestière

Les activités récréatives doivent être prises en compte au niveau stratégique dans le processus de planification directrice forestière. Bernasconi et al. (2004) proposent certaines recommandations permettant de mieux intégrer les activités récréatives à ces processus de planification¹ :

- la sélection des zones récréatives prioritaires devraient résulter d'une approche intégrée prenant en compte et pondérant les différents intérêts en présence et ne pas être exclusivement basée sur des considérations liées au service de production de bois,
- l'intégration des activités récréatives de manière pertinente dans le processus de planification doit pouvoir reposer sur des indicateurs pertinents d'où un besoin de données et d'information spatialisées sur les activités récréatives (et plus généralement sur tous les services écosystémiques considérés),
- toute la diversité des groupes d'intérêt ne peut pas être prise en compte dans la planification, il faut parfois trancher sur une base transparente et les groupes d'intérêt non-

¹ Depuis 2004, la situation a certes évolué et certaines recommandations peuvent aujourd'hui paraître évidentes au lecteur.

représentés doivent encore avoir la possibilité de s'exprimer à travers la participation du public,

- les conditions cadres et les processus de décision doivent être transparents et clairement communiqués aux groupes d'intérêt en amont du processus,
- dans la pratique, il est difficile voire contreproductif de chercher à concilier toutes les fonctions sur une même zone en milieu périurbain,
- il est important d'identifier l'écart entre exigences de récréation et réalisations possibles, et il est important de communiquer à ce sujet,
- la contrainte budgétaire doit être ancrée dans le processus de planification,
- le processus de planification est un excellent instrument de mise en réseau des groupes d'intérêt avec les gestionnaires et les propriétaires forestiers.

Dans tous les cas, la planification directrice forestière n'est pas un processus isolé mais doit au contraire s'intégrer à la stratégie générale de développement d'un territoire. C'est-à-dire qu'il s'agit d'un processus intersectoriel en lien avec d'autres dimensions de la planification directrice, par ex. les loisirs et les transports.

La planification des chemins de randonnée pédestre

La planification des chemins de randonnée pédestre (c'est-à-dire les chemins balisés en ce sens) est de la responsabilité des cantons. Les directives fédérales définissent des exigences minimales quant au processus de planification de ces chemins. Parmi ces exigences, figurent entre autres les trois points suivants :

- assurer la participation des personnes, organisations et services fédéraux intéressés,
- faire concorder le réseau de chemins de randonnée pédestre avec celui des cantons ou des communes limitrophes, c'est-à-dire assurer la cohérence spatiale du réseau et ce, à plusieurs échelles,
- coordonner ce réseau avec les autres activités et intérêts ayant des effets sur l'organisation du territoire (sachant que la planification des chemins de randonnée a elle-même un impact sur le territoire).

Le respect de ces exigences nécessite une planification des chemins de randonnée à une échelle régionale ou cantonale, dans tous les cas supérieure à l'échelle du massif forestier ou de l'entreprise forestière.

Un manuel publié par l'Office fédéral des routes (OFROU, 2014) propose dix objectifs (ou lignes directrices) pour guider la planification. Ces objectifs et les principes techniques correspondants reprennent et opérationnalisent les exigences de la Confédération tout en les complétant par la prise en compte des attentes des randonneurs et des autres besoins et intérêts déterminants. Ces dix objectifs sont présentés dans la Fig. 1 ci-dessous.











2.1 Attrait	
	Grande variété du tracé
	Chemins pourvus d'un revêtement adéquat
	Clarté et convivialité
	Liaison avec les transports publics
2.2 Sécurité	
	Concordance entre les catégories de chemin et les conditions réelles
	Sécurité par rapport aux véhicules
	Prévention des conflits liés à l'utilisation avec les animaux de rente
	Prise en compte des dangers naturels
2.3 Stabilité	
	Coordination avec les autres activités et intérêts ayant des effets sur l'organisation du territoire
	Accès public

Fig. 1 : Les dix objectifs de planification définis par l'Office fédéral des routes OFROU et Suisse Rando (source : OFROU, 2014)

Le manuel OFROU (2014) propose également une marche à suivre pour la planification et l'optimisation d'un réseau de chemins lors d'un remaniement (en sus des objectifs et des mesures présentées ci-dessus) :

1. vérification de l'offre d'itinéraires existante,
2. optimisation de l'offre d'itinéraire,
3. détermination des destinations intermédiaires et des catégories de chemin,
4. documentation des modifications du réseau.

Une participation précoce des personnes et organisations intéressées est indispensable pour prévenir les oppositions trop fortes, en particulier lorsqu'il s'agit de supprimer un itinéraire.

Intégration des activités récréatives à la gestion forestière

La pesée des intérêts et la définition d'une stratégie claire au niveau de la planification directrice forestière doit permettre de guider la planification de la gestion forestière à l'échelle de l'entreprise. La participation des gestionnaires au processus de planification directrice forestière permet de faire le lien entre ces deux niveaux de planification.

Pour une planification pertinente des infrastructures d'accueil du public en forêt et pour leur entretien, il est nécessaire que l'entreprise dispose de données sur la fréquentation du public dans ses forêts et surtout sur la motivation des visiteurs et leurs préférences. Une partie de ces données pourraient venir du Canton mais il est nécessaire de pouvoir travailler à une échelle, spatiale notamment, assez fine.

Pour permettre une bonne mise en œuvre de la gestion forestière sur le terrain, il est nécessaire d'établir un dialogue avec le public afin d'expliquer les raisons et le bien-fondé des interventions sylvicoles. Les résultats de l'enquête WaMos 2 (Hunziker et al., 2013) montrent que les efforts réalisés en la matière ont déjà porté leur fruit mais que la perception de la population peut encore être améliorée.

Enfin, il est possible par des mesures sylvicoles de renforcer l'attractivité de la forêt et ce, pour une large part de la population. Les recherches sur les préférences esthétiques mettent en effet en évidence une large base commune de préférences partagées au sein du public. Les préférences partagées correspondent aux attributs des écosystèmes forestiers qui évoquent systématiquement une réponse positive (respectivement négative) du public. Sur la base d'une importante revue de littérature, Caillard (2018) a identifié les attributs des écosystèmes forestiers les plus pertinents quant aux préférences esthétiques du public. Pour chaque attribut, l'auteur a spécifié la nature des préférences telle qu'elles sont décrites dans la majorité des publications concernées. Le Tab. 1 ci-dessous présente une synthèse succincte de ces résultats.

Attribut	Préférences
Eau	
L'eau courante ou dormante est un élément attractif : <ul style="list-style-type: none"> Des parcs urbains (Adinolfi et al. 2014) Des environnements naturels et forestiers (Abildtrup et al. 2013 ; Arnberger et Eder, 2011 ; Nordstrom et al. 2015) 	
Empreinte de l'homme	
Le public préfère les scènes d'apparence naturelle, avec une faible présence de signes d'intervention humaine en particulier les signes d'exploitation (Gundersen et Frivold, 2008)	
Rémanents	Branches et résidus des bois exploités ont un fort impact négatif (Edwards et al. 2012a ; Eriksson et al. 2012)
Coupes d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> Impact négatif des coupes rases (Edwards et al. 2012a ; Eriksson et Nordlund, 2013) Impact d'autant plus négatif que l'intervention est récente (Kearney et al. 2010 ; Kearney et Bradley, 2011) La coupe d'abri, la coupe rase de moins d'un hectare (< 1 ha) et la coupe rase ont un effet bien plus négatif que la coupe sélective et l'éclaircie (Kearney et al. 2010)
Motifs rectilignes	Hors du milieu urbain, les motifs rectilignes ne sont pas appréciés, notamment en ce qui concerne les coupes (Kearney et al. 2010) et l'organisation spatiale des tiges (Filyushkina et al. 2017 ; Giergiczny et al. 2015)
Eléments artificiels	Les éléments artificiels sont peu appréciés en forêt (Gerstenberg et Hofmann, 2016 ; Pastorella et al. 2017, Hegetschweiler et al. 2017)
Chemins	Le public apprécie la présence de chemins (Meo et al. 2015), surtout lorsqu'ils sont larges (Herzog et Kirk, 2005), bien entretenus (Arnberger et Eder, 2015) et en accord avec l'environnement naturel (Kearney et Bradley, 2011 ; Arnberger et Eder, 2015)
Eléments culturels	Les éléments historiques participent à l'attractivité des sites forestiers (Kienast et al. 2012 ; van Herzele et Wiedemann, 2003)
Signes de soin	Les signes de présence humaine peuvent être perçus positivement s'ils traduisent une intention de soin et non une transformation utilitaire (Eriksson et al. 2012) et qu'ils s'intègrent dans l'environnement naturel (van den Berg et al. 2014)
Végétation	
Bois mort	Le bois mort est globalement mal perçu (Eriksson et al. 2012), sauf éventuellement en cas de faible quantité (Giergiczny et al. 2015) ou après d'un public connaissant sa valeur écologique (Hauru et al. 2014)
Densité	Les couverts forestiers (très) ouverts sont préférés par le public (Meo et al. 2015 ; Eriksson et al. 2012 ; Nordstrom et al. 2015)
Sous-étage	La présence d'un sous-étage est appréciée (Giergiczny et al. 2015 ; van der Wal et al. 2014) sauf s'il est haut (Hansson et al. 2012) ou très dense (van der Wal et al. 2014)
Couverture du sol	La présence d'une couverture végétale au sol est préférée à un sol nu (Giergiczny et al. 2015) et la préférence augmente avec la proportion de couverture herbeuse (Kearney et Bradley, 2011)
Stades de développement et dimensions des arbres	<ul style="list-style-type: none"> Les arbres matures de grande dimension sont généralement préférés (Filyushkina et al. 2017 ; Hansson et al. 2012) et constituent un élément important de l'attractivité des forêts (Edwards et al. 2012b). Les arbres au houppier large sont aussi très appréciés (Gerstenberg et Hofmann, 2016 ; Hofmann et al. 2017), notamment si leur tronc est relativement court (Gerstenberg et Hofmann, 2016)
Diversité	
Diversité au niveau du paysage	Le public préfère les paysages diversifiés (également en termes d'utilisation des sols) aux paysages homogènes (Kienast et al. 2012)
Diversité au niveau massif	L'attractivité d'une forêt augmente avec la variation entre les peuplements (Edwards et al. 2012a ; Giergiczny et al. 2015 ; van der Wal et al. 2014, Eriksson et al. 2012), celle-ci se caractérisant par les variations dans l'âge, le mode de gestion, la composition en essences, la densité et la structure de la végétation
Diversité au niveau du peuplement	<ul style="list-style-type: none"> Le public différencie grossièrement les arbres selon leur type résineux/feuillus, la forme du houppier, le ratio largeur du houppier/hauteur du tronc et la densité du feuillage (Gerstenberg et Hofmann, 2016) La diversité visuelle au niveau du peuplement est un facteur d'attractivité important (Filyushkina et al. 2017) Le public préfère les peuplements présentant un mélange d'essences (Filyushkina et al. 2017) mais tendent à préférer les feuillus (Abildtrup et al. 2013 ; Colson et al. 2010)
Diversité de la topographie	Le public tendrait à préférer les reliefs vallonnés aux reliefs plats (Arnberger et Eder 2011, Hansson et al. 2012)
Autres attributs	
Sons	<ul style="list-style-type: none"> Les sons urbains sont considérés comme une pollution sonore en milieu naturel (Hauru et al. 2014), par ex. les bruits de trafic (Kienast et al. 2012 ; Arnberger et Eder, 2015, Nordstrom et al. 2015) Les sons naturels sont perçus positivement, ex. le bruit du vent dans les arbres ou de l'eau (Kangas et al. 2015), ou les chants d'oiseaux (de Sang et al. 2016)
Accès visuel et physique	<ul style="list-style-type: none"> La visibilité, synonyme de distance de vue ou d'accès visuel, est préférée par le public (Edwards et al. 2012a, Gerstenberg et Hofmann, 2016) La longueur et la largeur d'un chemin, ainsi que la perméabilité de sa bordure déterminent la visibilité
Perspective	Les endroits procurant une vue d'ensemble des environs sont préférés (Hegetschweiler et al. 2017 ; Pastorella et al. 2017)
Refuge	Les individus préfèrent les sites présentant un élément structurel pouvant servir d'abri (Kaplan et Kaplan, 1989) : buissons, végétation plus haute, les arbres avec un large houppier (Jorgensen et al. 2002)
Saisons	<ul style="list-style-type: none"> Les variations saisonnières influencent l'expérience du visiteur (Nielsen et al. 2012 dans Hegetschweiler et al. 2017) La saison de floraison et l'automne (marquées par le changement de couleur du feuillage) sont les saisons préférées (Pastorella et al. 2017)

Tab. 1 : Présentation des principales préférences esthétiques en forêt partagées par le public

Partie 3 - Etude de cas : l'intégration des activités récréatives dans la gestion des forêts de la Ville de Lausanne

1. La pesée des intérêts et la définition des fonctions prépondérantes au niveau de la planification directrice forestière

Dans les forêts de la Ville de Lausanne (et de manière générale, dans les forêts de la Région Centre du Canton de Vaud), les antagonismes entre le service d'accueil du public et les autres services écosystémiques rendus par la forêt ne concernent qu'une faible proportion de la surface forestière. Les surfaces sur lesquelles il est nécessaire d'arbitrer en faveur de la fonction d'accueil sont situées à l'intérieur ou à proximité de l'agglomération lausannoise, où se concentrent les activités récréatives.

Il existe des méthodes systématiques et objectives qui fournissent une base pour établir la carte des fonctions (vocations) prépondérantes. Par ex., l'approche de *Systematic conservation planning* (Margules et Pressey, 2000) permet de quantifier la valeur biologique d'une forêt de manière spatialisée. Toutefois, il manque des données objectives, systématiques et spatialisées sur la fréquentation, les attentes et les caractéristiques sociodémographiques du public en forêt. Ces informations sont essentielles pour la définition de stratégies d'accueil du public en forêt. La mise en place d'observatoires des activités récréatives et la définition d'une stratégie claire pour l'accueil du public en forêt est un des défis actuels importants du processus de planification directrice forestière.

Bien que la pression exercée par le public sur le territoire forestier lausannois soit à l'heure actuelle globalement supportable, elle devrait s'accroître et pourrait devenir problématique dans un futur proche, notamment du point de vue des conflits entre types de visiteurs. La tendance actuelle est en effet à une hausse de la fréquentation des forêts et à une diversification des types d'activités, vers des formes de récréations plus actives. La bonne intégration des activités récréatives au sein des processus de planification et de gestion forestières va donc devenir de plus en plus importante.

2. Impact des activités récréatives sur la gestion forestière

Impact de la fréquentation d'un massif sur le plan de gestion et sur les interventions sylvicoles

La forte fréquentation par le public d'un massif forestier exerce une contrainte forte sur le dimensionnement et la sécurisation des coupes. Dans les forêts de la Ville de Lausanne, plusieurs cas de figure différents permettent de se représenter la question.

Les grands massifs périurbains tels que le Jorat se rapprochent le plus d'une forêt de production au sens classique du terme (production dans une logique de sylviculture proche de la nature et multifonctionnelle). La production y est la fonction prépondérante, suivie de la fonction biologique et enfin, de la fonction d'accueil ; dans ces massifs, l'exploitation du bois peut encore se faire par de grosses coupes de 500 à 800 m³, permettant des économies d'échelle. Il existe certes un surcoût d'exploitation lié à la sécurisation vis-à-vis des visiteurs en forêt, une à deux sentinelles sont par exemple nécessaires pour une coupe. Cette situation s'explique par une pression douce des visiteurs en forêt du fait d'une fréquentation diluée sur de grandes surfaces.

Dans les massifs urbains, les fonctions d'accueil du public et la fonction biologique priment globalement sur la fonction de production. Cependant, la situation est variable d'un massif à l'autre et au sein d'un massif, d'une unité de gestion à l'autre, ce qui traduit le fait que dans les massifs urbains, la planification et la gestion se font sur une mosaïque beaucoup plus fine que dans les grands massifs périurbains. Cela est dû à l'importance de la fonction de protection le long des cours d'eau en milieu urbain ainsi qu'à l'importance de la fonction d'accueil. La volonté d'intégrer ces deux fonctions aux deux autres dans le cadre d'une gestion multifonctionnelle sur de petites surfaces forestières justifie cette fine mosaïque.

En ce qui concerne la réalisation des coupes dans les massifs urbains, il s'agit globalement d'intervenir souvent mais modérément par petites coupes de 80 à 120 m³ afin de limiter les réactions négatives chez les riverains et autres groupes d'intérêt. Par ailleurs, les coupes sont

menées le plus rapidement possible car cela limite l'installation potentielle de conflits avec ces mêmes personnes.

En outre, pour les interventions en massif urbain, les collaborateurs sont habillés de manière plus visible et sont équipés de radios leur permettant de communiquer entre eux. Cette communication par radio est essentielle en termes de sécurité et d'efficacité. L'effort humain et financier pour assurer la sécurisation des coupes en milieu urbain est élevé, il faut ainsi compter parfois jusqu'à 10 sentinelles pour une coupe. Pour ces coupes en milieu urbain, une information préalable et multicanale (contacts directs, sites internet, réseaux sociaux, etc.) est essentielle. Un budget important est d'ailleurs alloué à cette communication. De manière générale, la communication fonctionne bien lorsqu'il s'agit de dialoguer de manière bilatérale mais moins bien lorsqu'il s'agit de faire face à une action collective.

Dans les micromassifs urbains (1 à 10 ha), la gestion se fait à une échelle spatiale encore plus fine du fait de contraintes liées à l'environnement urbain encore plus fortes. Les martelages et interventions se font presque au niveau de l'arbre, 2 à 3 pièces à la fois. Le martelage se fait toujours à deux afin de pouvoir discuter les décisions car il y a beaucoup de facteurs à prendre en compte et il faut être très précis. En cas de plainte, il faut pouvoir parfaitement justifier les décisions.

Une autre caractéristique des micromassifs, que l'on retrouve dans les autres massifs urbains mais dans une moindre mesure, concerne les accès très limités et difficiles pour l'exploitation forestière. La coupe et la sortie des bois doivent s'adapter à chaque contexte particulier. En fonction du contexte, divers moyens peuvent être utilisés : camion, câble-grue, cheval mais aussi hélicoptère.

En lien avec l'impératif de communication auprès de la population et des riverains et surtout du fait de ces accès difficiles, un dialogue continu avec les gestionnaires et gérants d'immeubles situés dans le voisinage des micromassifs est nécessaire. De ce fait, les compétences sociales du garde forestier chargé des massifs urbains sont essentielles et il faut plusieurs années à ce poste pour développer les relations nécessaires.

L'entretien des infrastructures d'accueil du public et son impact sur la biodiversité

Il est nécessaire, tout du moins légalement, de sécuriser les alentours des infrastructures d'accueil du public. En général, la sécurisation des chemins et sentiers forestiers se fait par l'abattage des arbres instables ou morts sur une bande d'environ 20 à 30m (une hauteur d'arbre) de chaque côté du chemin. La surface à sécuriser n'est donc pas négligeable pour un massif qui serait parcouru par un réseau de chemins et sentiers dense comme cela peut être le cas dans une zone périurbaine.

Cette sécurisation a comme inconvénients le fait que certains arbres instables sont abattus alors qu'ils sont porteurs d'habitats (notamment des dendromicrohabitats) et que ces arbres et les arbres morts, s'ils sont sortis du massif au moment de l'exploitation, ne fourniront pas de bois mort comme substrat aux espèces saproxyliques (coléoptères, champignons). Ces problèmes peuvent néanmoins être atténués en utilisant des concepts de sécurisation en forêt qui permettent de moins intervenir au prix d'un monitoring détaillé et d'interventions régulières. Concrètement, il s'agit de ne pas abattre systématiquement les arbres instables s'ils peuvent être sécurisés au niveau des branches par élagage spécifique et que le risque au niveau de l'arbre est jugé acceptable. En cas d'abattage, l'arbre peut être laissé sur place pour faire du bois mort. A Lausanne, ce concept est déjà employé à petite échelle pour la sécurisation d'îlots de sénescence en zone urbaine.

Cette solution, bien que coûteuse, pourrait permettre de résoudre certaines situations problématiques. Par ex. une sécurisation « classique » entrerait en contradiction avec les objectifs d'une réserve intégrale. Or lors d'une mise en réserve dans un massif périurbain, par ex. dans le Jorat (en projet), il est très difficile de faire accepter socialement et politiquement la suppression de sentiers et chemins.

Le renforcement de l'attractivité par l'aménagement d'infrastructures et par la sylviculture

Les mesures liées à la canalisation et à l'orientation du public sont essentielles pour ménager des zones à la fréquentation plus faible, par ex. dans un but de protection de la biodiversité. Au-delà d'une obstruction douce à l'accès de ces zones, il est possible d'atteindre cet objectif de canalisation en proposant au public des chemins et infrastructures attractifs autre part. Les aménagements, linéaires et ponctuels, qui permettent la canalisation du public peuvent par exemple être des sentiers, des chemins pour VTT, des sentiers équestres, des ponts, des fontaines, des bancs, des tables à pique-nique ou des emplacements de barbecue, toujours bien entretenus. Cette attractivité différenciée peut être organisée à différentes échelles, même à petite échelle. Par ex., il peut s'agir d'attirer les visiteurs en un seul point au bord d'un étang pour éviter les dégâts à la végétation tout autour de celui-ci.

La sylviculture joue aussi un rôle important pour la canalisation des usagers et la qualité des conditions d'accueil du public en forêt. Elle peut être par exemple utilisée pour renforcer l'esthétique forestière dans les zones où l'on souhaite attirer le public (il s'agit par ex. d'obtenir des « faux vieux », c'est-à-dire des arbres de grande dimension, qui plaisent au public, mais qui sont aussi jeunes donc stables et vitaux).

Introduction générale

L'importance de la forêt suisse comme espace récréatif n'est plus à démontrer. Les précédentes enquêtes menées au niveau national (OFEV et WSL, 2013) ont permis de caractériser la grande importance de la forêt pour les populations, ainsi que la fréquence élevée des visites en forêt. Certains chiffres illustrent avec éloquence l'importance des activités récréatives en forêt : en Suisse, elles concernent 90% de la population et leur valeur socioéconomique annuelle est estimée entre 2 et 4 milliards de francs (OFEV, 2018).

Cependant, l'ampleur des activités récréatives pose certains défis, notamment écologiques et économiques (voir Bernasconi et Schrott, 2008, Volz et Mann 2006, Ammer et Pröbst, 1991). Ces activités ont en effet un impact sur la biodiversité (ex. dérangements de la faune, prélèvements et apports de matériel vivant) et de manière générale sur la qualité de l'habitat forestier (ex. occupation du sol par des infrastructures telles que les chemins, fragmentation des habitats, compactage ou érosion du sol). Au-delà des questions de biodiversité, les activités récréatives entrent également en interaction avec les autres types de services écosystémiques forestiers : protection des personnes et des infrastructures contre les dangers naturels, et production de bois, qui forment souvent l'assise économique des propriétaires forestiers. A ce jour, il n'existe pas encore de vision d'ensemble claire sur la nature et l'ampleur de cet impact et de ces interactions. Cette étude se propose de faire un état des connaissances disponibles.

Afin de garantir la pérennité du service de récréation offert par les forêts suisses (qui revêt une signification particulière pour environ 15% de la surface forestière suisse), l'Office fédéral de l'environnement a élaboré en collaboration avec les acteurs concernés une stratégie devant assurer la gestion durable des forêts offrant un service de récréation. Cette stratégie répond à trois défis : 1) un défi social visant à limiter les conflits entre visiteurs et à garantir l'attractivité des forêts, notamment dans l'optique que celles-ci continuent à jouer un rôle positif sur la santé publique, 2) un défi écologique visant à limiter ou réduire les effets des activités de loisirs et de détente en forêt sur l'écosystème forestier afin de préserver la diversité des habitats et des espèces en forêt, et 3) un défi économique visant à garantir le financement de l'accueil du public en forêt assuré par les propriétaires forestiers.

La stratégie de l'OFEV est déclinée en six objectifs, deux pour chacune des dimensions concernées. Ces objectifs sont présentés dans le **Tab. 2**.

Dimensions	Objectifs
Dimension sociale	Objectif 1 : La population utilise la forêt et contribue ainsi à la promotion de son activité physique et de sa santé physique et mentale.
	Objectif 2 : La gestion des forêts offrant en priorité un service de récréation prend en compte les activités de loisirs et de détente.
Dimension écologique	Objectif 3 : Les visiteurs adoptent un comportement respectueux envers l'écosystème forestier.
	Objectif 4 : La gestion des activités de loisirs et de détente garantit la préservation d'un écosystème forestier sain.
Dimension économique	Objectif 5 : Les outils et documents de base facilitant la valorisation économique du service de récréation en forêt sont développés.
	Objectif 6 : Les questions juridiques relatives à la responsabilité lors d'accidents durant une activité de détente ou de loisirs en forêt sont clarifiées et communiquées de manière vulgarisée.

Tab. 2 : Les six objectifs de la Stratégie pour la récréation en forêt de l'OFEV

Chacun de ces six objectifs est ensuite décliné en mesures concrètes dont la réalisation incombe à la Confédération et ses partenaires. Cette étude a pour objectif initial de répondre à la mesure 3.1, inscrite dans l'objectif 3 (dimension écologique). Cette mesure est formulée de la manière suivante : « La Confédération analyse les effets réciproques entre les activités de loisirs et de détente, l'écosystème forestier, sa diversité d'habitats et d'espèces et ses autres services écosystémiques

(prévention de l'érosion, approvisionnement en produits ligneux). » Cette mesure a constitué le point de départ de cette étude, l'angle selon lequel la revue de littérature et l'étude de cas ont été abordées. Les informations collectées et synthétisées dans ce rapport ont en revanche une portée bien plus large car la littérature et la réalité sur le terrain ne sont pas cloisonnées de cette manière.

Cette étude est constituée de trois parties : 1) une revue de la littérature portant sur les impacts des activités récréatives sur la biodiversité forestière et l'habitat forestier, 2) une revue de la littérature portant sur l'intégration des activités récréatives à la planification et à la gestion forestières, et 3) une étude de cas basée sur les forêts de la Ville de Lausanne et portant sur l'articulation entre les activités récréatives et les autres services rendus par la forêt en milieu urbain/périurbain. Les résultats respectifs sont présentés, synthétisés et discutés dans les trois parties de ce rapport. Une synthèse comparative des trois parties est présentée à la fin de ce rapport, en guise de discussion générale.

Partie 1 - L'impact des activités récréatives sur la biodiversité en forêt : état des lieux et mesures d'atténuation

Valère Martin

Takeaways

- Les activités récréatives impactent négativement la biodiversité. Dans le contexte de l'intensification et de la diversification de ces activités, l'incidence sur les espèces est importante et *a priori* croissante.
- Les oiseaux sont négativement impactés par les pratiques récréatives en forêt au niveau des populations et des communautés. L'impact se produit par contact visuel entre l'oiseau et les personnes exerçant une activité récréative, mais aussi à travers la présence des infrastructures d'accueil du public, les chiens, ainsi que les bruits et les lumières artificielles.
- Les grands mammifères sont affectés négativement par les activités récréatives à l'échelle des populations. L'impact se produit surtout par contact visuel entre l'animal et les personnes mais aussi à travers la présence de chiens. Il existe très peu d'informations sur les petits mammifères.
- Toutes les activités récréatives impactent la faune (mammifères et oiseaux). L'impact des activités aériennes est cependant amoindri par la protection visuelle fournie par la canopée et, l'équitation exerce en général un impact plus faible.
- La densité et la distribution spatiale des infrastructures et des usagers sont des déterminants prépondérants des impacts. Tous les éléments, comme des buissons, qui dissimulent les visiteurs aux animaux et inversement, permettent une cohabitation plus étroite.
- L'impact sur d'autres taxons comme les insectes, les reptiles et les batraciens n'est *a priori* pas connu. Cet impact se matérialise probablement en premier lieu par la qualité et la quantité des habitats favorables qui sont modifiées par les activités récréatives.
- La végétation et le sol au niveau des sentiers et de leur voisinage sont fortement impactés par les activités récréatives. La surface impactée est comparativement faible mais devient importante en proportion lorsque ces sentiers traversent des biotopes particuliers de petites tailles.
- Dans un écosystème fortement interconnecté, un impact sur une espèce affecte également d'autres espèces. Une approche multi-espèces est donc indispensable pour apprécier les impacts des activités récréatives, *a fortiori* sur un territoire limité.
- La généralisation des résultats de la littérature est un défi majeur du fait des incertitudes liées au contexte, telles que le type et l'intensité des activités récréatives, le contexte socioculturel, l'aménagement du territoire et la structure de la végétation. Cette revue a mis en exergue le besoin de protocoles de mesure des activités de loisirs.
- L'évolution rapide des technologies et des méthodes pour étudier l'impact des activités de loisirs sur la biodiversité influence fortement les résultats. La grande majorité des études amène des éléments éthologiques ponctuels. Peu d'études apportent des éléments sur l'impact réel sur les populations et le taux de reproduction dans le long terme.

1. Introduction

1.1 L'objectif de cette revue de littérature

L'objectif de cette revue de littérature est d'offrir un large panorama des impacts possibles et avérés des activités récréatives sur la biodiversité forestière. Ce panorama a pour objectif d'être le plus pertinent possible pour la Suisse. Ce faisant, il s'agit également de présenter et d'analyser de manière critique les différentes méthodologies utilisées pour mesurer ces impacts. Enfin, il s'agit d'identifier les bonnes pratiques, souvent liées à des études pratiques d'impacts environnementaux, qui permettent de les atténuer.

Les paragraphes suivants apportent des précisions sur le cadre de cette revue de littérature.

1.2 Une typologie des activités récréatives

Les « activités récréatives » sont ici considérées de manière assez large. Il s'agit de l'ensemble des activités non-professionnelles pratiquées en forêt dans un but de loisirs et de détente. Le Tab. 3 présente une typologie des principales activités récréatives identifiées en forêt.

Activité récréative	Périodes	Caractéristiques
Promenade/Randonnée à pied	Toute l'année, aussi dans la neige	<ul style="list-style-type: none">• Accès aux sites par transports motorisés²• Fortement associée aux sentiers et chemins
Pique-nique, fête de plein air	Toute l'année, aussi dans la neige	<ul style="list-style-type: none">• Statique• Places réservées ou créées par une utilisation répétée• Potentiellement bruyant (jour et nuit)• Lumières (ex. feux de bois) la nuit
Sortie des chiens	Toute l'année, aussi dans la neige	<ul style="list-style-type: none">• Associée aux autres activités• Une activité en soi
VTT	Toute l'année	<ul style="list-style-type: none">• Développement du VTT électrique• Souvent sur des chemins• Parfois sur des parcours sauvages créés par une utilisation répétée• Individuel ou en groupe• Course organisée• Grandes distances parcourues• Développement du VTT de descente comme activité estivale dans les stations de ski

² L'accès par transports motorisés (publics ou individuels) aux sites pour exercer une activité récréative est souvent un prérequis à toutes les formes d'activités récréatives (à l'exception des forêts urbaines et péri-urbaines).

Autres cycles : Trottinettes (électriques), skateboard, roller, etc.	Toute l'année, sans neige	<ul style="list-style-type: none"> • Surtout sur les chemins goudronnés • Individuel ou en groupe • Potentiellement bruyant (bruit de roulement), comme sur les pontons en bois ou des chemins en caillasse
Course à pied (jogging)	Toute l'année	<ul style="list-style-type: none"> • Individuel ou sous forme de course organisée • Sur parcours (Vita) ou chemins/sentiers • Course d'orientation
Randonnée équestre	Toute l'année	<ul style="list-style-type: none"> • Sur des chemins • Localisé près des centres équestres
Randonnée en raquettes	Hiver	<ul style="list-style-type: none"> • Potentiellement indépendant des chemins ou d'infrastructures spécifiques • Parcours balisés proposés • Parcours différents des randonnées à ski • Souvent en groupe
Randonnée à ski	Hiver, printemps	<ul style="list-style-type: none"> • Indépendant des parcours balisés • Parcours spécifiques proposés • Souvent en groupe
Ski de piste et de fond	Hiver	<ul style="list-style-type: none"> • Lié à des infrastructures et des parcours • Enneigement artificiel
Ski « <i>freeride</i> »	Hiver	<ul style="list-style-type: none"> • En dehors des parcours officiels • Bénéficie des infrastructures du ski de piste
Escalade en plein air	Printemps, été, automne	<ul style="list-style-type: none"> • Cette activité est considérée de manière marginale, dans le cas de falaises en forêt
Photographie et observations	Toute l'année	<ul style="list-style-type: none"> • Chartes d'éthiques liées à ces pratiques pas toujours bien respectées
Pilotage de drones	Toute l'année	<ul style="list-style-type: none"> • Dans les airs, au-dessus ou en forêt • Bruyant • Aussi sur des sites inaccessibles par l'homme • Aussi utilisation professionnelle
Parapentes, Ailes Delta, Ballon à air chaud	Toute l'année	<ul style="list-style-type: none"> • Dans les airs • Survol des forêts • En partie masqué par la canopée
Motocross (Enduro), Motoneige, Quad	Printemps, été et automne	<ul style="list-style-type: none"> • Très réglementés • Pratiques illégales avérées sur les chemins en forêt et hors chemins
Courses de voitures et rallyes	Avril - Octobre	<ul style="list-style-type: none"> • Considérée marginalement • Une éventuelle utilisation illégale des chemins forestiers avec des véhicules motorisés n'est pas considérée
Sports d'eau (Kayak, Canyoning, Rafting, balades sur l'eau)	Printemps, été et automne	<ul style="list-style-type: none"> • Accès à des zones inaccessibles à pied • Certains dérangements sont similaires à ceux causés par les autres activités mais transposés sur les voies d'eau • Associé aussi aux « pique-niques » sur les berges, parfois inaccessibles autrement

Activités avec prélèvements (cueillette de baies, champignons, bois de feu, etc.)	-	<ul style="list-style-type: none"> Ces activités ne sont pas considérées dans cette revue (par choix)
---	---	--

Tab. 3 : Résumé des activités considérées pour la recherche de littérature

D'une manière générale, comme les loisirs de plein air sont en forte augmentation, l'impact de ces loisirs sur la vie sauvage est devenu une préoccupation importante des biologistes et des défenseurs de l'environnement (Steidl et Powell, 2006). Les loisirs prennent des formes très diverses et cette diversité a fortement augmenté dans les dernières années, comme par exemple avec les drones ou le VTT de descente. Les loisirs sont pratiqués à tout instant du jour et de la nuit, tous les jours, avec toutefois des concentrations spatiales et temporelles comme dans les forêts urbaines et les week-ends. L'effet « week-end » est engendré par les loisirs et désigne le phénomène qui voit la fréquentation humaine des zones naturelles (par opposition aux zones urbaines) augmenter voire exploser le samedi et le dimanche (par beau temps). Dans notre société, les loisirs sont presque toujours liés à des déplacements depuis le domicile (voitures, trains, bus, motocycles, vélos électriques). A des fins d'exhaustivité pour évaluer l'impact total des activités de loisirs, l'impact de ces déplacements sur la biodiversité devrait également être considéré. Cet impact des transports est toutefois très général et ne s'exerce pas exclusivement sur l'écosystème forestier.

1.3 Les formes de récréation considérées

La plupart des classifications des formes de récréation séparent les activités récréatives avec consommation (chasse, pêche, collecte de bois, prélèvements d'organismes et de matériels) et les activités sans consommation (marche, pratique du vélo, courses à pied, observations de la nature). Cette étude se focalise sur les activités récréatives sans prélèvement. La nature même d'une activité de prélèvement diffère beaucoup de celle des autres activités car ces activités de prélèvement se déroulent essentiellement en dehors des sentiers et chemins balisés. Cet impact s'exerce donc différemment des autres activités qui se concentrent autour des infrastructures existantes, exception faite des randonnées à ski, du ski « freeride » ou des randonnées en raquettes. L'impact exercé sur la biodiversité par une activité de loisirs dépend de son type mais aussi de son intensité, c'est-à-dire de sa popularité. La littérature scientifique se focalise principalement sur l'impact des activités populaires telles que la randonnée, la pratique du VTT ou encore la pratique du ski. La randonnée pédestre est le type d'activité récréative en plein air la plus pratiquée, devant le ski de piste puis le VTT (Ingold, 2005). Les Suisses sont 44% à pratiquer la randonnée pédestre, ce qui se traduit par 2.7 millions de randonneurs potentiels (Fischer, 2015). Un tiers des randonnées durent moins de 2 heures. En 2014, un sondage a montré que 44% des Suisses pratiquent le vélo sous toutes ses formes (VTT, vélo de route et vélo de ville), voir Rikus (2015). La pratique du VTT concerne selon cette étude 400'000 personnes.

Le fait de promener un chien est également assimilé à une activité récréative. Et inversement, les contraintes liées à la possession d'un chien engendrent des activités de loisirs, typiquement sous la forme de promenades. La plupart des études sur la question portent sur les chiens. Dans cette revue, les chats ne sont mentionnés que marginalement car ils n'accompagnent pas les propriétaires sur les chemins forestiers. Leur impact dans les forêts péri-urbaines, plutôt en lisière, est cependant notable, par exemple sur l'avifaune et sur les reptiles (Pavisse et al., 2019 ; Trouwborst et Somsen, 2019). La pratique équestre est également considérée comme une activité récréative ; le cheval ne possédant plus sa fonction d'antan dans l'agriculture et la foresterie.

En accord avec le mandant, la chasse n'est pas considérée dans cette étude car il s'agit d'une thématique à part entière. Les effets positifs ou négatifs du nourrissage des animaux à des fins de loisirs et pour la chasse n'ont pas non plus été examinés.

1.4 Les infrastructures d'accueil et de transport

Pour la pratique de certaines activités récréatives, les infrastructures sont déterminantes tant par leur qualité que par leur densité.

Ces infrastructures sont principalement des chemins et sentiers forestiers, des places de pique-nique, des remontées mécaniques, des routes d'accès ou des places de parking pour accéder aux lieux où se pratiquent les activités. Les pratiquants des activités de loisirs cherchent dans les infrastructures du confort et de la facilité (Crausaz, 2018). Crausaz (2018) propose par exemple des adaptations des parcours pour en améliorer le confort sur la base d'un sondage des utilisateurs. Les infrastructures facilitent, voir incitent, à la pratique d'une activité de loisirs sur un site donné. Certaines activités peuvent s'exercer sans infrastructures de confort, comme le ski de randonnée ou la raquette à neige (mais même dans ces cas, ces infrastructures sont recherchées (Crausaz, 2018). D'autres activités peuvent créer par une utilisation répétée ces infrastructures de confort, par exemple dans le cas d'une fréquentation intense et hors-piste en VTT d'une même trajectoire. Les infrastructures, en offrant des facilités de déplacement et ce confort d'utilisation permettent d'attirer les visiteurs et aussi de canaliser les flux de visiteurs sur un site donné

Pour illustrer cet effet de canalisation, 80% de la population utilisent au moins occasionnellement les sentiers balisés (Fischer, 2015). Des enquêtes ont montré que les usagers de ces sentiers estiment que la qualité des sentiers et la signalisation des destinations sont importantes. Dans le même sens, 75% des pratiquants du VTT estiment en outre qu'un bon état des chemins sur les parcours VTT est important (Rikus, 2015).

Comme mentionné ci-dessus, une deuxième condition pour réaliser des activités récréatives est une connexion des sites de loisirs au réseau de transports motorisés, exception faite dans une certaine mesure des forêts urbaines et péri-urbaines. La moitié des randonneurs utilisent par exemple la voiture pour se rendre sur le site de la randonnée (Frick, 2015). En Suisse, la distance journalière moyenne effectuée pour les loisirs en transports motorisés (tous types confondus) est de 16.3 km /jour par personne (chiffres de 2015, OFS, 2017) sur une distance moyenne parcourue de 36.8 km /jour tous buts confondus (OFS, 2017). Les loisirs représentent donc presque 50% des déplacements.

L'impact des transports pour exercer les activités récréatives n'a pas été examiné dans le cadre de cette étude car il s'agit d'une thématique à part entière, allant au-delà du cadre de cette revue de littérature, centrée sur la récréation en forêt. Cet impact sous la forme d'une mortalité directe sur les animaux ou par effet de barrière et de fragmentation de l'habitat (Ascensão et al., 2019, Ceia-Hasse et al, 2018) n'est pourtant pas négligeable sur la biodiversité. Si on se rapporte aux chiffres de l'OFS (OFS, 2017) cités ci-dessus, la moitié de cet impact peut être attribué aux activités récréatives. L'impact associé à ce transport devrait donc être ajouté à l'impact sur le site même de l'activité, en particulier dans les régions singulières, parfois éloignées, avec une forte attractivité. Les transports, d'une manière générale, ont un impact important, sur la biodiversité. Ils occasionnent de nombreuses collisions mortelles avec tous les taxons examinés ci-après : insectes, batraciens, oiseaux, mammifères, reptiles.

Les loisirs motorisés, conduite « off-track » ou sur chemin non goudronné, en voitures, quads, motoneiges ou motocross sont mentionnés marginalement dans le cadre d'études comparatives et, à titre informatif uniquement. Cet impact est en particulier bien étudié en Amérique du Nord, où cette pratique légale est plus répandue qu'en Europe et en Suisse. Cependant, la pratique illégale du motocross ou du quad en forêt (enduro), comme de la motoneige est une réalité en Suisse (Canton du Jura 2018 ; obs. pers. et com. pers.) et, est reconnue comme une nuisance pour l'environnement par les autorités (Canton du Jura 2018). Comme la loi l'interdit formellement (sauf exceptions³), ce type d'activité n'est pas considéré dans cette revue. Par opposition, la pratique légale du VTT classique ou électrique, est en revanche considérée. A noter qu'une différenciation entre le vélo électrique et classique n'a pas été faite dans la littérature consultée. Le vélo électrique permet certainement d'atteindre des régions plus reculées, de parcourir de plus grandes distances,

³ Dans certaines situations (accès à une habitation par exemple), la motoneige est autorisée sur les chemins forestiers en cas d'accès impossible avec un autre type de véhicule à moteur (par exemple dans le Canton de Neuchâtel).

de se déplacer à des vitesses plus élevées et renforce probablement la fréquentation du public dans les zones avec une topographie difficile. Ces aspects n'ont pas été développés dans les études examinées.

En lien avec ces questions de transport, la diffusion généralisée de systèmes de navigation GPS sur smartphones a favorisé une fréquentation croissante de certaines zones reculées. Par exemple, dans la forêt du Risoud (VD) où le risque de se perdre n'est pas négligeable, le GPS a fait disparaître cette crainte et les forestiers locaux constatent une présence de randonneurs dans des secteurs auparavant très peu ou pas utilisés (propos recueillis auprès de Pierre Alfter, collaborateur dans la Division Forêts de l'OFEV).

1.5 Quelques définitions : dérangement, perturbation, impact, effet

Dans la littérature anglophone, on distingue les dérangements ou perturbations naturelles (« natural disturbance ») des dérangements humains (« human disturbance »). Seuls ces derniers sont traités dans cette revue, en excluant les activités professionnelles comme l'exploitation forestière.

Plusieurs définitions de perturbation ou de dérangement (des termes utilisés dans ce document de manière interchangeable) sont utilisées dans la littérature. De manière basique et générale, une perturbation correspond à « une situation modifiant le comportement d'un animal ». La littérature fournit parfois un énoncé plus technique tel que : « un phénomène qui amène un changement significatif dans la dynamique d'une population ou du caractère éco-éthologique d'une population » (Blanc et al., 2006). Dans ce document, cette définition importe peu car la plupart des auteurs ne précisent pas leur compréhension sémantique du mot « dérangement » et les termes « impact » et « effet » (d'une perturbation) sont utilisés de manière interchangeable. Certains auteurs ne parlent d'impact que lorsqu'une population animale est concernée. Le terme perturbation (de l'environnement) est dans ce cas utilisé pour décrire l'influence plus générale de la pratique des activités récréatives dans l'écosystème. Ce terme souligne le caractère ponctuel des activités récréatives dans le temps et l'espace.

1.6 La zone géographique considérée

Le focus principal de l'étude est la Suisse mais de nombreuses références sont basées sur des études à l'étranger. En particulier, la littérature scientifique est très abondante pour l'Amérique du Nord, l'Australie (végétation de type alpine), l'Europe du Nord (Fennoscandinavie) et dans une certaine mesure l'Europe de l'Est. En dehors des différences biogéographiques et stationnelles (la végétation et une partie de la faune alpine se retrouvent cependant en Scandinavie), les différences socioculturelles et en termes d'aménagements du territoire ne permettent pas toujours de bien transposer ces résultats au contexte Suisse. Toutefois, si l'importance respective des différents impacts et les mesures d'atténuation sont parfois difficilement transposables, la typologie des impacts identifiés dans ces études à l'étranger reste pertinente pour le cas suisse.

1.7 Les espèces considérées

Les taxons qui nous ont semblé pertinents dans le contexte des dérangements occasionnés par les activités récréatives sans-prélèvement ont été inclus, même si la littérature sur certains groupes est très lacunaire, voire inexistante. A l'opposé, de nombreuses études traitent d'espèces communes pour des raisons pratiques ou éthiques. Ces résultats ne peuvent être extrapolés que dans une certaine mesure pour des espèces menacées ou peu fréquentes. L'étude de ces espèces est en effet plus complexe (aspects pratiques mais aussi éthiques).

Dans les faits, certains groupes ne sont pas mentionnés, comme par exemple les mollusques ou les annélides. Pour ces groupes, l'impact réel, direct et indirect est difficile à évaluer. On pensera par exemple aux escargots écrasés lors d'une randonnée, alors qu'un tiers des espèces Suisse est menacé de disparition (Source : Liste Rouge des Mollusques de Suisse). Le sol « vivant », comme

habitat des microorganismes et des invertébrés mais aussi comme support à l'épanouissement des plantes, a été considéré en plus des autres taxons.

1.8 Les milieux naturels considérés

Certaines études effectuées en dehors des forêts ont été citées, soit parce qu'elles illustraient bien la problématique des impacts, soit parce qu'elles amenaient des résultats complémentaires pertinents pour certains groupes d'espèces ou encore parce qu'elles permettaient de poser des bases théoriques ou méthodologiques importantes. Un effort particulier a été mis sur l'identification de toutes les sources et causes de dérangements et leurs impacts, indépendamment des espèces étudiées. L'objectif est de cerner globalement la problématique des dérangements sur l'environnement. Se limiter aux études en forêt ne permettrait pas d'obtenir une vue d'ensemble sur les impacts tels qu'ils s'exercent dans le contexte forestier. Il est entendu que tous les impacts mentionnés n'agissent pas de la même manière sur toutes les espèces et avec la même intensité dans tous les milieux naturels.

1.9 La méthodologie de recherche de littérature

La recherche de littérature scientifique s'est effectuée principalement sur ScienceDirect et Google Scholar, puis en consultant les bibliographies de différents travaux récents (comme des travaux de thèse et de master, des rapports d'étude d'impacts et des publications scientifiques). Occasionnellement, des experts et des auteurs de publications ont été sollicités pour aider à la compréhension ou pour compléter la littérature consultée.

La recherche principale s'est effectuée sur la base des mots-clés suivants : « leisure », « impact », « perturbation », associés à une espèce ou un groupe d'espèces. Des recherches complémentaires ont aussi été effectuées avec des noms d'activités ou d'impacts, comme « dog », « cat », « bike », ou encore « human ». Ces recherches ont souvent fait apparaître des études couvrant un spectre beaucoup plus large que le sujet de ce document.

Cette revue de littérature ne vise pas l'exhaustivité et, dans certains cas, surtout pour la littérature en provenance d'Amérique du Nord, des références types ont été sélectionnées en fonction de leur pertinence (les critères étant l'année de publication et l'illustration par une étude de cas). Une focalisation sur la littérature récente a été préférée pour plusieurs raisons :

- la littérature sur le sujet est très abondante mais souvent focalisée sur les mêmes espèces, probablement par commodité (espèces communes) ou par nécessité (espèces menacées),
- l'utilisation de nouvelles technologies (comme les enregistreurs de données connectés mais aussi la télédétection) a permis l'acquisition de nouvelles connaissances,
- une remise en question scientifique de méthodologies plus anciennes ou simplement d'approches « traditionnelles » a été formulée par des experts du domaine (distance de fuite et autres mesures comportementales par exemple),
- de nouvelles formes de loisirs (VTT, drones, vélos électriques) ont vu le jour,
- l'accessibilité (électronique) des articles permet une plus grande efficacité du travail de synthèse.

Comme mentionné ci-dessus, cette revue ne s'est pas restreinte aux études sur les espèces indigènes dans des milieux suisses. Il s'agit plutôt de tirer des conclusions aussi pertinentes et générales que possibles sur les connaissances actuelles mais aussi sur les solutions appliquées pour minimiser l'impact des loisirs sur la biodiversité.

1.10 L'organisation du document

La synthèse de cette revue de littérature a été structurée de sorte à refléter les différentes thématiques rencontrées dans la littérature. Il est d'abord organisé en fonction des taxons. Les espèces fréquemment étudiées (comme le Cerf élaphe par exemple) ou présentant un intérêt fort

pour la conservation des espèces dans le contexte actuel (par exemple la Bécasse des bois) sont présentées dans des sections distinctes alors que les résultats concernant les espèces peu abordées sont regroupés. Certaines sources d'impact, bien identifiées et affectant plusieurs taxons font également l'objet de sections dédiées.

Les encarts

Les encarts présentent des aspects fondamentaux élaborés dans certains paragraphes. Ces encarts soulignent des aspects qui nous ont semblé importants, soit parce qu'ils fournissent de meilleures bases de compréhension, soit parce qu'ils soulignent des thématiques négligées dans la littérature ou parce qu'ils esquissent des solutions d'atténuation.

2. Quelques bases théoriques sur la mesure de l'impact des activités récréatives sur les animaux

Ce paragraphe présente certaines bases théoriques sur l'éthologie et l'écologie qui aident à la compréhension du document.

La mesure de l'impact des activités récréatives peut se faire par le nombre d'individus présents (qui peut varier suite à l'évitement d'une zone) ou la quantité disponible de ressources sur un site (par exemple la quantité de proies), le coût d'une perturbation (par exemple mesuré par des réponses comportementales ou physiologiques ou le taux de succès de reproduction) ou encore, la taille d'une population d'une espèce (Gill, 2007).

La plupart des études sur l'impact des activités récréatives sur la faune sauvage se focalisent sur des réponses comportementales (typiquement une distance de fuite ou une occupation de l'espace, respectivement de l'habitat), plutôt que sur les effets à moyen ou long terme sur des populations ou des communautés biologiques. La raison principale est probablement la facilité et la rapidité d'acquisition des données en comparaison avec les études sur le long terme, par exemple l'étude du succès de reproduction, les études physiologiques (impliquant des méthodes de laboratoire complexes) ou des études spécifiques basées sur des protocoles relativement complexes, par exemple sur le bruit (Higham et Shelton, 2001, Bejder et al., 2009). Les études d'impact doivent avoir idéalement pour buts :

- 1) de déterminer les effets des activités humaines et leur modalité d'impact,
- 2) de connaître les effets biologiques sur le long terme,
- 3) de proposer au besoin, des solutions dans la gestion des conflits potentiels.

Un comportement animal est une réponse instantanée à un stimulus non-persistant d'un individu ayant sa propre histoire d'expériences cumulées. Par ex., l'étude de Bisson et al. (2011), basée sur la mesure de la fréquence cardiaque, conclut que l'historique de vie détermine la réponse physiologique des oiseaux. Or ce vécu de l'individu n'est pas connu *a priori* et il influence son comportement au-delà de la persistance des stimuli qui ont façonné ce vécu. Il détermine son comportement dans le moment présent (plasticité). On parle d'habituation. L'habituation des animaux souvent mesurée par un manque de réactivité est avant tout le résultat d'une présence humaine soutenue. Cette habituation des individus vue dans son ensemble impacte la population elle-même. L'effet de cette habituation des individus sur la population de l'espèce considérée, en particulier par rapport à la reproduction et à la survie des individus, peut être neutre, négatif ou même positif.

La complexité de la réponse est souvent très réduite et simplifiée dans les études publiées et, l'interprétation effectuée sans la considération d'une théorie bien établie. En général, l'effet des activités récréatives n'implique pas une augmentation de la mortalité directe. L'interprétation des comportements observés est donc sujet à caution (Bejder et al., 2006, Gill et al., 2001), comme le sont les mesures adéquates de conservation à prendre en fonction de ces interprétations (Beale et Monaghan, 2004). Sur cette base, Beale et Monaghan (2004) suggèrent, par exemple, que des zones tampons de taille fixe, une mesure d'atténuation couramment proposée, ne sont pas à même de gérer des flux de visiteurs variants en nombre et dans le temps.

Habituation, tolérance et sensibilisation : comment les interpréter ?

L'**habituat**ion est définie comme une décroissance d'une réponse suite à des stimuli répétés. L'habituat

La **tolérance** doit être différenciée de l'habituat

La **sensibilisation** est une augmentation de la vigueur de la réponse à des stimuli. Elle peut aussi s'exprimer par une diminution des hormones de stress comme la corticostérone.

Higham et Shelton (2001) notent que la tolérance observée chez des animaux n'implique pas que l'impact est absent car elle ne représente pas l'état interne de l'animal. Cette tolérance peut aussi résulter d'un manque de réponses alternatives possibles dans le moment présent.

Ces auteurs posent un regard critique sur la notion d'habituat

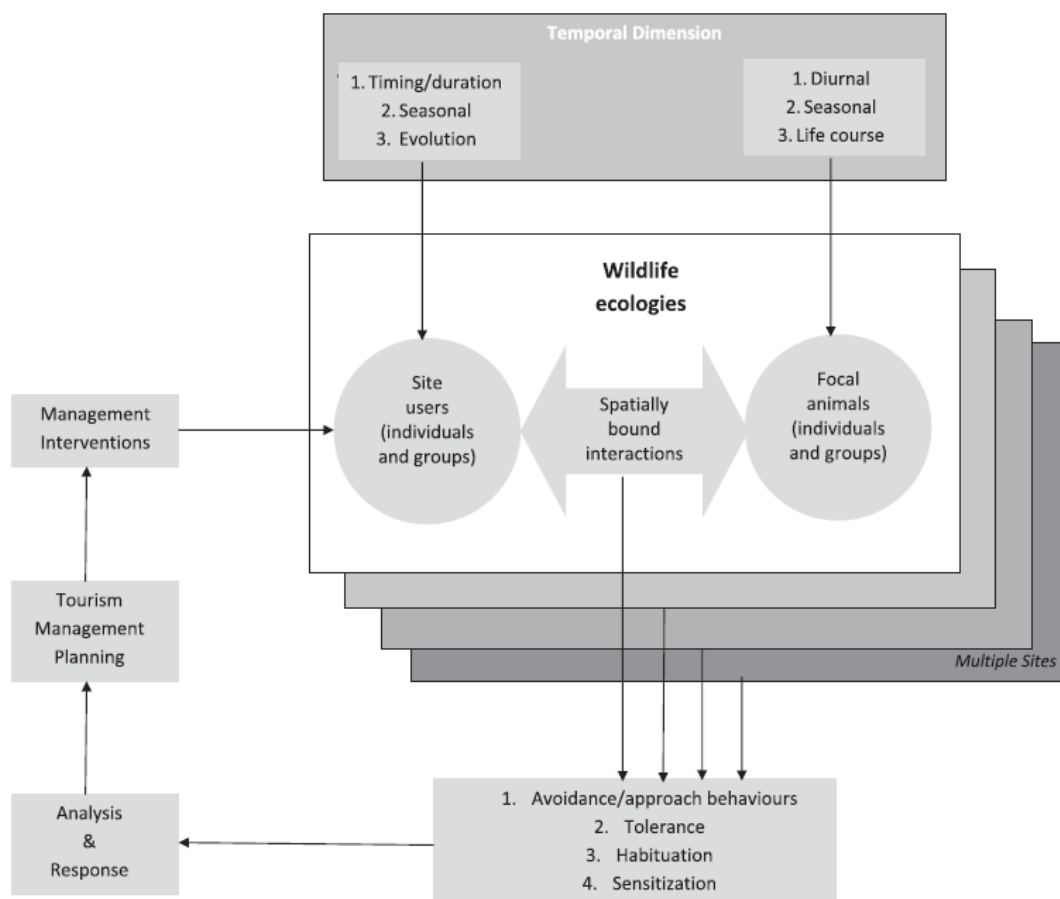


Fig. 2 : Modèle de gestion de la faune pour un tourisme durable basé sur une formulation critique du terme d'habituation, Higham et Shelton (2001).

Higham et Shelton (2001) proposent un modèle de gestion durable du tourisme (Fig. 2) basé sur les définitions sémantiques proposées pour l'habituat

des réponses comportementales, le temps est pris en compte. La composante écologique doit être comprise dans le sens de la prospérité des populations animales.

Bejder et al. (2009) notent que le terme d'habituation est souvent mal interprété et peut conduire à de mauvaises décisions de gestion de l'impact touristique sur les animaux, par exemple en interprétant un impact nul, alors que celui-ci, bien présent, n'est pas observable directement (Higham et Shelton, 2001). Ils soulignent que la réponse animale est complexe, diversifiée, multifactorielle et se produit aussi à des niveaux éthologiques différents. Démontrer une habituation est un processus rigoureux et long qui est peu appliqué en pratique. Ils relèvent que l'habituation est sujet à débat sur son effet sur la santé des animaux et peut être faussement associée à un effet neutre.

Frid et Dill (2002) suggèrent que la plupart des études réalisées échouent à poser un cadre théorique suffisant pour comprendre les réponses observées et faire des prédictions sur les conséquences. Ils proposent un cadre théorique basé sur des modèles économiques du comportement anti-prédateur, assimilant les dérangements à un danger de prédation. Dans ce cadre, un arbitrage entre l'évitement des risques et les autres activités augmentant le fitness, comme la recherche de nourriture, est posé. L'investissement dans un comportement anti-prédateur suit l'évolution temporelle du risque. Ainsi, le contact avec un hélicoptère bruyant ou un discret observateur produit le même coût que ceux occasionnés par des risques encourus par des prédateurs présentant des stimuli équivalents (sonores, visuels).

Finalement, certaines études se sont focalisées sur les impacts au niveau des populations. Ces études sont les plus pertinentes pour la gestion des flux de visiteurs sur des sites abritant des espèces sensibles. Par exemple, à l'aide d'un modèle, Kerbiriou et al. (2009) ont montré un impact des dérangements sur une population d'oiseaux, même quand les individus nicheurs ne sont pas directement impactés. À noter que la mesure d'une population sur un territoire donné ne peut pas se limiter au dénombrement des individus présents. Un chiffre constant ne dit pas si cette population se suffit à elle-même ou si cette population se maintient grâce à un apport externe. La mesure la plus pertinente est le taux de reproduction jusqu'à la maturité sexuelle, voire la première reproduction de la nouvelle génération.

La biodiversité est définie comme la diversité des espèces animales et végétales présentes dans un milieu naturel. Cette définition générale se focalise surtout sur le nombre d'espèces plutôt que sur la qualité des espèces et sur le nombre d'individus (abondance). Ainsi, beaucoup d'études sur les dérangements humains examinent des espèces, dites communes, comme par exemple le Chevreuil, alors que les espèces peu fréquentes sont regardées du point de la vue de la protection, duquel le facteur dérangement est parfois considéré, parmi d'autres. Certaines études examinent une communauté d'espèces, par exemple dans le cas de la végétation ou dans le cas de zones protégées, c'est-à-dire un ensemble (restreint) d'espèces cibles sélectionnées. Certains auteurs concluent ensuite, en utilisant des raccourcis de langage, à des effets négatifs sur la biodiversité. Pour répondre à ces biais d'approche, la notion d'intégrité écologique est proposée pour comparer un système perturbé et un système dit naturel.

L'intégrité écologique est définie comme la faculté d'un écosystème à supporter et maintenir les processus écologiques. Rempel et al. (2016) proposent ainsi une méthodologie pour évaluer l'intégrité écologique d'une forêt exploitée avec comme objectif pour le gestionnaire d'émuler des perturbations naturelles favorisant la biodiversité. Cette notion d'intégrité écologique est peu reprise dans les études qui se focalisent sur une ou quelques espèces. La manière dont le changement de comportement d'un animal à cause d'un dérangement humain impacte sa population puis l'intégrité écologique de l'écosystème n'est pas abordée. L'intégrité écologique peut aussi être appliquée à la végétation forestière (Burke et al., 2016). Cette notion est fondamentale pour interpréter la manière dont un impact sur une espèce affecte l'ensemble de l'écosystème et ainsi, tenir compte de l'interconnexion entre les espèces (une approche multi-espèces). Ce concept a été introduit dans les plans de gestion forestiers. Conway et al. (2019) relèvent par exemple que les plans de gestion des forêts urbaines au Canada ciblent avec les services écosystémiques, l'intégrité écologique, mais échouent encore à mettre en œuvre ce concept.

2.1 Méthodes modernes de mesure pour l'avifaune

L'ornithologie moderne a beaucoup bénéficié (et continue de bénéficier) des nouvelles avancées technologiques, permettant d'acquérir des données plus précises et plus fiables. On distingue les observations liées à des individus (l'« observateur », un appareil électronique, se trouvant sur l'oiseau) et les observations liées à un lieu (l'observateur, un appareil ou une personne, se trouvant sur un site). Les enregistreurs de données (« loggers »), des appareils électroniques de petites tailles stockant des informations et munis de capteurs divers, permettent par exemple de suivre des oiseaux quotidiennement durant plusieurs années. On citera aussi les balises satellites Argos munies d'un GPS qui permettent de localiser des oiseaux partout sur terre ou encore les méthodes acoustiques, qui permettent une haute résolution temporelle et spatiale. Les paramètres mesurés couvrent un spectre très large allant de paramètres comportementaux (type, durée, intensité, type de stimulus), écologiques, physiologiques (hormones de stress), du nombre d'individus, du succès de reproduction, etc.

Les avancées dans les méthodes statistiques et de modélisation permettent de mieux différencier les effets multiples (par exemple avec les statistiques bayésiennes) et de réaliser des prédictions plus fiables (par exemple Kerbiriou et al., 2009). Ceci implique évidemment qu'une base théorique solide ait été établie.

2.2 Méthodes modernes de mesure pour les mammifères

Comme pour l'avifaune, l'étude des mammifères sauvages a beaucoup profité des évolutions technologiques. L'utilisation de pièges photographiques se déclenchant lors du passage d'un animal est devenue une méthode standard et non invasive pour mesurer l'occupation de l'espace des (grands) mammifères. La télémétrie des individus est aussi utilisée de manière standard pour suivre les déplacements des mammifères. Des colliers émetteurs permettent de localiser les animaux sur le terrain à l'aide de récepteurs munis d'antennes ou plus simplement par liaisons satellites. La technologie GPS joue un rôle clé pour automatiser la mesure des positions des animaux. Ces méthodes permettent par exemple de détecter les différences de comportement entre le jour et la nuit, mais aussi entre les week-ends et les jours de la semaine.

Le pistage GPS est aussi utilisé pour étudier les activités touristiques humaines afin de planifier ces activités en tenant compte de l'écosystème (Bielański et al., 2018).

2.3 Méthodes modernes de mesure pour le sol et la végétation

La végétation est de plus en plus étudiée par la télédétection aérienne. Les méthodes mentionnées dans la littérature sont le LiDAR (*light detection and ranging*) pour mesurer la hauteur de la végétation à distance (typiquement depuis un avion ou un drone), les mesures multi-spectrales par satellites ou drones ou la photogrammétrie pour obtenir des modèles 3D de la végétation.

Les appareils Rangefinder laser servent à mesurer des distances, comme la largeur des chemins, rapidement sans ruban métrique. Une méthode isotopique originale basée sur le Césium 137 a aussi été utilisée pour mesurer l'érosion du sol. Les relevés de végétation font appel à des botanistes ainsi que parfois à des logiciels d'identification des espèces.

Analyse critique des méthodes d'études

Le choix d'une méthode est intimement lié aux paramètres que l'on cherche à mesurer. Or, les conclusions d'une étude et la généralisation de ces conclusions montrent une certaine dépendance à la méthode utilisée. Pour cette raison, les résultats présentés dans cette partie sont complétés par un examen des méthodes utilisées afin d'en comprendre les limitations. Ces compléments visent à aider le lecteur dans sa compréhension de l'état des connaissances.

3. Impact des activités récréatives sur l'avifaune forestière

Dans une revue de littérature réalisée en 2011, 69 articles traitant de l'impact des activités récréatives non-motorisées sur les oiseaux dans différents milieux naturels et principalement dans

l'hémisphère nord, ont été répertoriés pour la période 1978 – 2010 dont 75% d'articles entre 2000 et 2010 (Steven et al., 2011). 88% de ces articles montrent un impact négatif qui prend la forme de changements physiologiques, comportementaux, ou d'une réduction de l'abondance ou du succès de reproduction d'au moins une espèce. Le seul effet positif relevé parmi ces études concerne une augmentation des corvidés (corneilles, corbeaux).

Steven et al. (2011) proposent un modèle de classification des impacts et de leur effet sur les oiseaux (Fig. 3). A ce modèle doivent s'ajouter des considérations sur la durée, l'intensité et la répétabilité de l'impact. Ils énoncent que plus l'impact est fort, plus il affectera la reproduction et donc la population. L'atténuation d'un impact doit permettre de diminuer l'effet écologique.

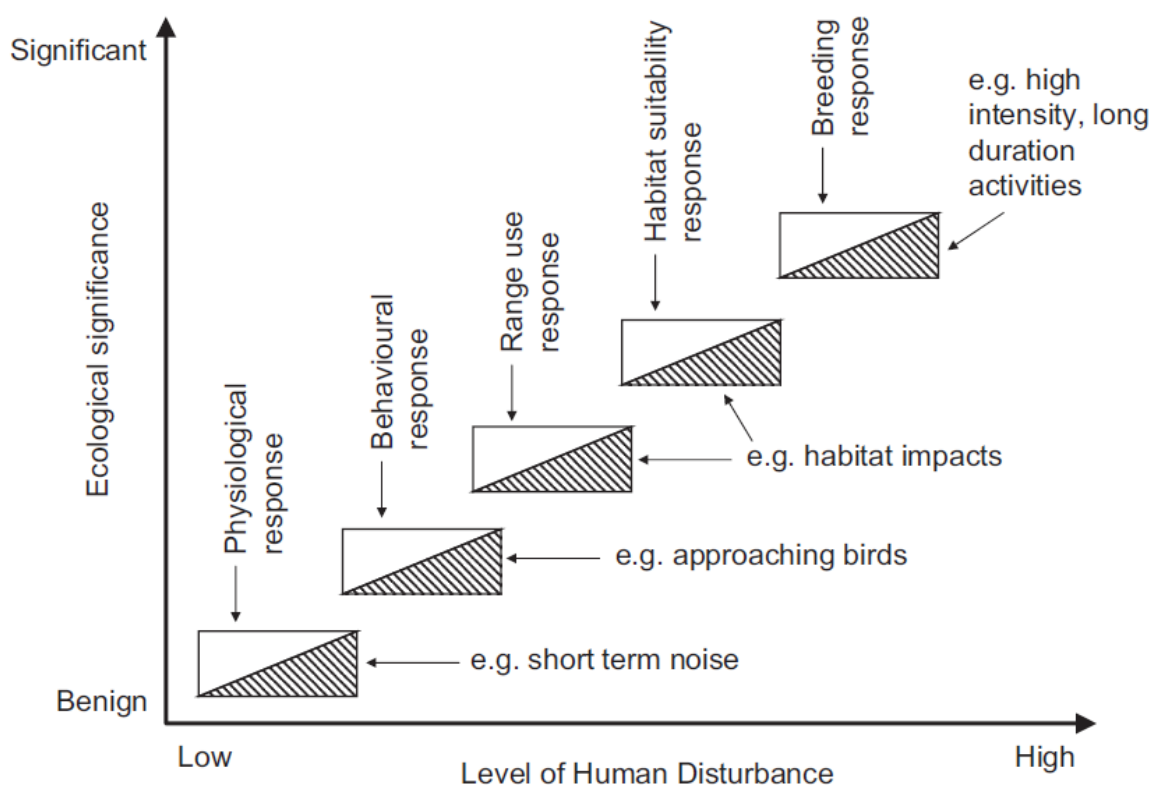


Fig. 3 : Modèle de classification des impacts et de leur effet sur les oiseaux (Source : Steven et al. 2011)

En général, l'impact négatif du tourisme sur les populations d'oiseaux, leurs comportements et leur reproduction a été montré dans différents contextes et de manière répétée (par exemple, Wolf et al., 2013, Martinez et al., 2010, Kerbiriou et al., 2009, Miller et Hobbs, 2001). Un effet négatif de la présence de personnes sur la diversité et la quantité d'oiseaux nicheurs formant des communautés a aussi été montré dans différentes études et dans des contextes variés (par exemple, Grooms et al., 2018, Kangas et al., 2010, Fernandez-Juricic, 2000).

Contrairement à ce qui peut être supposé, les activités récréatives motorisées ont un impact moindre que les activités non motorisées. Ce constat ne tient pas compte des déplacements motorisés (routiers) vers les centres d'activités récréatives, qui sont équivalents quelle que soit l'activité finalement exercée sur place. Les activités récréatives liées à la neige ont plus souvent une influence négative (Larson et al., 2016), probablement parce que les impacts correspondants viennent s'ajouter à des conditions climatiques difficiles. Parmi les espèces d'oiseaux et à l'exception des oiseaux d'eau, les rapaces montrent les réactions les plus fortes aux activités récréatives.

Le contact visuel (le stimulus) est *a priori* le facteur clé dans l'impact potentiel des activités récréatives sur les oiseaux. Pourtant, une étude sur des oiseaux marins nocturnes nichant dans des cavités a aussi mis en évidence un impact négatif des visiteurs (Watson et al., 2014). Le bruit et la lumière affectent également le comportement des oiseaux.

L'impact peut être direct mais aussi indirect. Un impact indirect se traduit par des modifications des relations écologiques. Ainsi, Geffroy (2015) suggère que la présence humaine éloigne les prédateurs naturels rendant les proies plus vulnérables par une diminution de l'attention. Les dérangements directs ont un impact sur le fitness de l'individu. Par exemple, ils réduisent l'apport énergétique qui peut conduire soit à une mortalité plus élevée, soit à une baisse de la reproductivité (Lemon, 1993). Un effet similaire est noté chez le lagopède alpin (Ingold, 2005). La poule réduit son apport de nourriture parce qu'elle retourne surveiller son nid en cas de dérangements.

3.1 Effet du bruit sur l'avifaune

Les bruits de sources anthropogéniques modifient le comportement des oiseaux pendant la nidification (Kimberley et al., 2019 ; Herrera-Montes et Aide, 2011 ; Francis et al., 2009 ; Bayne et al. 2008 ; Arroyo et Razin, 2006 ; Brown, 1990) mais aussi pendant les escales migratoires (McClure et al., 2013). Les bruits de sources anthropogéniques modifient la densité des oiseaux forestiers. Bayne et al. (2008) a trouvé un facteur de 1.5 entre une zone sans bruits artificiels et une zone affectée par un compresseur. Le bruit modifie aussi la composition en espèce des communautés aviaires (Francis et al., 2009). Les bruits de sources anthropogéniques affectent le comportement des oiseaux, par exemple pendant le nourrissage (Kimberley et al., 2019). Kimberley et al. (2019) ont utilisé dans leur étude un bruit brun, c'est-à-dire un bruit particulièrement intense dans les basses fréquences. Les bruits produits par un roulement et aussi la parole sont plus intenses dans les basses fréquences mais cependant correspondent peu un bruit brun (voir Annexe 1).

Le bruit peut aussi empêcher les oisillons d'entendre les cris d'alarme des parents, les exposant ainsi davantage au risque de prédation (McIntyre et al., 2014). Mason et al. (2016) ont montré que le bruit affecte négativement le succès de chasse des hiboux. Arroyo et Razin (2006) ont aussi pointé le bruit comme cause principale d'échec de la nidification chez le Gypaète barbu, une espèce nichant dans les falaises parfois à proximité des forêts (par exemple dans le Valais).

Les oiseaux peuvent dans une certaine mesure adapter la composition fréquentielle de leur chant en réponse à une exposition au bruit (Potvin et al., 2014, Halfwerk et Slabbekoorn, 2009). Il est postulé que cette adaptation permet de maintenir une communication plus efficace entre les individus.

Le bruit est complexe à mesurer (Pater et al., 2009) et ne peut pas être résumé sur une seule dimension, comme la mesure de la pluie par exemple. L'intensité mais aussi la durée et la composition en fréquences doivent être considérées. De plus, l'effet du bruit doit pouvoir être distingué de l'effet de la présence physique de la source sonore, comme un véhicule ou une personne. Les recherches citées se réfèrent à des bruits causés par des moteurs à combustion ou plus généralement au bruit urbain. Aucune recherche considérant la voix humaine (indépendamment du vecteur) comme source de dérangement n'a été trouvée lors de cette revue de littérature.

L'utilisation de trottoirs sur des chemins en planches de bois provoquent des dérangements conséquents sur au moins certaines espèces d'oiseaux (observation personnelle : envol des anatidés sur le lac de Neuchâtel). Ce moyen de transport n'est pourtant pas évoqué dans la littérature consultée.

Le bruit et les oiseaux

Les sources de bruit liées aux loisirs et impactant négativement les oiseaux sont à mettre en relation avec les moteurs à combustion et plus généralement à l'utilisation de véhicules roulants. Elles diffèrent notablement entre elles. Par exemple, le bruit d'un véhicule motorisé et le bruit d'un vélo sont différents dans l'intensité et le spectre, ce qui implique dans les considérations d'impact d'évaluer les sources potentielles de bruit présentes sur un site. Le support (goudron, planches, caillasse, etc.) servant aux véhicules roulants est aussi un facteur à prendre en compte en plus du

type de véhicule. Dans la planification des accès mais aussi des zones de tranquillité, les bruits fréquents sont un facteur à prendre en considération. L'impact d'autres sources de bruit, comme la parole ou la musique, sur l'avifaune n'a *a priori* pas été évalué. Cette évaluation est relativement complexe à cause de la diversité des sons.

3.2 Effet de la lumière artificielle sur les oiseaux

Les lumières artificielles sont une source de pollution nocturne affectant les oiseaux et plus généralement la vie sauvage toute l'année. Les lumières artificielles liées aux loisirs en forêt ou à proximité des zones urbaines peuvent provenir de différentes sources en lien avec des activités humaines nocturnes (campements, bâtiments en forêt, courses populaires nocturnes, éclairages publics, projecteurs et lasers de festivals, etc.). Comme pour le bruit, la lumière est caractérisée par un spectre, une intensité et une durée, créant une grande diversité de stimuli. Les lumières nocturnes sont connues depuis le XIX^{ème} siècle pour attirer la nuit les oiseaux migrateurs, c'est-à-dire les deux tiers des oiseaux migrateurs ou en dispersion nocturnes européens, dont les oiseaux diurnes (Merkel et Johansen 2011 ; Hölker et al., 2010 ; Kempenaers et al., 2010 ; Deda et al., 2007).

Les comportements des oiseaux, comme le nourrissage, le sommeil et le cycle circadien, peuvent être modifiés par les lumières artificielles (Dominoni, 2017 ; Raap et al., 2016 ; Steinmeyer et al., 2010). Ainsi Raap et al. (2016) ont montré chez la Mésange charbonnière (*Parus major*) que la lumière artificielle perturbe les oiseaux nicheurs, réduisant la longueur de la période de sommeil. Le réveil de la Mésange bleue (*Parus caeruleus*) est conditionné par les conditions lumineuses environnantes (Steinmeyer et al., 2010).

La forêt est, comparativement, un habitat moins affecté par les lumières artificielles, à l'exception des lumières urbaines de proximité ou se propageant sur de longues distances (Fig. 4). Il conviendrait de maintenir cet état pour préserver la biodiversité forestière en évitant l'électrification des infrastructures et, toutes sources de lumières artificielles issues d'infrastructures permanentes ou mobiles (véhicules). A noter que nous n'avons pas trouvé de valeurs seuils maximales en dessous desquelles l'avifaune n'est pas affectée. La thématique de la pollution lumineuse est développée pour les autres taxons dans la section 7.



Fig. 4 : Image nocturne prise le 12 décembre 2018 à 22h00 par un appareil photographique automatique. Les lumières de la ville de La Chaux-de-Fonds (NE) sont visibles à l'horizon à une distance de 13 km. La lumière est propagée grâce aux nuages à très basse altitude et à la neige sur le sol.

La lumière et les oiseaux

Comme pour le bruit, la lumière est un facteur exogène qui doit être évalué dans la mise en place de mesures d'atténuation. La littérature sur ce sujet et sur l'interaction entre impact des sources lumineuses et impact des sources sonores, est peu importante. Dans les régions très urbanisées, ces facteurs devraient pourtant être évalués systématiquement.

3.3 Impact des chiens sur les oiseaux

Les chiens affectent négativement les oiseaux et les populations nicheuses d'oiseaux. La simple présence de chiens, qui sont des prédateurs potentiels, est considérée par certains auteurs comme une perturbation de l'environnement au même titre que la présence humaine (Weston et Stankowich, 2014). Cette perturbation entraîne un changement de comportement et engendre une réduction de la qualité de l'habitat, diminuant sa capacité à supporter une population animale, au même titre d'ailleurs qu'une perturbation humaine. Comparé aux humains, ce type de perturbation affecte un espace plus grand. L'intensité à laquelle elle passe d'un dérangement de confort (l'animal perturbé doit interrompre son activité) à un problème de conservation est la question cruciale. Ces auteurs indiquent aussi le besoin de mieux évaluer l'utilisation de l'espace par les chiens et leur densité, mais aussi les stimuli qui affectent l'avifaune (visuels, sonores, olfactifs).

La présence de chiens accompagnant des promeneurs influence négativement la présence même des oiseaux qui évitent ces contacts (Bank et Bryant, 2007). Dans cette étude, les auteurs ont observé les oiseaux localement après le passage d'une personne seule et une personne avec un chien en laisse, soit dans une zone sans présence de chiens soit dans une zone avec une présence de chiens. Ils notent un effet négatif des chiens, exprimé par la diminution de l'abondance et de la diversité des oiseaux localement, dans les deux zones, indiquant qu'il n'y a pas d'habituation.

Il faut distinguer l'effet combiné d'un chien, tenu en laisse ou non, et de son propriétaire, d'un chien isolé de son propriétaire ou un chien vagabond. Dans leur publication, Miller et al. (2001) ont montré que la distance d'influence négative et la distance de fuite est plus faible pour un chien seul que pour un marcheur ou un marcheur avec un chien. L'effet observé entre un marcheur et un marcheur avec un chien tenu en laisse est, d'après cette étude, identique pour certaines espèces de passereaux. La portée de l'étude de Miller et al. (2001) est cependant limitée puisqu'elle considère un seul turdidé forestier très commun et nichant en hauteur (1.5 – 4m) ainsi que deux espèces de passereaux nichant dans les prairies. Ainsi, ces conclusions ne s'appliquent pas à d'autres cas d'études pratiques dans lesquels les chiens provoquent des dérangements plus fréquents et à plus longues distances que les promeneurs seuls (Taylor et al., 2005). Dans cette étude de cas, Taylor et al. (2005) relèvent en particulier l'effet sur les espèces nichant au sol et l'impact sur le succès de reproduction. Les espèces nichant au sol sont d'une manière générale plus impactée que des oiseaux nichant dans une cavité et en hauteur dans les arbres.

Les stimuli visuels comme sonores affectent le comportement des oiseaux. Une augmentation de la vigilance des oiseaux a été notée à l'écoute d'aboiements et sans contact visuel (Randler, 2006). En plus des effets comportementaux à caractère ponctuel, le contact répété entre chiens et oiseaux sauvages provoque des effets négatifs affectant la population des oiseaux (Weston et Stankowich, 2014). Par exemple, Langtson et al. (2007) mentionnent les chiens comme cause d'échec de la nidification de l'Engoulevent d'Europe. Le chien est perçu comme un prédateur et éloigne les parents, exposant les œufs et les oisillons à tous les prédateurs, y compris des prédateurs opportunistes comme les corvidés.

Les mesures d'atténuation bien connues sont la limitation des chiens dans les zones sensibles ou abritant des espèces sensibles, particulièrement celles nichant au sol, par exemple par un zonage séparant des secteurs où les chiens sont permis et ceux où ils sont prohibés, la tenue des chiens en laisse durant la période de nidification des oiseaux et d'émancipation des jeunes (surtout pour les espèces sensibles et nichant au sol ; en général sur la période avril - juin) et la régulation des chiens errants. En Suisse, les espèces forestières nichant au sol sont les tétraonidés, la Bécasse des bois (*Scolopax rusticola*), l'Engoulevent d'Europe (*Caprimulgus europaeus*) mais aussi les passereaux liés aux arbres et buissons (pâturages boisés, lisières), comme le Pipit des arbres (*Anthus trivialis*) ou le Bruant jaune (*Emberiza citrinella*). A ces espèces s'ajoutent, dans le cas de chiens non tenus en laisse, les espèces nichant dans les champs ou les prairies alpines jouxtant immédiatement les forêts et ses chemins. Cette thématique des chiens est encore abordée dans ce document pour les mammifères.

3.4 Impact des chats domestiques dans l'environnement forestier

La possession d'un chat domestique peut, comme dans le cas du chien, être associée à une activité récréative. Le chat est moins commun que le chien en forêt car il n'accompagne par son propriétaire en promenade mais il représente tout de même une menace pour les oiseaux, bien connue en zones péri-urbaines et urbaines. En général, les chats sont présents plutôt en bordure de forêt, dans les zones de transitions, dans les forêts urbaines ou dans les pâturages boisés. Dans cette étude sur la forêt, nous pouvons considérer ce facteur comme potentiellement important dans les forêts pouvant accueillir des chats (forêts proches des habitations). Il n'existe pas à notre connaissance d'études qui évaluent cet impact seulement pour la forêt (en incluant lisières et pâturages boisés).

Au Canada, une étude estime le nombre d'oiseaux tués annuellement par les chats entre 100 et 350 millions (Blancher, 2013) ; aux Etats-Unis, l'estimation est comprise entre 1.3 et 4 milliards d'oiseaux (Loss et al., 2012). En Suisse, en se basant sur les 1'634'240 chats recensés (2018 ; source : VHN – Société pour l'alimentation des animaux familiers) et sur ces études, les chats tueraient au minimum 44 millions d'oiseaux sauvages par an. Pavisse et al. (2019) montrent dans les jardins une augmentation de 50% de ce type de mortalité entre 2000 et 2015, qui correspond à l'augmentation de la population de chats sur la même période. Ils affirment que les chats sont une cause majeure de mortalité des oiseaux.

3.5 Vols de loisirs et oiseaux : Drones, parapentes et ballons à air chaud

Ces activités se déroulent majoritairement au-dessus de la canopée. Les survols à basse altitude peuvent avoir un impact sur l'avifaune forestière. Cet impact est dans certains cas mitigé par les arbres agissant comme barrière visuelle. Les drones sont eux aussi susceptibles d'être utilisés sous la canopée. Les stimulus visuels et sonores générés par ces appareils affectent l'avifaune.

Peu d'études se sont intéressées spécifiquement aux ballons à air chaud. Il a toutefois été montré que les oiseaux réagissent aux ballons à air chaud en fonction de la hauteur du ballon et du bruit de combustion (Georgii et Hofer, 1997). Comme cette activité reste peu fréquente, son impact est aussi globalement limité.

Les parapentes sont souvent mentionnés comme une source de dérangement de la nidification des rapaces (Kéry et al., 2018 ; Pedrini et Gilberto, 2017 ; Arroyo et Razin, 2006) mais il n'y a guère d'études adressant spécifiquement cette question pour les rapaces et pour l'ensemble des espèces d'oiseaux. La tolérance vis-à-vis de survols occasionnels en fonction des différentes phases de la nidification et de la météorologie (températures) n'est pas bien documentée, comme d'ailleurs l'impact global de cette activité par rapport à d'autres activités plus fréquentes, comme la marche.

Les drones sont utilisés pour les loisirs comme pour les activités professionnelles. Parmi ces dernières, les écologistes, protecteurs de la nature et forestiers ont rapidement identifié les avantages associés à leur usage, par exemple pour la cartographie (Anderson & Gaston 2013) mais aussi pour différents types de surveillance faunistiques et avifaunistiques (Bushaw et al., 2019 ; Lyons et al., 2018 ; Christie et al. 2016 ; Drever et al., 2015 ; Vas et al., 2015 ; Sarda-Palomera et al., 2012). L'effet des drones sur les oiseaux est associé à des stimuli visuels et acoustiques sauf si le drone est caché par la canopée. La diversité des drones (quadricoptères, ailes fixes, taille, bruit) et leur mode d'utilisation (hauteur de vols, angle d'approche) impliquent différents types d'impact possibles. Vas et al. (2015) ont approché des oiseaux d'eau avec un quadricoptère jusqu'à quelques mètres et n'ont constaté, dans la plupart des cas, aucune réponse de la part des oiseaux. Dans une minorité de cas, des comportements d'éloignement et de fuite ont été observés.

Comme les réglementations sur les drones se mettent actuellement en place (en Suisse, il existe déjà une interdiction de survol des réserves d'oiseaux d'eau) et, que ce loisir est relativement nouveau, les drones ne sont pas actuellement considérés comme un facteur dominant dans l'ensemble des dérangements occasionnés par les loisirs en forêt. Des dérangements sont cependant probables, souvent liés à une mauvaise utilisation. La situation doit être réévaluée en fonction de l'évolution de la popularité des drones en tant qu'activités récréatives mais aussi dans le cadre de leur utilisation professionnelle qui pourrait s'étendre à de nombreux secteurs d'activités en dehors des zones urbaines. Les réglementations qui seront mises en place devraient idéalement considérer les effets sur la faune sauvage.

3.6 Chemins et dessertes forestières

Les chemins et dessertes forestières offrent un accès simple et confortable aux forêts qui est largement utilisé pour les activités récréatives : promenade, course à pied, VTT, etc. Or, l'accessibilité aux forêts est un facteur prépondérant sur la biodiversité aviaire (Aubad et al., 2010). En Suisse, la densité des chemins est en moyenne de 26.7 m/ha (Brändli, 2010) mais avec de fortes variations en fonction des régions. Sur le Plateau, la densité des dessertes peut parfois atteindre 70 m/ha et plus (Brändli, 2010). A titre de comparaison, l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture préconise 20 m/ha. En moyenne, les dessertes sont respectivement de 41 m/ha et 61 m/ha dans le Jura et le Plateau, bien plus que les recommandations de l'ONU. A noter que la distribution spatiale des dessertes joue un rôle prépondérant dans la préservation de la biodiversité, avec des zones non desservies servant de refuge ou de zones de tranquillité pour les animaux.

Les impacts sur les oiseaux peuvent être directs, comme le dérangement de l'oiseau à un instant précis, ou indirect, comme la modification de son habitat, typiquement une modification de la structure de la végétation et du sol (compaction). Les impacts indirects peuvent passer par la suppression de gouilles d'eau ou par un accès à la nourriture rendu difficile par la compaction du

sol. L'impact direct se décline de plusieurs façons en fonction de l'utilisation des chemins (densité du public, usage groupé ou individuel, période journalière et annuelle) et des modes de locomotion.

L'utilisation des chemins se reflète dans une diminution de l'abondance des oiseaux à leur proximité. Cette plus faible abondance se comprend par une recherche de nourriture diminuée et un succès de nidification plus faible à proximité des chemins, même pour les espèces communes (Fernández-Juricic, 2000, Fernández-Juricic et Telleria, 2000). De manière identique, la présence humaine affecte négativement l'activité de chant qui se reflète ensuite sur le taux de reproduction des oiseaux (Gutzwiller et al., 1994). Ce dérangement s'exerce aussi sur les activités de repos des oiseaux. En résumé, la présence d'un chemin correspond à une perte d'habitat. De plus, les chemins modifient la communauté avienne, c'est-à-dire la présence des espèces. Miller et al. (1998) ont ainsi montré que les communautés aviennes sont modifiées à proximité des chemins : les espèces généralistes s'imposent tandis que les espèces spécialistes diminuent.

Concernant les impacts indirects, la végétation au sol est fortement réduite par une utilisation intensive des chemins et de leurs abords. Par exemple, les espèces nichant au sol sont quasi inexistantes dans les parcs urbains (Jokimäki, 1999). L'auteur relève le manque de végétation adéquate mais aussi la prédation sans préciser le nom des prédateurs. Au contraire, Deluca et King (2014) n'ont montré aucune influence de la proximité des chemins pédestres sur la densité d'oiseaux (passereaux) nichant en hauteur dans la canopée. Bötsch (2018) a obtenu le même résultat dans une forêt peu fréquentée et un résultat différent dans une forêt très fréquentée.

Les modalités d'utilisation des chemins sont également des déterminants importants des impacts. Ainsi, la « densité d'utilisation » des chemins apparaît comme un élément central. Malgré cela, aucune étude ne quantifie précisément le degré d'utilisation des chemins sur le site d'étude sélectionné. Gutzwiller et Anderson (1999) ont montré qu'un faible niveau d'intrusion affecte déjà l'abondance de certaines espèces dans un espace limité autour de surfaces utilisées pour les activités récréatives. Seibold et al. (2013) montrent dans leur étude que la prédation des nids au sol est plus fortement influencée par la végétation du sous-bois que par les activités récréatives. Ils notent ainsi qu'après une perturbation naturelle, une méthode appropriée pour favoriser la nidification des oiseaux au sol est de ne pas effectuer de travaux forestiers. Cependant, comme souligné ci-dessus et plus loin dans ce document, la végétation est influencée par les activités récréatives, ces deux facteurs ne sont donc pas indépendants. Le nombre de visiteurs mais aussi la taille des groupes et la période des visites déterminent l'impact. La distance de fuite des espèces dépend de la taille du groupe de personnes (Geist et al. 2005). En outre, les groupes de visiteurs de grande taille rencontrent moins d'oiseaux lors d'activités de découverte à la nature (Remacha et al., 2011), ce qui démontre leur impact négatif sur les oiseaux. Ces exemples soulignent les multiples facteurs (espèces considérées, densité d'utilisation des chemins, végétation présente, type de peuplement, structures au sol, etc.) qui déterminent l'impact réel des activités récréatives sur l'avifaune. Ils montrent aussi la difficulté de généraliser un résultat à différents contextes.

Un chemin forestier ne doit pas être considéré comme un élément unique mais plutôt comme un élément d'un réseau. Une forte densité de chemins a un impact fort mais cet impact global dépend aussi du nombre de secteurs libres de chemins. Cet effet a été bien observé pour les oiseaux nichant au sol aux Etats-Unis (Thompson, 2015 ; Kangas et al., 2010 ; Fernandez-Juricic, 2004). Ainsi, la présence de grands secteurs libres de chemins a un effet positif sur les oiseaux (Thompson, 2015). Dans la planification et la gestion des chemins en forêt (cela vaut aussi pour les sentiers et layons), leur distribution spatiale devrait être pensée en fonction de la distribution spatiale des oiseaux particulièrement sensibles (nicheurs au sol, rapaces, etc.) afin de minimiser l'impact sur l'avifaune. Dans les zones très prisées, la diminution du nombre de sentiers et de chemins pour canaliser le flux de visiteurs sur des zones plus restreintes est reconnue comme une mesure efficace (D'Acunto et al. 2018). A noter que la bonne stratégie de gestion des accès dépend de l'intensité des activités récréatives et des espèces prioritaires à préserver (D'Acunto et al., 2018). Prendre en compte un groupe d'espèces animales plutôt qu'une seule espèce est nécessaire pour éviter des effets indésirables de certains aménagements spécifiques pour une seule espèce sur d'autres espèces. La planification des chemins sur la base de considérations multi-espèces est un moyen de mitiger l'impact des activités humaines sur la biodiversité dans la forêt (Rodríguez-Prieto et al., 2014). De même, l'étendue d'aménagements herbacées pour atténuer l'impact des visiteurs est probablement différent en fonction des espèces ciblées et du nombre de visiteurs attendus.

Outre leur fréquentation, la création et l'entretien des chemins, layons de débardage et autres dessertes a également un impact sur l'avifaune. Grooms et al. (2018) notent ainsi que l'effet combiné des modifications environnementales dues à la construction des chemins (changement de végétation) et à leur structure physique ont un impact plus fort sur les communautés aviaires que la fréquentation des chemins eux-mêmes, en particulier si cette fréquentation est modérée ou faible. A l'inverse, une étude montre que l'effet négatif de la présence humaine prévaut sur l'effet des changements environnementaux (Bötsch, 2018). Cette étude est en contradiction partielle avec l'étude de Grooms et al. (2018) et Seibold et al. (2013). Smith-Castro (2008) n'a pas non plus pu mettre en évidence un effet négatif du degré d'utilisation des chemins.

Ces différents auteurs ont toutefois mesuré des paramètres différents dans des contextes différents. Dans l'étude de Bötsch (2010), des comptages d'oiseaux ont été réalisés par paires sur un site proche et un autre éloigné des sentiers, tandis que dans l'étude de Seibold, la prédation sur les nids a été étudiée. Grooms et al. (2018) ont aussi utilisé des comptages mais le long des chemins uniquement. Cet exemple comparatif illustre que toute étude d'impact des effets des activités récréatives sur des populations animales, doit être réalisée avec une méthode appropriée et documentée de manière exhaustive afin d'en connaître la portée (i.e. la possibilité d'en généraliser les résultats dans d'autres contextes) et d'en assurer la comparabilité. Par exemple, le nombre de couples nicheurs peut être plus faible le long des chemins mais le succès de reproduction y être plus élevé car les prédateurs y sont moins actifs, la végétation moins perturbée par l'exploitation forestière ou encore que les oiseaux y sont « suffisamment » habitués à la présence humaine (Bisson et al., 2011). Cette comparaison montre aussi une possible dépendance des résultats aux lieux considérés, aux espèces et à la méthodologie.

Le trafic des véhicules motorisés autorisés à circuler sur les chemins forestiers a été considéré de manière très marginale dans cette revue puisqu'il ne se rapporte pas aux activités récréatives mais plutôt à des activités professionnelles telles que l'exploitation forestière. Ce trafic est négligeable en comparaison du trafic motorisé sur les routes bordant les forêts). Selon Wolf et al., 2013, le trafic motorisé a un plus grand impact que le trafic pédestre mais la densité d'utilisation est un facteur primordial qui détermine l'impact réel. Plus une infrastructure routière est utilisée, moins il y a d'oiseaux (Wolf et al., 2013). La mortalité routière touche, selon Bujoczek et al. (2011), les individus les plus « fit » d'une population. Dans un paysage fragmenté par les routes, cet impact peut donc être conséquent.

Selon Wolf et al. (2013), l'effet négatif du trafic routier ou de l'usage intensif de sentiers pédestres peut être presque annulé si la végétation jouxtant la voie de déplacement est abondante, structurée et riche, par exemple en buissons. Cette étude suggère ainsi que les voies fréquentées devraient être bordées de végétation dense, comptant des strates multiples. En Suisse, cette structure végétale n'est pas souvent observée le long des chemins forestiers. Cette mesure doit être combinée avec une planification spatiale appropriée des chemins (Grooms et al., 2018). Ces auteurs ont également démontré qu'une végétation diversifiée (caractérisée entre autres par la présence de buissons) bordant les chemins est un meilleur prédicteur des communautés aviennes que la fréquentation par les promeneurs de ces mêmes chemins (Grooms, 2016 ; Grooms et al., 2018). Ces auteurs relèvent aussi la corrélation positive entre le prélèvement d'éléments naturels de cette végétation et la fréquentation des chemins, ce qui peut par ce biais augmenter l'effet négatif de la fréquentation des chemins sur les oiseaux. En Suisse, les chemins menant aux observatoires ornithologiques dans certaines réserves naturelles humides sont typiquement bordés d'une végétation dense et élevée pour protéger l'avifaune. Ces études montrent que des aménagements végétaux adéquats le long des chemins permettent d'atténuer l'impact des visiteurs, en tous cas jusqu'à un certain niveau de fréquentation et pour au moins certaines espèces suffisamment tolérantes.

D'autres facteurs tels que la largeur du chemin et sa longueur (« deep trail ») sont positivement corrélés avec les communautés aviennes (Grooms, 2016). Ces caractéristiques réduisent en effet la proximité spatiale entre les visiteurs et les oiseaux. Ainsi, des chemins très fréquentés devraient être plus larges que des chemins moins fréquentés (et comme noté auparavant, ils devraient dans tous les cas être bordés d'une végétation dense).

Il faut noter que certaines espèces d'oiseaux (communes) ont la capacité de s'adapter à la présence des visiteurs. Par exemple, le choix du site de nidification (hauteur par rapport au sol) est influencé

par la proximité à un chemin chez le Cardinal (*Cardinalis cardinalis*), une espèce américaine (Smith-Castro, 2008). Cette étude montre que l'environnement (structure végétale) proche des chemins est important pour éviter un abandon marqué de cette zone par les espèces aviennes. La multifonctionnalité de la forêt peut être ainsi préservée. Un aménagement multifonctionnel n'inclut pas seulement la planification et la création de chemins mais aussi le voisinage de ces chemins.

Planification des chemins forestiers pour l'avifaune

Un impact négatif des chemins forestiers et de leur fréquentation est avéré sur les oiseaux. Cet impact modifie les communautés aviaires, le nombre d'oiseaux et le succès de reproduction. Cet impact s'exprime différemment selon l'espèce et le lieu, caractérisés par une végétation propre et un schéma d'activités récréatives propres. Les mesures d'atténuation connues sont :

- une diminution (au besoin) du nombre de chemins pour permettre la création d'espaces sans impact,
- une planification des chemins pour canaliser le flux de visiteurs dans certains secteurs et créer des espaces de tranquillité (typiquement au centre des massifs forestiers),
- un aménagement de l'abord des chemins pour diminuer le contact visuel (et auditif ?) entre les oiseaux et les visiteurs, et pousser ces derniers à rester sur les chemins.

Voir aussi le paragraphe équivalent sur les mammifères qui présente des mesures similaires.

3.7 Distance de fuite comme proxy de l'impact des dérangements

La mesure de la distance de fuite (FID pour *Flight Initiation Distance* en anglais) peut être utilisée comme proxy pour mesurer l'impact d'un dérangement. Cette mesure est au cœur de nombreuses études trouvées dans la littérature du fait de sa simplicité et de son faible coût. Elle est cependant entachée d'incertitudes liées à son interprétation. Au vu de sa popularité, ce paragraphe présente une vue d'ensemble de ces études.

Il est possible de mesurer la distance à laquelle un oiseau montre une réponse statique qui est caractérisée par une vigilance accrue et la production de cris d'alarme ainsi que la distance à laquelle un oiseau réagit par une réponse active qui se traduit par un changement comportemental (Ruddock et Whitfield, 2007). Une réponse active typique est l'envol, en anglais « Flight Initiation Distance » ou FID (Bernard et al. 2018). La distance d'alerte est aussi utilisée pour mesurer la tolérance (comportementale) des oiseaux à la présence humaine (Fernandez-Juricic et al., 2001 ; Fernandez, 2001).

Cette mesure est associée à des études de courte durée qu'il faut opposer à des études focalisées sur l'évolution d'une population sur une durée de temps plus importante ou des études d'impacts qui étudient l'effet avant et après construction d'une infrastructure. L'observateur ne connaît pas l'histoire de l'individu étudié alors que cette histoire va justement déterminer son degré d'habituation⁴ (Bejder et al., 2009). Ainsi, un oiseau souvent exposé à un stimulus va par lassitude ou par nécessité (intérêt supérieur comme se nourrir) ne plus répondre à ce stimulus. Il démontre un comportement adaptatif. Cette réponse adaptative peut avoir des conséquences opposées. En réagissant moins, il peut vaguer plus longtemps à ses occupations, comme la recherche de nourriture (augmentation du fitness) mais il peut aussi devenir plus vulnérable aux prédateurs. Cette adaptation ne reflète pas nécessairement l'état physiologique interne. Plusieurs exemples permettent d'illustrer ce qu'est un comportement d'adaptation, par ex. le fait que la distance d'envol change en fonction de la vitesse autorisée sur les routes (Legagneux et Ducatez, 2013) ou le fait que les oiseaux en milieu urbain qui rencontrent fréquemment des humains réagissent différemment que les oiseaux en milieu rural (Møller et al., 2014). Utiliser cette mesure FID pour définir des zones tampons dans le but de minimiser l'impact est ainsi une pratique questionnable (Tarrow et Blumstein, 2007). Cette mesure est plus utile pour estimer le nombre de contacts entre des visiteurs et un individu.

⁴ lente diminution de la réponse d'un individu à un stimulus

Miller et al. (2001) ont montré que l'impact FID sur les passereaux est plus important en dehors des sentiers que sur les sentiers, ce qui peut être lié à une habitude et ne doit pas être interprété comme un amoindrissement de l'impact sur l'individu puis sur la population.

Le mode de locomotion humain change fortement l'impact FID sur les oiseaux. Pour certaines espèces, la pratique du vélo peut entraîner des réponses plus précoces que la marche et un vélo avec une plus grande vitesse entraîne une réponse plus précoce qu'un vélo avec une vitesse plus lente (Bernard et al., 2018). Lethlean et al. (2017) ont montré un effet similaire entre les marcheurs et les joggeurs. Ils ont enregistré des distances moyennes de fuite de 21.3 m pour les joggeurs et, de 16.6 m pour les marcheurs. Ces études ne précisent pas quelle est la vitesse habituelle des utilisateurs auxquels sont confrontés les oiseaux dans leur quotidien.

McLeod et al. (2013) ont réalisé une étude comparative sur la distance d'envol des oiseaux en fonction du mode de locomotion. Cette comparaison montre des résultats contrastés en fonction des stimuli et des espèces, avec des réactions différentes entre marcheurs, joggeurs, chiens et voitures, ne permettant pas de tirer de conclusions généralisables. Dans certains cas, une voiture évoque une réponse plus tardive des oiseaux qu'un marcheur. Les auteurs suggèrent ainsi d'amener les visiteurs sur un site touristique en bus plutôt que par véhicules individuels. D'une manière générale, les oiseaux réagissent par une distance d'envol plus faible dans un environnement urbain que dans un environnement rural (Samia et al., 2017, Møller et al., 2014). Une différence dans le même sens est notée entre une forêt peu fréquentée en France et des forêts très fréquentées en Suisse (ZH, BL) (Gugelman, 2016). Une différence est également relevée entre un marcheur qui s'arrête (par ex. un observateur) et un randonneur en mouvement continu, sans interruptions. Ce dernier entraîne une distance d'envol moins importante (Radkovic et al., 2019). Un autre facteur qui impacte la distance d'envol est la quantité de ressources en nourriture qui constitue un intérêt supérieur pour l'animal. Plus la ressource est rare, plus la distance d'envol est faible (Beale et Monaghan, 2004). La présence de végétation influence aussi la distance de réaction des oiseaux (Fernandez-Juricic et al., 2001).

Les oiseaux montrent des réponses FID différentes face aux comportements humains, indépendamment du mode de locomotion. Ainsi, les distances de fuite de plusieurs espèces diffèrent significativement entre les parcs et les cimetières (Morelli et al., 2018). Les auteurs expliquent cette différence par des comportements humains différents dans ces deux lieux (densité de personnes, vitesse de déplacement et peut-être présence des chiens dans les parcs).

Ces différences de distance de réaction (et de changement de comportement) sont difficiles à interpréter par rapport aux dérangements car cette réponse est influencée par des facteurs multiples, internes (état physiologique) et externes (environnement). La mesure FID reflète ainsi relativement mal la nature de l'impact effectif (positif, négatif ou neutre) des activités récréatives (Tarlow et Blumstein, 2007 ; Bejder et al., 2009). Tout au plus, cette distance FID indique-t-elle un effet de la présence humaine sur le comportement des animaux.

D'une manière générale, certaines espèces au moins démontrent des adaptations durables, physiologiques et comportementales, au contact des humains (Jimenez et al. 2011). Il est à noter que des espèces menacées, comme le Grand Tétrás, ne semblent pas être capables de s'adapter, à moins que les effets collatéraux de cette possible adaptation aient un impact trop négatif.

Limitation du proxy « distance de fuite » pour évaluer les effets des dérangements

Les observations de la distance de fuite ne permettent pas d'établir de lien de causalité entre le stimulus (visuel et sonore) et un impact durable au niveau de la population, et même de l'individu à cause d'effets confondants correspondant à d'autres facteurs passés et présents influençant la forme et la force de la réponse. La distance de fuite fournit une information seulement au niveau du comportement individuel instantané (et pas de la population). Ainsi, il n'est pas possible d'établir sur cette base des zones tampons fiables ou de proposer des restrictions du mode de locomotion. Des oiseaux habitués peuvent démontrer une réponse moins forte sur un site très utilisé pour les activités récréatives en comparaison avec des oiseaux peu coutumiers de rencontres avec les humains. Est-ce que l'état physiologique interne est comparable entre ces deux cas ? Est-ce que le taux de reproduction est identique entre ces deux situations ?

Sur la base de la littérature récente, nous recommandons de considérer les résultats obtenus sur la base de l'analyse de la distance de fuite avec prudence. Ces résultats, bien que démontrant parfois une différence comportementale entre deux groupes tests, ne peuvent pas être interprétés sans équivoque par rapport à l'impact de dérangements humains.

Les études, pour être pertinentes, devraient mesurer l'impact sur des populations et des associations animales par le « fitness » (Krimbas, 2004 pour un regard critique sur la notion de fitness), le succès de reproduction (Bertram, 2000) ou les relations écologiques entre les espèces (par exemple, la modification d'une relation entre une proie et un prédateur). L'application d'une méthode avec une mesure pré-aménagement et une autre post-aménagement est une approche typique des études d'impact. Cette approche suppose la prédisposition et l'engagement des maîtres d'œuvre à effectuer des adaptations post-construction si nécessaire. De plus, la mesure s'inscrit dans la durée pour obtenir un effet mesurable. Ces études plus fiables sont aussi plus longues et donc plus chères.

A noter que cette remarque sur le bien-fondé méthodologique de la mesure de la distance de fuite s'applique également aux études qui se restreignent seulement à une mesure de la présence/absence des oiseaux sans examiner le taux de reproduction.

3.8 Effet des dérangements sur les populations et les communautés d'oiseaux

L'étude de populations et du taux de reproduction des individus de ces populations est plus à même d'évaluer correctement l'impact des activités récréatives que des observations du comportement. L'évolution d'une population est dépendante de facteurs multiples, parfois interconnectés. Pouvoir différencier ces facteurs par des groupes témoins appropriés est important, comme l'est l'utilisation de méthodes d'analyses de données modernes. Les publications internationales récentes sont les plus pertinentes par rapport au développement des méthodes d'analyse.

Les communautés aviaires, c'est-à-dire la composition en espèces d'un groupe d'oiseaux sur un secteur forestier, sont modifiées par les activités récréatives (Francis et al., 2009 ; Miller et al., 2001 ; Miller et al., 1998). La gestion des chemins doit donc tenir compte de l'ensemble des espèces et non pas seulement d'une seule espèce (Rodríguez-Prieto et al., 2014), c'est l'approche multi-espèce.

Les espèces plus tolérantes, souvent généralistes, s'imposent sur les espèces les plus sensibles ou les plus exigeantes. Miller et al. (2001) ont ainsi montré un impact différencié des chemins pédestres sur les oiseaux forestiers. Les espèces généralistes y sont plus nombreuses, tandis que les espèces spécialisées sont moins fréquentes. D'une manière générale, les espèces répondent de manière différenciée aux perturbations (Blumstein et al., 2005 ; Guzwiler et al., 1998). Kangas et al. (2010) ont montré en Finlande un effet différencié entre des groupes d'espèces classées selon le type et la position du nid le long des chemins pédestres. Les espèces nichant au sol sont plus impactées que celles nichant dans les arbres et les buissons. Les espèces les moins impactées sont celles nichant en cavité. En Suisse, les oiseaux forestiers sensibles et nichant au sol sont principalement la Bécasse des bois, les Tétracidés (Gélinotte des bois, Grand Tétrard, Tétrard lyre) et localement l'Engoulevent d'Europe. D'autres espèces s'ajoutent à cette liste pour les lisières et les zones de transition agricole-forestières.

Cet effet des activités humaines a aussi été démontré dans le cas du ski. Rolando et al. (2013) ont montré que les forêts jouxtant les pistes des skis abritent moins de diversité avienne que celles éloignées des pistes de skis (voir aussi Caprio et al. (2014) et Laiolo et Rolando (2005). Ces auteurs suggèrent une autre approche dans l'aménagement des pistes de ski qui inclut des îlots d'arbres et des zones de transitions.

Une forte présence humaine peut se traduire également, non pas par la disparition d'une espèce mais plutôt par une diminution de sa présence, c'est-à-dire une plus faible densité de territoires. Mallord et al. (2007) ont étudié la probabilité de colonisation d'habitats appropriés par l'Alouette lulu (*Lullula arborea*) au niveau d'une population. Ils ont pu constater que les sites sujets à de fortes perturbations sont bien moins utilisés, atteignant 50% de probabilité d'occupation en moins par rapport aux sites non-perturbés. Le niveau de perturbation est inversement proportionnel à la

distance au parking le plus proche (un proxy de la force du dérangement). Ils suggèrent que l'impact négatif pourrait être augmenté, non pas par la présence de plus de visiteurs mais par une répartition spatiale homogène de ces visiteurs sur l'ensemble du site d'étude. Un aspect important à relever est que la simple présence/absence des espèces n'est pas une bonne mesure d'impact. Cet impact peut ainsi se traduire par la diminution de densité des territoires plutôt que par la disparition d'une espèce. L'étude de Mallord (2007) souligne aussi l'importance de la distribution spatiale des activités récréatives pour évaluer la force de l'impact.

L'impact des loisirs se reflète directement sur le succès de la nidification. L'effet des chemins pédestres se traduit par des différences sur la prédation des nids. Ainsi, les nids (en nichoirs dans cette étude) le long des chemins pédestres en forêt sont plus souvent prédatés par des oiseaux prédateurs que les nids éloignés de ces chemins (Miller et Hobbs, 2000). Une situation opposée est cependant observée pour la prédation par les mammifères. Ainsi, il ne suffit pas d'observer la densité des populations d'oiseaux pour mesurer un impact mais le taux de reproduction doit aussi être connu. Cette étude (Miller et Hobbs, 2000) montre en plus que les activités récréatives n'affectent pas seulement une espèce mais aussi les relations que cette espèce entretient avec les autres espèces de l'écosystème.

Des espèces généralistes ou commensales bénéficient au contraire des activités humaines. C'est le cas en particulier des corvidés, telle que la Corneille noire (*Corvus corone*) (Huhta et Sulkava, 2014 ; Storch, 2013). Une forte présence de corvidés agit cependant négativement sur les autres espèces de passereaux dont les nids peuvent être prédatés. Marzluff et Neatherline (2006) ont étudié l'effet négatif indirect des corvidés sur différentes espèces d'oiseaux. Ces Corvidés profitent des activités humaines pour proliférer et impacter plus fortement les autres oiseaux. Un tel effet peut potentiellement se produire à proximité d'infrastructures touristiques qui avantagent les corvidés, par exemple par des ressources en nourriture facilement disponibles et abondantes. Comme les corvidés se déplacent sur de grandes distances, la présence d'habitations (favorisant les corvidés) en dehors des zones de loisirs peut impacter ces zones de détente.

Approche pour la mesure de l'impact multi-espèces de longue durée

Un impact réel se traduit par des effets, potentiellement négatifs, sur les populations et les communautés d'oiseaux en affectant les succès de reproduction. Cet impact se réalise dans la durée. L'impact ne se concrétise pas exclusivement sur les espèces considérées mais aussi à travers les relations entre espèces.

C'est la raison pour laquelle les études d'impact et les potentiels mesures d'amélioration et d'atténuation qui en découlent doivent considérer l'ensemble des espèces (communauté), au-delà de la simple présence d'individus, en analysant la reproduction des oiseaux. Le déclin d'une population est particulièrement visible lorsque celle-ci est proche de l'extinction et que les mesures de protection arrivent trop tard et sont souvent vaines. La mesure de l'impact doit se réaliser en amont sur plusieurs années, c'est-à-dire pendant plusieurs saisons de reproduction.

La littérature moderne insiste sur l'approche multi-espèces et sur les considérations au niveau de la viabilité et de la densité des populations, plutôt que sur des études comportementales, portant sur la simple présence/absence de l'espèce ou de trop courte durée.

3.9 Impact sur certaines espèces et groupes d'oiseaux

3.9.1 Rapaces forestiers

Les rapaces font l'objet d'un traitement spécifique dans la littérature. Dans le cadre forestier, ces oiseaux nichent en solitaire dans de grands arbres, dans des falaises de petites et grandes tailles, dans les zones forestières et plus rarement, directement au sol (Grand-duc d'Europe ?, *Bubo bubo*). Ces oiseaux sont sensibles pendant la période de nidification ou en cas de dérangements ponctuels forts (ex. fêtes en forêt) ou répétées, les amenant à abandonner leur nichée.

L'Aigle royal (*Aquila chrysaetos*), une espèce répandue mondialement, a été bien étudiée. La nidification des aigles royaux est fortement perturbée par les différentes activités récréatives, réduisant la densité de nicheurs et la taille de la ponte (Spaul et Heath, 2016). Spaul et Heath (2017) ont observé que l'Aigle royal s'enfuit en particulier quand un véhicule s'arrête et que ses occupants en sortent pour une promenade à pied. Si cet aigle en Suisse niche surtout dans les grandes falaises des Alpes, il occupe au contraire de petites falaises en forêt, voire potentiellement des arbres dans certains sites du Jura par exemple. Spaul et Heath (2017) proposent ainsi de limiter les activités récréatives par une zone d'exclusion de 1000m autour de l'aire d'un Aigle royal. Kuisanlahti-Jokimäki et al. (2008) ont étudié l'effet de centres touristiques sur ce grand rapace et ils ont pu montrer que le taux d'occupation des territoires diminue de manière inversement proportionnelle à la taille du centre touristique.

Martínez et al. (2010) ont utilisé la distance aux routes comme proxy de l'accessibilité pour les loisirs des sites de nidification. Ils ont montré un effet significatif de déplacement des nids des rapaces loin des routes, avec un éloignement plus important pour les plus grands oiseaux nichant dans les arbres.

En Suisse, des espèces comme le Circaète Jean-le-Blanc (*Circaetus gallicus*), potentiellement l'Aigle royal et peut-être bientôt le Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus* ; voir balbuzards.ch) sont de grands rapaces construisant leur aire sur les grands arbres. Ils sont localisés avec des populations peu denses. Le Milan royal (*Milvus milvus*) est une espèce répandue nichant aussi sur les arbres alors que l'Autour des Palombes (*Accipiter gentilis*), une espèce moins fréquente, construit également son nid en forêt. Selon une étude empirique (Ruddock et Whitfield, 2007), les distances à respecter à proximité de l'aire pour éviter des dérangements sont de 300 m pour le Balbuzard pêcheur, 600 m pour l'Aigle royal, 200 m pour l'Autour des palombes et 150 m pour le Milan royal. Le Milan royal peut à cause des dérangements provoqués par des promeneurs abandonner sa nichée (David et al., 2017). A noter cependant que les Milans peuvent changer spontanément l'emplacement de leur aire à l'intérieur d'un périmètre limité, tous les 2 à 3 ans. La causalité entre les dérangements et l'échec d'une nidification n'est pas évidente à démontrer.

En plus des dérangements en période de nidification, des effets indirects sont observés lorsque des dérangements des sites de nidification ont eu lieu en absence des oiseaux. Les dérangements des sites de nidification, hors de la période de nidification, occasionnent des déplacements des oiseaux au retour des sites d'hivernage (Morant et al., 2018). Ces auteurs ont considéré des changements affectant la structure de la végétation et du paysage, entre autres la création de parkings, d'observatoires et de pistes cyclables mais aussi des exploitations forestières fortes. Peut-être cet impact est-il plus faible si l'offre en sites de nidification est suffisamment élevée (grands arbres et falaises).

En plus de la localisation de l'activité récréative par rapport au site de nidification, la temporalité des dérangements revêt une grande importance. En particulier, les périodes de vacances sont très propices à une intensité élevée de dérangements. Ces périodes coïncident en partie avec les périodes de nidification des oiseaux. L'effet « week-ends » est bien connu des défenseurs de l'environnement. En se basant sur une espèce d'aigle munie de transpondeurs GPS/GSM en France et plus de 1.4 millions de positionnement, Perona et al. (2019) ont montré que ces oiseaux augmentent leur domaine vital durant les vacances et les week-ends. Cette étude met en évidence un impact temporaire des loisirs de masse qui affecte potentiellement le succès de reproduction autant que la densité d'oiseaux nicheurs. Cet impact peut donc persister au-delà des moments où il est effectivement observé. En Corse, l'écotourisme de masse s'est révélé néfaste pour les couples de Balbuzards pêcheurs (Monti et al., 2016). Les oiseaux nichant dans une zone protégée ont des nichées plus petites qui s'expliquent par un budget temporel journalier modifié par la présence des visiteurs. Ainsi, ces oiseaux subissent un niveau de stress élevé.

Rapaces peu fréquents

Une mesure de protection appliquée pour les grands rapaces dans les régions très fréquentées pour les activités de plein air est de restreindre l'accès terrestre et aérien dans une zone tampon autour des aires pendant la période de nidification. Cette mesure s'applique au cas par cas pour les espèces rares et fidèles au site de nidification. Elle implique évidemment de connaître la position

de l'aire. Cette approche n'est pas pertinente pour des espèces plus communes pour lesquelles une planification globale des accès aux sites de loisirs est plus pertinente. Cette mesure de planification est discutée et élaborée plus en avant dans ces pages.

3.9.2 Tétrás lyre (*Lyrurus tetrix*)

Cette espèce est moins forestière que le Grand Tétrás mais elle dépend tout de même des forêts. Le tétras lyre habite les milieux semi-ouverts mixtes à la limite supérieure des forêts, plutôt dans les zones de transition. Il consomme les bourgeons des conifères, comme le Mélèze, mais aussi ceux du hêtre en hiver. L'espèce est sédentaire et donc doit survivre les hivers en montagne à haute altitude.

Les activités de skis impactent négativement cette espèce (Stucki, 1983). Par la mesure des métabolites de la corticostérone dans les fèces des tétras, il a pu être montré que les oiseaux dans les zones utilisées pour le ski de piste, le hors-piste et le ski de randonnée présentent des taux élevés d'hormone. Cette caractéristique physiologique est liée à des envols de fuite provoqués par les dérangements (Arlettaz et al., 2013). Un changement de comportement de nourrissage des mâles a aussi été démontré dans les zones très fréquentées (Schränk, 2009). Il a aussi été démontré que l'abondance de l'espèce est influencée par la densité de téléskis (Patthey et al., 2008). En plus, les installations de skis provoquent une mortalité directe importante par des collisions avec les câbles (Miquet, 1990).

La protection du Tétrás lyre passe par la régulation des activités de skis dans les Alpes. Des zones de tranquillité avec une canalisation des skieurs sont déjà en place dans certaines régions de Suisse. Il conviendrait de bien associer les visiteurs à ces mesures pour qu'elles soient perçues positivement (voir section 9).

Une solution au conflit entre la pratique des activités sportives, en particulier hivernales, et le Tétrás lyre est la gestion des accès aux sites et une bonne planification des chemins, sentiers, routes et des activités indépendantes de ces infrastructures. Une diminution de la dispersion de ces infrastructures pour favoriser la canalisation des flux de visiteurs et des activités permet un impact spatial plus réduit et résulte dans les faits en une séparation spatiale entre activités récréatives et oiseaux. Cette séparation peut être réalisée à différentes échelles. Cette planification doit aussi empêcher la fragmentation de l'habitat des tétras (sur la fragmentation de l'habitat, voir par exemple Fernando et al., 2019 ; Ceia-Hasse, 2018).

3.9.3 Grand Tétrás (*Tetrao urogallus*)

Le Grand Tétrás est l'espèce emblématique des forêts, souvent évoquée lorsque la question des dérangements est abordée. En Suisse, son aire de distribution ne cesse de se restreindre. Le Grand Coq peut être considéré comme disparu dans le Canton de Neuchâtel (com. pers. 2019). Les causes de ce déclin sont liées à la structure des forêts et aux dérangements. Dans la Saxe, la disparition du Grand Tétrás a été attribuée en grande partie à l'augmentation des activités d'escalade (Klaus et Augst, 1994).

Le phénomène est établi par Rösner et al. (2013) qui parlent d'un « paysage de la peur » (*landscape of fear*) façonné par les activités humaines dans les milieux pourtant favorables à cette espèce en Europe centrale. L'habitat favorable au Grand Tétrás sur le territoire forestier est fortement réduit par les activités récréatives parce que l'oiseau évite les sentiers et les pistes (Coppes et al., 2017). Ces auteurs soulignent aussi l'importance des strates basses qui offrent une protection visuelle. Coppes et al. (2018) ont examiné la relation entre les habitats favorables au Grand Tétrás et les activités récréatives. Ils notent un effet négatif des activités récréatives sur le Grand Tétrás. Ces auteurs relèvent aussi que localement, la création d'habitats favorables à cet oiseau peut compenser l'effet négatif d'activités récréatives, tout en soulignant l'importance de zones sans aucune activité. En guise de cas d'étude, l'ouverture d'une station de ski dans les Pyrénées a fait passer le nombre de Grands Tétrás de 130 individus à 60 en seulement 6 ans (Brenot et al., 1996). Storch (2013) note que la majorité des études réalisées sur les Tétréonidés se focalisent sur des réponses individuelles et pas sur les effets des dérangements sur les populations.

Dans son étude basée sur des opinions d'experts, Marshall (2005) relève comme facteur négatif les chiens sans laisse et comme facteur positif la strate basse fournissant une protection aux oiseaux. Moss et al. (2014) montrent, comme Coppes et al. (2017), que les poules et les coqs évitent les sentiers, réduisant ainsi l'habitat disponible. Ils notent aussi une fréquentation importante des zones sans sentiers qui servent selon eux de refuge pour les oiseaux. Cette étude souligne une nouvelle fois la nécessité d'une planification réfléchie des accès et des parcours pour tenir compte des besoins des espèces cibles en canalisant les activités humaines.

La solution de cohabitation passe par une planification des chemins. Le cas d'étude de Fink et Schwärzli (2018) est particulièrement éloquent. Ces auteurs ont montré que la nouvelle planification des chemins de la Forêt Noire a permis d'agrandir en hiver les zones de tranquillité du Grand Tétras de 70%. Dans cet exemple, une planification estivale des chemins et une planification hivernale avec 3 fois moins de chemins sont proposés aux visiteurs. En Suisse, dans le Val Müstair, l'observation des déplacements des sportifs en hiver a mis en évidence un parcours apprécié qui traversait un secteur central pour le Grand Tétras (Rupf et al., 2011). Le conflit ainsi découvert a été résolu par des mesures de gestion. Pour la Suisse, les études de Paul Ingold sur les espèces alpines sont particulièrement pertinentes (Ingold, 2004). Elles soulignent que les zones protégées, bien que positives, ne peuvent pas suffire pour préserver une espèce comme le Grand Tétras car ces zones sont forcément limitées en taille et en nombre. Elles doivent en outre être connectées, ce qui implique une gestion des activités (récréatives) en dehors des zones protégées. Le Grand Tétras est au bénéfice du plan d'action fédéral (Mollet et al., 2008).

Enfin, il faut mentionner le rôle de certains prédateurs, tels que le sanglier, qui s'attaquent aux nichées d'oiseaux au sol et sont en partie responsables du déclin du Grand Tétras (Darino, 2014 ; Oja et al. 2017). Bien que la thématique de la chasse ne soit pas traitée dans cette étude, son rôle dans la régulation du sanglier et donc son lien indirect avec la dynamique de certaines espèces d'oiseaux, telles que le Grand Tétras, se doivent d'être mentionnés. En outre, cette prédation naturelle pourrait expliquer la poursuite du déclin du Grand Tétras alors même que de nombreuses forêts au sein de son aire de répartition ont été structurées pour favoriser sa conservation depuis plus de 20 ans (propos recueillis auprès de Pierre Alfter, collaborateur au sein de la Division Forêts de l'OFEV).

Grand Tétras

Une mesure essentielle pour permettre au Grand Tétras de subsister est une planification des chemins, routes, sentiers et parkings de manière à créer de grandes zones de tranquillité, c'est-à-dire avec peu de dérangements, en hiver comme en été.

Une canalisation des activités sportives hivernales sans infrastructures dédiées, comme le ski de randonnée ou la randonnée en raquettes, sont également nécessaires pour rendre cette planification efficace. Cette mesure de planification bénéficie par ailleurs à de nombreuses espèces. Dans la perspective d'évaluer son efficacité, cette mesure seule n'adresse évidemment pas l'ensemble des facteurs (et leurs interdépendances) qui peuvent affecter négativement une population de Grand Tétras. Par exemple, il faut aussi des habitats forestiers adéquats pour cette espèce (Coppes et al., 2018, Kortmann et al., 2018). Il s'agit donc de restaurer l'intégrité écologique des forêts.

La densité des chemins forestiers est élevée en Suisse, par comparaison internationale (Brändli, 2010). Une réduction de cette densité serait globalement favorable à la conservation des espèces. Une telle planification ne peut se faire qu'à une échelle régionale en tenant compte des spécificités biologiques locales et des valeurs touristiques.

3.9.4 Bécasse des bois (*Scolopax rusticola*)

La Bécasse des bois a déserté les régions de basse altitude du pays. Elle a aussi déserté l'est du Jura. Le déclin de l'espèce dans le Jura neuchâtelois, une zone dite d'altitude, a été montré récemment (Zimmerman et Santiago, 2019). En France voisine, une diminution de 30% des effectifs en trente ans a aussi été constatée (Réseau Bécasse, lettre d'information, 2018). Les dérangements

sont une des causes de cette diminution. La Bécasse reste tardivement dans nos régions jusqu'en octobre et novembre, parfois plus tard si la neige le permet. Une nouvelle étude suisse doit être publiée en 2020 sur l'état de population des Bécasses (Centre Suisse de Cartographie de la Faune).

Cette revue de littérature n'a pas permis d'identifier de publications portant spécifiquement sur l'impact des activités récréatives sur la Bécasse (hors thématique chasse).

Comme pour les Tétrionidés, la planification des accès est une solution pour diminuer l'impact des randonneurs et des chiens(?) sur cette espèce. La planification des activités de sports d'hiver est (au contraire des Tétrionidés) moins pertinente pour cette espèce qui cherche sa nourriture au sol et quitte les régions d'altitude lorsque la couverture neigeuse devient persistante ou que le gel du sol persiste.

3.9.5 Gélinoite des bois (*Bonasia bonasia*)

Blattner et Perrenoud (2001) citent les dérangements comme un facteur de disparition de cette espèce, pourtant moins sensible que le Grand Tétrion. Dans son guide des pratiques de gestion pour les Tétrionidés, Suchant et Braunisch (2004) n'évoquent pas dans les principales menaces sur cette espèce les dérangements dus aux activités récréatives, contrairement aux téttras. La fragmentation des forêts est souvent évoquée comme l'une des menaces principales. Aucune littérature spécifique sur l'impact des dérangements humains sur la gélinoite des bois n'a été trouvée. Dans certaines régions, où le Grand Tétrion a disparu ou est en déclin, cette espèce est parfois considérée comme « la suivante sur la liste » (com. pers.).

3.9.6 Engoulevent d'Europe (*Caprimulgus europaeus*)

Cette espèce forestière, dépendante aussi des milieux ouverts, est très localisée en Suisse, par exemple au Valais. Des études en provenance d'autres pays (Royaume-Uni) démontrent un impact des loisirs sur l'Engoulevent d'Europe.

L'étude de Langston et al. (2007) montre que les nidifications qui échouent se trouvent sur les sites les plus proches des chemins pédestres ou du point d'accès aux sentiers et sur des sites avec des densités de sentiers élevées. Une étude plus récente sur 10 ans a montré que la population nicheuse d'engoulevents dans un secteur où la fréquentation liée aux loisirs a doublé, s'est effondrée tandis que sur un secteur voisin sans visiteurs, la population se maintient (Lowe et al., 2014). Ces auteurs ne trouvent cependant aucune différence sur le succès de reproduction entre les deux secteurs étudiés. Liley et Clark (2003) et Murison (2002) confirment que la présence d'habitations, un *proxy* pour l'intensité de la présence humaine sur les territoires de nidification est inversement corrélée avec la présence des engoulevents.

3.10 Mesures d'atténuation de l'impact des activités récréatives sur les oiseaux

Certaines mesures pour mieux concilier activités récréatives et protection des oiseaux sont proposées de manière répétée dans la littérature. Parmi les mesures mentionnées, nous pouvons citer :

- la planification des chemins de manière à conserver des zones sans accès ou avec un accès difficile et long,
- des restrictions d'accès (l'absence de chemins, des obstacles ou des barrières (préférentiellement naturelles) comme des haies, des étendues d'eau ou marécageuses, des troncs d'arbres couchés, des tas de branches, etc.),
- des aménagements végétaux en bordure des chemins, par exemple buissons ou ronces pour limiter la visibilité et les sorties hors des chemins,
- des interdictions avec des panneaux informatifs (de telles interdictions sont accompagnées effectivement de sanctions en cas de non-respect) ; cette mesure n'est pas applicable dans toutes les situations et peut provoquer des réactions négatives contreproductives,

- le contrôle et l'élimination des apports en matériau liés aux activités récréatives (les apports de nourriture sont particulièrement concernés),
- l'exclusion ou des restrictions concernant les chiens et certains modes de locomotions (par exemple le vélo permet d'atteindre des zones éloignées et le déplacement à vélo est plus rapide que la randonnée) ; ces restrictions peuvent aussi ne s'appliquer que sur certaines périodes annuelles correspondant aux activités biologiques des oiseaux (typiquement la nidification).

Ces mesures de gestion des visiteurs s'accompagnent de mesures d'aménagement forestier favorables aux espèces dans les zones de tranquillité créées par la planification des chemins. Pour les espèces mentionnées ci-dessus, de tels aménagements sont par exemple des clairières, des strates inférieures riches en buissons ou encore du bois mort sur pied ou au sol. Ces aménagements sont particulièrement importants pour l'utilisation de ces zones de tranquillité par les espèces cibles. Parmi ces aménagements, ceux qui sont dédiés à diminuer le contact visuel et physique entre visiteurs et oiseaux ou servant d'abris peuvent aussi être placés en dehors des zones de tranquillité à proximité des chemins (Fig. 5).

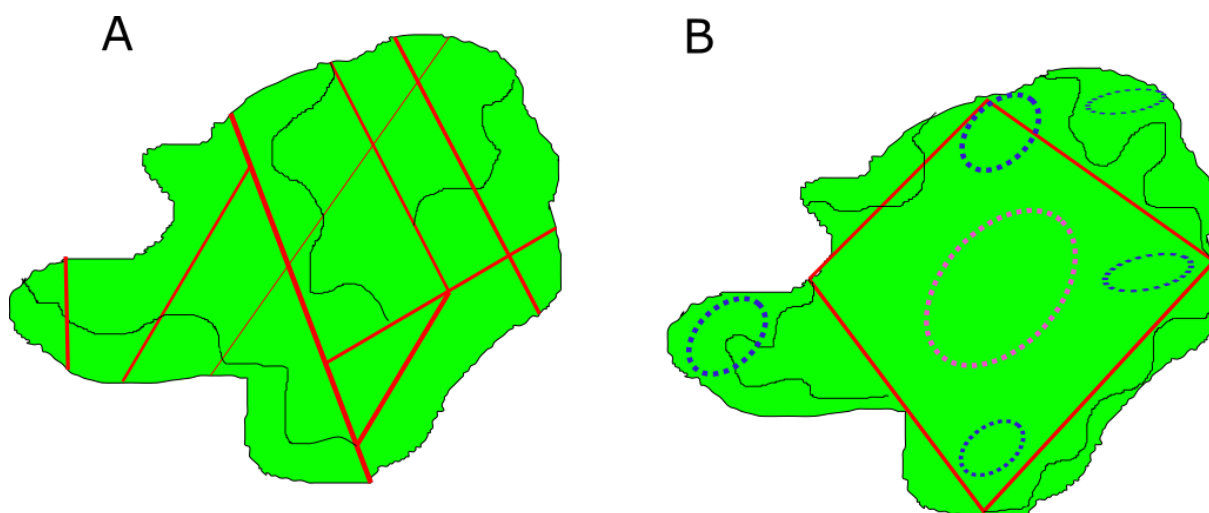


Fig. 5 : Schéma d'une planification théorique des chemins pour une cohabitation réussie entre la faune et la pratique d'activités récréatives. A : une forêt (vert) avec de nombreux chemins et sentiers accessibles (respectivement rouges et noirs) disposés en grille. Aucun espace n'est aménagé pour la tranquillité de la faune. B : la même forêt (vert) avec des chemins et sentiers (respectivement rouges et noirs) en périphérie créant une zone de tranquillité au centre. La densité de chemins et sentiers est diminuée. Au centre, un aménagement forestier favorable à la faune est créé (violet). D'autres aménagements servant d'abris sont créés plus en périphérie. Les aménagements des bords de chemins et sentiers pour canaliser les visiteurs sur les infrastructures existantes et réduire les contacts visuels entre la faune et les visiteurs ne sont pas montrés dans cette figure.

Parmi ces mesures utilisées pour mieux concilier la présence humaine et les oiseaux, l'utilisation de barrière pour séparer les personnes des oiseaux a un effet positif sur le comportement des oiseaux (Ikuta et Blumstein 2003). Cette mesure peut apporter une réponse à des conflits ponctuels et localisés.

Pour gérer des cas spécifiques, la taille de l'espèce est un bon *proxy* de la distance d'impact des activités humaines sur les oiseaux (Blumstein 2006 ; Blumstein et al, 2005 ; Fernandez-Juricic et al., 2004). Cela signifie que plus l'espèce cible est grande, plus la distance séparant les activités de ces oiseaux doit être grande.

4. Impact des activités humaines sur les mammifères forestiers

Larson et al. (2016) ont conduit une revue de littérature sur les effets des activités récréatives sur les animaux (majoritairement les mammifères et les oiseaux). Il en ressort que dans 93% des cas, un effet des activités récréatives sur les animaux a pu être montré et que, parmi ces études, 59% montraient un effet négatif. Ce dernier chiffre doit être nuancé par le fait que des effets négatifs potentiels ne peuvent être certifiés qu'après un suivi sur plusieurs années et/ou sur des populations plutôt que des individus à un instant précis.

L'effet des activités récréatives se traduit par des changements directement observables, tels que le comportement animal ou les variables physiologiques mais aussi des changements observables dans le moyen terme, tels que la perte d'habitat ou la diminution des populations en conséquence de la diminution du fitness des animaux.

L'effet des dérangements dus aux activités récréatives s'additionnent à d'autres facteurs indépendants ou indirectement liés à ces activités. Kays et al. (2017) ont montré que la présence de randonneurs produit un effet mineur comparé à la fragmentation des forêts pour expliquer la distribution observée des mammifères. Cette fragmentation des habitats est le résultat des activités humaines.

Les animaux modifient leur comportement en réponse à une perturbation de l'environnement créée par la présence de visiteurs. Cette modification comportementale s'exprime autant spatialement que temporellement. Par exemple, et d'une manière générale, les animaux changent leur comportement vers plus d'activités nocturnes dans les régions avec de forts dérangements (Gaynor et al., 2018, Oberosler et al., 2017, Wang et al., 2015, George et Crooks, 2006) ou encore, ils utilisent l'espace de manière à éviter des humains.

La structure des paragraphes suivants reflète l'abondance de la littérature en fonction des thématiques traitées. De nombreuses études traitent des grands mammifères, comme les carnivores et les ongulés, mais peu d'études se sont intéressées à la petite faune, comme les mustélidés (Lozano et al., 2019). La principale activité examinée est la randonnée. On peut supposer que cette sélection se base sur les conflits avérés, l'importance économique d'une espèce ou simplement des aspects pratiques, comme l'abondance des animaux dans des lieux perturbés par les activités récréatives.

Les effets directs et indirects des activités humaines

Si une activité récréative peut éloigner certaines espèces des lieux fréquentés, ce changement modifie aussi l'écosystème dans son entier, favorisant certaines espèces aux dépens d'autres. La plupart des études se focalisent sur une espèce ou un groupe d'espèces mais n'évaluent pas l'effet que les changements comportementaux ou de la population de l'espèce cible induisent sur les autres espèces de l'écosystème.

Les effets des activités récréatives doivent donc être évalués sur l'ensemble de l'écosystème, y compris lorsqu'une seule espèce constitue le vecteur de changements.

Généralisation

La généralisation des conclusions des études, en particulier comportementales, est difficile car les facteurs liés aux activités récréatives (type, intensité, fréquence, infrastructures, histoire), à la portée des dérangements (topographie, strate herbacée) ou encore à l'écologie (prédateurs-proies, ressources alimentaires, fragmentation) ne sont pas présentés systématiquement et de manière standardisée. Une conclusion quantitative tirée sur un site ne s'applique pas nécessairement à un autre site. Ce problème peut être illustré par des contradictions relevées dans la littérature. Seuls les principes généraux sont une information utilisable pour une transposition d'un site vers un autre car ils sont supérieurs aux caractéristiques locales de chaque site. La mise en œuvre pratique d'une mesure d'atténuation est propre à chaque site. Toute étude (d'impact ou scientifique) sur les dérangements devrait débuter par l'étude quantitative et qualitative des activités récréatives sur le site choisi.

4.1 Impact sur certaines espèces et groupes de mammifères

4.1.1 Les mammifères carnivores

La gestion et la cohabitation avec des mammifères carnivores, plus précisément des grands carnivores, sont des sujets de société sensibles (Lozano et al., 2019). Ces animaux qui occupent de grands territoires sont en général craintifs et les activités humaines, dont les activités récréatives, ont un impact important sur eux. Ainsi, la compatibilité des activités récréatives dans des zones protégées dans lesquelles ils sont présents est remise en question par certaines études. Reed et al. (2008) ont montré un déclin (par un facteur 5) des populations de carnivores par la comparaison entre une zone fréquentée par des visiteurs dispersés et une zone sans activités récréatives. Dans un pays très densément peuplé comme la Suisse (2019 : 217.4 pers/km²), ce constat peut être appliqué à l'ensemble du territoire national, celui-ci étant utilisé dans son intégralité (ou presque) pour les activités humaines et les activités récréatives.

Parmi les loisirs, il faut distinguer les activités récréatives liées à des infrastructures (ex. les chemins) des activités estivales et hivernales pratiquées en dehors des chemins balisés. En général, les activités récréatives hivernales en dehors des chemins balisés entraînent une réponse (comportementale) plus marquée que celles pratiquées sur les chemins balisés (Heinemeyer et al., 2019).

La présence humaine peut affecter négativement les superprédateurs mais cette même cause peut avoir un effet différent sur les prédateurs intermédiaires, modifiant la relation entre ces deux groupes. Si les chiffres ne sont pas bien connus faute de recensement précis, on considère que la population de Renard roux (*Vulpus vulpus*) en Suisse a quadruplé en trente ans. Plusieurs causes peuvent être avancées sans être confirmées : lutte contre la rage, aménagement du territoire, manque de prédateurs naturels (Oggier, 2013). Le renard a certainement bénéficié de la fragmentation des forêts et de l'utilisation agricole du sol (Kurik et al., 1998). Il exerce à son tour une prédation plus forte sur les oiseaux nichant au sol. La relation entre les différents prédateurs (et les proies) est ainsi modifiée par les activités humaines (Wang et al., 2015 ; Elmhagen and Rushton, 2007). Ces modifications se reflètent aussi à travers une distribution spatiale différenciée : les superprédateurs évitent les zones urbanisées tandis que les autres prédateurs les colonisent et se multiplient. De plus, ces animaux s'adaptent à cet environnement artificiel nouveau en augmentant leur taux d'activités nocturnes dans les zones peuplées. George et Crooks (2006) ont ainsi montré que pour éviter les humains, les prédateurs intermédiaires modifient leur rythme de vie nyctéméral.

Reed et Merenlender (2011) se sont intéressés à l'effet des chiens sur la présence des carnivores aux Etats-Unis. Ils n'ont noté aucune différence sur la présence et l'activité des carnivores entre des sites avec des réglementations différentes (chiens en laisse, chiens sans laisse et interdits aux chiens). Ils notent cependant une différence marquée pour un site complètement interdit d'accès et concluent que la présence humaine plus que la présence des chiens affecte la présence des carnivores. La simple présence humaine génère du stress chez les carnivores, comme attesté par différents métabolites dans les matières fécales de la martre (*Martes martes*) (Barja et al., 2007). Ces métabolites ont pu être corrélés avec la fréquentation humaine sur le site de la découverte des matières fécales.

4.1.2 Ours brun (*Ursus arctos*)

L'ours fait un retour timide en Suisse. L'impact des activités récréatives a été étudié là où les populations d'ours sont suffisamment importantes. D'une manière générale, l'ours en Europe est un habitant des forêts et il évite les lieux habités autant que possible (Fernandez et al., 2012).

Les ours évitent les humains en adaptant leurs activités journalières et les zones fréquentées. Oberosler et al. (2017) ont montré dans les Alpes, la détectabilité des ours est inversement proportionnelle à la présence humaine et proportionnelle à la distance aux habitations. Les périodes d'activité des ours sont aussi adaptées pour éviter les humains sur les sites très

fréquentés. Martin et al. (2010) ont aussi montré en Scandinavie un comportement d'évitement des ours bruns par rapport aux activités humaines. Les ours utilisent de préférence les régions éloignées (> 10 km) des centres urbains et des installations touristiques en Suède (Nellemann et al., 2007). Ce comportement de déplacement des ours a été également montré en Amérique du Nord (Coleman et al., 2013) mais une cohabitation plus étroite existe en Espagne qui induit une adaptation comportementale des animaux (Zarzo-Arais et al., 2013).

Une étude comportementale avec des ours télémetrés (N = 169) en Scandinavie a montré que l'ours a été vu par le randonneur dans seulement 15% des cas. 80% des ours ont quitté le site où ils se trouvaient à l'approche de la personne (Moen et al., 2012).

En conclusion, l'éparpillement, plutôt que la concentration, sur le territoire des infrastructures d'accueil du public est néfaste à une bonne cohabitation entre l'ours et les humains. Ce principe s'applique pour les autres carnivores mais aussi les autres animaux comme les oiseaux.

4.1.3 Lynx d'Europe (*Lynx lynx*)

Comme pour l'ours, le lynx adapte son comportement en fonction de la présence humaine. Le temps passé près d'une proie la nuit comme les positions diurnes du lynx sont négativement corrélées avec la présence humaine (Belotti et al., 2012). Il a aussi été montré que le lynx réduit ses mouvements et adapte son rythme jour-nuit lorsqu'il est confronté aux activités récréatives hivernales (Olson et al., 2018). Globalement, il choisit d'éviter les sites avec beaucoup d'activités humaines (Belotti et al., 2018, Filla et al., 2017).

En résumé, le lynx évite l'homme en s'adaptant mais ces adaptations peuvent affecter son fitness et finalement, la taille de la population de lynx. Les activités récréatives estivales comme hivernales ont un impact négatif sur cette espèce. Comme pour l'avifaune, une canalisation des flux de visiteurs et une planification globale des chemins, routes et sentiers permettent d'aménager des zones de tranquillité, c'est-à-dire des zones peu ou non fréquentées par les humains.

4.1.4 Loup gris (*Canis lupus*)

Le loup se comporte comme le lynx et l'ours en évitant globalement les rencontres avec les humains. Le loup évite aussi bien les routes, les chemins pédestres que les constructions humaines (Rio-Maior et al., 2019). En général, il évite totalement les zones avec de fortes activités humaines (Lesmesris et al., 2012 ; Eggerman et al., 2011 ; Musiani et al., 2010). Toutefois, le loup répond aux activités humaines de manière différenciée en fonction de la phase du cycle nyctéméral, évitant les zones fréquentées le jour et s'en approchant la nuit (Hebblewhite et Merrill, 2008). Ce comportement d'évitement réduit de fait la taille de l'habitat favorable et se traduit donc par une perte d'habitat pour le loup.

Les activités récréatives impactent la reproduction des loups. Sa reproduction est négativement affectée par la présence humaine en augmentant le stress et en réduisant ainsi la capacité des adultes à supporter les jeunes (Sidorovich et al., 2017). Frame et al. (2007) ont montré que les loups peuvent déplacer les louveteaux en cas d'activités de randonnée proche de la tanière.

Au Canada, les chemins et les routes altèrent le mouvement des loups qui évitent en particulier de traverser les infrastructures très fréquentées, qu'il s'agisse de routes ou de simples chemins (Whittington et al., 2004). Étonnamment, les sentiers ont un impact aussi important que les routes. Dans d'autres situations, toujours au Canada, le loup s'installe à proximité de ces voies de communication qui lui facilitent les déplacements et dans certains cas, lui permettent d'accéder à de la nourriture offerte par les activités humaines (Callaghan, 2002). Cette différence de comportement peut être expliquée par la densité (des activités) humaine(s) (Whittington et al., 2005). Les régions densément utilisées par les humains sont les plus évitées, comme le sont les routes ou chemins les plus fréquentés.

La relation entre proies et prédateurs est aussi modifiée par la présence de randonneurs sur les sentiers. Le loup évite donc une trop grande proximité avec les chemins fréquentés tandis que le cerf utilise ces zones comme refuge (Rogala et al., 2011). Comme cela est mis en évidence ci-

dessus, l'impact des activités récréatives sur le loup affecte l'écosystème dans son intégralité puisqu'on peut supposer qu'une présence accrue des cerfs va se refléter sur l'abrutissement du rajeunissement.

Les grands prédateurs

Le comportement des grands prédateurs est fortement affecté par la présence humaine et la présence des infrastructures d'accueil (sentiers, chemins). Les animaux adaptent leurs comportements spatialement et temporellement à ces contraintes, ce qui a des conséquences sur leur fitness, leur reproduction et leur population. De plus, les grands prédateurs ne peuvent plus exercer leur rôle positif de régulateurs (au moins à une échelle locale) avec des conséquences en cascade possibles affectant l'ensemble de l'écosystème. Ces effets sont particulièrement forts dans les zones avec de fortes densités d'activités humaines qu'il conviendrait donc de restreindre spatialement. Une cohabitation (avec probablement des densités de population de grands prédateurs comparativement faibles) existe dans certains pays voisins.

Une gestion et une planification des chemins tenant compte des besoins de la faune et incluant les visiteurs (voir section 9) est une solution possible. En comparaison avec les oiseaux, le défi réside probablement dans une planification à une échelle plus importante. Par ailleurs, c'est un sujet qui peut s'avérer politiquement sensible.

4.1.5 Les mammifères ongulés

Les ongulés en Suisse ne sont pas menacés (à l'exception du cas particulier du Mouflon, *Ovis gmelini musimon*, dans le Chablais valaisan et du Cerf sika, *Cervus nippon*, des espèces allochtones). Ce groupe d'espèces a été beaucoup étudié par rapport aux dérangements occasionnés par les activités récréatives. L'intérêt académique pour ces espèces communes est évident. En outre, la taille de ces populations dépend aussi fortement des quotas de chasse, ex. le Chamois (ATS, 2017).

Jusque dans les années 1980 (au moins), les études d'impact sur les grands mammifères (ou du moins sur les ongulés) se sont focalisées sur des aspects comportementaux d'individus et ont donc porté sur une échelle spatio-temporelle restreinte, négligeant les effets à plus large échelle. Plus récemment, des études ont montré comment un impact local se traduit dans le temps par des changements d'utilisation de l'espace par les animaux mais aussi comment cet impact peut perdurer dans le temps au-delà de la durée du dérangement (Vistnes et Nellemann, 2008). Pour la Suisse, les études de Paul Ingold sur les mammifères alpins sont particulièrement pertinentes (Ingold, 2005 ; Ingold, 2004 ; Ingold, 2003).

Comme les mammifères carnivores, ces grands animaux adaptent leurs comportements aux activités humaines. Dans les zones avec une forte pression touristique, le mouflon modifie son rythme d'activités en augmentant son activité nocturne (Marchand et al., 2014). Les cerfs évitent les chemins de randonnée lorsque ceux-ci sont utilisés. Ils adaptent ainsi leur comportement en s'éloignant des chemins, en fonction de l'intensité d'utilisation (Wisdom et al., 2018). L'élan montre un comportement de vigilance accru le long des routes fréquentées et du trafic motorisé, ce qui réduit le temps consacré au nourrissage (Ciuti et al., 2012). Ces auteurs soulignent que le type d'activité détermine l'impact (de cette activité récréative) sur les animaux.

Les dérangements se présentent sous des formes diverses en fonction de la densité des visiteurs, de leurs activités et de leurs comportements. Par exemple, le nombre de dérangements est corrélé avec le nombre de visiteurs qui, pour certains d'entre eux, poursuivent des animaux, typiquement pour prendre des photos (Cerderna and Lovari, 1985). Ces dérangements répétés affectent la structure sociale des groupes d'ongulés (Manor et Saltz, 2003). Ou encore, la présence de chiens, en laisse ou sans laisse indifféremment, augmente la distance de fuite du mouflon en comparaison de la distance de fuite observée en réaction à deux personnes sans chien (Martinetto et Cugnasse, 2001). L'influence de ces intrus sur le Mouflon s'étend sur une surface de 7.5 ha. Ces effets sont aussi notés au niveau physiologique. La présence d'un chien augmente la fréquence cardiaque des animaux, en comparaison d'une personne seule (MacArthur et al., 1982).

Un type d'activités génère des effets propres à cette activité. Par exemple, un randonneur a plus d'impact sur la réponse comportementale des ongulés que le bruit ou un véhicule motorisé (Stankowich, 2008). Dans certains cas, des effets propres à une activité n'ont pas pu être mis en évidence par rapport à une autre activité, par exemple entre la pratique du VTT et la randonnée.

L'effet « week-ends » qui voit une augmentation des activités récréatives les week-ends, est observé sur les animaux diurnes ou crépusculaires qui, comme le Cerf mulot (*Odocoileus hemionus*), réduit son activité le week-end (Nix et al., 2018). L'effet « week-ends » est aussi observé chez les ongulés par rapport au trafic motorisé (Pelletier, 2006).

Les activités hivernales prennent de l'ampleur et se diversifient. Si les pistes de ski canalisent le flux de touristes, les activités de randonnée à ski ou en raquettes à neige amènent de nombreuses personnes dans des régions jusqu'ici préservées de présence humaine en hiver. La présence de skieurs éloigne les ongulés (caribous, chèvres de montagne) en Amérique du Nord (Lesmerises et al., 2018 ; Richard et Côté, 2016). Cet effet a aussi été observé chez le chamois (voir ci-dessous). Les dérangements survenant l'hiver sont d'autant plus problématiques en présence d'un manteau neigeux. Dans ce cas, la dépense énergétique liée à une fuite augmente significativement, ce qui pose un problème accru pour la survie des ongulés en hiver (Parker et al. 1984). Des parcours balisés obligatoires pour ce type d'activités permettent de canaliser les flux de randonneurs. La disponibilité et l'éloignement des parkings a certainement aussi un impact sur le nombre de visiteurs dans une région donnée. Ces mesures visent à séparer spatialement les touristes de la faune sauvage.

Comme pour l'avifaune et les grands carnivores, chaque espèce a ses exigences propres. Une bonne gestion des flux de visiteurs est cependant la clé commune pour une cohabitation réussie. Du point de vue de la conservation, cette planification revêt évidemment une importance différente pour des espèces encore abondantes par rapport aux espèces rares. La planification des chemins revêt une grande importance pour garantir des zones de tranquillité pour le cerf (et le Grand Tétràs) à l'exemple de la nouvelle planification des chemins en Forêt-Noire (Fink et Schwärzli, 2018).

4.1.6 Cerf élaphe (*Cervus elaphus*)

Les études américaines citées font parfois référence au Wapiti (*C. canadensis*) qui a longtemps été considéré comme une sous-espèce du cerf élaphe. D'autres auteurs désignent toujours l'espèce *C. elaphus* pour la même région biogéographique. La population asiatique est considérée comme *C. elaphus* or *C. canadensis*. Ce débat taxonomique n'est évidemment pas l'objet de cette revue et les deux espèces « possibles » sont considérées ici de manière identique.

Le cerf a beaucoup été étudié et différents aspects liés aux dérangements ont été mis en évidence. Comme souligné précédemment, les effets sur la population des cerfs (et donc sur le fitness et la reproduction) sont particulièrement pertinents.

Les infrastructures touristiques modifient l'utilisation spatiale de l'habitat par le cerf (Coppes et al., 2017 ; Morrison et al., 1995). Le cerf s'éloigne en général des sites caractérisés par des perturbations humaines régulières, comme les routes forestières (Jiang et al., 2008). Westekempe et al. (2018) ont montré que la fréquentation des chemins pédestres n'influence pas le comportement du cerf mais que des randonneurs en dehors des chemins pédestres provoquent une réponse de fuite du cerf (cette différence étant liée à l'habituation). Avec une haute densité de chemins, la distance d'initiation de la réponse de fuite diminue (Westekempe et al., 2018). Une telle adaptation peut affecter la population positivement ou négativement, par exemple par rapport à la prédation ou le fitness. Par exemple, le cerf augmente son niveau de vigilance à proximité des infrastructures humaines comme les routes, affectant sa consommation de nourriture (Ciuti et al., 2012). La réponse du cerf, mesurée par son degré de vigilance, diffère en fonction du degré de perturbation mais aussi de la couverture végétale de l'habitat (Jayakody et al., 2008). Il a en outre été montré que le cerf réagit davantage au stimulus visuel qu'au stimulus auditif (Reimoser, 2012). Petrak (1996) mentionne une distance de dérangement de 300 m en milieu fermé (écran visuel) et de 500 m en milieu ouvert (bonne visibilité). Une strate herbacée inférieure dense est favorable à la cohabitation entre le cerf et les activités récréatives.

Le type d'activités récréatives détermine la force de l'impact. L'impact de la pratique du VTT sur le cerf élaphe a été étudié en Norvège récemment. Les cerfs évitent les pistes de VTT en restant éloignés d'au moins 40 m (Scholten et al., 2018). Naylor et al. (2009) ont montré que les activités équestres perturbent moins les cerfs que les randonneurs et la pratique du VTT.

Les cerfs s'adaptent aux rythmes humains. L'abondance du cerf de jour sur un site diminue avec l'augmentation des activités humaines en cet endroit (Scholten et al., 2018). Le cerf évite ainsi les chemins pédestres de jour mais les utilise la nuit (Coppes et al., 2017). L'effet week-end a aussi été relevé chez les cervidés (Nix et al., 2018). Il évite ainsi les sentiers lorsque leur fréquentation est élevée, comme par exemple les week-ends (Sibbald et al., 2011).

Les dérangements pendant le vêlage ont des conséquences sur la proportion de femelles ayant un jeune (Phillips et Alldredge, 2000). La proportion de jeunes par femelle diminue sur un secteur soumis à des dérangements occasionnés intentionnellement en comparaison d'un secteur sans manipulation (c'est-à-dire sans dérangements additionnels). Cette étude est particulièrement intéressante car elle ne mesure pas de simples distances de fuite mais directement l'effet de dérangement sur le succès de reproduction et donc sur l'effet sur la population de cerfs dans la durée.

Les dérangements ont comme conséquence indirecte la modification du régime alimentaire du cerf, qui se nourrit à l'endroit où il se trouve, consommant plus de bruyères et d'arbres en milieu fermé lorsqu'il est dérangé (Jayakody et al., 2011). Ce comportement induit par les activités récréatives a donc aussi des implications sur l'abrutissement du rajeunissement (Renaud et al., 2003). Cet exemple illustre à nouveau un effet cascade, justifiant une approche plus globale dans la gestion des activités récréatives.

Une étude dans le Sihlwald (ZH) a confirmé que la présence du cerf est plus importante dans la zone centrale de la forêt, c'est-à-dire la zone la moins accessible pour les randonneurs. Ces cerfs sont nocturnes ce qui est peut-être le résultat d'une adaptation de comportement aux activités humaines (Rempfler, 2013).

Sur le plateau Suisse, les cerfs cherchent pour leur site de repos des secteurs de fourrées boisés denses dans lesquelles la visibilité est réduite (Hummel, 2014). Ceci implique pour l'aménagement territorial des forêts de planifier des zones avec des strates herbacées denses.

Zones de tranquillité pour le cerf et la faune

Le cerf, comme beaucoup d'autres animaux, a besoin d'espaces de tranquillité. Ces espaces peuvent être créés par une planification réfléchie des activités récréatives en coordination avec les autres exigences forestières. Ces aménagements du territoire favorables à la biodiversité vont forcément de pair avec des structures forestières adaptées. Le cerf et d'autres animaux ont besoin d'une strate inférieure dense pour limiter la portée spatiale des stimuli visuels. Cette utilisation plus marquée des zones offrant une bonne protection visuelle est la conséquence d'une intensité élevée des activités récréatives.

4.1.7 Chevreuil d'Europe (*Capreolus capreolus*)

Comme le cerf, le chevreuil a été bien étudié. Naturellement, de nombreuses similitudes existent entre ces espèces. Comme le cerf, le chevreuil adapte son comportement journalier et, l'utilisation de l'espace en fonction des dérangements. Le « paysage de la peur » (*landscape of fear*) est un concept écologique représentant spatialement le niveau du risque de prédation, tel qu'il est perçu par une espèce dans son habitat (Laundre et al., 2010). Cela se traduit par une modification de l'utilisation de l'espace de manière statique ou dynamique.

Une étude comportementale dans une zone très fréquentée pour les activités récréatives en Allemagne montre que les chevreuils augmentent leur taux d'activité nocturne au détriment de leur taux d'activité diurne. L'utilisation de l'espace change également : de jour, les chevreuils restent dans une zone à couvert dense et bien plus restreinte que la nuit (Güthorl, 1994). Dans une autre étude, le chevreuil réduit son domaine vital et son aire centrale (*core area*) entre le jour et la nuit

en utilisant les espaces ouverts moins fréquemment le jour que la nuit. Les chevreuils évitent les espaces situés à moins de 20 à 40 m des routes mais aucun effet « week-ends » n'a été observé dans cette étude dans la région de Zürich (Ineichen, 2015). Le chevreuil fréquente des peuplements différents entre le jour et la nuit. Dans une étude menée dans le Bade-Wurtemberg, le même phénomène est observé durant les week-ends, pendant lesquels le chevreuil cherche un couvert végétal (Herbold, 1995). Cette contradiction sur l'effet « week-ends » souligne l'importance du contexte du point de vue de la fréquentation des visiteurs, du type d'activités récréatives, du biotope et potentiellement de la fragmentation des biotopes. De manière identique, Jiang et al., (2009) ont expliqué la distribution du chevreuil d'Asie non seulement par la variation du biotope mais aussi en considérant une mesure des dérangements (un *proxy* de la présence humaine). Les chevreuils évitent aussi les pistes de ski, maintenant une distance d'au moins 300 m (Stucki, 1983).

Comme le cerf, le chevreuil voit son rythme cardiaque réagir plus fortement à des stimuli optiques (personnes, chiens, chevaux et ailes delta) qu'aux stimuli acoustiques (à l'exception des coups de feu) (Reimoser, 2012). Herbold et al. (1992) ont aussi montré qu'un stimulus optique provoque au niveau du rythme cardiaque une réponse plus importante qu'un stimulus acoustique. Pour diminuer l'impact de la présence des visiteurs, une strate inférieure dense permet de réduire la distance de visibilité.

4.1.8 Chamois (*Rupicapra rupicapra*)

Comme les autres ongulés, le chamois réagit à la présence humaine. Sa réaction a été étudiée dans les Alpes à diverses reprises et sur la base de stimuli différents, y compris des objets volants. En résumé, la réaction d'un chamois va dépendre de différents facteurs qui influencent la distance de fuite mais aussi la distance d'éloignement. Ces facteurs sont le type d'activités (randonnée, VTT), le lieu de l'activité (sur les sentiers ou en dehors des sentiers), la vitesse de déplacement de la personnes, l'angle d'approche, la taille du groupe de personnes, la présence de chiens, le couvert végétal mais aussi le bruit (parole) ou encore le nombre de dérangements subis précédemment, soit le vécu (Ingold, 2005, Ingold et al., 1993).

Hamr (1988), dans une étude menée en Autriche, note des réactions particulièrement fortes à des rencontres surprises et aux objets volants. Enggist-Dueblin et Ingold (2003) ont comparé les réactions dues aux ailes delta avec celles causées par des randonneurs lors du comportement de nourrissage des chamois. Même s'il y a moins d'ailes delta, l'effet de cette activité est beaucoup plus fort que celui provoqué par des promeneurs. Selon le modèle proposé, une petite augmentation du nombre d'ailes delta produit des effets négatifs bien plus importants qu'une même augmentation de l'activité de randonnée. Ce modèle empirique de probabilités calcule en fonction des distances de fuite, de l'éloignement et du temps « en fuite » une perte du temps de nourrissage et une perte d'habitat de nourrissage. Cependant, une étude plus ancienne sur deux ans montre que les animaux s'habituent à la présence des parapentes et des ailes delta (Zeitler et Georgii, 1995). Ce changement adaptatif du comportement (habituation) n'exclut cependant pas mais n'implique pas non plus obligatoirement un effet négatif sur le fitness des animaux.

Le chamois est un animal qui fréquente aussi bien la forêt que les zones montagneuses ouvertes. Une canopée dense offre une dissimulation visuelle des objets volants. Les chamois réagissent ainsi aux parapentes en cherchant refuge sous le couvert forestier lorsque ces parapentes les survolent (Schnidrig-Petrig et Ingold, 2001). Le même changement de comportement a été noté dans le cas de vols d'hélicoptères (Ingold, 2005). Ils évitent aussi les zones très utilisées pour cette activité, ce qui a pour conséquence de réduire la taille de leur habitat.

La présence massive de touristes éloigne les chamois. Cet effet est particulièrement bien démontré dans le cas de la modernisation d'un téléphérique (Peksa and Ciach, 2015). Les chamois se sont éloignés et la taille des groupes s'est réduite, ce qui a des implications sur la survie des individus. Gander et Ingold (1997) n'ont pas noté de réponses immédiates différentes entre les randonneurs et les vététistes. La couleur des manteaux de pluie portés par les randonneurs n'influence pas non plus le comportement de fuite des chamois bien que ces animaux perçoivent les couleurs (Raveh et al., 2012). Dans le cas du chamois au moins, certains attributs des stimulus visuels ne semblent donc pas influencer le comportement des animaux.

Le chamois utilise la forêt pour passer l'hiver (Michallet et al., 1999). La période hivernale est particulièrement critique pour les animaux qui restent en montagne et des dérangements provoquant un comportement de fuite ou de vigilance dans la durée peuvent avoir des conséquences sur la survie des animaux. Les chamois évitent les pistes de ski, maintenant une distance d'éloignement entre 300 et 500 m (Stucki, 1983). Comme la pratique du hors-piste (ski de descente ou de randonnée) augmente⁵, le risque pour les chamois (ou d'autres animaux) d'être surpris et de devoir fuir, augmente aussi. La mise en place de zones de tranquillité hivernale semble être une bonne réponse à ces pratiques nouvelles et en développement, au moins dans les zones très fréquentées en hiver (c'est-à-dire les zones bénéficiant d'infrastructures d'accès et de remontées mécaniques). La quantité, la qualité et l'interconnexion de ces zones sont sans doute fondamentales pour en garantir le succès.

Mesures d'atténuation en faveur de la grande faune

Une des mesures pratiques souvent proposée est une planification adaptée des accès, c'est-à-dire des chemins (et des parkings pour les automobiles) permettant de créer des zones de tranquillité pour la grande faune en canalisant et concentrant les visiteurs sur certains secteurs d'une forêt, tout en rendant l'accès difficile ou long vers ces zones de tranquillité (voir Fig. 5). Il s'agit de créer mais aussi de supprimer des chemins à travers une planification des dessertes qui tienne compte du besoin des animaux. L'utilisation de barrières naturelles, comme des buissons denses, des tas de branches, des canaux, tranchées ou étangs et des troncs couchés rendent aussi la forêt peu accessible pour la plupart des visiteurs (et ces structures sont en plus favorables à la biodiversité en forêt). Ces mesures doivent ensuite être évaluées sur les populations d'animaux.

Ces zones de tranquillité sont distinctes en fonction des saisons. On parle de zones de tranquillité hivernales et de zones de tranquillité estivales. Cette planification dynamique et différenciée dans le temps est déjà appliquée en pratique. Dans la détermination de ces zones, une approche multi-espèces doit être adoptée.

4.1.9 Chauves-souris

La Suisse accueille 28 espèces de chauve-souris, dont la plupart sont sur la liste rouge des espèces menacées. Parmi celles-ci, 7 sont considérées comme des espèces forestières. Ces dernières figurent toutes sur la liste rouge.

Les chauves-souris préfèrent les peuplements de feuillus structurés. Ainsi, elles suivent volontiers les chemins et les sentiers forestiers durant leurs déplacements et apprécient les milieux semi-ouverts, comme les pâturages boisés, les vergers et les peuplements peu denses. Elles se reproduisent dans les arbres morts sur pied et dans les arbres à cavités (Jaberg et al., 2006). Les sentiers sont utilisés par les chauves-souris pour trouver un site de reproduction (Limpert et al., 2007), ce qui implique potentiellement que davantage de chauves-souris sont présentes le long des sentiers et qu'elles sont donc particulièrement sensibles aux dérangements liés à la fréquentation de ces sentiers. En outre, les chauves-souris se reproduisent dans les arbres à cavité. Or, ceux-ci sont potentiellement à risque pour les randonneurs car instables, ils sont donc souvent éliminés sur les abords des chemins et sentiers, renforçant ainsi l'impact de ces derniers (propos recueillis auprès de Pierre Alfter, collaborateur dans la Division Forêts de l'OFEV).

Certaines espèces de chauve-souris sont très sensibles aux dérangements durant la période d'hibernation (Thomas, 1995) et la saison de reproduction. En particulier, les activités nocturnes impliquant des lumières et du bruit peuvent impacter négativement les chauve-souris (Mann et al., 2002 ; Bunkley et al., 2015). L'étude de Mann et al. (2002) se focalise toutefois sur une colonie dans une grotte tandis que Bunkley et al. (2015) ont examiné plus spécifiquement l'effet des bruits de compresseurs. Une utilisation importante de drones dans ou au-dessus de la forêt pourrait avoir

⁵ Des chiffres inofficiels qui sont repris par les médias font état de 200'000 pratiquants en Suisse pour le seul ski de descente hors-piste.

un impact sur les Chauve-souris (bruit à large bande jusqu'à au moins 15 kHz). D'une manière générale, les activités bruyantes en forêt ne sont pas favorables à la biodiversité.

Dans ce document, l'impact des déplacements motorisés pour les loisirs n'est pas considéré comme un effet direct de ces loisirs. Cependant, comme pour les autres taxons, les populations de chauves-souris sont impactées par le trafic motorisé. Un véhicule en approche sur un chemin ou une route (en forêt) utilisé par les chauves-souris induit un changement de trajectoire de 180 degrés. Ainsi, les chauves-souris évitent les secteurs utilisés par des véhicules (Zurcher et Sparks, 2010). Par conséquent, l'activité de certaines chauves-souris est deux fois plus élevée à 300 m de l'autoroute qu'à proximité immédiate (Kitzes et Merenlender, 2014). Cette découverte a des implications pour une gestion forestière favorable aux chauves-souris dans les forêts proches des axes routiers.

Toute activité qui implique une atteinte directe aux arbres-habitats est évidemment néfaste pour les chauves-souris. Les activités récréatives les plus courantes ne sont cependant pas une menace pour l'intégrité de ces arbres.

4.2 Impact des chiens sur les mammifères

Selon Hughes et Macdonald (2013), il y a sur terre quelques 700 millions de chiens dont 74 millions en Europe et, 505'745 en Suisse (2018 ; source : VHN – Société pour l'alimentation des animaux familiers). La possession de chiens en Suisse est presque toujours associée à un loisir, avec toutefois quelques exceptions comme par ex. les chiens de bergers ou les chiens policiers. Les chiens sont classés en trois catégories, les chiens sauvages ou errants sans dépendance aux humains, les chiens qui vagabondent dépendant des humains pour leur nourriture et les chiens de compagnie avec une totale dépendance aux humains. Toutes ces catégories présentent des impacts négatifs de différentes formes et d'intensités différentes sur la biodiversité.

L'effet des chiens ou de leur odeur sur la faune sauvage, en particulier la grande faune, est multiple. Ils ont par exemple comme effet de réduire l'habitat disponible pour la faune sauvage, de causer du stress chez les animaux, de transmettre des maladies, d'étendre le rayon d'impact des promeneurs (surtout si le chien n'est pas en laisse), de provoquer un comportement d'évitement plus marqué ou encore d'exercer de la prédation, surtout sur les jeunes animaux (Hennings, 2016 ; Sime, 1999).

En ce qui concerne la prédation, Wierzbowska et al. (2016) ont trouvé en Pologne que les 138'000 chiens vagabonds (estimation) causent annuellement la mort de 33'000 animaux sauvages (non consommés ou partiellement consommés donc avec un biais vers les ongulés). Les chiens vagabonds, laissés en liberté en campagne, peuvent avoir un effet sur une grande distance, c'est-à-dire sur au moins plusieurs kilomètres (com. pers.). Les chiens occasionnent un impact sur les petits mammifères, les ongulés et même les carnivores. Cet impact négatif de la présence des chiens sur les mammifères a été démontré dans différents contextes (Reilly et al., 2017 ; Parsons et al., 2016 ; Silva-Rodriguez et Sieving 2012 ; Lenth et al., 2008 ; Sime 1999). Les chiens, en particulier ceux redevenus sauvages sont des prédateurs des ongulés (Duarte et al., 2016). L'impact sans prélèvement des chiens de chasse pendant (et en dehors) des activités de chasse, sur l'ensemble de la faune, c'est-à-dire également pour des animaux non-chassés, n'est probablement pas négligeable car ils ne se cantonnent pas aux sentiers.

Cependant, la prédation directe n'est pas en Suisse la source d'impact la plus importante sur ces populations, si l'on considère les statistiques de la mortalité du chevreuil. Par exemple, dans le Canton de Berne en 2018, 67 chevreuils ont été tués par des chiens. En comparaison, 1'788 chevreuils ont été tués par le trafic routier (Jörg, 2019). Pour le canton de Vaud, ces chiffres font état de 4 chevreuils tués par des chiens pour 1'111 tués par les automobiles en 2017 (Rapport annuel sur la faune du Canton de Vaud, 2017).

Parsons et al. (2016) ont montré un évitement temporel de secteurs par les mammifères sauvages en fonction de la présence d'humains et d'humains accompagnés de chiens. Le cerf mulet (*Odocoileus hemionus*), une espèce américaine, réagit plus fortement à la présence d'un chien en laisse avec un promeneur qu'un promeneur seul. La présence du chien implique une plus grande distance d'influence, d'alerte, de fuite et de déplacement (Miller et al., 2001). Ces distances sont

systématiquement plus grandes quand la perturbation a lieu en dehors des sentiers. L'effet négatif de la présence des chiens sur l'activité de différentes espèces de mammifères a aussi été démontrée dans l'étude de Lenth et al. (2008).

Un chien non tenu en laisse augmente la zone d'influence négative en comparaison d'un chien en laisse. Aux Etats-Unis, dans un parc national, la tenue des chiens en laisse est respectée par 87% des propriétaires (Leung et al., 2015). Ce type d'étude ne se laisse cependant pas facilement généraliser en Europe et à l'extérieur de zones protégées. En effet, le comportement humain diffère entre une zone protégée avec une attente de voir des animaux et des zones non-protégées où la conscience de l'animal sauvage est réduite.

Si l'impact d'un chien s'exerce a priori sur un ou plusieurs individus, un impact répété et soutenu peut avoir un effet au niveau d'une population d'animaux. Aucun seuil de tolérance n'a été trouvé dans la littérature. De plus, l'effet des chiens s'ajoute à celui d'autres sources d'impact qui doivent toutes être considérées dans la gestion des zones récréatives. Une mesure possible est d'imposer des restrictions vis-à-vis des chiens (laisse obligatoire, interdiction, restriction aux sentiers) couplées à une planification des chemins créant des zones de tranquillité sans accès ou à accès difficiles, non pas seulement pour les promeneurs, mais aussi pour leurs chiens.

5. Reptiles et Amphibiens

L'impact des loisirs sur les reptiles et amphibiens a été moins étudié. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette situation. L'impact des activités récréatives sur ces deux groupes est peut-être plus faible comparé à d'autres sources d'impact avérées, comme par exemple le trafic motorisé, ou bien ce groupe est-il plus difficile à étudier pour des raisons pratiques.

Les reptiles

Les reptiles en Suisse se rencontrent dans les forêts ouvertes et diversifiées, mais pas dans les forêts denses. Hormis pour les espèces aquatiques, ils se concentrent typiquement dans les surfaces ensoleillées des forêts de chênes et de pins, les châtaigneraies du sud des Alpes et les chablis. Ils passent souvent inaperçus aux yeux du promeneur, se mettant à couvert rapidement. Quelques indications de l'impact des humains sur la physiologie des serpents sont rapportées dans la littérature. Parent (1997) n'a pas trouvé d'effet sur la température corporelle des serpents dérangés par des activités humaines. Lomas et al. (2015) ont en revanche trouvé des différences de masse corporelle des animaux entre des sites naturels et des sites utilisés pour les loisirs. La présence humaine peut forcer les jeunes serpents à rester cachés plus longtemps dans le terrier, les exposant ainsi à une prédation plus forte car ces terriers sont plus facilement découverts par les prédateurs potentiels (Burger, 2007).

Les activités récréatives peuvent également avoir un effet indirect sur les reptiles à travers les impacts sur leur habitat. Ainsi, la collecte de bois mort par les visiteurs en forêt pourrait affecter la présence de reptiles. Berriozabal-Islas et al. (2017) montrent que la diversité fonctionnelle des reptiles est réduite dans les sites modifiés. Ces études impliquent que des infrastructures touristiques peuvent affecter négativement les populations de reptiles. La densité de lézards est également influencée négativement sur le court terme par les coupes de bois (Lyndon-Gee et al., 2018).

Les reptiles sont aussi victimes des chiens (et chats), et du trafic autoroutier (Winton et al., 2018). La prédation des chiens s'exerce effectivement sur la plupart des taxons examinés dans ce document.

Probablement l'impact des activités récréatives sans consommation sur les reptiles est-il faible en comparaison d'autres sources impacts. La liste Rouge Suisse met en avant la protection des habitats pour favoriser ces espèces avec la sensibilisation des acteurs concernés, comme les forestiers. Les mesures préconisées sont l'aménagement de lisières buissonnantes avec des buissons bas et des tas de bois et de branches, et la création de clairières buissonnantes. Ces mesures s'accordent bien avec la planification des accès suggérée pour les mammifères et les oiseaux et dont certaines mesures reposent sur la construction d'obstacles infranchissables pour canaliser le flux de visiteurs mais aussi pour diminuer la portée des stimuli visuels.

Les amphibiens

La plupart des amphibiens utilisent la forêt comme habitat terrestre en relation avec des zones aquatiques (mares et autres plans d'eau). La protection de certaines espèces constitue parfois un objectif spécifique de dans des plans directeurs forestiers. Il s'agit en particulier de la Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*), des tritons palmés (*Lissotriton helveticus*) et crêtés (*Triturus cristatus*), du Sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*) et de la Grenouille agile (*Rana dalmatina*).

La littérature sur les impacts des activités récréatives sur les amphibiens est encore plus rare. Les amphibiens sont probablement victimes du trafic motorisé en forêt. Un étang ou une mare est une zone d'intérêt pour les promeneurs. Cet attrait s'accompagne de dérangements, surtout de l'habitat. Le KARCH (Centre Suisse de Coordination pour la Protection des Amphibiens et Reptiles de Suisse) mentionne sur son site internet, comme mesure de protection la réduction des loisirs dans les zones alluviales. Comme pour les reptiles, le maintien de l'habitat constitue la mesure prioritaire pour protéger ce groupe d'espèces.

Mesures en faveur des reptiles et amphibiens

Pour les reptiles comme pour les amphibiens, le maintien de l'habitat est prioritaire. Cet habitat (ex. zones ouvertes sèches ou mares) est en général attractif pour les visiteurs, ce qui engendre une pression sur l'habitat. La création et le maintien de tels habitats doit s'accompagner d'une réflexion sur un accès limité, par exemple accès à un seul côté d'un étang. Cette gestion des accès peut être réalisée par des structures naturelles comme des buissons ou des tas de bois morts qui sont eux-mêmes favorables aux reptiles et batraciens.

6. Insectes et arthropodes

Le déclin des insectes récemment observé est alarmant (Seibold et al., 2019 ; Hallman et al, 2017 ; Potts et al., 2010). Hallman et al. (2017) évoquent une diminution de 75% de la biomasse des insectes en 27 ans. Les causes sont multiples dont la perte des habitats, la fragmentation des habitats et les insecticides. Seibold et al (2019) relèvent une perte de biomasse des arthropodes de 67%, une perte de leur nombre de 78% et une perte d'espèces 34% entre 2008 et 2017.

L'impact direct des activités récréatives en forêt sur les insectes est probablement faible (voir cependant la section 7). L'impact des activités récréatives sur les insectes est donc principalement indirect, à travers les transports mais aussi à travers les aménagements et l'entretien du paysage. Par exemple, il n'est pas rare en Suisse d'observer des bordures de sentiers « entretenues » par des fauches répétées. Ainsi, l'impact des activités récréatives sur les insectes se matérialise surtout au travers de leur habitat, par la banalisation et l'uniformisation de ces milieux. Les insectes colonisent des microstructures sur les arbres vivants, les arbres morts et le bois mort au sol. Maintenir ces microstructures et leur diversité est donc bénéfique aux insectes.

Une étude s'est intéressée aux arthropodes (coléoptères du sol et araignées) sur les pistes de skis dans les Alpes. Roland et al. (2013) ont montré une diminution de ces insectes sur les pistes de skis en comparaison avec des prairies proches. En été, les pistes de skis arborent une flore abondante qui abrite davantage de papillons que les prairies environnantes mais la diversité des espèces y est plus faible à cause de la faible diversité des fleurs (Rolando et al., 2013). Selon ces mêmes auteurs, la présence de prairies artificielles et de pistes de ski traversant les forêts et les prairies naturelles génèrent une fragmentation de l'habitat.

La perception du bois mort (ou du bois attaqué par les insectes) par les visiteurs est plutôt neutre. L'attitude des visiteurs a été examinée par rapport aux bostryches en Bavière. L'étude montre une attitude relativement neutre avec une tendance à une approche non-interventionniste. Les touristes avec le plus d'affinité pour la nature ont une attitude plus positive par rapport aux bostryches (Müller et Job, 2009). Il serait intéressant de reproduire une telle étude sur la perception des bordures de sentiers ou sur la morphologie des zones de transitions entre espace forestier et espace agricole.

7. Effets globaux de la pollution lumineuse

Ce paragraphe est un complément au paragraphe sur l'effet de la lumière sur l'avifaune. La lumière influence les êtres vivants en modifiant leur comportement. La lumière peut par exemple affecter les facultés à s'orienter (Foster et al., 2018) mais aussi être létale pour les animaux volants, par collisions et épuisement. La lumière peut encore empêcher la dispersion des animaux ou attirer les prédateurs (ex. chauves-souris proches des éclairages publics). Un impact négatif de la pollution lumineuse est également observé chez les insectes, bien que les mécanismes d'action ne soient pas encore bien identifiés (Grubisic et al., 2018).

L'ampleur de l'impact des activités récréatives au travers de la pollution lumineuse n'est pas simple à analyser car la pollution lumineuse liée à ce type d'activités a souvent un caractère temporaire et non statique. Par ailleurs, il n'est pas évident de distinguer l'impact des sources lumineuses liées aux activités récréatives des sources lumineuses qui ne le sont pas. Les pistes de ski éclairées la nuit ou les stades en périphérie des villes et villages constituent néanmoins de bons contre-exemples. Ces types d'impact concernent surtout les lisières et certains types d'infrastructures d'accueil du public.

L'impact de la lumière sur le biotope forestier ne se limite pas aux éclairages présents en forêt ou en lisière mais aussi aux éclairages plus éloignés, comme ceux des villes qui se propagent par dispersion lumineuse (voir Fig. 4). Cette propagation peut atteindre des dizaines voire des centaines de kilomètres (Grubisic et al., 2018). Les zones de promotion de la biodiversité, par exemple, pourraient être impactées par ce phénomène mais il n'est en général pas évalué. A noter que cette pollution lumineuse lointaine est variable en fonction des conditions météorologiques alors que l'effet des éclairages voisins des forêts est plus constant.

En résumé, une diminution des éclairages publics et des activités récréatives nocturnes pourrait être bénéfique aux animaux (voire aux plantes) des forêts. Cette pollution lumineuse est un facteur à évaluer lors de la mise en place des zones de tranquillité.

8. Impact sur la végétation et le sol

Les impacts sur la végétation et le sol forestiers dus aux activités récréatives ne concernent qu'une faible proportion de la surface forestière totale et ils sont concentrés le long et autour des infrastructures d'accueil du public. Ainsi, les activités récréatives « constituent une contrainte excessive et causent des perturbations considérables ou des dégâts au peuplement, à la végétation herbacée ou au sol forestier » sur environ 1% de la surface forestière suisse (3^e Inventaire forestier national, Brändli et Urs-Beat, 2010). Toutefois, la situation est hétérogène d'une région à l'autre et cette proportion est nettement plus élevée dans le Jura et sur le Plateau, où elle atteint 3%. En outre, un chemin traversant un biotope de petite taille, par exemple une clairière sèche, aura un impact significatif sur ce biotope.

L'impact des chemins utilisés pour les activités récréatives (randonnée, VTT, activités équestres) est étudié soit sur le chemin lui-même soit le long d'un transect perpendiculaire au chemin. L'échelle spatiale de la plupart des études est restreinte à un segment de chemin mais il existe certaines études menées à l'échelle d'une région (Tomczyk et al., 2013 ; Tomczyk, 2011). L'impact est mesuré par les changements observés sur la composition et la structure de la végétation et du sol. Les impacts qui ont été documentés sont une diminution de la couverture végétale, une modification de la composition en espèces du fait des interactions entre les espèces (Ballantyne et Pickering, 2015), une extension en largeur des chemins ou encore une compaction et une érosion du sol. La temporalité de l'impact est parfois considérée (Ballantyne et Pickering, 2015). Une grande quantité de recherches sur l'impact des activités récréatives sur les chemins ont été réalisées aux Etats-Unis et en Australie (Ballantyne et Pickering, 2015).

L'intensité de l'impact augmente très fortement en fonction de la pression humaine lorsque cette pression est faible, pour se stabiliser en cas de forte pression. Ce modèle est parfois remis en question et ne s'applique pas forcément aux autres impacts sur les animaux, le sol et parfois sur certains types de végétation (Monz et al., 2013). D'autres modèles proposent un impact faible jusqu'à un certain seuil puis une forte augmentation suivie d'une stabilisation (réponse sigmoïdale).

Au-delà de l'impact direct dû au piétinement, la modification du climat lumineux induite par la présence des chemins et sentiers en forêt a un impact sur les biotopes forestiers ou voisins de la forêt et favorise certaines espèces aux dépens d'autres espèces (voir la section 3.4 dans la partie 3 pour une discussion à ce sujet). Par ex., la mise en lumière d'une paroi rocheuse favorise l'apparition de certains microhabitats (propos recueillis auprès de Pierre Alfter, collaborateur dans la Division Forêts de l'OFEV).

8.1 Éléments généraux sur les impacts sur le sol

Les impacts principaux des activités récréatives sur le sol sont la compaction et l'érosion. L'impact dépend fortement du type de sol et de la végétation encore présente (Mingyu et al., 2009). Tomczyk et Ewertowski (2013) ont réalisé des mesures de la perte respectivement de l'augmentation de volume du sol par compaction et érosion sur des sentiers pédestres dans un parc national forestier en Pologne. Ils obtiennent des valeurs moyennes entre -0.0035 et 0.005 m³/m². Rodway-Dyer et Ellis (2018) estiment une érosion sur les sentiers de 0.09m de profondeur en 5 ans sur des sentiers côtiers. Rodway-Dyer et Walling (2010) ont estimé une érosion de 1.41 kg/m² par an sur 40 ans, sur la base d'une analyse du Césium-137 déposé par les essais des bombes nucléaires dans les années 1950-1970.

Les propriétés d'un sol telles que sa structure, sa texture et son taux d'humidité déterminent sa résistance à l'érosion due aux activités récréatives. Cependant, ces propriétés jouent un rôle secondaire dans l'explication de l'érosion totale observées sur les sentiers. Cette érosion est davantage expliquée par les conditions géomorphologiques et climatiques (en particulier la pente et la pluie) au niveau du sentier que par les activités récréatives exercées et leur intensité. La création d'ornières par le freinage des VTT peut cependant promouvoir la création de rigoles et augmenter l'érosion. Les sentiers favorisent aussi l'érosion des sols en modifiant les flux hydriques (Rodway-Dyer et Ellis, 2018).

Un troisième impact des activités récréatives peut être observé sur les sols, il s'agit d'une modification de leur composition chimique. La composition chimique des sols peut être modifiée par les activités humaines (Yu et al., 2017). Les impacts potentiels de ces modifications sur la biodiversité en forêt ne sont pas explorés dans cette revue de littérature.

Un quatrième et dernier impact consiste en une possible modification du fonctionnement biologique du sol, c'est-à-dire des communautés microbiennes (Sherman et al., 2019, Kissling et al., 2009). Sherman et al. (2019) ont ainsi montré que les communautés microbiennes essentielles au bon fonctionnement du sol sont modifiées dans le sol des sentiers. Ce changement implique un fonctionnement différent du sol qui peut avoir un impact sur la végétation.

Tomczyk (2011) propose un modèle spatial d'évaluation de l'impact des activités récréatives sur la végétation et le sol des sentiers. Un modèle a également été créé pour prédire la largeur des sentiers en fonction de leur utilisation et de caractéristiques géologiques et végétales (Tomczyk et Ewertowski, 2013). Ces modèles sont utilisés pour la planification des chemins, par ex. pour le remplacement de parcours très fortement impactés, par des parcours sur lesquels les impacts attendus sont plus faibles.

8.2 Impacts spécifiques de différents types d'activités récréatives

Le piétinement a un impact sur la végétation du sol (Tolvanen et Kangas, 2016 ; Wolf et Croft, 2014 ; Korkanç, 2014 ; Pickering et al., 2010 ; Kissling et al., 2009 ; Cole, 1995 ; voir aussi Fig. 6). L'utilisation intensive d'un massif forestier se traduit par une perte globale de la diversité de la végétation et affecte la morphologie de la végétation (Hegetschweiler et al., 2009 ; Rusterholz et al., 2000). Cet impact se reflète aussi sur le rajeunissement naturel des populations d'arbres. La résilience de la végétation c'est-à-dire la capacité de récupération, dépend du milieu naturel concerné et des espèces (disponibilité de la lumière et de l'eau, présence d'espèces à forte croissance). La résistance à la perturbation est liée aux conditions de l'environnement mais aussi à la morphologie de la plante (petite taille de feuilles, rosette) (Bernhardt-Römermann et al., 2011). Sur la base d'une étude portant sur le tassement des sols liés aux engins d'exploitation, Komatsu

et al. (2007) montrent que le piétinement du sol peut en principe réduire la transpiration des arbres en limitant la disponibilité de l'eau dans le sol.

La surface de l'impact dans le voisinage des chemins ou des emplacements à pique-niques dépend de la fréquentation de ces sites (Wolf et Croft, 2014). Hamberg et al. (2010) parlent d'une perte de 50% de la couverture de la végétation au sol dans une forêt boréale à partir de 70 à 270 piétinements. La propension d'un chemin à s'élargir sous l'effet de leur utilisation dépend de son substrat et de la présence de bordures végétales ou visuelles marquées (Wimpey et Marion, 2010). Ces éléments doivent être pris en considération lors de l'aménagement des chemins afin de prévenir leur élargissement progressif provoquant des impacts sur le sol et la végétation (Marion et Wimpey, 2017). Sur les places de pique-nique, Amrein et al. (2005) observent une compaction du sol, et une réduction de la couverture végétale et de la diversité en espèces végétales. Ces auteurs soulignent aussi que cet impact pourrait perdurer au-delà de la perturbation, par un changement durable de la composition en espèces, même si un changement d'affectation de la surface de pique-nique est décidé.

Les activités de randonnée favorisent la dispersion des espèces végétales. Hamberg et al. (2010) montrent que les visiteurs en forêt aident à la dispersion des espèces présentes en bordure de forêt vers l'intérieur. Une utilisation intensive des chemins change donc la composition des communautés végétales. Cette aide à la dispersion concerne également les espèces indésirables mais aussi les pathogènes néfastes à la faune (Pickering et al., 2010). En outre, Wolf et Croft (2014) montrent que l'effet de la dispersion ne se limite pas au sentier à proprement parler mais se retrouve également à plusieurs mètres de distances.

Les activités équestres sont sources d'impacts spécifiques, liés par exemple à l'apport de matière organique au sol et aux plantes (Pickering et al., 2010 ; Mingyu et al., 2009). A cause de son poids, le cheval impacte également plus fortement le sol que la marche pédestre (Mingyu et al., 2009 ; Crealock, 2002). Il peut également participer à la dissémination d'espèces exotiques et non-forestières dans le milieu naturel, entre autres à travers ses excréments (Törn et al., 2009 ; Crealock, 2002 ; Campbell et Gibson, 2001). Les activités équestres, comme d'ailleurs la marche, produisent plus d'érosion que les vélos (Wilson et Seney, 1994).

Le ski de randonnée n'affecte pas la végétation des sols forestiers grâce à la protection de la neige (Törn et al., 2009). Evidemment, cette affirmation implique une pratique du ski seulement lorsque les conditions d'enneigement sont suffisantes. L'effet du damage des pistes de skis n'est pas évoqué dans cette étude.

Goeft et al. (2001) observent un effet de la pratique du VTT sur l'érosion du sol, la végétation, l'élargissement des sentiers. Néanmoins, sur la base de quelques études, aucune différence d'impact sur le sol n'est observée entre le VTT et la randonnée pédestre, tout du moins dans le cas d'une faible intensité d'utilisation (Pickering et al., 2010 ; Callahan, 2008). En revanche, le VTT a un impact plus fort que la randonnée en cas de forte utilisation (Pickering et al., 2011 ; Thurston et Reader, 2001). La taille des sentiers n'est pas affectée par le VTT en comparaison de sentiers uniquement pédestres (White et al., 2006). Il faut toutefois mentionner que la création et l'utilisation répétée de chemins sauvages (hors-pistes) occasionne un élargissement du réseau de chemins et une augmentation de l'impact sur la flore et la faune. La perte de végétation sur le sol exposé peut être totale, mais une année après cette utilisation du sentier, la végétation peut avoir totalement récupéré (Thurston et Reader, 2001). Ce résultat suggère une variation annuelle dans les tracés utilisés par les VTTs pour éviter un impact permanent sur la végétation et une érosion permanente des sols. En outre, la pratique du VTT s'exerce sur des sentiers à l'origine prévus pour les randonneurs. Ces tracés ne sont pas toujours appropriés et une planification spécifique (améliorations des tracés, fermetures et créations de chemins) basée sur une prise en compte du substrat des chemins, de leurs caractéristiques géomorphologiques (pentes) et végétales (résilience pour protéger de l'érosion) peuvent considérablement diminuer l'érosion des sols (Callahan, 2008). Tout comme la randonnée et la pratique équestre, le VTT favorise en outre la dispersion de plantes exotiques le long des chemins (Crealock, 2002).

Certaines activités s'exercent de manière usuelle hors des sentiers et chemins, c'est par ex. le cas de la course d'orientation. Des études d'impacts menées spécifiquement à la suite de grandes compétitions de courses d'orientation, en l'occurrence les championnats du monde (World Orienteering Championship WOC, voir Astrade et Droin, 2015 ; Scrucca et al. 2016) ont mis en

évidence de nombreux impacts sur le sol, la végétation du sol et la litière forestière. Cependant, ces impacts étaient localisés spatialement et se sont rapidement résorbés. Trois ans après l'événement, tous les impacts avaient disparu à l'exception de quelques surfaces abustives qui ont été durablement endommagées (des clairières avec des pieds de myrtilles). Ces conclusions s'appliquent à un événement ponctuel, certes de grande ampleur. L'existence de dégâts durables dus à la course d'orientation n'est cependant pas exclue sur les sites fréquentés régulièrement. Swiss Orienteering (la Fédération suisse de course d'orientation) a rédigé une fiche récapitulant les mesures d'encadrement et les recommandations liées à la course d'orientation et permettant de limiter son impact sur la biodiversité (Swiss Orienteering, 2009). Ces mesures sont mises en œuvre par les clubs sportifs en partenariat avec les autorités fédérales et cantonales, elles consistent principalement à prendre en compte les zones d'intérêt pour la biodiversité lors de l'élaboration de cartes, de l'organisation de compétitions ou de l'aménagement de parcours.

Planification des chemins pour préserver la végétation et le sol

La possibilité de mieux planifier le réseau de chemins forestiers à des fins de préservation du sol a été démontrée sur la base de modèles SIG prenant en compte des données sur la végétation, la pédologie et la géomorphologie (voir section 8.1).

De plus, pour permettre à la végétation de se régénérer, il est possible de proposer des itinéraires en alternance d'une année à l'autre. Cette pratique protège la végétation ainsi que le sol (en diminuant l'érosion). L'impact des sentiers et chemins est d'autant plus prépondérant quand la densité de ces infrastructures est élevée, ce qui est le cas dans les forêts suisses de basse altitude au moins.

8.3 Falaises en forêt

De nombreuses forêts abritent des falaises. Ces falaises sont des biotopes singuliers, importants pour la flore, les oiseaux et les reptiles. Ces sites sont aussi très fréquentés par les visiteurs (attrait visuel) et ils sont parfois aménagés pour l'accueil du public (ex. places de pique-niques). Dans certains cas, la fréquentation par le public a un effet négatif sur les habitants de ces falaises (ex. échecs de nidification de rapaces ou disparition de communautés végétales par piétinement). La richesse biologique de ces falaises doit donc être prise en compte lors de leur aménagement. Les accès jusqu'aux pieds des falaises mais aussi jusqu'à leur sommet pourraient être limités, en particulier pour les petites falaises. Les activités de varappe et autres via ferrata devraient être régulées pendant les périodes de reproduction des animaux et canalisées en dehors de ces périodes (à cause de la flore).

9. Effet de la perception sensorielle sur le comportement des visiteurs

Ce chapitre apporte quelques éléments pour la résolution des antagonismes potentiels entre activités récréatives et biodiversité en se plaçant du point de vue des visiteurs en forêt et de leur perception des enjeux liés à la protection de la biodiversité.

La nécessité de maintenir un accès gratuit mais régulé à l'environnement est reconnu par l'ensemble des gestionnaires de biotopes ou de parcs naturels. Cet accès garantit un écologisme public et un large soutien à la nécessité de conserver l'environnement naturel (Thompson, 2015).

Une bonne connaissance des attentes des visiteurs pratiquant une activité récréative en forêt permet de mieux planifier et mieux canaliser les flux de personnes et ainsi d'éviter des comportements individuels inadéquats et par la même susceptibles d'impacter fortement l'environnement. Cole et Daniel (2003) argumentent sur la nécessité de mieux appréhender la relation entre les visiteurs et l'environnement. Ils mettent en avant les limites des questionnaires pour proposer des modèles basés sur l'observation directe des déplacements des visiteurs et utiliser ensuite pour la gestion des flux de personnes dans les zones naturelles.

La majorité des promeneurs n'a pas conscience de déranger la faune. Aucune différence de perception du dérangement entre des visiteurs suivant les sentiers et ceux en dehors des sentiers

n'a par exemple été observée dans les études sociologiques (Sterl et al., 2008 ; Taylor et Knight, 2003). Ainsi, les mesures contraignantes doivent être expliquées et justifiées pour être acceptées et finalement respectées. Une bonne information sur les mesures contraignantes mais aussi sur la valeur d'un site augmente l'acceptation des règles par le public⁶.

L'aménagement des chemins joue également un rôle important sur l'expérience des visiteurs. Les visiteurs montrent en effet une préférence pour des sentiers/chemins bien entretenus. Ces préférences peuvent donc être utilisées pour diriger les visiteurs sans recourir aux interdictions. La présence de boue, de flaques d'eau ou de déchets est par ex. perçue négativement (Moore et al., 2012). A l'exception du dernier facteur mentionné, ces caractéristiques, ainsi que tout type d'aménagement basé sur des éléments naturels, pourraient être pris en compte pour la canalisation des flux de visiteurs. Hauru et al. (2014) suggèrent ainsi de laisser les troncs d'arbres dans les forêts urbaines pour agir comme barrières le long des chemins. En outre, ces auteurs ajoutent que laisser du bois pourrir est jugé comme acceptable et intéressant par les visiteurs.

La perception de la facilité d'accès (largeur des chemins) et de déplacement (pentes) joue aussi probablement un rôle important dans la fréquentation des chemins forestiers (notion d'effort). Clius et al. (2012) ont proposé un modèle pour définir l'accessibilité de secteurs forestiers comme outil de gestion des chemins pédestres dans des parcs naturels. Plus largement, la facilité d'accès, sous la forme de routes, chemins forestiers et parkings favorise les activités récréatives (Olson et al., 2017).

Sever et Verbič (2018) montrent dans une étude sur la perception des visiteurs (randonneurs) dans un parc naturel de Croatie l'importance attribuée au paysage acoustique (en anglais *soundscape*) et à la sensation d'air pur sur l'expérience visuelle. Leurs résultats tendent à montrer que la perception de barrières naturelles, comme des tas de branches ou des buissons, est positive. Cela tend à montrer que l'emploi de telles mesures pour canaliser le public en forêt serait bien accepté.

De manière générale, une perception positive de la nature (par ex. à travers une perception positive d'une excursion en plein air) augmente la probabilité de soutien privé du visiteur à des actions et mesures de protection de la nature. L'impact des randonneurs dans les milieux naturels doit donc être contrebalancé avec leur soutien aux efforts de conservation de la nature. Aux Etats-Unis, un soutien aux ONGs plus marqués de la part des randonneurs est observé jusqu'à 10-11 ans après leur visite (Zaradic et al., 2009).

La perception des visiteurs peut être modifiée si des explications sur les aménagements en forêt ou sur la gestion forestière et leurs objectifs, par ex. favoriser la biodiversité, sont fournies (van der Wal et al. 2014). Ce résultat montre que des changements visuels de la structure forestière peuvent être acceptés s'ils sont bien accompagnés.

En guise de mesure positive pour l'implication du public, citons la création de cartes de détection d'espèces, en particulier d'espèces charismatiques (en anglais *flagship species* ; Verissimo et al., 2009) qui permet aux visiteurs de créer une connexion personnelle et forte au site visité et de renforcer une attitude positive du public sur la protection de la nature en créant une expérience personnelle participative (Grooms, 2016).

Tenir compte de la perception du public

Les études sur la perception du public montrent le besoin de créer une expérience (interactive) positive pour renforcer le soutien des visiteurs à certaines mesures contraignantes (par ex. le fait de devoir rester sur les sentiers balisés) mais aussi le besoin de recourir à de l'obstruction douce par des obstacles naturels ou par un entretien différencié des sentiers (moindre entretien sur les sentiers sur lesquels on souhaite réduire la fréquentation) pour canaliser le flux de visiteurs à distance des zones sensibles.

⁶ Une vulgarisation de l'impact des sports de plein air sur les animaux est par exemple proposée sur le site internet <https://natursportinfo.bfn.de>.

Les interdictions peuvent être contre-productives car elles sont mal perçues et provoquent une expérience négative. En outre, les interdictions doivent s'accompagner de contrôles et de sanctions en cas de non-respect (Fig. 6), ce qui est difficile à mettre en place sur de larges territoires.

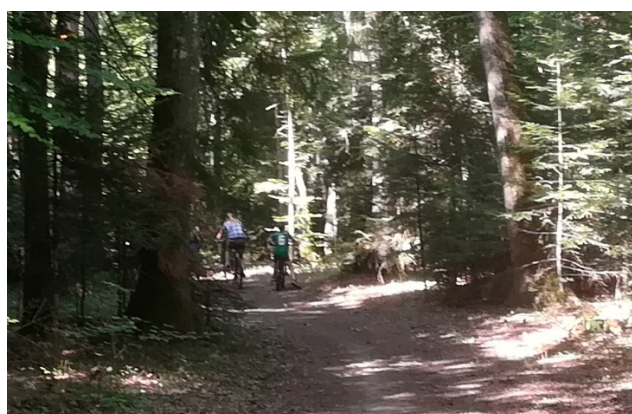


Fig. 6 : Sur les parcours Vita, de nombreux panneaux (en haut) informent sur l'interdiction de pratiquer le vélo et l'équitation ainsi que l'obligation de tenir les chiens en laisse. Dans la pratique, il est fréquent de rencontrer des chiens sans laisse et des personnes pratiquant l'équitation (en bas à gauche, traces dans la boue 29.10.2019, VD) ou des vélos (en bas à droite, 04.09.2019, VD).

10. Discussion des résultats et des mesures d'atténuation

La plupart des études sur les effets des activités récréatives sur la biodiversité se focalisent sur un nombre restreint d'espèces et sur les comportements individuels. Ce biais résulte en partie des facilités pratiques, financières mais aussi éthiques associées à la réalisation de ce type d'études. A contrario, les études de longue durée et portant sur des communautés d'espèces sont beaucoup plus rares.

10.1 Synthèse des impacts sur les espèces animales

La littérature souligne la grande diversité des situations et les multiples facteurs qui déterminent l'impact sur un individu puis sur une population. En particulier, la sensibilité et la réponse au dérangement est différente d'une espèce à l'autre. La littérature ne propose cependant pas d'analyse systématique et différenciée de la réponse au dérangement par espèce.

La sensibilité d'une espèce aux dérangements dus aux activités récréatives a tendance à être déduite *a priori* de l'état actuel et du statut d'une population plutôt que d'une analyse des effets réelles des perturbations. Ainsi, le Grand Tétras a-t-il tendance à être considéré comme une espèce sensible aux dérangements, simplement du fait de sa faible population et de son caractère menacé. Des hypothèses, basées sur des considérations biologiques, sont ensuite formulées afin d'expliquer ce surcroît de sensibilité supposé. Par ex., le Grand Tétras serait plus sensible au dérangement car il est plus lourd et donc moins enclin à voler pour s'enfuir. La désignation des espèces critiques du point de vue de l'impact des activités récréatives se base donc surtout sur des considérations de conservation (espèces menacées), écartant de fait les espèces communes. Or les

espèces communes sont plus faciles à étudier et font l'objet de nombreuses études portant sur l'impact des activités récréatives.

Du fait des lacunes de la littérature, il n'est pas possible de dresser une synthèse exhaustive de l'impact des activités récréatives par espèce. Une information partielle est toutefois donnée dans les différentes sections de cette partie du rapport.

La synthèse présentée ci-après propose une caractérisation des différents *stimuli* liés aux activités récréatives, toutes espèces confondues. Cette caractérisation est multidimensionnelle, qualitative et simplifiée.

Tout d'abord, la force des impacts sur les individus est définie sur quatre niveaux (voir **Tab. 4**).

Impact faible		L'animal est dérangé occasionnellement sans conséquence
Impact modéré		Des effets négatifs temporaires persistent au-delà de l'instant du dérangement
Impact conséquent		Les dérangements impactent le cycle biologique annuel
Impact fort		Les dérangements sont une menace vitale

Tab. 4 : Niveaux d'impact liés aux dérangements (hiérarchisation *ad hoc* utilisée pour la présentation des résultats)

Les activités récréatives examinées dans la littérature couvrent globalement tout le spectre possible mais la plupart des activités ont un impact à travers plusieurs types de *stimuli* de natures différentes. Les résultats sont donc présentés par grand type de *stimulus*, ce qui permet une caractérisation plus claire. Les différents *stimuli* sont caractérisés par leur portée (la manière dont l'impact décroît en fonction de la distance entre l'individu et la source d'impact) et leur intensité (la manière dont l'impact croît en fonction de l'intensité ou de la durée du *stimulus*). Chacun de ces deux facteurs est défini sur trois niveaux (faible, moyen, élevé). Les résultats sont présentés dans des grilles à 9 cases. Chaque case est colorée de manière à représenter un des quatre niveaux d'impact présentés dans le **Tab. 4**. Comme le montre la **Fig. 7**, la case en haut à gauche représente le niveau d'impact avec un *stimulus* faible mais à faible distance de la source d'impact. La case en bas à droite représente le niveau d'impact avec un *stimulus* fort mais une distance élevée de la source d'impact.

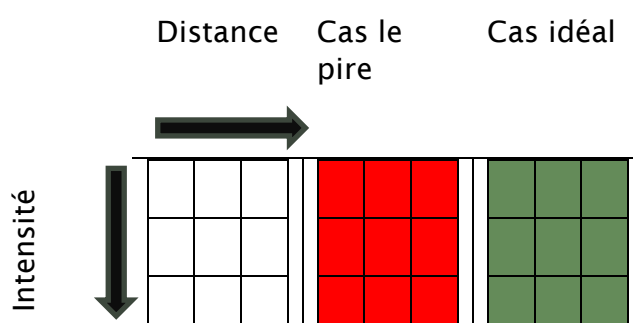
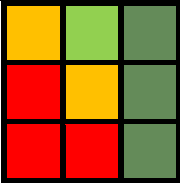
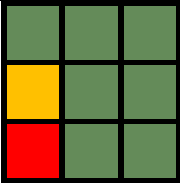
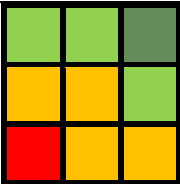
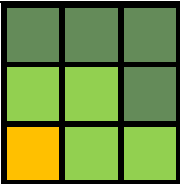
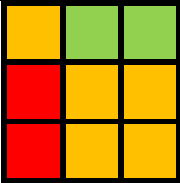
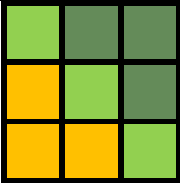
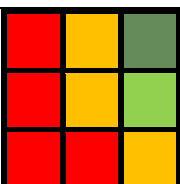
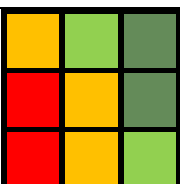
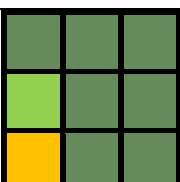
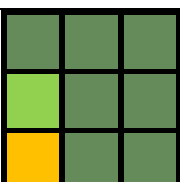
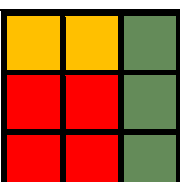
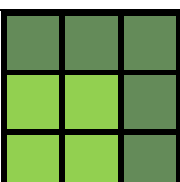


Fig. 7 : Légende pour la présentation des résultats (voir Tab. 5), impact du dérangement en fonction de l'intensité du *stimulus* et de la distance à la source d'impact

L'intensité des impacts est également très dépendante du contexte naturel (par ex. la nature du milieu environnant). De manière simplifiée mais pertinente pour la pratique, les impacts en milieu ouvert (ex. visibilité sur une grande distance, absence de strate inférieure dense) et en milieu fermé (ex. lisière opaque, strate inférieure dense) sont distingués. La littérature montre en effet clairement que la fermeture du milieu a un effet d'atténuation sur les impacts liés au dérangement.

Les résultats sont présentés dans le **Tab. 5**.

Type de perturbation	Source possible	Réactions individuelles	Milieu ouvert	Milieu fermé
<i>Stimulus</i> visuel entre visiteur et animal	Toutes activités terrestres (sans animaux domestiques)	Interruptions d'activités et fuite Evitement de zones (perte d'habitat) Réponses physiologiques		
<i>Stimulus</i> sonore entre visiteur et animal	Activités terrestres avec moyen de locomotion (vélo)	Modifications des activités ...		
Lumières artificielles	Surtout éclairages urbains et périurbains	Modifications du sommeil et des comportements nocturnes		
Espèces introduites	Présence de chiens (sans laisse)	Interruptions d'activités et fuite Evitement de zones (perte d'habitat) Réponses physiologiques		
Apports d'organismes étrangers	Activités équestres Chiens Vélos et souliers (?)	Modifications de l'habitat ...		
<i>Stimulus</i> aérien	Aile delta, parapentes, ballons à air chaud, drones	Interruptions d'activités et fuite ...		

Tab. 5 : Synthèse des impacts décrits dans la littérature par type de dérangement

Cette synthèse simplifiée occulte deux aspects fondamentaux : l'approche multi-espèce et l'impact évalué sur les populations (plutôt que sur l'individu). Pour inclure l'approche multi-espèce, l'évaluation des impacts devrait être réalisée pour chaque espèce indépendamment, puis pondérée par la valeur écologique (la valeur de conservation) de l'espèce, éventuellement par l'abondance de chaque espèce. En outre, les effets d'interaction entre espèces pourraient être inclus assez simplement. Les lacunes de la littérature limitent toutefois l'enrichissement du **Tab. 5** en ce sens.

L'impact du dérangement au niveau des individus, présenté dans le **Tab. 5**, constitue un *proxy* (un indicateur) de l'impact sur les populations. En effet, plus les individus sont impactés, plus le risque au niveau de leur population est important. Toutefois, ces indicateurs ne permettent pas de juger

de l'acceptabilité des impacts du point de vue de la conservation. Pour cela, il faudrait pouvoir quantifier un seuil d'impact acceptable au niveau de la population.

10.2 Détermination des impacts des activités récréatives sur la biodiversité

Un premier enseignement dévoilé par ces études est que les activités récréatives ont un impact sur l'ensemble de la biodiversité, au moins au niveau de l'activité des individus et parfois au niveau des populations animales. Cet impact s'avère négatif dans une majorité de cas. La nature de cet impact peut se présenter sous la forme :

- d'une perte d'habitat (résultant en une abondance en individus diminuée),
- d'une mortalité plus élevée,
- d'un taux de reproduction plus faible (fitness plus faible).

Les activités récréatives induisent une perturbation de l'activité des animaux. Cet impact est montré soit sur une base comportementale, soit sur une base physiologique. La biologie du stress est en particulier un champ de recherche très actif (Romero et al., 2015). Nous avons déjà souligné que l'observation comportementale n'est pas une condition suffisante pour attester d'un impact négatif. Elle démontre cependant une perturbation causée par les activités récréatives. La notion de stress est également ambiguë. Le stress est d'abord un élément positif qui peut devenir négatif si son occurrence se répète à un rythme élevé. Le stress chronique (qui peut être mesuré par les métabolites, Arlettaz et al., 2013) atteste d'un dérangement fort qui affecte probablement le fitness de l'individu dans la durée. En revanche, l'effet d'une augmentation ponctuelle du rythme cardiaque est difficile à mettre en relation avec un effet significatif sur le fitness de l'individu. Par ailleurs, il faut relever que les activités récréatives sont un facteur de stress qui s'ajoute à tous les autres facteurs déjà présents dans l'environnement.

Le défi consiste donc à lier ces différents constats scientifiques à un effet réel sur le fitness ou directement sur la reproduction. Quel est le seuil tolérable, en intensité et en fréquence, des perturbations ? Sur la base de cette littérature, nous pouvons conclure que toutes les activités récréatives perturbent les activités de la faune et que ces perturbations peuvent avoir un effet sur le fitness des individus si elles se reproduisent à un rythme et une intensité suffisamment élevée. Dresser un catalogue de mesures d'atténuation pertinentes pour les applications pratiques sur la base de ces résultats semble prématuré, entre autres à cause du développement des activités récréatives (type, intensité) mais aussi de ce lien ténu entre UNE perturbation observé chez un individu et un effet sur la population.

Une mesure plus riche en enseignement serait l'abondance en espèces. Une faible abondance démontre que l'habitat est trop perturbé (par les activités récréatives entre autres) pour abriter une population de la taille prédite par l'habitat seul. Les activités récréatives induisent des diminutions d'abondance puis éventuellement des disparitions d'espèces, autant chez les oiseaux que les mammifères. L'abondance est une mesure fiable d'un effet négatif pour autant qu'une zone non perturbée de référence soit disponible. Enfin, la preuve absolue d'un impact négatif est avérée seulement sur le taux de reproduction. Malheureusement, très peu d'études abordent la question de l'impact des activités récréatives sur la base du taux de reproduction.

10.3 Les impacts des activités récréatives sur le sol et la végétation

Cet impact se différencie des impacts précédents par le fait qu'il se produit de manière répétée et certaine à un endroit topographique précis. Les plantes et le sol sont effectivement immobiles. Cet impact est aussi limité dans l'espace en assumant la fréquentation préférentielle des sentiers et parcours par les visiteurs. Il apparaît sur un espace restreint mais est très fort, amenant souvent inéluctablement à la perte de la végétation et à une modification du sol (tassement, érosion). Pour diminuer cet impact sur une surface déterminée, la quantité de chemins, sentiers et parcours est fondamentale. En outre, ces chemins doivent être planifiés en fonction de l'activité pratiquée, par exemple les sentiers seront disposés différemment en fonction des caractéristiques géomorphologiques et pédologiques s'il s'agit de sentiers utilisés par les promeneurs ou des

pratiquants du VTT. Pour permettre une régénération de la végétation, des parcours alternés entre les années peuvent être planifiés.

La question de l'impact des activités récréatives sur le sol et la végétation, en particulier autour de certaines infrastructures d'accueil ponctuelles (places pour barbecue, etc.), et leurs conséquences sylvicoles sont traitées spécifiquement dans la section 2 de la partie 2.

10.4 Potentiel de généralisation des résultats

L'impact des activités récréatives a été étudié sur différentes espèces et dans des milieux naturels et des contextes géographiques et sociaux très divers. En outre, les méthodologies utilisées diffèrent également. Les résultats observés dans ces différentes études sont parfois similaires ou tout du moins cohérents mais aussi parfois contradictoires. De nombreuses études se focalisent par ailleurs sur une ou quelques espèces alors qu'une approche multi-espèce (basée sur l'idée de communautés) est largement plébiscitée dans le milieu de la conservation, en particulier en ce qui concerne l'élaboration de mesures d'atténuation.

Cette revue de littérature met également en évidence un déficit d'études basées sur des approches systématiques et multi-espèces dans le moyen terme, au détriment d'études comportementales mono-spécifiques d'individus sur le court-terme. Le terme systématique se réfère au besoin de caractériser et quantifier les activités récréatives au même titre que la taille des populations d'animaux, la qualité du biotope ou la reproduction. La notion multi-espèces traduit le fait que ces habitats sont partagés mais aussi que les populations de différentes espèces et leur dynamique sont interdépendantes. Mesurer un impact réel sur LES populations et la reproduction est l'objectif à atteindre. Ces impacts peuvent s'exprimer très progressivement, ce qui justifie un suivi sur le moyen et long terme.

Ces observations doivent inciter à la prudence au moment de tirer des conclusions de la littérature et de chercher à les appliquer en Suisse dans la pratique. Cette revue de littérature permet néanmoins de dresser une vue d'ensemble des problématiques pouvant exister entre activités récréatives et biodiversité, de leurs facteurs déterminants ainsi que des mesures d'atténuation.

Ainsi, les principaux facteurs déterminant l'impact des activités récréatives sur la biodiversité et permettant la sélection de mesures d'atténuation sont les suivants :

- les types d'activités,
- l'intensité de ces activités,
- le contexte socioculturel et d'aménagement du territoire,
- le biotope et le milieu (type, structure de la végétation, facteurs exogènes biotiques et abiotiques),
- les espèces considérées,
- l'impact observé,
- l'effet de cet impact sur la population de l'espèces considérées.

Ces différents déterminants révèlent plusieurs déficits dans la littérature. D'une part, les activités récréatives bien que qualifiées sont en général peu, voire pas du tout quantifiées. Il n'existe par ailleurs à notre connaissance pas de standards pour ce faire. Cette quantification devrait considérer :

- la portée, la nature et la temporalité des *stimuli* visuels,
- la portée, les caractéristiques et la temporalité des *stimuli* sonores,
- la portée, les caractéristiques et la temporalité des *stimuli* lumineux nocturnes.

D'autre part, le contexte, surtout socioculturel, est largement ignoré, c'est-à-dire le comportement humain. Enfin, l'interprétation de certaines variables observées est l'objet d'un vaste débat scientifique pour déterminer l'impact effectif sur les populations.

10.5 Priorisation dans l'analyse des impacts

Dans le cadre de la pratique, lorsque l'on cherche à comprendre le lien entre activités récréatives et biodiversité, et à prendre les mesures de conservation qui s'imposent dans un cas donné, il s'agit de bien identifier les espèces à prendre en considération mais aussi de bien différencier les impacts liés aux activités récréatives des impacts liés à d'autres causes. Il s'agit en outre de distinguer les impacts respectifs des différentes activités récréatives. Sans cette priorisation, il apparaît difficile de définir une stratégie et des mesures efficaces et efficientes.

La biodiversité est une notion portant sur l'ensemble des espèces vivantes. Ainsi, les impacts des activités récréatives devraient être considérés sur l'ensemble de ces espèces. Cependant, du point de vue de la conservation des espèces, seules les plus menacées sont prioritaires du fait de ressources forcément limitées pour les mesures de conservation. Ce critère de menace ne semble pas guider le choix des espèces étudiées dans la littérature scientifique. Il est en revanche plus prégnant dans les études de cas documentées dans la littérature grise, qui sont souvent liées à des questions (urgentes) de conservation des espèces.

Une approche permettant de résoudre ce problème de sélection des espèces serait d'utiliser les espèces communes comme *proxy* et indicateur de la pression exercée par les activités récréatives sur le milieu naturel. En l'état, le défaut de cette approche réside dans le fait que ces espèces sont les plus tolérantes aux activités humaines. Elles ne sont donc pas représentatives des espèces menacées qui ont déjà subi les conséquences de perturbations liées (entre autres) aux activités récréatives, à l'instar du Grand Tétrás. Les études sur les espèces communes permettent cependant de comprendre la nature qualitative des perturbations liées aux activités récréatives. Par conséquent, elles permettent aussi dans une certaine mesure d'esquisser des mesures d'atténuation et d'en vérifier la pertinence.

L'identification des impacts liées aux activités récréatives est complexe car le déclin d'une espèce est souvent multifactoriel : évolution naturelle, prélèvement intentionnel ou non-intentionnel trop fort et/ou d'une perturbation trop importante de son habitat naturel et de sa qualité. Ces différents phénomènes peuvent être causés par les activités récréatives mais aussi par de nombreuses autres sources d'impact. L'aménagement du territoire peut par ex. conduire à une destruction des milieux naturels ou tout du moins à la fragmentation des habitats (par exemple : urbanisation ou agriculture intensive) dont les effets se font également sentir dans les massifs forestiers. Différencier ces causes est une tâche complexe et des contradictions sont relevés dans la littérature. Même dans le cadre plus restreint des activités récréatives, il est parfois difficile d'identifier clairement les mécanismes d'impact, par ex. lorsqu'il s'agit de différencier l'impact des sentiers en tant qu'infrastructures et leur impact à travers leur utilisation.

De manière générale, le point de départ pour identifier les impacts sur la biodiversité liés aux activités récréatives, et pour un cas donné (par ex. au niveau d'un massif forestier) consiste :

- à identifier les différents types d'activités récréatives en présence,
- de quantifier l'intensité de chacune de ces activités récréatives.

Cette combinaison type/intensité est pertinente pour déterminer les impacts. La plupart des études consultées fournissent cependant des mesures qualitatives (ex. faible, moyenne ou forte) alors que des mesures quantitatives permettraient des comparaisons plus aisées. Sur cette base, fournir des indications pertinentes sur des seuils de tolérance n'est pas évident comme l'est de proposer des mesures d'atténuations efficaces et efficientes.

10.6 Les mesures d'atténuation

10.6.1 Concentration des activités récréatives

Les mesures d'atténuation proposées dans la littérature se basent essentiellement sur la canalisation spatiale des activités récréatives par des aménagements et infrastructures appropriés et la création concomitante d'espaces de tranquillité pour la faune. Dans les lieux où les activités

récréatives sont concentrées, des aménagements peuvent être en outre réalisés pour diminuer l'impact.

Les restrictions sont traditionnellement mises en place par des interdictions. Ces interdictions peuvent cependant être très contre-productives en attisant la défiance du public. Or le soutien du public est essentiel à la préservation de la biodiversité. Ce soutien peut être renforcé en proposant une interaction entre la biodiversité et le public, sous la forme d'informations, de découvertes d'espèces phares ou de lieux singuliers par exemple.

Une canalisation douce du public peut être réalisée en jouant sur l'étendue et la qualité des infrastructures d'accueil (parkings, centres touristiques et autres) et les infrastructures pour la pratique des activités récréatives tels que les sentiers. Les chemins et sentiers utilisés à l'heure actuelle n'ont en général pas été planifiés en considérant les besoins de la biodiversité, ni même parfois les besoins des activités récréatives. Concrètement, il faudrait pouvoir déplacer des chemins, créer des chemins en alternance (i.e. alternance d'itinéraires d'une période à l'autre), voire en supprimer certains. La suppression pure et simple de chemins peut toutefois soulever une opposition du public. En revanche, il est possible de jouer sur un entretien différencié des chemins pour attirer le public sur certains itinéraires plutôt que d'autres. Ainsi, un chemin qui n'est plus entretenu ou barré d'obstacles naturels (arbres couchés, boues, canaux, ornières, etc.) verra sa fréquentation baisser au profit de chemins bien aménagés et bien entretenus.

10.6.2 Réduction locale des stimuli et des contacts

Parmi les mesures d'accompagnement des flux de visiteurs, les stimuli visuels des animaux peuvent être limités par des aménagements le long des chemins, tels qu'une strate végétale inférieure dense. Il est également possible de jouer sur la largeur des chemins, dans la mesure où une grande largeur permet d'éloigner les visiteurs de la faune.

En outre, les *stimuli* sonores et lumineux doivent être considérés car ils portent potentiellement sur de plus grandes distances. Pour le premier, les infrastructures aux abords des forêts mais aussi le comportement des visiteurs sont les leviers d'action. Pour le second, les éclairages de tous types devaient être réduits, dans un contexte plus large que le cadre forestier.

10.6.3 Réduction de l'impact des chiens

Les chiens sont perçus comme des prédateurs par la faune et ont un comportement propre (plus grands déplacements que les humains et découverte de nids ou de jeunes animaux) à même d'impacter cette faune. Ils augmentent la taille du « paysage de la peur » (*landscape of fear*). Les réglementations restrictives sur les chiens sont donc justifiées. Tenir les chiens en laisse apparaît comme un bon compromis pour satisfaire leur propriétaire et protéger la biodiversité. Il faut relever que la force de la mesure ainsi que son efficacité dépend fortement de la densité de chiens.

10.6.4 Mesures de compensation

Le développement des activités récréatives peut aussi s'accompagner de mesures de compensation pour la biodiversité. Ces mesures pourraient consister par exemple en des aménagements et de restauration de biotopes (humides, secs) en forêt ou en la gestion de petites falaises forestières pour la biodiversité, voire des clairières en milieu sec. Toutefois, ces aménagements sont également attractifs pour le public, ce qui implique d'en gérer les accès en conséquence. Sans cette réflexion, ces aménagements n'apporteront pas les effets escomptés.

10.7 Méthode de planification

Un enseignement central est la nécessité de considérer la biodiversité dans la planification spatiale des forêts, comme les accès aux visiteurs. Cette conciliation entre la faune, la flore, le sol et la pratique des activités récréatives repose sur la canalisation des flux de visiteurs en tenant compte

des envies du public et des besoins de la faune. L'encart suivant esquisse une proposition d'approche méthodologique pour cette planification.

Proposition d'approche méthodologique pour la cohabitation de la biodiversité et des activités récréatives en forêt

Cet encart propose une approche méthodologique pour une canalisation douce du public en forêt dans le but de préserver biodiversité.

Principes de bases :

- limiter les accès, les infrastructures et les chemins pour réduire l'impact des activités récréatives sur la biodiversité en forêt,
- favoriser une approche participative à la place d'une approche restrictive (interdictions),
- canaliser les visiteurs hors des zones de tranquillité pour la faune et aménagement de ces zones,
- considérer une approche dynamique en fonction des saisons mais aussi en fonctions des espèces et des années (par exemple pour régénérer la végétation des sentiers mais aussi permettre la reproduction des animaux).

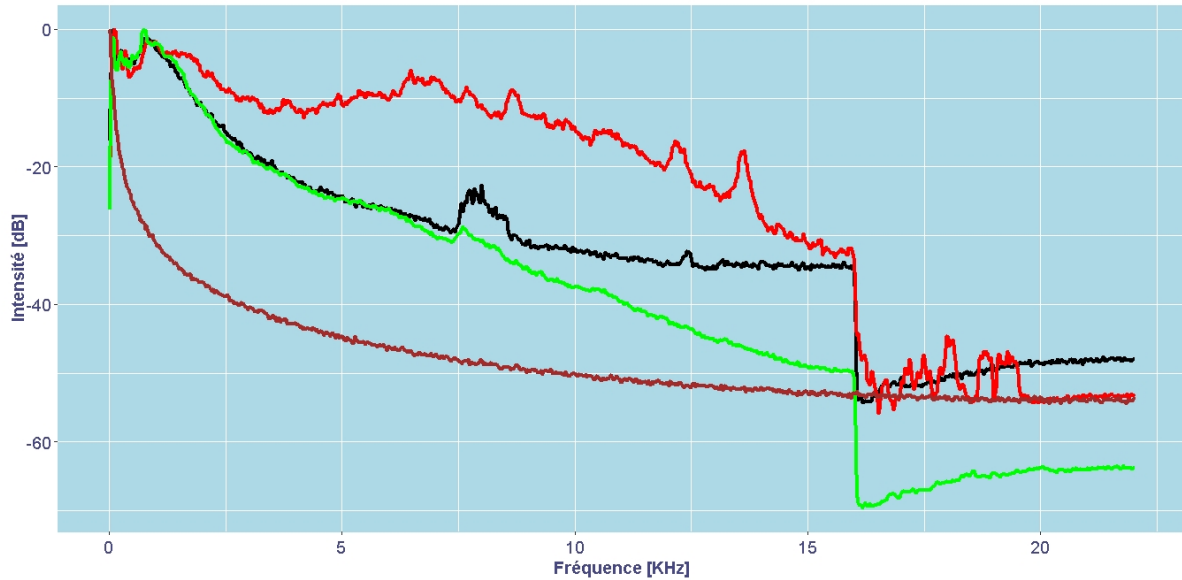
Afin de canaliser efficacement le public, la planification des chemins et sentiers doit prendre en compte de nombreuses dimensions : pédologiques, géomorphologiques, floristiques et faunistiques mais aussi sociologiques et psychologiques (facilité et aisance d'accès, perception positive des zones protégées, perception des chemins, type d'activités).

L'approche proposée se décline en plusieurs points :

- identifier les espèces ou les communautés sensibles aux activités récréatives ou prioritaires,
- mesurer ou prédire l'intensité et la nature de la perturbation due aux activités récréatives.
- identifier les conditions biotiques et abiotiques externes au massif forestier (sources de lumières et de bruits, couloirs de faune et typologie des biotopes identiques, routes, autres contraintes externes à la forêt),
- déterminer la position de/des accès en véhicules motorisés et, des accès à pied si la forêt est proche d'une zone urbaine,
- déterminer les secteurs réservés à la biodiversité et leur accès par les espèces cibles en tenant compte des points précédents,
- déterminer les chemins et parcours pour les différentes activités récréatives, sans négliger de créer une expérience vécue positive entre les visiteurs et la nature; ces parcours peuvent être différents d'une saison à l'autre,
- le cas échéant, déterminer les besoins non liés aux activités récréatives (exploitation du bois par exemple),
- aménager des obstacles sous la forme de haies, d'étangs ou de tas de bois pour limiter les passages dans les endroits importants pour le concept d'aménagement, sans oublier que des chemins boueux seront moins fréquentés que des chemins de bonne qualité,
- planifier les mesures d'atténuation de l'impact le long des chemins fréquentés (haies, strate basse dense, tas de bois, largeur des chemins),
- le cas échéant, informer sur une (des) espèce(s) emblématique(s) et leurs besoins, en créant une opportunité de rencontrer cette (ces) espèce(s),
- vérifier l'efficacité de l'aménagement pour la préservation et la promotion des espèces cibles, en utilisant des variables observées reliées aux populations et à la reproduction.

Annexe 1

Dans l'étude de Kimberley et al. (2019), un bruit brun est utilisé. Ce choix n'étant pas clairement expliqué, une expérience simple a été conduite dans le but de comprendre la pertinence de ce choix pour cette revue de littérature. La figure suivante montre le résultat d'une comparaison entre différents types de bruit provoqués par des roulements (et un moteur à combustion) et un bruit brun.



Annexe 1 : Comparaison du spectre d'un bruit brun (en brun) utilisé dans l'étude de Kimberley et al. (2019) et de bruits générés sur un chemin non-goudronné par un marcheur (en vert), une trottinette (en noir) et une voiture roulant à 10 km/h (en rouge). Le spectre et l'intensité du bruit varient entre ces différents modes de locomotion (données originales collectées le 18.07.19 ; Orbe (VD)).

Partie 2 - Les activités récréatives et la gestion forestière

Gaspard Dumollard

Takeaways

- La forêt est largement considérée comme un bien public par la population suisse.
- La population suisse est globalement satisfaite du service de récréation en forêt.
- La tendance sur le long terme est à une meilleure compréhension et acceptation des interventions sylvicoles par la population suisse (selon les enquêtes WaMos).
- La population suisse ne perçoit pas à l'heure actuelle de conflits marqués entre fonctions forestières. Cependant, des conflits temporaires peuvent survenir localement, qui peuvent être résolus par des actions de communication.
- La population suisse pense majoritairement que la fonction d'habitat de la forêt (pour les animaux et les plantes) doit être prioritaire sur les autres fonctions. La population est en revanche partagée entre fonction de récréation et fonction de production.
- La tendance est à une diversification des formes de récréation, en particulier à un développement des formes actives de récréation. Cette diversification renforce le risque de conflits entre les différents types de visiteurs en forêt.
- Les activités récréatives peuvent avoir un impact sur les écosystèmes forestiers qui influence directement la sylviculture et sa capacité à atteindre les objectifs sylvicoles fixés. Cependant, ces impacts sont très localisés autour des infrastructures d'accueil.
- Les enquêtes WaMos réalisent un monitoring de la perception et des attentes de la population suisse envers les forêts. Elles permettent ainsi de déterminer la « demande » sociale (non-spatialisée) pour les services de récréation.
- L'Inventaire Forestier National IFN propose une estimation de l'intensité de la fréquentation du public au niveau de chaque placette, qui offre une représentation spatialisée de la demande pour les services de récréation.
- La planification directrice forestière doit pouvoir s'appuyer sur des données et indicateurs objectifs concernant les activités récréatives.
- La planification des chemins et sentiers pédestres en forêt, en particulier la planification des itinéraires, doit se faire à un niveau régional ou cantonal et selon une approche intersectorielle, en lien avec la planification directrice.
- Il est parfois difficile voire impossible de concilier toutes les fonctions sur une même zone en milieu urbain ou périurbains.
- Il n'est pas forcément possible de satisfaire tous les groupes d'intérêt. Lorsqu'il existe une différence entre la demande et l'offre pour le service de récréation, il est essentiel de bien le communiquer aux groupes d'intérêt et aux visiteurs.
- Il est nécessaire d'accompagner les gestionnaires dans l'intégration des activités récréatives à la planification d'entreprise.
- Les conflits potentiels entre fonctions forestières ou entre différents types de visiteurs en forêt doivent être pris en compte au niveau stratégique (planification directrice et planification d'entreprise) pour être déminés.

- Une communication continue auprès du public et son implication dans le processus de planification sont essentielles à l'acceptation des interventions sylvicoles et de la fonction de production.
- Il existe une large base de préférences esthétiques partagées au sein du public, en ce qui concerne les attributs forestiers. L'aménagement d'infrastructures et la sylviculture permettent d'améliorer l'esthétique et donc l'attractivité des forêts pour les visiteurs.
- Une enquête systématique sur les préférences esthétiques de la population suisse vis-à-vis du milieu forestier permettrait d'établir un lien empirique entre attributs forestiers et fréquentation par le public.
- Il existe différentes méthodes permettant d'estimer la valeur économique du service de récréation en forêt. En Suisse, l'ordre de grandeur est de plusieurs centaines de francs par personne et par an, et plusieurs milliards de francs par an à l'échelle de la Suisse.
- En zone urbaine/périurbaine, la charge financière liée aux activités récréatives pour les entreprises forestières a été estimée entre une centaine de francs et plusieurs milliers de francs par hectare et par an (sur la base de quelques études de cas).
- Malgré ces coûts, les activités récréatives en forêt ne génèrent généralement aucun revenu pour le propriétaire forestier.

Introduction

Cette seconde partie traite de l'intégration des activités récréatives au sein des processus de politique et de gestion forestières.

L'idée initiale était de considérer les effets d'interaction entre services récréatifs et activités de production de bois d'une part, et les interactions entre activités récréatives et services de protection des personnes et des biens contre les dangers naturels d'autre part. Il s'est avéré que la littérature sur les effets d'interaction entre services de récréation et services de protection est quasiment inexistante (voir section 8) et que la question des interactions directes entre production de bois et services de récréation porte surtout sur les impacts directs des activités récréatives sur l'écosystème forestier, question déjà traitée en profondeur dans la première partie de ce rapport.

Cependant, les activités de production de bois occupent une place particulière, dans la mesure où elles constituent le principal déterminant de la gestion forestière et des interventions sylvicoles pour nombre d'entreprises et représentent leur principale source de revenus. C'est donc à travers l'ensemble des processus de planification forestière et de sylviculture que les activités de production de bois interagissent avec les autres services écosystémiques rendus par la forêt. En outre, les activités de production sont centrales dans la question du financement des entreprises forestières. Cette question revêt une importance particulière pour les activités récréatives dans la mesure où celles-ci ne bénéficient pas de subvention au niveau fédéral. Ainsi, la question pertinente porte donc au sens large sur l'intégration des activités récréatives à la politique et à la gestion forestières et non pas seulement sur les interfaces directes entre les différents types de services écosystémiques.

Les références ont été sélectionnées dans la littérature selon une approche *bottom-up*, au sens où les différentes thématiques présentées ci-après reflètent les thématiques rencontrées dans la littérature. Toutefois, afin d'orienter cette revue de littérature vers les informations les plus pertinentes pour la mise en œuvre de la Stratégie pour la récréation en forêt de l'OFEV, la priorité a été accordée aux références portant sur des cas d'études ou des problématiques suisses (ou éventuellement issus de pays voisins tels que l'Allemagne et la France) et à la littérature récente orientée vers la pratique.

Certains rapports ont constitué un bon point de départ pour se familiariser avec la thématique et pour renvoyer à d'autres références de la littérature sur le sujet. Il s'agit du document décrivant la Stratégie pour la récréation en forêt de l'OFEV, des fiches thématiques de Bernasconi et Schroff (2008) résumant les principaux points d'intérêt et pierres d'achoppement liés à la politique forestière suisse en matière de récréation, et des rapports présentant les résultats de l'étude « Erholung und Walddynamik », (Bernasconi et Schroff, 2003 ; Bernasconi et al., 2003a, b ; et Bernasconi, 2004). Par ailleurs, la revue de littérature de la thèse de Master de Caillard (2018) a fourni la majeure partie des références sur les préférences esthétiques du public en forêt (voir section 5).

La section 1 présente un propos introductif général sur les attentes de la société en termes d'activités récréatives en forêt et sur la perception de la multifonctionnalité. La section 2 se penche sur les impacts des activités récréatives sur l'écosystème forestier, qui ont un lien direct avec des problématiques sylvicoles. A noter que cette section est volontairement succincte afin d'éviter les redondances avec la partie 1. La section 3 porte sur l'intégration des activités récréatives dans la planification forestière, s'agissant en particulier du monitoring des activités récréatives, de l'intégration à proprement parler de ces activités dans les processus de planification et de la stratégie de communication vis-à-vis des visiteurs en forêt. La section 4 s'intéresse aux conflits d'usage liés aux pratiques récréatives en forêt, leur nature et les stratégies permettant de les résoudre. La section 5 présente une vue d'ensemble des préférences esthétiques des visiteurs vis-à-vis du milieu forestier. Ces préférences sont décrites à travers les principaux attributs naturels ou artificiels déterminants pour l'attractivité d'un site forestier, et la manière dont ils sont chacun perçus par le public. Les sections 6 et 7 sont complémentaires et portent respectivement sur l'estimation de la valeur économique des services récréatifs en forêt (en lien avec la demande du public pour ce type de services) et les coûts que représentent la fourniture de ces services pour les entreprises forestières. Enfin, la section 8 présente de manière succincte l'interaction indirecte existante entre services de récréation et services de protection des personnes et des biens.

D'un point de vue terminologique, le terme de services écosystémiques est préféré au terme de fonctions forestières. Le terme de fonctions forestières est néanmoins utilisé par endroits dans le texte lorsqu'il fait référence à des publications où ce terme apparaît explicitement.

1. Attentes de la société et perception de la multifonctionnalité

De nombreuses études montrent que la forêt est largement considérée comme un bien public par la population suisse. Ce résultat ressort en effet des grandes études de monitoring socioculturel des forêts WaMos (Franzen, 1999 in Hunziker et al. 2011 ; OFEFP, 2000 ; OFEV, 2013) ou d'analyses basées sur des cas d'études telles que Schmithüsen (1995) qui s'intéresse aux caractéristiques culturelles de la relation des individus avec leur patrimoine forestier dans la région de La Chaux-de-Fonds. De manière générale, un bien public se caractérise par deux propriétés fondamentales, la non-excluabilité qui correspond au fait que le libre accès au bien ne peut pas être restreint et la non-rivalité qui garantit qu'un usager « consommant » le bien ne prive pas un autre usager d'une consommation simultanée (Mas-Collel, 1995).

Dans une étude bibliographique menée dans 18 pays européens dans le but de dresser un état des lieux de l'évocation de la fréquentation et de l'accueil du public dans les principaux textes législatifs et de politique forestière, Granet et al. (2009) montrent que malgré l'homogénéisation du contexte sociodémographique au niveau européen, la reconnaissance politique de la fonction sociale de la forêt est diverse d'un pays à l'autre. En particulier, la Suisse, tout comme l'Allemagne, se distinguent par une grande liberté d'accès à la forêt.

Les motivations qui poussent les usagers à effectuer des visites en forêt ont fait l'objet de nombreuses études qui concluent toutes à leur grande diversité. Ainsi, Bernasconi et Schroff (2003) qui s'intéressent au comportement et aux attentes des visiteurs sur la base d'une étude menée dans la région de Berne réalise une catégorisation des visiteurs en forêt en fonction des activités pratiquées, catégorisation jugée centrale pour la compréhension du comportement, des motivations et du consentement à payer des usagers. Les différentes catégories d'activités identifiées dans cette étude sont : « l'observation de la nature », « le ramassage des plantes et champignons », « le délassement » (méditation, etc.), « les jeux avec les enfants », « la promenade », « la randonnée », « la promenade du chien », « l'équitation », « le cyclisme », « le jogging », « l'utilisation des installations sportives » (ex. parcours vita) et « les pratiques festives ». Malgré cette diversité, Bernasconi et Schroff (2003) concluent que la promotion de forêts mixtes variées et multiformes est susceptible de répondre aux souhaits de nombreux visiteurs de la forêt et que, quelle que soit la catégorie considérée, le consentement à payer pour le service de récréation reste faible. Bernasconi et Schroff (2003) recommandent par ailleurs d'établir un contact continu avec la population afin de rester proche de ses attentes et de pouvoir y répondre au mieux. De la même manière, Janowsky et Becker (2003 in Hunziker et al. 2011) analysent les caractéristiques et besoins des différents groupes d'utilisateurs dans les forêts urbaines de Stuttgart et obtiennent des résultats similaires. Dans le cadre d'une étude menée par l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL sur la base d'une enquête par voie postale réalisée dans toute la Suisse Alémanique et Suisse Romande, Zeidenitz (2005) montre que la proximité à la nature est une des motivations les plus importantes pour la récréation en forêt.

Les motivations et les attentes des usagers quant au service de récréation en forêt ne sont pas statiques et les études menées à ce sujet montrent un renforcement de l'attractivité des forêts du point de vue de la récréation (Hunziker et al. 2011), une diversification des activités récréatives (Bernasconi, 2000 ; Muller et al. 1997), ainsi qu'un passage de formes passives de récréation à des formes actives (Jay et Schraml, 2013).

Les grandes études de monitoring socio-culturel WaMos et WaMos 2 respectivement commanditées par l'OFEFP (2000) et l'OFEV (2013) ont mis en évidence l'attitude généralement positive de la population suisse à l'égard des forêts ainsi que sa satisfaction quant au service de récréation en forêt. De plus, elles ont montré que la politique forestière, y compris les subventions, est bien acceptée par la population. La comparaison des résultats respectifs de ces deux enquêtes montre que si les préférences des visiteurs sont globalement restées les mêmes dans la période entre les deux enquêtes, le nombre et le type des activités exercées ont évolué avec une multiplication simultanée des activités physiques et méditatives. Par ailleurs, l'importance de la fonction de

production aux yeux de la population a été grandement renforcée (à travers des thématiques telles que la lutte contre le changement climatique, le bois énergie, les énergies renouvelables) et les prélèvements de bois sont vus avec plus de justesse. Dans le même temps, l'inquiétude sur la vitalité des forêts (le « dépérissement des forêts ») a diminué. De manière générale, ces deux enquêtes ont montré que le rapport à la forêt est influencé par l'appartenance à une région linguistique donnée, les attitudes à l'égard de l'environnement et les préférences en matière de paysage.

Les enquêtes WaMos et WaMos 2 portent également sur le rapport de la population à la multifonctionnalité et à la priorisation des différentes prestations forestières. Elles montrent que parmi les huit fonctions forestières mentionnées lors de l'enquête, la population juge que la fonction d'habitat pour les animaux et les plantes est la plus importante, suivie (de près) par la protection contre les dangers naturels et la contribution à la qualité de l'air et de l'eau. En comparaison, les personnes sondées attribuent une importance relativement faible à des fonctions comme la création d'emplois, la mise à disposition d'un espace pour le sport, la détente et les loisirs ou la production de bois. Dans le cadre d'un cas d'étude mené dans la région de Munich, Lupp et al. (2007) montrent également que la population valorise beaucoup la stabilité et la valeur écologique des forêts par rapport à la vente de bois. Enfin, sur la base du cas d'étude de la région de Greifensee, Köchli (2006) utilise six méthodes différentes pour estimer la priorisation des produits et services forestiers au sein de la population. La plupart de ces méthodes conduisent au même résultat, à savoir que les besoins les plus forts se portent sur la récréation et la biodiversité plutôt que sur la production.

Certaines études se sont également penchées sur la perception de conflits potentiels entre fonctions forestières. Borzykowski et Kacprza (2017, 2018) ont ainsi mené une enquête auprès d'experts des fonctions forestières et de la population suisse au sujet de la perception des conflits potentiels entre l'augmentation de l'approvisionnement en bois local et les autres fonctions de la forêt. Les résultats ont montré que d'une manière générale, les personnes sondées ne perçoivent pas de conflits marqués entre l'exploitation de bois et les autres fonctions. Les résultats tendent donc à montrer qu'il est possible d'exploiter davantage de bois dans les forêts suisses sans affecter l'accomplissement des autres fonctions forestières. Toutefois, il est noté que des conflits peuvent survenir localement et sur une courte durée, notamment en ce qui concerne la fonction de biodiversité. Par ailleurs, s'il devait y avoir conflit entre production de bois et activités de récréation, la population serait partagée sur la fonction à privilégier (38% accepteraient l'augmentation de la production de bois au détriment de leurs activités récréatives et 36% préféreraient la création de lieux pour les activités récréatives à une hausse de la production). Enfin, les auteurs soulignent l'importance d'instaurer un dialogue entre les parties prenantes et d'assurer une promotion accrue du bois suisse.

Certaines publications (Barthod, 2015 ; Morogues et al. 2015) s'interrogent sur la construction sociale et institutionnelle de la multifonctionnalité et s'inquiètent des risques que la multifonctionnalité pourrait représenter pour la production forestière. Morogues et al. (2015) estiment que le « couplage entre une économie résidentielle tournée vers la qualité de vie, de l'environnement et des patrimoines, et une économie de la production rurale (agriculture, exploitation forestière, tourisme...) est devenu l'un des enjeux des territoires pour les prochaines années ». Hanewinkel (in WSL, 2011) estime que le concept de multifonctionnalité n'est pas suffisamment opérationnel et ne convient guère pour quantifier et évaluer les divers services écosystémiques fournis par les forêts et éventuellement les rendre utilisables en termes financiers par les propriétaires forestiers. Hanewinkel affirme que dans le secteur de la sylviculture commerciale pratiquée dans les grandes forêts privées allemandes, la tendance est à un abandon de la multifonctionnalité pour se tourner vers la ségrégation spatiale.

2. Impacts directs des activités récréatives sur la gestion sylvicole

La question de l'impact des activités récréatives sur l'écosystème forestier dans son ensemble est traitée dans la première partie de ce rapport. Il ne s'agit pas ici de répéter ni même de compléter cette première partie mais de considérer spécifiquement les principaux impacts directs des activités récréatives sur la sylviculture et sa capacité à atteindre les objectifs fixés. Il s'agit aussi de présenter les mesures existantes permettant d'atténuer ces impacts ou d'y remédier.

Le **Tab. 6** ci-dessous résume les principaux types d'impact, leurs causes et les problèmes potentiellement causés pour la sylviculture.

Objet de l'impact	Impacts observés	Causes	Problèmes potentiels pour la sylviculture
Sol	Compaction, modification de la composition en espèces du stock de semence, réduction de la présence d'invertébrés	Piétinement	Problème de qualité et de maîtrise du rajeunissement naturel
Végétation du sol et arbustive	Réduction de la couverture, réduction de la diversité, modification de la composition en espèces	Piétinement	Problème de qualité et de maîtrise du rajeunissement naturel
Arbres sur pied	Plaies dues à l'utilisation de clous, branches cassées, autres cicatrices	Action physique des usagers	Perte de valeur économique
Bois mort	Réduction de la quantité de bois mort	Utilisation du bois mort pour des feux de camp	Difficulté pour atteindre l'éventuel objectif en termes de bois mort

Tab. 6 : Principaux impacts directs des activités récréatives sur les pratiques sylvicoles considérés dans la littérature technique et scientifique

Les études portant sur ces impacts reposent pour la plupart sur des cas d'étude à l'échelle du massif forestier, en particulier les massifs forestiers accueillant une forte activité récréative, voire des cas d'étude à l'échelle de la placette. Les résultats de ces études s'expriment le plus souvent par les différences observées entre placettes situées dans des zones très fréquentées pour la récréation et des placettes situées dans des zones peu ou pas fréquentées.

Ainsi, sur la base du cas d'étude d'une hêtraie dans une forêt périurbaine de la ville de Bâle, Amrein et al. (2005) étudient l'impact du piétinement sur les caractéristiques du sol, la performance du sous-étage forestier, la densité et la composition en espèces du stock de semences dans le sol. Ils montrent que dans les zones fortement fréquentées (principalement les zones de pique-nique), on observe une compaction du sol, une diminution de la hauteur, de la couverture et de la diversité en espèces de la végétation du sol (couche herbacée et arbustive). Par ailleurs, la composition en espèces dans le stock de semences du sol présentait une moindre similarité avec la végétation au sol et une surreprésentation des espèces tolérantes au piétinement. Les auteurs concluent qu'en cas de régénération forestière sur ces surfaces, la composition en espèces serait substantiellement différente de la composition de la végétation de surface. Dans une étude similaire, Rusterholz et al. (2000) s'intéressent à l'impact des activités récréatives sur les plantes et invertébrés terrestres dans une forêt périurbaine de la ville de Bâle. L'étude montre que la hausse des activités récréatives entraîne une diminution de l'abondance et de la diversité de la végétation du sol et des invertébrés dans le sol, ainsi qu'une augmentation des dégâts à la végétation du sol (herbacée et arbustive). Les auteurs notent également que dans les zones fortement piétinées, la pression dépasse les capacités de régénération de la forêt. Toujours dans un cas d'étude de la région de Bâle, Hegetschweiler et al. (2009) parviennent aux mêmes conclusions sur la réduction de la densité en espèces dans la végétation du sol et arbustive et le changement de composition en espèces mais ils identifient également un changement de la taille et de la structure en classes d'âges des arbustes et des jeunes arbres. Par ailleurs, les débris de bois mort sont moins nombreux car utilisés pour les feux de bois.

Kissling et al. (2009) se sont également penchés sur la thématique du piétinement mais ont, d'un point de vue méthodologique, combiné relevés sur le terrain et expériences de piétinement. Leurs résultats montrent une augmentation de la compaction du sol, une réduction du couvert végétal au

sol, une réduction de la hauteur de végétation et de la densité en espèces et notent également un amoindrissement de la litière organique liée aux feuilles.

Ces différentes études montrent clairement que le piétinement lié à une activité récréative intense peut poser problème à la pratique du rajeunissement naturel par le sylviculteur, à la fois en termes de qualité (en particulier des problèmes de densité) et de maîtrise du rajeunissement (modification de la composition en espèces par rapport à la strate supérieure).

Afin d'étudier la dynamique de régénération des espaces impactés, Rusterholz et Baur (2014) ont suivi l'évolution d'un site forestier clôturé et anciennement très fréquenté pour la récréation sur une durée de sept ans. Au bout de cette période, la régénération du sol et de la végétation était avérée, démontrant l'efficacité de la clôture. La même étude a montré que la scarification accélère la régénération du sol mais pas de la végétation. Rusterholz et al. (2000) préconisent de manière générale la séparation des zones de protection naturelle et des zones récréatives.

Outre le sol et la végétation au sol, le bois sur pied subit également des impacts liés aux activités récréatives. Rusterholz et al. (2009) abordent cette problématique et proposent une méthode pour évaluer la perte de valeur du bois sur pied liée aux activités récréatives et due par exemple aux clous, aux branches cassées ou aux cicatrices sur les troncs.

Afin de prendre en compte la question de ces impacts dans le processus de planification forestière, Bernasconi et al. (2003) proposent une méthode pour évaluer des concepts tels que la charge (*Belastung*) et la résilience (*Belastbarkeit*) d'une forêt de manière spatialement explicite afin de soutenir la définition des zones de récréation en vue de la planification forestière.

Il s'agit toutefois de ramener les impacts directs des activités récréatives sur les forêts à leur juste proportion. Ainsi, l'inventaire forestier national (IFN 3) n'a relevé que 1% de surfaces forestières en Suisse où les activités récréatives « constituent une contrainte excessive et causent des perturbations considérables ou des dégâts au peuplement, à la végétation herbacée ou au sol forestier » (Brändli et Urs-Beat, 2010). Toutefois, cette proportion est hétérogène et elle est plus élevée dans le Jura et le Plateau où elle se monte à 3% (Brändli et Urs-Beat, 2010).

3. Activités récréatives et processus de planification

3.1. Monitoring de la récréation en forêt

Le suivi et l'analyse des activités récréatives en forêt peut se faire sur la base de cas d'étude ponctuels, à plus ou moins grande échelle géographique, qui permettent de mieux comprendre les motivations, les attentes et le comportement des visiteurs en forêt. Ce type d'approche fait régulièrement l'objet de publications. Il s'agit par exemple de Bernasconi et Schroff (2003) qui étudient le comportement, les attentes et le consentement à payer des visiteurs dans la région de Berne sur la base d'un sondage, ou encore de Borzykowski et Kacprza (2017, 2018) qui ont mené une enquête auprès des experts et de la population suisse.

Toutefois, ces études ponctuelles si elles sont indispensables à la compréhension des phénomènes étudiés, ne permettent pas pour autant d'assurer un monitoring permettant le suivi systématique et sur la durée des activités récréatives en forêt. Cette section porte sur les activités de monitoring permettant d'assurer un suivi, détaillé ou partiel, des activités de récréation en forêt et sur les méthodologies associées.

La Confédération a mis en œuvre les projets WaMos (OFEFP, 2000) et WaMos 2 (OFEV, 2013), menés à bien par l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL. Le monitoring mené dans le cadre de ces deux projets se distingue par le caractère général des thématiques abordées, c'est-à-dire la relation entre la population suisse et les forêts et leur gestion, mais aussi par la répétition et la comparabilité des enquêtes. Ainsi, la méthodologie et le contenu de l'enquête menée dans le cadre de WaMos 2 ont été pensés de sorte à pouvoir comparer ses résultats avec les résultats de la première enquête. En particulier, cette comparaison permet de suivre l'évolution dans le temps de la conscience du public sur les différentes fonctions forestières et, sous certains aspects, l'utilisation de la forêt à des fins de détente.

L'enquête WaMos 2 a toutefois été ajustée par rapport à la première enquête. D'un point de vue méthodologique, alors que WaMos était exclusivement basée sur des entretiens téléphoniques, WaMos 2 repose sur une approche mixte, les individus sélectionnés ont été d'abord contactés par courrier postal avec une lettre contenant des informations préalables puis un entretien téléphonique a été réalisé avec la possibilité pour l'individu sondé de poursuivre le sondage sur internet. Du point de vue du contenu, l'enquête a été élargie, par exemple pour traiter des préférences pour différents types de forêt.

Alors que les enquêtes WaMos portent sur un monitoring socioculturel de la population suisse vis-à-vis de la forêt, l'Inventaire Forestier National permet d'approfondir l'analyse des activités récréatives en leur conférant un ancrage géographique. Ainsi, Brändli et Ulmer (2001) présentent un modèle statistique, ajusté sur la base de certaines placettes situées dans les régions de Zurich et Davos, qui établit un lien entre demande potentielle locale en récréation (variable endogène) et la densité en logements dans les environs (variables exogènes). Dans une certaine mesure, ce modèle permet d'extrapoler l'estimation de la demande potentielle de récréation à l'ensemble des placettes de l'IFN.

Le 3^e Inventaire Forestier National introduit une nouvelle approche pour le monitoring des activités récréatives en forêt (Brändli et Urs-Beat, 2010), il s'agit d'un sondage auprès des gardes forestiers de triage pour identifier l'intensité des activités récréatives au niveau de chaque placette de l'IFN. Par ailleurs, afin de permettre la comparaison avec l'IFN 2, le modèle de prévision de la demande potentielle en récréation (voir ci-dessus) a été appliqué à nouveau sur la base de données de recensement de population plus récentes (recensement de 2000 au lieu de 1990). Les résultats montrent une intensification de la demande potentielle en récréation.

Une autre approche permettant de mieux comprendre les déterminants de la demande en récréation porte sur les attributs naturels des écosystèmes forestiers. Une analyse complète de la littérature portant sur les préférences des individus en matière d'esthétique en milieu forestier est présentée en section 5. Ici, il s'agit plutôt de discuter des approches de recherche ou de monitoring qui permettent d'établir un lien quantitatif et spatial entre attributs naturels et demande en récréation. Cette question a fait l'objet de cas d'étude à l'échelle européenne. Par exemple, sur la base de données collectées en Forêt Noire (Allemagne), Coppes and Braunisch (2013) ont développé un modèle spatial de prédiction de la probabilité qu'un visiteur quitte un sentier en fonction de la topographie, de la structure de la forêt et des infrastructures de tourisme. Ils montrent que l'alternance entre surfaces en régénération et futaies augmente la probabilité de quitter le sentier et que l'augmentation du degré de recouvrement diminue la probabilité de sortir du sentier.

En ce qui concerne le monitoring des activités récréatives en lien avec les attributs naturels de la forêt, Brändli et Ulmer (2001) présentent un modèle statistique simple développé dans le cadre du deuxième Inventaire Forestier National. Le modèle, ajusté sur la base de placettes dans les régions de Zurich et Davos (voir ci-dessus), établit un lien entre « l'effet récréationnel » (employé comme synonyme de qualité récréationnelle, estimée ici de manière subjective) et les caractéristiques naturelles observées (voir section 5 pour plus d'information). Suivant une idée similaire, Hegetschweiler et al. (2017) étudient la possibilité d'intégrer à l'Inventaire Forestier National des données de sondage recueillies auprès des visiteurs en forêt au niveau des parcelles IFN pour traiter la question du lien entre récréation et esthétique en milieu forestier. Sur la base d'une étude basée sur des données recueillies dans les cantons de Zurich, d'Argovie et de Soleure, Hegetschweiler et al. (2017) ajustent un modèle statistique multiniveaux et montrent que l'attractivité est déterminée à la fois par des facteurs sociaux et physiques. Ils concluent sur le fait qu'une intégration systématique de cette approche à l'inventaire Forestier National permettrait d'améliorer grandement le monitoring des activités récréatives en forêt.

En ce qui concerne les données sur la fréquentation des forêts pour des activités de récréation, Schägner et al. (2017) présentent une base de données européenne créée à l'initiative du Centre commun de recherche (*Joint Research Center*) de la Commission Européenne. Cette base de données réunit plus de 500 cas d'étude géoréférencés pour lesquels des statistiques sur les visites en forêt ont été collectées et qui peuvent servir pour des recherches secondaires. Cette base de données peut être complétée de manière participative grâce à un *template* et une interface disponible en ligne.

3.2. Intégration des activités récréatives dans le processus de planification

Sur la base du cas d'étude de la région de Berne, Bernasconi et al. (2003) affirment que la planification forestière régionale offre un contexte idéal pour jeter les bases d'une politique forestière qui tienne compte des intérêts économiques, écologiques et sociaux. Bernasconi (2004) précise ce propos en analysant la manière dont les activités récréatives sont prises en compte dans les processus de planification directrice pour les loisirs (*Teilrichtplanung Naherholung und Landschaft*) et de planification forestière régionale (*Regionale Waldplanung Bern*). Les constats et recommandations effectués dans ce cadre (et à cette époque) sont les suivants :

- la sélection des zones récréatives prioritaires résulte principalement ou même exclusivement de considérations forestières (par ex. dans quelle mesure la récréation nuit-elle à la gestion forestière ?),
- toute la diversité des groupes d'intérêt ne peut pas être prise en compte dans la planification, il faut effectuer une sélection sur une base transparente et les groupes d'intérêt non-représentés ont encore la possibilité de s'exprimer à travers la participation du public,
- les conditions cadres et les processus de décision doivent être transparents et clairement communiqués aux groupes d'intérêt en amont du processus,
- l'importance de la récréation n'était pas forcément très claire du fait qu'au niveau fédéral seules la biodiversité et la protection contre les dangers naturels pouvaient prétendre à une indemnisation,
- dans les faits, la position de la fonction de délasserment comme fonction à part entière ou comme co-produit d'une autre fonction n'est pas claire,
- il est impossible de concilier toutes les fonctions sur une même zone en milieu périurbain,
- il est important d'identifier l'écart entre exigences de récréation et réalisations possibles, et il est important de communiquer à ce sujet,
- la contrainte budgétaire doit être ancrée dans le processus de planification,
- le processus de planification est un excellent instrument de mise en réseau des groupes d'intérêt avec les gestionnaires et les propriétaires forestiers.

Dans tous les cas, la planification directrice forestière n'est pas un processus isolé mais doit au contraire s'intégrer à la stratégie générale de développement d'un territoire comme cela est mis en avant par Tschannen (in WSL 2011).

Pour intégrer les activités récréatives de manière pertinente, le processus de planification doit également reposer sur des indicateurs pertinents dans le domaine (Harshaw et al., 2007). A ce sujet, Bernasconi et al. (2003) proposent une méthode pour estimer la charge et la résilience d'une forêt de manière spatialement explicite en vue d'aider à la définition des zones de récréation lors de la planification directrice. L'application de cette méthode au cas d'étude mentionné ci-dessus a permis de coordonner les objectifs de loisirs et de conservation de la nature. Cette méthode est adaptée au niveau régional et suprarégional car elle fournit des résultats pertinents pour l'élaboration d'une stratégie. Au niveau local, les résultats ne sont en revanche pas assez précis.

Au-delà de la planification directrice, il est important que les gestionnaires forestiers intègrent de manière appropriée la question des activités récréatives à leur planification d'entreprise et à leur gestion courante. Jay et Schraml (2013) mettent en évidence dans une étude de cas auprès de 16 forestiers allemands, un manque de planification stratégique en ce qui concerne la récréation. Cette étude met également en évidence que la prise en compte des activités récréatives dans les activités de gestion forestière dépend beaucoup du type de forestier rencontré. Jay et Schraml identifient trois archétypes de gestionnaire : i) ceux qui ont une vision classique de la gestion forestière et de la sylviculture, ii) ceux qui se voient comme des prestataires de services multifonctionnels, et iii) ceux qui critiquent l'orientation classique de la sylviculture et mettent l'accent sur les nouveaux défis s'offrant aux forestiers dans les zones urbaines. Les auteurs concluent que la prise de conscience des prises par les activités de récréation est un défi important pour la profession. L'intégration de ces professionnels dans un processus participatif tel que celui

mentionné par Bernasconi (2004) est une approche très pertinente pour ce faire. Par ailleurs, Lupp et al. (2007) estiment sur la base d'un cas d'étude dans la région de Munich que les conseillers forestiers devraient pouvoir répondre aux propriétaires forestiers urbains sur les thématiques de l'esthétique, de l'écologie et de la récréation. Sur la base d'un cas d'étude dans la région de Bâle, Hasspacher (2007) propose un concept de planification forestière intégrée mettant l'accent sur le développement des sentiers forestiers, les mesures sylvicoles pour la sécurité des visiteurs et l'esthétique, ainsi que sur la gestion des flux de visiteurs et de la communication.

En ce qui concerne l'application concrète de bonnes pratiques sylvicoles ou d'aménagements forestiers sur le terrain, il est indispensable de comprendre les motivations des visiteurs sous peine de ne pas atteindre les objectifs escomptés. Ce problème a été mis en évidence par Hegetschweiler et al. (2007) qui se sont intéressés aux visiteurs d'une forêt périurbaine de Bâle qui mettent en place des feux de bois en dehors des zones prévues à cet effet. Il s'est avéré que les endroits équipés ne répondaient pas aux attentes de ces visiteurs. Il existe certains ouvrages appliqués qui répertorient les bonnes pratiques liées à la planification et à la gestion des forêts destinées à des usages récréatifs, tels que Pröbstl et al. (2010).

Enfin, certains auteurs, tels que Pütz et al. (2015) recommandent de considérer la foresterie urbaine comme un domaine d'activité à part entière afin d'assurer un développement plus efficace des pratiques correspondantes, en particulier grâce à une collaboration intersectorielle et interdisciplinaire accrue.

3.3. Planification des chemins et sentiers forestiers

La planification du réseau de chemins et sentiers en forêt est cruciale pour satisfaire les visiteurs en forêt et pour limiter le dérangement de la faune comme cela est mis en évidence dans la partie 1.

3.3.1. Objectifs de la planification et mise en œuvre institutionnelle

L'Office fédéral des routes OFROU et Suisse Rando ont publié un manuel pour la planification et l'optimisation du réseau de chemins de randonnée pédestre, voir OFROU (2014). Ce réseau est constitué des chemins pédestres balisés donc il ne représente qu'une partie des chemins et sentiers traversant les massifs forestiers et il comprend également des chemins et sentiers hors forêt. Néanmoins, la méthodologie de planification présentée dans cette section constitue une base de réflexion intéressante pour l'ensemble des chemins et sentiers en forêt.

Selon l'article 4 de la Loi fédérale du 4 octobre 1985 sur les chemins pour piétons et les chemins de randonnée pédestre (LCPR), la planification de ce réseau incombe aux cantons. Dans son exécution, les cantons collaborent avec les communes, l'Office fédéral des routes OFROU et les organisations spécialisées telles que Suisse Rando. Certains cantons ont même délégué en partie cette tâche de planification aux communes. Dans la pratique, le territoire cantonal est partitionné en régions de planification. Idéalement, la délimitation de ces régions devrait se faire suivant les barrières géographiques qui ne sont traversées que par un nombre limité d'itinéraires (rivières, vallées, crêtes et voies ferrées). Cette partition rend le processus de planification plus clair, plus facilement gérable et plus efficace. En particulier, elle permet de constituer des groupes de travail locaux connaissant bien les lieux. Les directives fédérales définissent des exigences minimales quant au processus de planification des chemins de randonnée. Parmi ces exigences, figurent entre autres les trois points suivants :

- assurer la participation des personnes, organisations et services fédéraux intéressés,
- faire concorder le réseau de chemins de randonnée pédestre avec celui des cantons ou des communes limitrophes, c'est-à-dire assurer la cohérence spatiale du réseau et ce, à plusieurs échelles,
- coordonner ce réseau avec les autres activités et intérêts ayant des effets sur l'organisation du territoire (sachant que la planification des chemins de randonnée a elle-même un impact sur le territoire).

Le manuel publié par l'OFROU (OFROU, 2014) propose dix objectifs (ou lignes directrices) pour guider la planification. Ils répondent à trois critères de qualité des réseaux de chemins de randonnée : l'attrait, la sécurité et la stabilité. Ces objectifs et les principes techniques correspondants reprennent et opérationnalisent les exigences de la Confédération tout en les complétant par la prise en compte des attentes des randonneurs et des autres besoins et intérêts déterminants. Ces dix objectifs sont présentés dans la Fig. 8 ci-dessous.











2.1 Attrait	
	Grande variété du tracé
	Chemins pourvus d'un revêtement adéquat
	Clarté et convivialité
	Liaison avec les transports publics
2.2 Sécurité	
	Concordance entre les catégories de chemin et les conditions réelles
	Sécurité par rapport aux véhicules
	Prévention des conflits liés à l'utilisation avec les animaux de rente
	Prise en compte des dangers naturels
2.3 Stabilité	
	Coordination avec les autres activités et intérêts ayant des effets sur l'organisation du territoire
	Accès public

Fig. 8 : Les dix objectifs de planification définis par l'Office fédéral des routes OFROU et Suisse Rando (source : OFROU, 2014)

Le manuel de l'OFROU (2014) présente également certains principes techniques qui permettent de répondre à ces différents objectifs. Par ex. l'objectif de grande variété du tracé correspond à la diversité paysagère rencontrée sur les différents itinéraires. Cet objectif peut être entre autres atteint par la diversité des types de végétation rencontrés sur un itinéraire donné (forêts, zones dégagées, etc.). Cela met en évidence la nécessité de ne pas restreindre la question de la planification des chemins et sentiers pédestres aux seuls espaces forestiers.

L'objectif de clarté et de convivialité correspond à la qualité et à la cohérence de l'offre en itinéraires de randonnée dans une zone donnée. La densité du réseau doit correspondre aux conditions locales (conditions naturelles mais aussi en termes de fréquentation). Chaque itinéraire doit être clairement identifié et la position des points de départ et d'arrivée doivent être appropriés (ex. liaison avec les transports publics). Il faut également éviter d'avoir plusieurs variantes reliant les mêmes points de départ et d'arrivée. Enfin, les itinéraires proposés doivent répondre à la durée optimale d'une

randonnée qui se situe entre 1h30 et 4h (pour le Plateau suisse, davantage en montagne) selon OFROU (2014). Ces principes reflètent l'importance de la notion d'itinéraires pour la planification. Ils mettent également en évidence l'échelle spatiale minimale à considérer lors de la planification d'un itinéraire, qui est de plusieurs kilomètres, dépassant souvent l'échelle du massif forestier.

L'objectif de coordination avec les autres activités et intérêts ayant des effets sur l'organisation du territoire correspond à l'intégration spatiale et intersectorielle des différents réseaux de chemins de randonnée. Il s'agit par ex. d'harmoniser les différents réseaux de chemins communaux, cantonaux et nationaux ou de tirer parti des synergies pouvant exister entre l'aménagement (ou le réaménagement) d'un chemin et d'autres projets d'aménagement du territoire (ex. revitalisation d'un cours d'eau). Il s'agit également d'organiser une concertation avec les personnes et organisations intéressées en amont de la modification d'un réseau de chemins.

Ces différents éléments (exigences légales, objectifs, principes techniques) mettent en évidence le fait que la planification du réseau des chemins et sentiers de randonnée en forêt ne peut pas se faire seulement au niveau de la planification d'entreprise mais à une échelle spatiale plus large et de manière multisectorielle. De fait, la plupart des cantons ont intégré la question de la planification des chemins de randonnée dans leur(s) plan(s) directeur(s) et parfois dans leur(s) plan(s) directeur(s) forestier(s). Par ex., le plan directeur forestier de la Région Centre Vaud mentionne explicitement un besoin de coordination transversale sur la thématique des liaisons et des itinéraires de mobilité douce en forêt. Le plan directeur forestier du Canton du Jura (RCJU, 2013) mentionne quant à lui la nécessité d'une coordination fine avec les projets intégrés dans le plan directeur cantonal (réseau de chemins pédestres, réseau VTT, cabanes forestières, etc.). En outre, un des objectifs spécifiques du plan directeur forestier est de planifier et canaliser les activités de loisirs. Les mesures correspondantes consistent à « veiller à l'équilibre entre activités de loisirs et conservation de la forêt », de privilégier l'utilisation de la desserte forestière existante et de n'autoriser les nouveaux projets d'infrastructure d'accueil du public que lorsqu'ils s'inscrivent dans un contexte de développement régional, apportant une diversification des activités de loisirs et ne mettant pas en péril les autres fonctions de la forêt. Cet objectif fait d'ailleurs clairement le lien avec la partie 1 de ce rapport.

3.3.2. Le processus de planification et les modifications du réseau de chemins de randonnée pédestre

Selon OFROU (2014), le processus de planification du réseau de chemins de randonnée pédestre comprend les tâches décrites dans la Fig. 9 ci-dessous.

Observer et gérer le développement du réseau		
Observation du développement du réseau (3.1)	Pilotage du développement du réseau (3.2)	
<ul style="list-style-type: none">■ enregistrer les remarques relatives aux défauts, aux conflits d'utilisation, etc. ; identifier les occasions d'améliorer le réseau ; évaluer la nécessité d'agir■ vérifier la qualité du réseau régulièrement et de manière approfondie ; évaluer l'évolution future■ intervenir en cas d'une atteinte à un chemin■ échanger des informations avec les autres acteurs intéressés	<ul style="list-style-type: none">■ fixer les objectifs et les mesures de soutien de la qualité du réseau (en fonction des observations faites sur le développement du réseau)■ vérifier périodiquement l'effet des mesures (contrôle des résultats) ; si nécessaire, apporter des corrections■ inscrire les moyens financiers au budget et les gérer■ vérifier régulièrement l'efficacité et l'adéquation des moyens mis en œuvre	
Préserver et modifier le réseau		
Modifications du réseau, modifications d'itinéraires (3.3)	Gestion du plan de chemins de randonnée pédestre, coordination (3.4)	Garantie juridique (3.5)
<ul style="list-style-type: none">■ modifier les tracés/itinéraires■ supprimer/remplacer les tronçons de chemin inintéressants■ combler les lacunes dans le réseau■ si nécessaire, effectuer un remaniement complet du réseau	<ul style="list-style-type: none">■ coordonner la planification du réseau de chemins de randonnée pédestre avec les autres activités et intérêts ayant des effets sur l'organisation du territoire■ effectuer un suivi du plan des chemins de randonnée pédestre■ vérifier régulièrement le plan des chemins de randonnée pédestre et, si nécessaire, le réviser	<ul style="list-style-type: none">■ chaque fois que l'occasion se présente, assurer la garantie, juridiquement contraignante pour les propriétaires fonciers, des raccordements existants et nouveaux

Fig. 9 : Tâches faisant partie de la planification des réseaux de chemins de randonnée pédestre (source : OFROU, 2014)

Ces différentes tâches constituent un système de gestion des chemins de randonnée, avec activités de monitoring et de controlling de ce réseau.

Le réseau suisse de chemins de randonnée pédestre représente à l'heure actuelle un linéaire d'environ 60'000 km. Il n'est pas prévu de développement massif de ce réseau mais celui-ci peut être ponctuellement amélioré. Les possibilités d'action au niveau d'un itinéraire sont les suivantes : la modification du tracé, le raccourcissement ou la prolongation, la suppression, la revalorisation (ex. plantation d'arbres, enlèvement du revêtement).

Le manuel OFROU (2014) propose une marche à suivre pour la planification et l'optimisation d'un réseau de chemins lors d'un remaniement (en sus des objectifs et des mesures présentées ci-dessus) :

5. vérification de l'offre d'itinéraires existante,
6. optimisation de l'offre d'itinéraire,
7. détermination des destinations intermédiaires et des catégories de chemin,
8. documentation des modifications du réseau.

Une participation précoce des personnes et organisations intéressées est indispensable pour prévenir les oppositions trop fortes, en particulier lorsqu'il s'agit de supprimer un itinéraire.

L'OFROU (2014) note par ailleurs que les grands projets d'infrastructures (ex. routes, chemins de fer, urbanisation, aménagement de cours d'eau, etc.) constituent de bonnes occasions pour un remaniement du réseau des chemins de randonnée.

Enfin, l'OFROU note la nécessité de tenir compte des impératifs de protection de la nature et du paysage. Ainsi, lors d'une modification de tracé, il faut utiliser autant que possible les chemins déjà existants et pourvu d'un revêtement approprié. Pour le développement de nouveaux chemins, « il faut tenir compte des groupements de plantes sensibles au piétinement et des espèces animales sensibles au dérangement, et aménager les chemins de manière à ce que les atteintes soient réduites au minimum » (voir le manuel Construction et entretien des chemins de randonnée pédestre, OFROU, Suisse Rando, 2009).

3.4. Communication auprès des visiteurs

La communication auprès des visiteurs est une démarche importante qu'il s'agit d'intégrer aux processus de planification et de gestion forestière. Ainsi, Borzykowski et Kacprza (2017) montrent dans une étude sociologique qu'il est possible de concilier la fonction de production de la forêt avec ses autres fonctions mais que cela requiert d'instaurer un dialogue entre les différentes parties prenantes (et d'assurer une promotion accrue du bois suisse et des produits en bois suisse). Par exemple, l'ensemble des experts et 79% de la population interrogés par Borzykowski et Kacprza (2017) trouvent que la fermeture de chemins en raison de coupes de bois n'est pas dérangement dans la mesure où les dérangements sont bien signalés et que des chemins alternatifs sont proposés. Par ailleurs, ces dérangements sont associés à une sécurisation des zones de travail et vus comme une nécessité pour l'entretien de la forêt.

Toutefois, la communication auprès de la population peut encore être améliorée. Les résultats de l'enquête WaMos 2 (OFEV, 2013) montrent par exemple que 9% des personnes interrogées croient à tort que l'abattage des arbres est dans tous les cas, nuisible pour le climat. De même, Lupp et al. (2007) montrent dans un cas d'étude dans la région de Munich qu'une partie de la population associe les travaux forestiers à la déforestation.

Sur la base d'une étude comparative des différentes villes européennes à la tradition forestière, Konijnendijk (2000) identifie trois principaux moyens de communication sur les forêts auprès des populations urbaines : i) éducation et information, ii) consultation, iii) participation. Ces deux derniers points sont cohérents avec les conclusions de Bernasconi et al. (2003) et Bernasconi (2004) qui insistent sur l'importance d'une démarche participative pour intégrer la question des activités récréatives dans le processus de planification directrice.

4. Conflits d'usage

La fiche thématique sur les conflits d'usage présentée par Bernasconi et Schroff (2008) constitue un point de départ pertinent sur la thématique. Bernasconi et Schroff (2008) listent trois types de conflits pouvant être engendrés par les activités récréatives :

- i) les conflits entre usagers du fait d'activités différentes et/ou du fait d'une trop grande densité de visiteurs,
- ii) les conflits entre les usagers et les objectifs des gestionnaires de la forêt,
- iii) les conflits entre les usagers et les objectifs de protection de la nature.

Les deux sections suivantes portent en particulier sur les conflits entre les usagers et les objectifs des gestionnaires forestiers, ainsi que sur les approches pour la résolution de ces conflits.

4.1. Les conflits d'usage entre activités récréatives et gestion forestière

Sur la base d'une analyse spatiale des fonctions forestières, Hanewinkel (in WSL, 2011) met en évidence qu'en Suisse, la forêt remplit significativement plusieurs fonctions sur une grande proportion de sa surface. En particulier, de grandes surfaces forestières autour des zones urbaines (surtout sur le Plateau suisse) sont concernées à la fois par les fonctions de production et de récréation, ce qui pourrait être source de conflits d'usage. Les recoupements spatiaux entre fonctions de protection de la nature et production de bois sont plus ponctuels, et les recoupements entre protection de la nature et protection des biens et des personnes d'une part, et entre production de bois et protection des biens et des personnes d'autre part, sont relativement rares en comparaison.

Toutefois, Borzykowski et Kacprza (2017, 2018) montrent qu'il n'y a pas de conflits marqués entre la production de bois et les autres fonctions forestières hormis des conflits locaux et temporaires qui peuvent être prévenus grâce à des actions de communication. Les fermetures de chemins à cause de coupes de bois sont par exemple perçues comme étant minimales et bien signalées par la population. Borzykowski et Kacprza (2018) mentionnent toutefois que s'il existe globalement suffisamment d'espaces aménagés pour la détente et les loisirs en forêt, cela n'est pas toujours le cas à proximité des grandes agglomérations. Par ailleurs, les experts interrogés sont préoccupés par l'afflux de touristes dans certaines forêts et par la forte demande d'aménagement pour la détente. Bürgi (2011) présente quant à lui les conflits d'usage entre activités récréatives et production de bois sous l'angle des coûts supplémentaires engendrés pour l'entreprise forestière, notamment en matière de partage des dessertes et des conditions de sécurité (voir section 7 pour plus de détails). Larrue et al. (2012) mentionnent également les coûts supplémentaires engendrés pour le service forestier dont les gardes doivent faire respecter l'interdiction de circuler en véhicule sur les chemins forestiers dans la région du Chasseral (dans le Jura Bernois).

En ce qui concerne la perception des conflits d'usage ou des conflits d'intérêt en lien avec la forêt, Finger-Stich (2006) a mené une étude sociologique auprès de communautés alpines suisses et françaises. Elle a mis en évidence l'écart de perception entre les individus de type urbain employés dans les secteurs d'activité secondaire et tertiaire et les individus de type rural employés dans le secteur primaire. Les individus de type urbain perçoivent la forêt de proximité comme un espace naturel garant de la qualité de vie et expriment des conflits d'intérêt plutôt en lien avec les questions de conservation de la nature et de récréation. Les individus de type rural perçoivent la forêt comme un lieu travaillé, legs de leurs ancêtres et garante de subsistance. Ils expriment des conflits d'intérêt plutôt en lien avec les questions proprement forestières. Citant Lewis Coser (1956 in Finger-Stich, 2006), Finger-Stich affirme que le conflit favorise la constitution de groupes sociaux, motive l'action collective et agit en tant que facteur de changement social. Les conflits et leur résolution peuvent ainsi jouer un rôle important dans l'intégration des différents groupes d'intérêt dans les processus de politique et de gestion forestières. Toujours sur la thématique de la perception, Verlic et al. (2015) montrent par ailleurs sur la base d'une étude expérimentale sur le terrain mélangeant relevé d'impacts et sondage, que les usagers récréatifs des forêts sont conscients des impacts provoqués sur l'écosystème forestier par les activités récréatives.

A la marge du sujet traité ici, il est tout de même intéressant de noter que la question des conflits d'usage entre différents types d'usagers récréatifs de la forêt est très présente dans la littérature scientifique et technique. Par exemple, Hunziker et al. (2011) démontrent l'existence de conflits entre les différentes activités récréatives du fait d'intérêts différents. Ainsi, 27% des visiteurs se sentent gênés en forêt par les autres visiteurs. La comparaison des enquêtes WaMos et WaMos 2 montrent d'ailleurs une augmentation des personnes qui se disent gênés par les autres visiteurs lors de leurs visites en forêt (OFEV, 2013). Cette augmentation est imputée à la multiplication simultanée des activités physiques et méditatives en forêt.

4.2. Approches de résolution des conflits

La plupart des approches pour gérer les conflits d'usage en forêt sont des approches de prévention de ces conflits qui consistent à intégrer les différentes fonctions forestières dans le processus de planification pour éviter au maximum les conflits potentiels. Hanewinkel (in WSL, 2011) explique par exemple que les entreprises allemandes orientées vers la production économique poussent vers une ségrégation spatiale des différentes fonctions forestières pour gagner en efficacité. De manière générale, l'auteur estime que la quantification et l'évaluation des fonctions forestières

sous la forme de biens et services écosystémiques, ainsi que la compréhension de leur dynamique spatiale et temporelle, sont un champ de recherche prioritaire afin d'accompagner l'effort de planification. Jay et Schraml (2013) démontrent qu'il est possible de mieux planifier les formes actives de récréation en comblant les insuffisances stratégiques et en rendant la gestion moins dépendante du type de gestionnaire (sylviculture classique, prestation de service multifonctionnel, focus sur les nouveaux défis de la sylviculture en zone urbaine).

Selon Wilkes-Allemand et al. (2015) et sur la base de quatre cas d'études en Suisse, les conflits d'usage en forêt sont en augmentation du fait d'une part, d'une intensification des demandes sociétales vis-à-vis de la forêt (en ce qui concerne les pratiques sportives par exemple) et d'autre part, d'une hausse des conflits entre usagers récréatifs. Pour Wilkes-Allemand et al. (2015), une meilleure compréhension de la gouvernance de la récréation en forêt peut permettre d'améliorer la gestion et la planification des forêts en zones urbaines en limitant les situations conflictuelles et en identifiant des stratégies de réponse adaptées. En ce qui concerne en particulier les conflits entre usages récréatifs et production de bois, les auteurs mentionnent le problème que les visiteurs s'aventurent sur des chemins fermés en vue de travaux forestiers. Les principales réponses correspondantes consistent en une utilisation d'une signalisation adaptée et en une information en amont des visiteurs sur les travaux à venir. A ce sujet, Kuhn (in WSL, 2011) expose un cas d'étude mené à bien dans la ville de Saint Gall qui a mis en œuvre avec succès une vaste campagne de communication auprès de la population en vue de faire accepter une lourde campagne de travaux forestiers à proximité de la ville.

Au-delà des processus de planification, il est également crucial de comprendre les attentes et les besoins des visiteurs et des entreprises. Ainsi, Zeidenitz (2005) présente le résultat de ses travaux en psychologie de l'environnement sur les déterminants des activités récréatives de plein air en lien avec le rôle de la nature et du paysage. L'auteur affirme que les motivations spécifiques à chaque type d'activité devraient être prises en compte dans la conception de mesures visant à orienter les usagers. Certaines études se penchent sur le même type de thématique mais à travers des cas d'étude beaucoup plus spécifiques. Par exemple, Hegetschweiler et al. (2007) étudient les motivations des visiteurs qui mettent en place des feux de bois en dehors des zones prévues à cet effet en lien avec l'amélioration de ce type d'aménagements.

5. Préférences esthétiques du public en forêt

Le contenu de cette section emprunte largement à Caillard et al. (2018) dont la thèse de Master intitulée « Évaluer et accroître l'attractivité des forêts de loisir pour le bien-être des visiteurs » comporte une revue de littérature très fournie sur la thématique des préférences esthétiques du public en forêt.

De manière générale, les recherches sur les préférences esthétiques en forêt démontrent une large base commune de préférences partagées au sein du public. Ces recherches sont souvent menées par des approches psychophysiologiques ou cognitives (Pastorella et al. 2017) qui consistent à examiner les réactions des individus issues de la perception du paysage à la lumière des caractéristiques de ce dernier. Concrètement, les préférences partagées correspondent aux attributs des écosystèmes forestiers qui évoquent systématiquement une réponse positive (respectivement négative) chez les personnes sondées. A noter toutefois que selon Edwards et al. (2011), il existe des différences de préférences en fonction de l'activité pratiquée en forêt.

Plusieurs théories de la psychologie environnementale sont mobilisées pour expliquer les préférences du public :

- la théorie « *prospect-refuge* » (Appleton, 1975) : les réflexes intrinsèques de l'être humain, hérités de son passé préhistorique, le pousse à rechercher des endroits aptes à assurer sa survie (Grahn et Stigsdotter 2010),
- l'hypothèse de la savane (Orians, 1980) : les individus préfèrent les paysages et les arbres typiques de la savane africaine fertile, à savoir de vastes étendues d'herbes et des arbres au tronc court et au houppier large (Gerstenberg et Hofmann 2016),

- la théorie de l'information (Kaplan et Kaplan, 1989) : les jugements de préférences se basent sur les perceptions et sur les préoccupations et besoins fondamentaux de l'individu, ces jugements se produisent inconsciemment et très rapidement d'après les caractéristiques de la scène observée,
- la cohérence (Eriksson et Nordlund 2013) : la cohérence se rapporte à l'aspect ordonné des éléments de la scène,
- la théorie de la restauration de l'attention (Kaplan et Kaplan, 1989) : les environnements naturels seraient particulièrement aptes à restaurer la fatigue mentale grâce aux stimuli qu'ils offrent à voir et qui exercent une douce fascination sur l'observateur, retenant son attention sans requérir un effort mental,
- la théorie de la réduction du stress (Ulrich et al., 1991) : la nature a des effets positifs sur les variables physiologiques de l'Homme et contribue notamment à récupérer du stress (Arnberger et Eder 2015).

Selon Han (2007), la combinaison de ces différentes théories semble être une approche prometteuse pour la compréhension des réponses humaines à l'environnement.

Sur la base d'une importante revue de littérature, Caillard (2018) a identifié les attributs des écosystèmes forestiers les plus pertinents quant aux préférences esthétiques du public. Pour chaque attribut, l'auteur a spécifié la nature des préférences telle qu'elles sont décrites dans la majorité des publications concernées. Le Tab. 7 ci-dessous présente une synthèse succincte de ces résultats.

Attribut	Préférences
Eau	
L'eau courante ou dormante est un élément attractif : <ul style="list-style-type: none"> Des parcs urbains (Adinolfi et al. 2014) Des environnements naturels et forestiers (Abildtrup et al. 2013 ; Arnberger et Eder, 2011 ; Nordstrom et al. 2015) 	
Empreinte de l'homme	
Le public préfère les scènes d'apparence naturelle, avec une faible présence de signes d'intervention humaine en particulier les signes d'exploitation (Gundersen et Frivold, 2008)	
Rémanents	Branches et résidus des bois exploités ont un fort impact négatif (Edwards et al. 2012a ; Eriksson et al. 2012)
Coupes d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> Impact négatif des coupes rases (Edwards et al. 2012a ; Eriksson et Nordlund, 2013) Impact d'autant plus négatif que l'intervention est récente (Kearney et al. 2010 ; Kearney et Bradley, 2011) La coupe d'abri, la coupe rase de moins d'un hectare (< 1 ha) et la coupe rase ont un effet bien plus négatif que la coupe sélective et l'éclaircie (Kearney et al. 2010)
Motifs rectilignes	Hors du milieu urbain, les motifs rectilignes ne sont pas appréciés, notamment en ce qui concerne les coupes (Kearney et al. 2010) et l'organisation spatiale des tiges (Filyushkina et al. 2017 ; Giergiczy et al. 2015)
Éléments artificiels	Les éléments artificiels sont peu appréciés en forêt (Gerstenberg et Hofmann, 2016 ; Pastorella et al. 2017, Hegetschweiler et al. 2017)
Chemins	Le public apprécie la présence de chemins (Meo et al. 2015), surtout lorsqu'ils sont larges (Herzog et Kirk, 2005), bien entretenus (Arnberger et Eder, 2015) et en accord avec l'environnement naturel (Kearney et Bradley, 2011 ; Arnberger et Eder, 2015)
Éléments culturels	Les éléments historiques participent à l'attractivité des sites forestiers (Kienast et al. 2012 ; van Herzele et Wiedemann, 2003)
Signes de soin	Les signes de présence humaine peuvent être perçus positivement s'ils traduisent une intention de soin et non une transformation utilitaire (Eriksson et al. 2012) et qu'ils s'intègrent dans l'environnement naturel (van den Berg et al. 2014)
Végétation	
Bois mort	Le bois mort est globalement mal perçu (Eriksson et al. 2012), sauf éventuellement en cas de faible quantité (Giergiczy et al. 2015) ou après d'un public connaissant sa valeur écologique (Hauru et al. 2014)
Densité	Les couverts forestiers (très) ouverts sont préférés par le public (Meo et al. 2015 ; Eriksson et al. 2012 ; Nordstrom et al. 2015)
Sous-étage	La présence d'un sous-étage est appréciée (Giergiczy et al. 2015 ; van der Wal et al. 2014) sauf s'il est haut (Hansson et al. 2012) ou très dense (van der Wal et al. 2014)
Couverture du sol	La présence d'une couverture végétale au sol est préférée à un sol nu (Giergiczy et al. 2015) et la préférence augmente avec la proportion de couverture herbeuse (Kearney et Bradley, 2011)
Stades de développement et dimensions des arbres	<ul style="list-style-type: none"> Les arbres matures de grande dimension sont généralement préférés (Filyushkina et al. 2017 ; Hansson et al. 2012) et constituent un élément important de l'attractivité des forêts (Edwards et al. 2012b). Les arbres au houppier large sont aussi très appréciés (Gerstenberg et Hofmann, 2016 ; Hofmann et al. 2017), notamment si leur tronc est relativement court (Gerstenberg et Hofmann, 2016)
Diversité	
Diversité au niveau du paysage	Le public préfère les paysages diversifiés (également en termes d'utilisation des sols) aux paysages homogènes (Kienast et al. 2012)
Diversité au niveau massif	L'attractivité d'une forêt augmente avec la variation entre les peuplements (Edwards et al. 2012a ; Giergiczy et al. 2015 ; van der Wal et al. 2014, Eriksson et al. 2012), celle-ci se caractérisant par les variations dans l'âge, le mode de gestion, la composition en essences, la densité et la structure de la végétation
Diversité au niveau du peuplement	<ul style="list-style-type: none"> Le public différencie grossièrement les arbres selon leur type résineux/feuillus, la forme du houppier, le ratio largeur du houppier/hauteur du tronc et la densité du feuillage (Gerstenberg et Hofmann, 2016) La diversité visuelle au niveau du peuplement est un facteur d'attractivité important (Filyushkina et al. 2017) Le public préfère les peuplements présentant un mélange d'essences (Filyushkina et al. 2017) mais tendent à préférer les feuillus (Abildtrup et al. 2013 ; Colson et al. 2010)
Diversité de la topographie	Le public tendrait à préférer les reliefs vallonnés aux reliefs plats (Arnberger et Eder 2011, Hansson et al. 2012)
Autres attributs	
Sons	<ul style="list-style-type: none"> Les sons urbains sont considérés comme une pollution sonore en milieu naturel (Hauru et al. 2014), par ex. les bruits de trafic (Kienast et al. 2012 ; Arnberger et Eder, 2015, Nordstrom et al. 2015) Les sons naturels sont perçus positivement, ex. le bruit du vent dans les arbres ou de l'eau (Kangas et al. 2015), ou les chants d'oiseaux (de Sang et al. 2016)
Accès visuel et physique	<ul style="list-style-type: none"> La visibilité, synonyme de distance de vue ou d'accès visuel, est préférée par le public (Edwards et al. 2012a, Gerstenberg et Hofmann, 2016) La longueur et la largeur d'un chemin, ainsi que la perméabilité de sa bordure déterminent la visibilité
Perspective	Les endroits procurant une vue d'ensemble des environs sont préférés (Hegetschweiler et al. 2017 ; Pastorella et al. 2017)
Refuge	Les individus préfèrent les sites présentant un élément structurel pouvant servir d'abri (Kaplan et Kaplan, 1989) : buissons, végétation plus haute, les arbres avec un large houppier (Jorgensen et al. 2002)
Saisons	<ul style="list-style-type: none"> Les variations saisonnières influencent l'expérience du visiteur (Nielsen et al. 2012 dans Hegetschweiler et al. 2017) La saison de floraison et l'automne (marquées par le changement de couleur du feuillage) sont les saisons préférées (Pastorella et al. 2017)

Tab. 7 : Présentation des principales préférences esthétiques en forêt partagées par le public

La sylviculture, mais aussi l'aménagement de la forêt, permettent d'influencer l'écosystème forestier pour mettre en valeur ou amener certains attributs, et en dissimuler ou en éliminer d'autres. Il existe des manuels et ouvrages techniques qui décrivent les bonnes pratiques en la matière, par exemple Gernigon (2002), Moigneu (2005), Worthington et al. (2009), Pröbstl et al. (2010) ou Breman (2006). Voir Caillard (2018) pour plus de détails.

La thématique des préférences esthétiques a été traitée très brièvement dans le cadre du second Inventaire Forestier National. Ainsi, Brändli et Ulmer (2001) présentent un modèle statistique simple établissant un lien entre le niveau d'attractivité de l'écosystème forestier et certains attributs naturels de cet écosystème. Les attributs considérés ont été tirés d'une revue de la littérature de l'époque, il s'agit : du stade de développement, de la structure du peuplement, du degré de recouvrement de la végétation du sol, du degré de recouvrement de la végétation arbustive, de l'environnement autour de la forêt, du type de trouées et de la proportion de la surface terrière correspondante aux espèces d'arbres attractives d'un point de vue récréatif. Sur la base d'un ensemble de placettes IFN localisées dans les régions de Zurich et Davos, les résultats statistiques ont montré que le stade de développement, le degré de recouvrement de la végétation au sol et la structure du peuplement étaient les attributs les plus pertinents.

La question des préférences pour certains types de forêt a été abordée dans le cadre de l'enquête WaMos 2 (OFEV, 2013) qui a été élargie par rapport à l'enquête précédente pour déterminer le rapport de la population à certains attributs naturels de la forêt. Pour chacun des attributs naturels en question (par exemple « pratiquement que des résineux »), la personne sondée devait indiquer sa perception (« dérange beaucoup », « dérange assez », « neutre », « plaît assez », « plaît beaucoup »). Les résultats ont montré que « les forêts mixtes et variées qui ont conservé leur caractère sauvage, où l'on trouve des plans d'eau, des sentiers didactiques et des foyers pour grillades et dans lesquelles on peut sentir les odeurs de la sylve et entendre les nombreux bruits de la nature, plaisent à beaucoup de gens. Les forêts sombres de purs feuillus ou de purs résineux avec beaucoup de bois mort plaisent moins. Les équipements spécialisés comme les pistes VTT ou les parcs aventure ne plaisent également qu'à une minorité. Les forêts plaisent d'autant plus qu'elles sont vécues comme quelque chose d'intéressant et qu'elles sont sauvages, harmonieuses et variées. Elles ont aussi tendance à plaire davantage quand leur lisière est constituée de grands arbres et pas uniquement de buissons et quand on y trouve de nombreux bancs. » L'enquête indique encore que les forêts les plus visitées plaisent beaucoup à la population et seuls 2% des personnes sondées expriment une insatisfaction par rapport aux forêts visitées.

Köchli et Brang (2005) proposent un modèle basé sur un simulateur de croissance forestière et un système d'identification géographique (SIG) afin d'évaluer les effets de trois stratégies sylvicoles (*business as usual*, aucune intervention et production de masse) sur la capacité d'une forêt (cas d'étude de la région de Greifensee) à assurer des services de récréation, et de purification de l'eau et de l'air. Le modèle considère explicitement l'effet de la sylviculture sur les attributs naturels de la forêt. Les résultats montrent que la capacité de l'écosystème à fournir des services de récréation est meilleure dans le scénario *business as usual* et moins bonne dans le scénario de production de masse.

L'étude des préférences esthétiques des individus en lien avec les attributs des écosystèmes forestiers permet d'identifier « l'offre » d'un écosystème donné en matière d'activités récréatives.

6. Demande de récréation et valeur économique

Si la section précédente s'est penchée sur les déterminants de « l'offre » récréative en termes d'attractivité naturelle des écosystèmes forestiers, cette section porte de manière complémentaire sur l'étude de la demande en services de récréation en forêt et la valeur économique liée à cette demande. Le principal défi lié à cette thématique réside dans le fait qu'il n'existe ni marché ni prix pour les services de récréation en forêt, c'est-à-dire que ces services constituent une externalité (Mas-Collé et al. 1995). Il s'agit donc d'utiliser des méthodes indirectes pour déterminer la valeur économique représentée par les services de récréation auprès des usagers.

Le concept central pour l'estimation de la valeur économique d'un service écosystémique est le « consentement à payer » (*Willingness to Pay*). Propre à un individu, il s'agit du montant maximal que cet individu est prêt à payer pour ne pas renoncer à un service donné, dans notre cas le fait de pouvoir pratiquer des activités récréatives en forêt. Il s'agit d'un concept simple, reflétant la demande et largement utilisé dans la littérature sur l'évaluation économique des services écosystémiques.

Dans le cadre de la microéconomie néoclassique, le consentement à payer est intimement lié à la demande et peut être utilisé pour déterminer des indicateurs plus complexes de la valeur économique tels que le surplus du consommateur (Mas-Collel et al. 1995). En effet, lorsque le prix d'un service est inférieur au consentement à payer d'un consommateur alors celui-ci dégage un « surplus », mesure de sa satisfaction individuelle. La détermination du consentement à payer individuel de nombreux individus pour un service donné (par exemple la possibilité de récréation dans un massif forestier donné) permet d'estimer une demande agrégée pour ce service et d'en déduire le surplus du consommateur correspondant.

La littérature sur l'évaluation économique des services de récréation en forêt est relativement fournie et révèle l'usage de plusieurs méthodes pour l'estimation du consentement à payer ou de la demande.

Aperçu des principales méthodes d'évaluation économique de la récréation en forêt

Il existe deux principales approches pour estimer le consentement à payer ou la demande, une approche basée sur les *préférences déclarées* et une approche basée sur les *préférences révélées*.

Les méthodes basées sur les préférences déclarées telles que l'*évaluation contingente* consistent à interroger directement les usagers sur leurs préférences, en général sur leur consentement à payer, à travers des enquêtes ou sondages (Carson, 2012).

Les méthodes basées sur les préférences révélées consistent à observer les choix des usagers (en contexte ou de manière expérimentale) et d'en déduire leurs préférences. Parmi ces méthodes se trouvent :

- La méthode des coûts de déplacement : basée sur l'idée que le coût du déplacement pour bénéficier d'un service écosystémique (ex. le coût pour se rendre en forêt afin de s'y promener) reflète le consentement à payer des individus (à noter que le coût d'opportunité du temps passé en forêt est parfois pris en compte dans cette analyse),
- Les méthodes d'expérience de choix (*Choice Experiment*) : il s'agit de mettre des individus face à un choix (théorique) et de déduire leurs préférences à partir du choix observé,
- La méthode de l'analyse conjointe (*Conjoint Analysis*) : il s'agit d'une méthode spécifique d'expérience de choix dans laquelle les individus classent un ensemble de choix alternatifs (basés sur plusieurs attributs ou critères) ; les préférences des individus sont déduites de l'analyse statistique des classements obtenus,
- La méthode des prix hédoniques : il s'agit d'estimer la valeur d'un bien ou service non-marchand, tel qu'un service écosystémique, par l'analyse de l'effet de ce service sur les prix d'un bien marchand, par exemple l'impact (positif) de la proximité d'une forêt ou d'un paysage naturel sur le prix des logements.

Les méthodes de préférences déclarées ont l'avantage de l'adaptabilité au sens où il est relativement facile d'adapter une méthode de sondage pour répondre spécifiquement à la question étudiée. Au contraire, les méthodes de préférences révélées déduisent les préférences indirectement de données existantes avec lesquelles il faut travailler en l'état. En revanche, les préférences déclarées ne sont pas exemptes de subjectivité au contraire des préférences révélées à partir de données objectives.

Kleiber (2001) analyse le consentement à payer de différents groupes de visiteurs d'une forêt périurbaine de la ville de Bâle sur la base d'une évaluation contingente. Les différents groupes considérés sont les « marcheurs (potentiellement avec poussettes) », « les propriétaires de chiens », « les cyclistes », « les coureurs », « les cavaliers », « les enfants souhaitant jouer », « les personnes venant pique-niquer », « les lecteurs/observateurs », « les amoureux de la nature », « les

ramasseurs (de champignons, etc.) », et « les autres utilisateurs ». Les résultats montrent que près des trois quarts des personnes sondées consentiraient à payer pour un passe d'entrée annuel dans la forêt. Le consentement à payer médian varie d'un groupe à l'autre et monte jusqu'à 100-150 CHF pour les coureurs, les cyclistes et les propriétaires de chien. L'étude démontre également l'existence d'un consentement à payer pour exclure d'autres groupes de visiteurs donnés du fait de la gêne ressentie. Toujours sur la base d'une évaluation contingente, Bernath et al. (2006) se concentrent sur la valeur des activités récréatives dans les forêts de la ville de Zurich. Leur étude révèle un consentement à payer annuel et individuel de 110 CHF. L'étude montre par ailleurs que 88% des personnes sondées ont visité la forêt au moins une fois dans les douze derniers mois. Au vu de ces visites, l'étude conclue sur une valeur agrégée de 30 millions de CHF par an.

En ce qui concerne l'approche basée sur les préférences révélées, de nombreuses études sont basées sur la méthode des coûts de déplacement. Les données sur les coûts de déplacement sont en effet relativement simples à collecter car ils peuvent être déterminés sur la base des distances parcourues pour s'adonner aux activités récréatives en forêt. Certaines analyses susmentionnées sont basées sur des cas d'étude, en général une zone métropolitaine. Ainsi, Baranzini et al. (2015) ont estimé la valeur d'usage de la forêt dans le canton de Genève à 313 CHF par hectare et par an sur la base des coûts de déplacement, et à 656 CHF en y incluant le coût d'opportunité du temps passé en forêt. Lupp et al. (2016) ont travaillé sur le cas d'étude de la ville de Munich et ont montré sur la base des coûts de déplacement que la valeur de la récréation en forêt autour de la ville de Munich pouvait atteindre jusqu'à 15'440 euros par hectare et par an.

D'autres études basées sur l'analyse des coûts de déplacement ont été menées à l'échelle de la Suisse. Ott et Baur (2005) ont rédigé un rapport pour l'OFEFP sur la base des données issues de l'enquête WaMos. Sur la base des coûts de déplacement, le consentement à payer pour la pratique de la récréation en forêt est estimé à 544 CHF (par personne et) par an, et à 1'778 CHF par an en y ajoutant le coût d'opportunité du temps passé en forêt. Sur la base de ce second chiffre et à l'échelle de la Suisse, cela représente une valeur annuelle d'usage de près de 10 milliards de CHF. Les auteurs mentionnent également l'existence d'autres types de valeurs non prises en compte dans l'étude, telles que la valeur d'existence, la valeur patrimoniale et la valeur d'option. Grünigen et Montanari (2014) présentent les résultats d'une analyse réalisée à partir des données issues de l'enquête WaMos 2 pour le compte de l'OFEV. Sur la base de la méthode des dépenses, une version simplifiée de la méthode des coûts de déplacement, la valeur d'usage de la récréation en forêt est estimée entre 290 et 589 CHF par an et par personne selon la fréquence des visites en forêt, soit une valeur comprise entre 1.9 et 3.9 milliards de CHF par an à l'échelle de la Suisse. Par ailleurs, l'analyse montre que le consentement à payer dépend de la distance entre le lieu de résidence des visiteurs et la forêt, les possibilités de substitution et les caractéristiques socio-économiques et personnelles des visiteurs. Plus récemment, dans le cadre d'un projet financé par le Fonds national suisse de la recherche scientifique (programme PNR66 de recherche sur la « ressource bois »), Borzykowski et al. (2017) ont estimé la demande pour les activités récréatives en forêt à partir d'une enquête téléphonique sur les coûts de déplacement et ont calculé le surplus du consommateur pour différentes régions de Suisse. Les résultats montrent que le surplus est plus élevé dans les zones densément peuplées. Le surplus du consommateur s'élève ainsi à 994 CHF par personne et par an pour les forêts du Jura mais à 5'293 CHF par personne et par an pour les forêts du Plateau suisse.

Des études similaires ont été menées à l'étranger, par exemple en France où Garcia et Jacob (2010) fournissent une estimation de la valeur récréative de la forêt sur la base d'une enquête téléphonique menée à l'échelle du pays. Les résultats donnent un surplus du consommateur par individu et par visite compris entre 0 et 47 euros (contre 113 CHF par visite pour les forêts du Plateau dans Borzykowski et al., 2017). Zendersen et Tol (2009) présentent une méta-analyse des études employant la méthode des coûts de déplacement pour l'estimation de la valeur récréative des forêts en Europe. Les résultats montrent un surplus du consommateur compris entre 0.72 USD et 122 USD par visite, avec une médiane à 4.90 USD. Par ailleurs, les résultats montrent que les forêts grandes et populaires, la végétation monotone et la diversité de classes d'âge influencent les bénéfices positivement.

A des fins d'illustration des autres méthodes mentionnées dans l'encadré précédent, le lecteur peut se référer à Horne et al. (2005) pour une étude basée sur l'expérience de choix (*Choice experiment*) pour révéler les préférences des individus en matière de gestion forestière (protection de la

biodiversité, esthétique et coûts de gestion), à Alriksson et Öberg (2008) pour une revue de littérature sur l'application de l'analyse conjointe en sciences de l'environnement, et Schläpfer et al. (2015) pour une étude de l'impact des paysages naturels sur les loyers en Suisse sur la base de la méthode des prix hédoniques.

De manière générale, Elsasser et al. (2009) présentent une base de données sur les études d'évaluation de la valeur économique des services fournis par les forêts menées en Autriche, Allemagne, France et Suisse), et Elsasser et al. (2009) présentent une mise à jour de la base pour les pays germanophones. Riera et al. (2012) présentent quant à eux un recueil de bonnes pratiques pour l'évaluation économique des forêts sur la base des méthodes des préférences déclarées et révélées. Ce recueil a été compilé dans le cadre de la COST Action 45 sur les externalités forestières européennes (EUROFOREX).

En conclusion, de nombreux cas d'étude et plusieurs enquêtes à l'échelle de la Suisse ont été menés sur la question de l'évaluation de la valeur économique de la récréation en forêt, sur la base d'approches méthodologiques différentes, une prise en compte variable des différents constituants de la valeur (ex. coût d'opportunité du temps passé en forêt) et une agrégation et une formulation différentes de la valeur (ex. valeur par personne vs valeur par hectare). Les résultats fournis par ces études sont également variables même si leur ordre de grandeur est assez constant. Ce constat souligne la nécessité d'une harmonisation des méthodes employées afin d'assurer la comparabilité et donc le suivi temporel de la valeur des activités récréatives.

Certaines études portent sur le lien entre demande et « offre » de récréation en forêt. Ainsi, Hegetschweiler et al. (2017) présentent une revue de littérature sur les études européennes ayant comme objectif d'établir un lien entre la demande en services écosystémiques et les attributs naturels des écosystèmes forestiers (voir section 5). L'analyse montre que la littérature sur le sujet identifie peu de résultats significatifs et que les résultats sont incohérents d'une étude à l'autre. Par ailleurs, ces études portent sur les services récréatifs et esthétiques mais pas sur les services spirituels, éducationnels et inspirationnels. Les auteurs concluent également sur la nécessité d'une harmonisation des méthodologies, de la conduite d'études transfrontalières et d'une poursuite des travaux dans ce domaine de recherche.

Enfin, Kilchling et al. (2009) a démontré, sur la base d'une enquête, une forte demande potentielle en Suisse pour les produits forestiers hors bois (ex. cueillette des champignons, etc.). Les auteurs mentionnent les synergies potentielles existantes entre le service de récréation et ce type de produits.

7. Les coûts du service de récréation pour les entreprises forestières et sa valorisation financière

L'approche multifonctionnelle de la gestion forestière en Suisse est définie par la loi et la population perçoit la forêt comme un bien public (voir section 1). Cette situation oblige les propriétaires forestiers à assurer l'accès et la sécurité à l'ensemble de leurs forêts sans compensation financière (Borzykowski et Kacprzak, 2018), tout du moins pas au niveau fédéral (Bernasconi et Schrott, 2008).

Bernasconi et al. (2003d) présentent une étude sur l'estimation des coûts associés à la récréation en forêt pour les entreprises forestières. Une enquête a été menée sur la base du cas d'étude de la région de Berne auprès des experts forestiers concernés et d'un panel de personnes issues de la science et de la pratique dans le but d'accueillir des informations empiriques sur le sujet. Les résultats ont montré que les charges supplémentaires ou manques à gagner pour l'entreprise forestière appartiennent à trois catégories : i) charge supplémentaire en lien avec l'entretien des chemins, ii) charge supplémentaire en lien avec la gestion et les soins forestiers, iii) le manque à gagner en lien avec la gestion et les soins forestiers.

Les trois tables ci-dessous présentent les sources de charges supplémentaires et de manques à gagner pour ces trois catégories respectives.

Critère	Description
---------	-------------

Entretien supplémentaire des chemins	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien des chemins, au-delà du nécessaire pour la gestion normale des forêts • Renouvellement de la couche d'usure selon un cycle plus court, pour atteindre une qualité supérieure • Couche d'usure particulièrement fine pour des usages récréatifs spécifiques tels que la compatibilité avec les poussettes • Dégagement rapide des chemins en cas d'événements exceptionnels • Soufflage du feuillage, entretien des bordures • Le soir et le week-end, nettoyage des rues après le travail du bois • Lors des travaux, évacuation des branches sur les routes, les chemins piétons, sur les voies d'exploitation très fréquentées et sur les sentiers battus
Contrôle des arbres le long des chemins	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler qu'il n'y a pas de danger dû à des branches sèches • Contrôle spécial de la non-obstruction des chemins dans les zones à très forte fréquentation
Information spéciale	<ul style="list-style-type: none"> • Signalisation spécifique des chemins avec panneaux d'interdiction et de signalisation obligatoire, ou panneaux d'information

Tab. 8 : Charges supplémentaires liées aux chemins forestiers (Source : Bernasconi et al. 2003, traduit en français par l'auteur)

Critère	Description
Mesures de sécurité supplémentaires pour la sécurité des tiers	<ul style="list-style-type: none"> • Blocage de chemins et d'installations • Contrôle pour empêcher les intrusions dans la zone dangereuse pendant l'exploitation forestière (personnel supplémentaire pour l'alerte et la surveillance).
Mesures de sécurité hors des chemins	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler qu'il n'y a pas de danger dû à des branches sèches • Vérifier que les chemins et les installations sont dégagés
Travaux spéciaux	<ul style="list-style-type: none"> • Eteindre les incendies, prévenir les risques d'incendie • Evacuation des déchets, vidange des poubelles, ou disposition pour l'enlèvement des déchets, déclaration et contrôle des déchets
Sylviculture esthétique	<ul style="list-style-type: none"> • Plantation d'arbres et d'arbustes spéciaux • Préservation et entretien d'arbres ayant une valeur esthétique particulière • Mesures sylvicoles pour les visiteurs (p. ex. "création d'un panorama") • Dépenses supplémentaires pour le nettoyage de coupe
Protection des forêts contre les dommages	<ul style="list-style-type: none"> • Protection des jeunes forêts contre les visiteurs • Replantation à la suite d'un dommage
Charges supplémentaires dues à des conditions de travail plus difficiles	<ul style="list-style-type: none"> • Travail de coordination préalable, police, permis spéciaux • Communication avec les guildes de quartier, etc. • Relations avec les médias, campagnes de dépliants • Traitement ultérieur des appels téléphoniques à la suite d'interventions • Tableaux d'information générale et leur entretien
Charges liées à l'information	<ul style="list-style-type: none"> • Travail de coordination préalable, police, permis spéciaux • Communication avec les guildes de quartier, etc. • Relations avec les médias, campagnes de dépliants • Traitement ultérieur des appels téléphoniques à la suite d'interventions • Tableaux d'information générale et leur entretien
Autres processus	<ul style="list-style-type: none"> • Choix d'autres méthodes de récolte (pas de harvesters)
Mesures préventives liées à la responsabilité civile	<ul style="list-style-type: none"> • Exploitation forestière préventive (par exemple élagage du bois mort) dans les cas où le propriétaire forestier peut être tenu responsable de la sécurité des visiteurs • Clarifications concernant les questions de responsabilité • Examen du dossier • Coordination et accords, inspections • Contrôle a posteriori
Événements en forêt	<ul style="list-style-type: none"> • Examen du dossier • Coordination et accords, inspections • Contrôle a posteriori
Dégâts en tous genres, vandalisme	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages en tous genres aux feux de signalisation, panneaux d'orientation, cheminées, bancs, etc. • Effractions/dommages aux cabanes et aux véhicules de chantier • Vols

	<ul style="list-style-type: none"> • Pour des raisons de sécurité, les machines forestières doivent être sorties de la forêt le soir et le week-end
--	--

Tab. 9 : Charges supplémentaires liées à la gestion forestière (Source : Bernasconi et al. 2003, traduit en français par l'auteur)

Critère	Description
Perte totale de rendement pour une surface forestière	<ul style="list-style-type: none"> • Zone directement occupée par une infrastructure récréative
Perte partielle de rendement	<ul style="list-style-type: none"> • Dégradation d'une surface forestière à proximité d'une infrastructure récréative entraînant une perte partielle de rendement (par ex. compactage du sol sur des sentiers battus).
Diminution des revenus du bois	<ul style="list-style-type: none"> • Obstruction à l'enlèvement du bois d'œuvre • Petits lots
Dommages au bois	<ul style="list-style-type: none"> • Pourriture due à des blessures aux racines • Blessures au tronc causées par des coups de couteau, des coupures, des clous, des fils de fer • Coups de feu • Dommages dus au feu • Présence de corps étrangers dans le bois
Dommages aux jeunes forêts (recrû et fourré)	<ul style="list-style-type: none"> • Par exemple, autour des cabanes
Laisser de vieux arbres au-delà de l'âge optimal de récolte pour l'industrie du bois, îlots de vieux bois	<ul style="list-style-type: none"> • Moment de la récolte plus tardif que le moment optimal

Tab. 10 : Manques à gagner liés à la gestion forestière (Source : Bernasconi et al. 2003, traduit en français par l'auteur)

Bürgi (2011) présente également une liste des principales sources de coûts potentiels de la récréation pour l'entreprise forestière, qui recoupe la typologie de Bernasconi et al. (2003d). Les sources de coûts qu'il identifie sont les dommages directs, les mesures de sécurité dans les zones d'abattage (besoin d'une sentinelle), les mesures de sécurité le long des chemins, les mesures pour garantir des chemins de très haute qualité, bien au-delà de ce qui est nécessaire pour l'exploitation forestière. Bürgi explique que ces coûts supplémentaires sont parfois couverts par des subventions communales mais sont souvent à la charge des propriétaires. Il note également que les données sur ces coûts et les mesures correspondantes ne sont pas systématiquement collectées. En Allemagne, le gouvernement fédéral doit reporter la charge économique des entreprises forestières correspondante aux services de récréation et de protection de la biodiversité (Dög et al. 2016).

Dans le cas de la région de Berne, Bernasconi et al. (2003d) fournissent les estimations de coûts suivantes :

- pour les forêts d'intérêt modéré pour la récréation : 190 CHF par hectare et par an,
- grande signification pour la récréation : 920 CHF,
- très grande signification : 3'970 CHF.

Pour la région de Berne, l'agrégation de ces coûts représente un total de 745'690 CHF par an.

Dans une étude menée dans le canton de Bâle-Campagne, Bilecen et Kleiber (2002) estiment ce coût entre 51 CHF et 225 CHF par hectare et par an, soit environ 5 à 12% des dépenses totales des entreprises. Dög et al. (2016) ont déterminé que le coût annuel moyen pour les entreprises forestières allemandes lié à la protection de la biodiversité et aux activités récréatives se monte à 45.03 euros par hectare et à 52.03 euros par hectare pour les grandes entreprises forestières. De manière plus spécifique, Rusterholz et al. (2009) proposent une méthode pour évaluer la perte de valeur du bois sur pied due aux activités récréatives. Il s'agit d'une méthode statistique basée sur des placettes d'inventaire des dégâts. Les résultats de l'application de cette méthode à un cas d'étude d'une forêt urbaine de la ville de Bâle montrent que les dégâts se montent à 19 euros par hectare et par an dans une chênaie-charmaie et à 53 euros par hectare et par an dans une hêtraie.

Alors que certains auteurs tels que Berthod (2015) ou Morogues (2015) s'inquiètent des risques économiques et financiers associés à la multifonctionnalité (tout du moins en France), Ingold et Zimmerman (2011) affirment que la baisse de la rentabilité économique des forêts en Suisse a été le principal initiateur à la production de nouveaux biens et services écosystémiques. Zarin-Nejadan (2019) proposent certaines pistes pour assurer un approvisionnement durable en bois provenant des forêts suisses dans un contexte économique difficile et dans une perspective multifonctionnelle. La première piste consiste à rechercher une amélioration des performances économiques des entreprises, par exemple à travers les économies d'échelle. La deuxième piste consiste en un renforcement des subventions publiques pour la fourniture d'externalités positives.

En ce qui concerne la valorisation économique des services de récréation en forêt, Roschewitz et al. (2007) discutent les fondements théoriques qui sous-tendent la question tels que les biens publics, les externalités et le principe d'internalisation des externalités par contractualisation. Les auteurs défendent l'idée que les services devraient être offerts par les entreprises forestières jusqu'à un certain point et devraient être rémunérés au-delà. Il existe plusieurs schémas théoriques de valorisation économique du service de récréation par les entreprises forestières : les partenariats publics-privés (en particulier à travers l'externalisation du service de récréation des financeurs auprès des entreprises forestières), la mise en place d'un système de paiement pour l'accès au service de récréation, et le sponsoring. Une enquête menée auprès de propriétaires forestiers et d'entreprises forestières a permis d'identifier une cinquantaine de schémas déjà mise en œuvre en Suisse pour la valorisation économique des services de récréation. Certaines publications évoquent des dispositifs spécifiques permettant cette valorisation, par exemple Bernasconi (2011) qui évoque le boom des accrobranches en Suisse et présente ce type d'activité comme une source de revenus pour le propriétaire forestier.

8. Interactions entre services de protection des personnes et des biens et services de récréation

Les services de protection des personnes et des biens assurés par les forêts occupent une place particulière en Suisse en tant que services écosystémiques. D'une part, ces services sont spécifiques à certaines régions voire à certaines localités, en particulier dans les zones de montagne et d'autre part, le financement de ces services est assuré par des subventions publiques qui donnent lieu à une gestion et à un monitoring spécifique des surfaces associées.

Il peut exister des interactions entre services de protection et services de récréation au sens où certaines zones forestières peuvent être concernées par ces deux types de service. Dans ce cas, il s'agit de savoir si la fourniture de ces deux types de service présente des synergies ou des antagonismes. La littérature scientifique et technique présente peu de références sur le sujet. Cependant, le cas d'étude de Davos (Grisons) a été étudié très en détail du point de vue de la protection des biens et des personnes. L'enjeu économique dans ce cas d'étude est important car la zone est particulièrement exposée aux dangers naturels tels que les avalanches, et que l'importance du tourisme lié aux sports d'hiver dans la région a entraîné un important développement urbain. En ce sens, services de récréation et de protection sont indirectement liés.

Dans la région de Davos, la forêt offre une protection contre les avalanches, assure la production de bois, représente un attribut esthétique et sert d'habitat pour la biodiversité (Grêt-Regamey et al., 2008a). Cette forêt est donc concernée à la fois par les services de protection et de récréation.

Selon Olschewski et al. (2011, 2012), les mesures sylvicoles pour l'entretien de cette forêt de protection constituent de loin la manière la plus efficace pour la protection contre le risque d'avalanche même si Bründl et al. (2006) estiment que les forêts ne peuvent que ralentir les grosses avalanches et non les bloquer complètement car dans ce cas d'étude, la zone de déclenchement des grosses avalanches se situe au-dessus de la limite supérieure de la forêt.

Grêt-Regamey et al. (2008a, 2008b) prônent une planification et une gestion intégrée des forêts dans la région de Davos sur la base d'une cartographie et d'une évaluation systématique des services écosystémiques.

Conclusion

Cette revue de littérature a permis d'identifier de nombreuses références, issues de la littérature scientifique mais également de la littérature grise. La littérature scientifique apporte des informations de portée générale qui peuvent dans une certaine mesure s'appliquer à la Suisse, en particulier sur la question des préférences esthétiques pour les attributs forestiers et sur l'estimation de la valeur économique du service de récréation. Dans la littérature grise, de nombreuses références spécifiques à la Suisse ou pertinente pour la Suisse ont été identifiées, en particulier, sur les thématiques de la multifonctionnalité et de la perception des différents services écosystémiques par la population suisse, du monitoring des activités récréatives en forêt, de leur intégration dans les processus de planification, et du lien entre service de récréation et service de protection des personnes et des biens.

Les informations trouvées sur ces différentes thématiques sont synthétisées de manière concise dans les paragraphes suivants.

Multifonctionnalité, perception et attentes de la société, conflits potentiels entre fonctions forestières

- La forêt est largement considérée comme un bien public par la population suisse (i.e. un bien se caractérisant par sa non-excluabilité et sa non-rivalité).
- La population suisse est globalement satisfaite du service de récréation en forêt.
- La tendance est à une meilleure compréhension et acceptation des interventions sylvicoles par la population suisse.
- La population suisse ne perçoit pas à l'heure actuelle de conflits marqués entre fonctions forestières. Cependant, des conflits temporaires peuvent survenir localement, qui peuvent être résolus par des actions de communication.
- La population suisse pense majoritairement que la fonction d'habitat de la forêt (pour les animaux et les plantes) doit être prioritaire sur les autres fonctions.
- En cas de conflit entre fonction de récréation et fonction de production, la population serait partagée quant à la fonction à privilégier.

Diversification des formes de récréation et conflits entre types de visiteurs

- La tendance est à une diversification des formes de récréation, en particulier à un développement des formes actives de récréation. Cette diversification renforce le risque de conflits entre les différents types de visiteurs en forêt du fait d'intérêts divergents (par ex. entre promeneurs et VTT).

Impact des activités récréatives sur l'écosystème forestier pouvant avoir une influence directe sur la sylviculture

- Les activités récréatives peuvent avoir un impact sur les écosystèmes forestiers qui influence directement la sylviculture et sa capacité à atteindre les objectifs sylvicoles fixés : impact sur la qualité et la composition du rajeunissement, dommages sur les arbres sur pied, diminution du volume de bois mort. Cependant, ces impacts sont très localisés dans les forêts urbaines/périurbaines et autour des infrastructures d'accueil.

Monitoring des activités récréatives en Suisse

- Les enquêtes WaMos réalisent un monitoring de la perception des forêts et de ses services écosystémiques par la population suisse. Cependant, ces enquêtes portent davantage sur

la demande sociale (les attentes) pour la récréation en forêt que sur l'« offre » de services, au sens de données spatialisées sur la disponibilité et la qualité du service d'accueil en forêt.

- L'Inventaire Forestier National IFN propose une estimation de l'intensité de la fréquentation du public au niveau de chaque placette (sur la base d'un sondage auprès des gardes forestiers). Sur la base de ces résultats, une étude statistique pilote (et restreinte) a été menée pour tenter de rapprocher fréquentation par le public et attributs forestiers. Ce type d'approche n'a pas encore été systématisé mais il serait possible de l'intégrer à l'IFN, par exemple en organisant des campagnes de sondage auprès des visiteurs en forêt.

Prise en compte des activités récréatives dans les processus de planification

- La planification directrice forestière doit pouvoir s'appuyer sur des données et indicateurs objectifs concernant les activités récréatives.
- Il est parfois difficile voire impossible de concilier toutes les fonctions sur une même zone en milieu urbain.
- Il n'est pas forcément possible de satisfaire tous les groupes d'intérêt. Lorsqu'il existe une différence entre la demande et l'offre en services de récréation, par exemple du fait de l'articulation avec les autres fonctions forestières ou de contraintes budgétaires, il est essentiel de bien le communiquer aux groupes d'intérêt et aux visiteurs.
- Du fait d'une absence de subvention au niveau fédéral, la place et l'importance de la fonction de récréation n'est pas toujours claire pour les gestionnaires forestiers et les groupes d'intérêt, elle est parfois vue comme un coproduit des autres fonctions.
- Il est nécessaire d'accompagner les gestionnaires dans l'intégration des activités récréatives à la planification d'entreprise. Sans cet accompagnement, cette prise en compte est dépendante du gestionnaire, de sa perception et de ses connaissances personnelles sur la question des activités récréatives. Dans ce cas, la prise en compte risque d'être hétérogène d'un gestionnaire à l'autre.
- Afin d'éviter les conflits entre fonctions forestières d'une part et les différents types de visiteurs en forêt d'autre part, il est nécessaire de prendre en compte ces conflits potentiels au niveau stratégique, c'est-à-dire au niveau de la planification. En ce qui concerne la prise en compte des conflits potentiels entre fonctions forestières, certains auteurs proposent même une ségrégation spatiale renforcée de ces fonctions.
- Une communication continue auprès du public et son implication dans le processus de planification sont essentielles à l'acceptation des interventions sylvicoles et de la fonction de production.

Préférences esthétiques partagées au sein du public

- Il existe une large base de préférences esthétiques partagées au sein du public, en ce qui concerne les attributs forestiers. Celles-ci peuvent s'expliquer par différentes théories des sciences psychologiques. L'aménagement d'infrastructures en forêt et la sylviculture permettent d'améliorer l'esthétique et donc l'attractivité des forêts pour les visiteurs.

Estimation de la valeur économique du service de récréation et de son coût pour la gestion forestière

- Il existe différentes méthodes venant de la théorie économique et permettant d'estimer le consentement à payer de la population suisse pour le service de récréation en forêt. A l'heure actuelle, toute une collection d'études de cas sont disponibles sur le sujet, ainsi que les deux estimations réalisées à l'échelle de toute la Suisse dans le cadre des enquêtes WaMos. Les résultats sont assez variables mais un ordre de grandeur se dégage, soit plusieurs centaines de francs par personne et par an, et plusieurs milliards de francs par an à l'échelle de la Suisse.
- L'accueil du public entraîne une charge financière supplémentaire pour les entreprises forestières. Cette charge financière comprend les coûts directs liés à l'accueil du public en forêt (ex. entretien des infrastructures d'accueil, communication), les coûts indirects pesant sur la gestion forestière (ex. mesures de sécurisation des coupes) et les manques à gagner (ex. perte de rendement, dommages aux bois). En zone urbaine/périurbaine, cette charge financière peut être estimée entre une centaine de francs par hectare et par an et plusieurs milliers de francs par hectare et par an, en fonction de l'importance des activités récréatives

dans la zone considérée. Cependant, aucune étude systématique sur la question n'a pour le moment été menée à l'échelle de la Suisse.

Service de protection et activités récréatives

- Il existe localement, par ex. dans les zones touristiques de montagne, un lien indirect mais fort entre service de protection des personnes et des biens, et service de récréation, au sens où le développement touristique bénéficie grandement du service de protection.

Partie 3 - Etude de cas : l'intégration des activités récréatives dans la gestion des forêts de la Ville de Lausanne

Gaspard Dumollard

Takeaways

- La multifonctionnalité reste le principe de base de la gestion des forêts lausannoises. C'est une réalité dans une grande partie des forêts de la ville.
- Les antagonismes avec la fonction d'accueil du public et la fonction biologique⁷ ne concernent qu'une faible proportion de la surface forestière.
- Il existe des méthodes systématiques et objectives qui peuvent fournir une base pour établir la carte des fonctions prépondérantes, par ex. l'approche de *Systematic conservation planning* (Margules et Pressey, 2000) qui permet de quantifier la valeur biologique de manière spatialisée.
- Il manque des données objectives, systématiques et spatialisées sur la fréquentation, les attentes et les caractéristiques sociodémographiques du public en forêt. Ces informations sont essentielles pour la définition de stratégies d'accueil du public en forêt.
- Bien qu'étant actuellement globalement supportable, la pression exercée par le public sur le territoire forestier se renforce et pourrait à l'avenir poser certains problèmes, tels que des conflits d'usage entre différents types de visiteurs.
- La nécessité de sécuriser les infrastructures d'accueil - linéaires ou ponctuelles, est difficilement compatible avec le maintien d'arbres instables. Ce problème peut néanmoins être atténué en utilisant des concepts de sécurisation en forêt qui permettent de moins intervenir mais qui requièrent un monitoring détaillé et des interventions régulières. Concrètement, il s'agit de ne pas abattre systématiquement les arbres instables s'ils peuvent être sécurisés au niveau des branches par élagage spécifique et que le risque au niveau de l'arbre est jugé acceptable. En cas d'abattage, l'arbre peut être laissé sur place pour faire du bois mort.
- Les infrastructures d'accueil, linéaires et ponctuelles, constituent des lisières internes au sein d'un massif qui fragmentent le couvert forestier et peuvent gêner la création d'espaces à l'ambiance ombragée, propices à certaines espèces qui sont rares à l'échelle du Plateau suisse.
- L'accueil du public a un impact sur les coupes et sur les coûts d'exploitation : plus la fréquentation dans le massif est élevée, plus les coupes doivent être de petites dimensions, rapides et sécurisées et plus elles sont coûteuses.
- Le public peut être canalisé de manière douce à travers l'aménagement d'infrastructures linéaires ou ponctuelles attractives et l'installation d'une signalétique adéquate.
- La sylviculture joue aussi un rôle important pour la canalisation des usagers et la qualité des conditions d'accueil du public en forêt. Elle peut être par exemple utilisée pour renforcer l'esthétique et assurer la sécurité dans les zones où l'on souhaite attirer le public (il s'agit par ex. d'obtenir des « faux vieux », c'est-à-dire des arbres de grande dimension mais stables et vitaux).

⁷ La fonction biologique définie dans le Plan directeur forestier de la Région Centre correspond au rôle des forêts en tant qu'habitat pour la biodiversité.

- Il est très difficile de faire accepter socialement et politiquement la suppression de sentiers et chemins à des fins de protection de la biodiversité ; à défaut de suppression, le développement de nouvelles infrastructures d'accueil peut être limité.

Introduction

Le choix d'un cas d'étude s'est porté sur les forêts de la Ville de Lausanne. Ces forêts sont emblématiques des défis croissants liés à la multifonctionnalité, rencontrés dans les zones densément peuplées du Plateau suisse ou d'ailleurs. En particulier, les forêts dans ces zones sont l'objet d'une demande sociale de plus en plus forte pour des activités de loisirs et de détente (voir Plan directeur forestier de la Région Centre). Cette demande accrue pour les loisirs en forêt exerce une pression sur les autres fonctions forestières. Le projet de mise en place d'un parc naturel périurbain dans le massif du Jorat, qui prévoit la mise en réserve d'une importante surface forestière à proximité d'un grand centre urbain, renforce encore le questionnement sur l'interaction entre fonction biologique et fonction d'accueil de la forêt.

La présente étude de cas s'intéresse à la manière dont sont prises en compte les différentes fonctions forestières dans les processus de planification forestière directrice et de gestion forestière. En particulier, cette étude a été abordée en vue de répondre aux questions suivantes :

- Dans quelle mesure les activités récréatives en forêt interfèrent-elles avec les autres fonctions forestières ?
- En particulier, quel est l'impact des activités récréatives sur la biodiversité forestière et l'habitat forestier ?
- Comment le monitoring de ces impacts est-il assuré ?
- Comment les activités récréatives et leurs liens avec les autres fonctions forestières (ou services écosystémiques) sont-ils pris en compte dans les processus de planification (directrice et d'entreprise) ?
- Quels sont les concepts et mesures concrètes qui sont mis en place pour l'accueil du public en forêt et pour assurer l'articulation des différentes fonctions forestières ?
- Quels sont les coûts (directs et indirects, financiers et organisationnels) des activités récréatives pour la gestion forestière ?
- Quels sont les questions et défis liés à l'articulation entre l'accueil du public en forêt et le projet de parc naturel périurbain dans le Jorat ? Quels sont les principaux changements/principales évolutions qui surviendraient en cas de succès du projet de parc ?

Cette étude doit permettre d'intégrer les différentes thématiques traitées dans les revues de littérature dans un même cadre. L'étude s'appuie sur le cas des forêts appartenant à la Ville de Lausanne et situées sur le territoire communal. Ces forêts urbaines et périurbaines couvrent 1'500 hectares et sont fortement sollicitées pour les activités récréatives du fait de leur proximité avec un grand centre urbain, d'où leur pertinence pour notre étude.

L'étude de cas est basée sur une série d'entretiens menés auprès de plusieurs responsables ou experts forestiers de la région lausannoise, ainsi qu'auprès de spécialistes de la biodiversité. L'étude est en outre complétée par l'analyse du Plan directeur forestier de la Région Centre (2018) et dans une certaine mesure du plan de gestion de la Ville de Lausanne (1995).

Les responsables et experts qui ont été interrogés sont :

Frédéric Bourgeois, garde forestier de conservation pour la Ville de Lausanne, responsable de l'accueil en forêt et de la biodiversité en forêt pour les propriétés lausannoises.

Rita Bütler, cheffe de la section biodiversité en forêt du Canton de Vaud (Direction générale de l'environnement, Division forêts et Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et la paysage, WSL).

Sophie Chanel, cheffe de projet du Parc naturel du Jorat.

Yves Kazemi, inspecteur des forêts du 18^e arrondissement, il a dirigé l'élaboration du nouveau plan directeur forestier de la Région Centre du Canton de Vaud (sorti en 2018).

Jérôme Pellet, biologiste chez n+p, un bureau d'études dans le domaine de l'environnement. Jérôme Pellet a collaboré avec l'Inspection cantonale dans le cadre de la planification directrice forestière et a réalisé une étude préalable dans le cadre du (pré-)projet de parc naturel dans le Jorat.

Maxime Rebord, responsable des animations du projet de parc naturel périurbain dans le Jorat.

Cette partie du rapport documente de manière structurée les informations collectées lors de ces différents entretiens. Son contenu reflète donc les connaissances et l'expérience des personnes interrogées qui sont à mettre en perspective par rapport à la revue de littérature. La terminologie utilisée dans cette partie est reprise des personnes interrogées et des documents analysés (en particulier le plan directeur forestier).

La section 1 ci-après montre comment le processus de planification directrice dans la Région Centre (qui englobe la Ville de Lausanne) intègre les différentes fonctions forestières et sur quelles bases se fait la pesée des intérêts, en particulier en ce qui concerne la fonction d'accueil vis-à-vis des autres fonctions. La section 2 présente la manière dont la fonction d'accueil et la fonction biologique sont intégrées à la planification d'entreprise et à la pratique de la gestion forestière dans les forêts de la Ville de Lausanne. Enfin, la section 3 présente les enjeux du projet de parc naturel périurbain dans le Jorat, en particulier en ce qui concerne l'articulation entre la mise en place d'une réserve et l'accueil du public.

1. Planification directrice dans les forêts de la Région Centre

Cette section s'appuie largement sur une synthèse des données et informations du Plan directeur forestier de la Région Centre.

Les forêts de la ville de Lausanne sont situées dans la Région Centre du Canton de Vaud. Elles dépendent donc de la planification directrice définie à l'échelle de cette région. La Région Centre compte 8'885 ha soumis au régime forestier. Selon le plan directeur forestier, on y distingue 4 grandes entités paysagères :

- les forêts urbaines imbriquées dans le périmètre de l'agglomération,
- les forêts périurbaines et suburbaines de la couronne lausannoise,
- les grands massifs du Jorat, de la Haute-Broye et du Gros-de-Vaud,
- les forêts des bassins versants et rivières traversant la Région Centre.

La Fig. 10 ci-dessous présente une carte des massifs forestiers de la Région Centre :

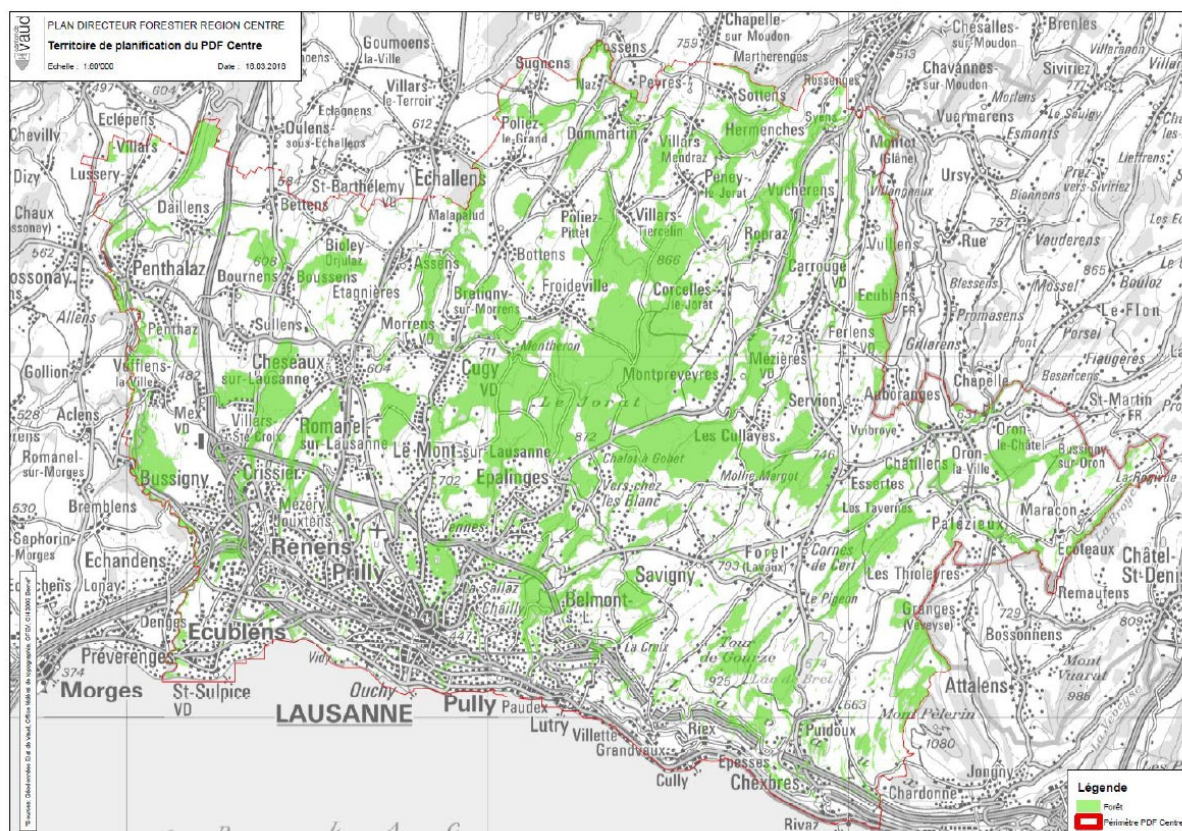


Fig. 10 : Territoire du plan directeur forestier de la Région Centre (source : Plan directeur forestier de la Région Centre, 2018)

La planification directrice forestière s'inscrit dans plusieurs stratégies et planification de référence dont :

- la Politique forestière 2020 qui donne la vision et les lignes stratégiques directrices de la Confédération pour que « la forêt puisse remplir son rôle multifonctionnel en faveur de la société, de l'économie, de l'écologie et du climat » (Plan directeur forestier de la Région Centre) ; la Politique forestière 2020 mentionne explicitement l'intégration harmonieuse des activités de loisirs comme objectif,
- la politique forestière vaudoise qui a entre autres pour objectif d'améliorer l'accueil du public en forêt,
- les planifications directrices cantonales et régionales : une des dimensions du plan directeur cantonal est de préserver le réseau écologique en s'appuyant notamment sur le Réseau écologique cantonal REC,
- certaines initiatives spécifiques telles que le Projet de parc naturel périurbain du Jorat.

1.1. Le diagnostic des forêts de la Région Centre, en bref

Le plan directeur forestier actuel est récent et date de 2018. Le contenu de ce plan directeur a été analysé et cette section propose une courte synthèse focalisée sur la thématique des activités de loisirs et de détente et leur lien avec les autres fonctions forestières, en particulier avec la fonction biologique.

Le plan directeur forestier présente un diagnostic stratégique de la santé et de la vitalité des forêts de la Région Centre et de leur capacité à remplir leurs différentes fonctions. Le diagnostic mentionne la place importante que les forêts de la Région Centre occupent au sein du réseau écologique cantonal, en tant que réservoir et échangeur biologique. Ces forêts offrent en particulier un habitat à 52 espèces cibles du réseau écologique cantonal REC (voir BEB, 2012). Par ailleurs, une

grande partie des forêts de la Région Centre présentent des structures forestières de qualité élevée ou supérieure (71% des surfaces, elles correspondent à des peuplements irréguliers, à des forêts jardinées ou à de vieilles futaies équiennes) et des communautés biologiques de qualité élevée ou supérieure (40% des surfaces). En ce qui concerne la santé et la vitalité de ces forêts, le diagnostic établit que la situation actuelle est globalement satisfaisante mais qu'il est nécessaire de prendre des mesures pour éviter que la situation ne se dégrade dans le futur, notamment du fait des activités de loisirs et de détente.

Le diagnostic insiste en effet sur le fait que ces forêts constituent un milieu naturel très apprécié du public. Les tendances observées montrent un renforcement de ce rôle social avec une augmentation et une diversification des pratiques de loisirs et de détente en forêt. L'augmentation de la fréquentation des forêts est très liée au développement urbain qui renforce l'attractivité et le rôle social des forêts. Quant au développement concomitant des transports et de la mobilité, il accroît l'accessibilité et la fréquentation des forêts urbaines, péri- et suburbaines. D'après le plan directeur forestier, ce renforcement augmente les risques de conflits entre usagers en forêt (pratiquants de la randonnée, du VTT, de l'équitation) et exerce une pression accrue sur le milieu naturel pouvant à terme affecter la diversité et la tranquillité du milieu. Par ailleurs, cela renforce également la pression sur la production de bois.

Les forêts de la Région Centre représentent pourtant un très fort potentiel de valorisation ligneuse. Malgré un déficit d'exploitation de 14 CHF/m³ commercialisé, les comptes d'exploitation sont équilibrés dans certains triages situés dans certains massifs (ex. Jorat). Par ailleurs, l'intérêt accru pour la ressource bois pourrait intensifier les exploitations et augmenter la pression sur l'écosystème.

1.2. Planification directrice forestière et fonctions forestières

La planification directrice forestière repose sur un projet de territoire définissant les buts et principes directeurs, les orientations stratégiques et les fonctions forestières représentant un intérêt public prépondérant (voir sections 1.2.1 et 1.2.2). Ces dernières correspondent à une concrétisation territoriale (spatiale) du plan directeur forestier, et sa mise en œuvre opérationnelle se décline dans les stratégies sectorielles (voir section 1.2.3).

1.2.1. Définition des fonctions prépondérantes

Pour établir la carte des fonctions prépondérantes de la Région Centre, l'importance respective de chaque fonction forestière a été évaluée pour chaque élément du territoire forestier, c'est-à-dire pour chaque pixel de la grille hectométrique (maille de 100m) utilisée pour les inventaires forestiers cantonaux. Sur cette base, deux fonctions (ou vocations) prépondérantes ont été définies pour chacun des pixels, ce qui permet une lecture spatiale fine des enjeux de ce territoire. Dans certains cas (sur 9% du territoire), les deux fonctions prépondérantes étaient difficilement conciliables et une pesée des intérêts a mené au choix d'une seule fonction prépondérante.

La définition des fonctions prépondérantes dans le cadre de ce plan directeur forestier est réalisée sur la base d'un *mix* d'approches méthodiques ou systématiques, basées sur des modèles d'analyse mettant en valeur les données disponibles et sur des approches empiriques basées sur l'expérience et les connaissances d'experts ainsi que sur l'apport des groupes d'intérêt.

Les approches méthodiques employées pour évaluer l'importance des fonctions respectives sont plus précisément les suivantes :

- fonction de production : critères basés principalement sur le relief et la desserte,
- fonction de protection : la carte est reprise de la Confédération (issue du projet SilvaProtect-CH, Losey et Wehrli, 2013), base pour l'octroi de subventions,
- fonction d'accueil : son importance est liée à la présence d'infrastructures d'accueil, au type d'activités menées (parcours VTT, sentiers pédestres, etc.), ainsi que sur des connaissances empiriques du niveau de fréquentation,

- fonction biologique : une méthodologie a été développée en partenariat avec Jérôme Pellet, biologiste au bureau d'ingénieur n+p ; cette méthodologie est basée sur l'approche du *Systematic conservation planning* (voir Margules et Pressey, 2000) et repose sur le calcul d'un indice représentant la valeur biologique d'une zone ; dans le cas de ce plan directeur forestier, trois critères sont pris en compte : i) la structure de la végétation (diamètre dominant et diversité des strates), ii) la qualité des milieux (ex. zones humides), et iii) les espèces rencontrées ; chacun de ces trois critères repose sur 4 indicateurs qui sont pondérés pour calculer une valeur agrégée par critère ; les critères sont ensuite eux-mêmes agrégés grâce à un 2e système de pondération pour obtenir l'indice ; il s'agit d'une méthodologie similaire à celle ayant permis de définir le réseau écologique cantonal (REC), voir section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

L'output de ces différentes méthodes consiste pour chaque fonction en un *ranking* de son importance relative sur la base d'un système à quatre niveaux (faible, moyenne, élevée, supérieure) et sur la grille hectométrique des inventaires forestiers cantonaux. Ces différents *ranking* constituent une première base pour la définition des fonctions prépondérantes, qui est ensuite consolidée et validée par des experts et des gestionnaires forestiers dans le cadre d'un processus participatif.

De manière générale, l'élaboration du plan directeur forestier se fait selon un processus participatif et implique de nombreux représentants des autorités communales, des services de l'état, des organisations de sports et loisirs, des associations de protection de la nature et du paysage, des acteurs de la filière forêt-bois. La définition des fonctions prépondérantes et en particulier la pesée des intérêts permettant d'arbitrer entre fonctions lorsque cela est nécessaire, reflètent cette participation, garante de l'intérêt public.

Les cartes relatives à l'importance des différentes fonctions ainsi que la carte des fonctions prépondérantes sont présentées en section 1.2.2. Avant de présenter et analyser ces différentes cartes, il est néanmoins nécessaire de replacer la question des fonctions prépondérantes dans un cadre plus large. D'un point de vue légal, la protection de la biodiversité revêt en effet deux dimensions principales :

- une protection légalement impérative de certains objets spécifiquement définis (analogue à l'obligation liée aux forêts de protection), par exemple les objets définis dans les inventaires écologiques fédéraux, cantonaux et communaux ayant valeur légale : au niveau fédéral, il s'agit des biotopes d'importance nationale : les hauts-marais et les marais de transition, les bas-marais, les zones alluviales, les sites de reproduction de batraciens, ainsi que les prairies et pâturages secs,
- une mission générale de protection de la biodiversité, pour laquelle une pesée des intérêts vis-à-vis des autres fonctions forestières est possible.

C'est dans le cadre de cette mission générale de protection de la biodiversité et de cette pesée des intérêts que la carte des fonctions prépondérantes prend tout son sens et son utilité. Dans le cadre des objets légalement protégés, la fonction biologique est dans tous les cas prépondérante et ne fait pas l'objet d'une pesée des intérêts. Il est important de mentionner cette distinction car le fait que les objets légalement protégés (qui peuvent être définis sur une base ponctuelle, surfacique ou thématique) n'apparaissent pas sur la carte des fonctions prépondérantes inquiète parfois certains biologistes. Cela ne doit pas poser de problème car le plan directeur forestier offre une base générale et systématique qui vient compléter les mesures de protection ponctuelles et n'a pas vocation à s'y substituer. En outre, les objets légalement protégés correspondent souvent à une échelle spatiale trop petite pour être pris en compte de manière pertinente dans le plan directeur forestier. Selon Yves Kazemi, il faudrait des objets correspondant à des surfaces d'au moins 2 à 3 ha pour que cela soit pertinent.

1.2.2. Carte des fonctions prépondérantes et antagonismes entre fonctions

La planification directrice dresse un bilan quant à l'emprise spatiale des différentes fonctions forestières et leurs recouvrements. Les quatre cartes ci-après montrent l'importance des différentes fonctions pour l'ensemble du périmètre du plan directeur forestier.

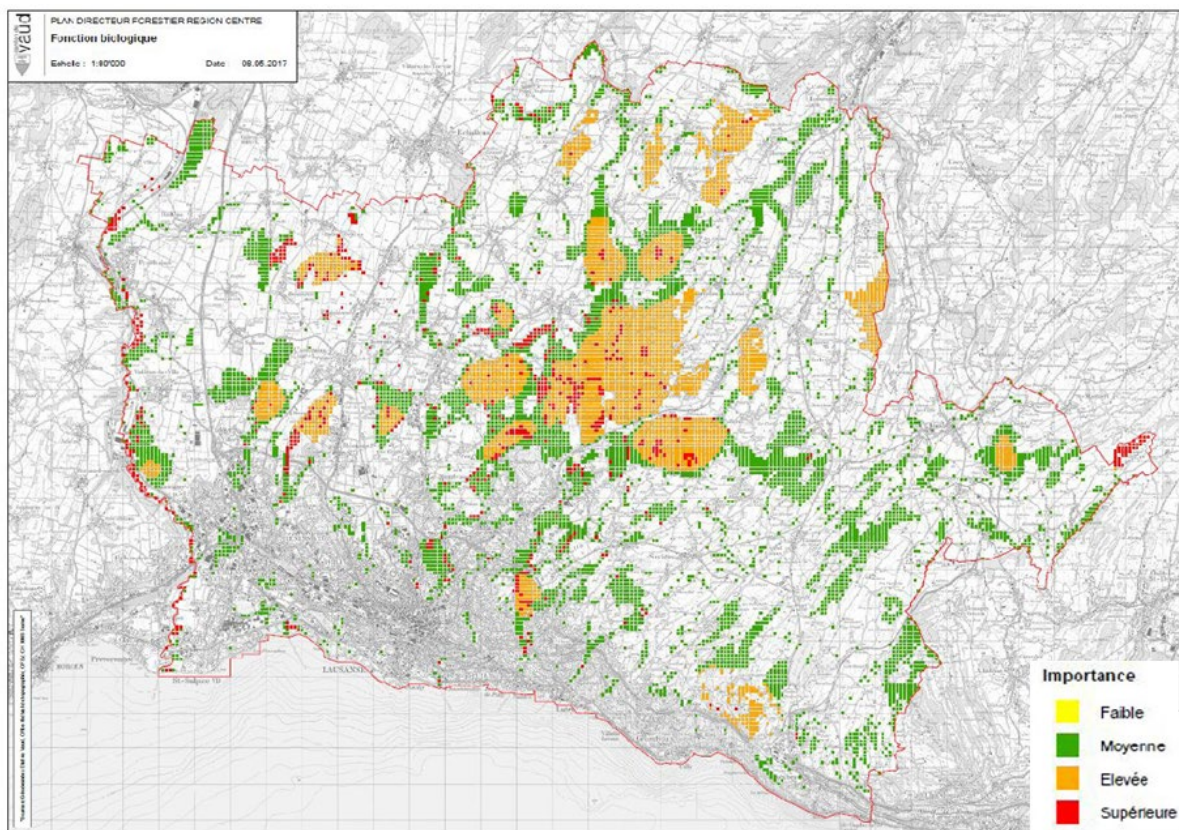


Fig. 11 : Importance de la fonction biologique des forêts de la Région Centre (Source : Plan directeur forestier, 2018)

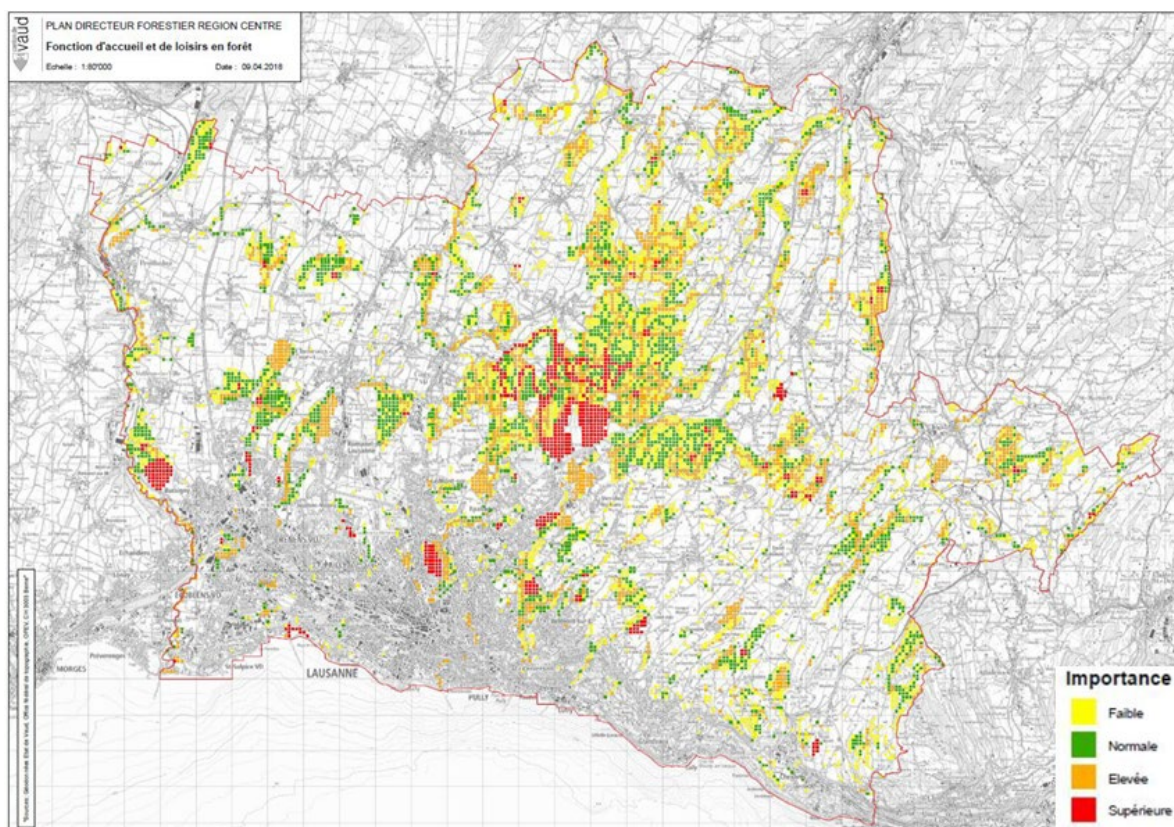


Fig. 12 : Importance de la fonction d'accueil du public des forêts de la Région Centre (Source : Plan directeur forestier, 2018)

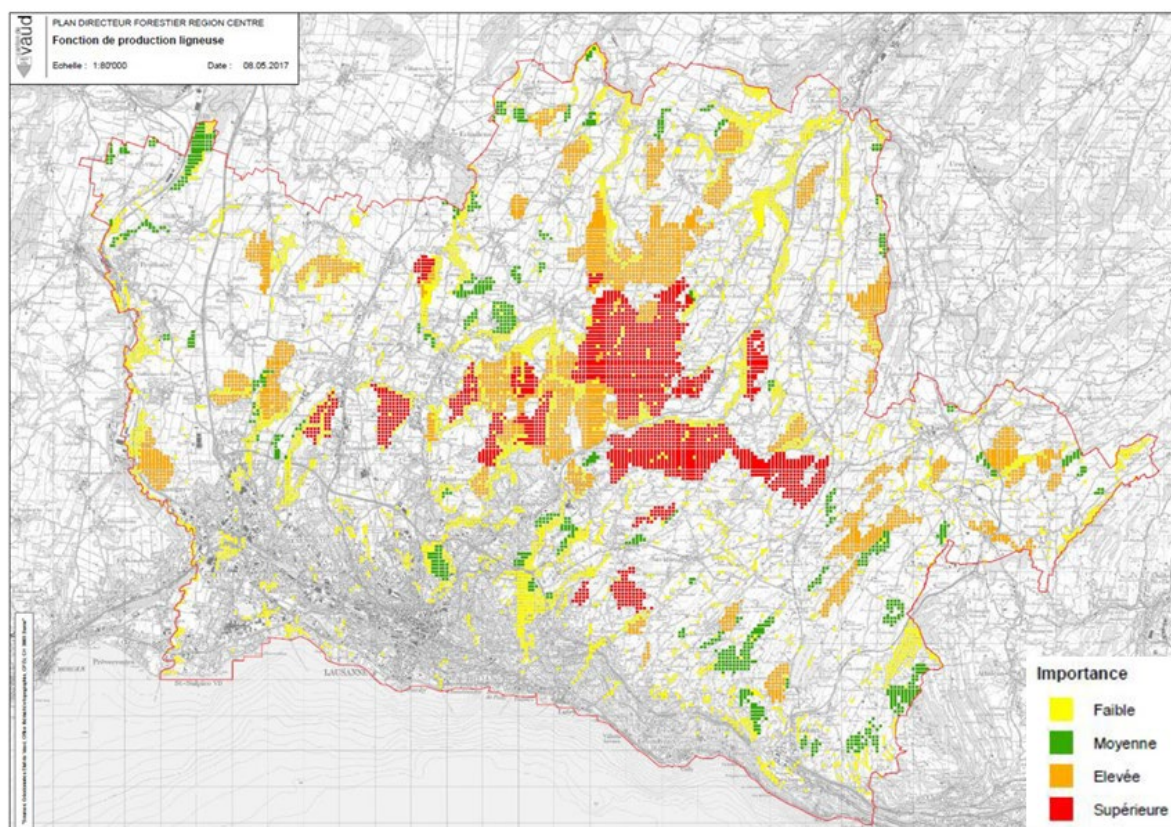


Fig. 13 : Importance de la fonction de production ligneuse des forêts de la Région Centre (Source : Plan directeur forestier, 2018)

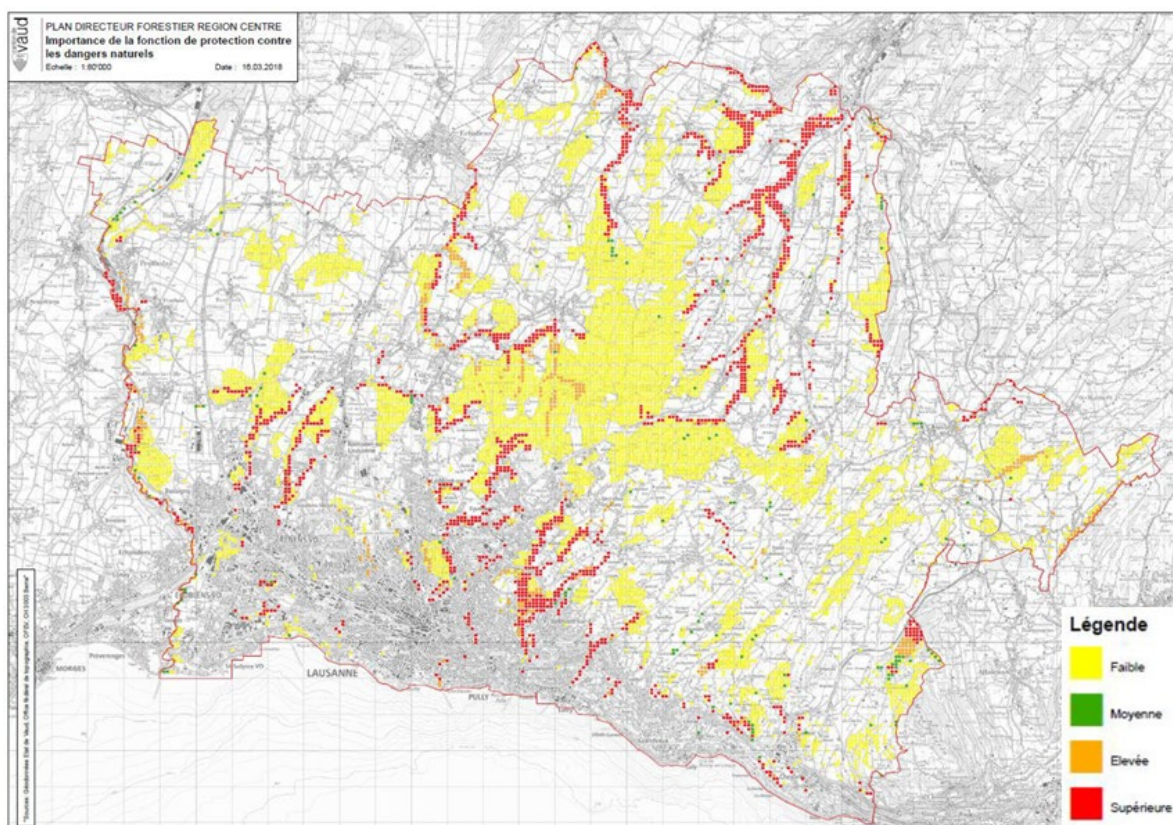


Fig. 14 : Importance de la fonction de protection contre les dangers naturels des forêts de la Région Centre (Source : Plan directeur forestier, 2018)

Sur la base de ces quatre cartes, les deux fonctions les plus importantes sont systématiquement considérées pour chaque cellule du *raster*. S'il n'y a pas d'antagonisme entre les deux fonctions (jugement d'expert), alors les deux fonctions sont conservées. S'il y a un antagonisme alors il faut faire un choix entre les deux fonctions. Le plan directeur identifie ainsi une nécessité d'arbitrage sur environ 9% de la surface forestière totale. Les critères d'arbitrage sont les suivants :

- la fonction de protection contre les dangers naturels prime sur les autres fonctions de la forêt,
- la préservation des espèces et milieux naturels protégés ou dignes de protection au sens de la Loi sur la protection de la nature (LPN) prime sur les fonctions d'accueil et de production ligneuse,
- en raison d'une localisation et d'une emprise limitée sur le territoire forestier, la fonction d'accueil prime sur la production ligneuse dans les secteurs où la présence du public est importante.

La carte des fonctions prépondérantes ainsi obtenue est donnée ci-dessous :

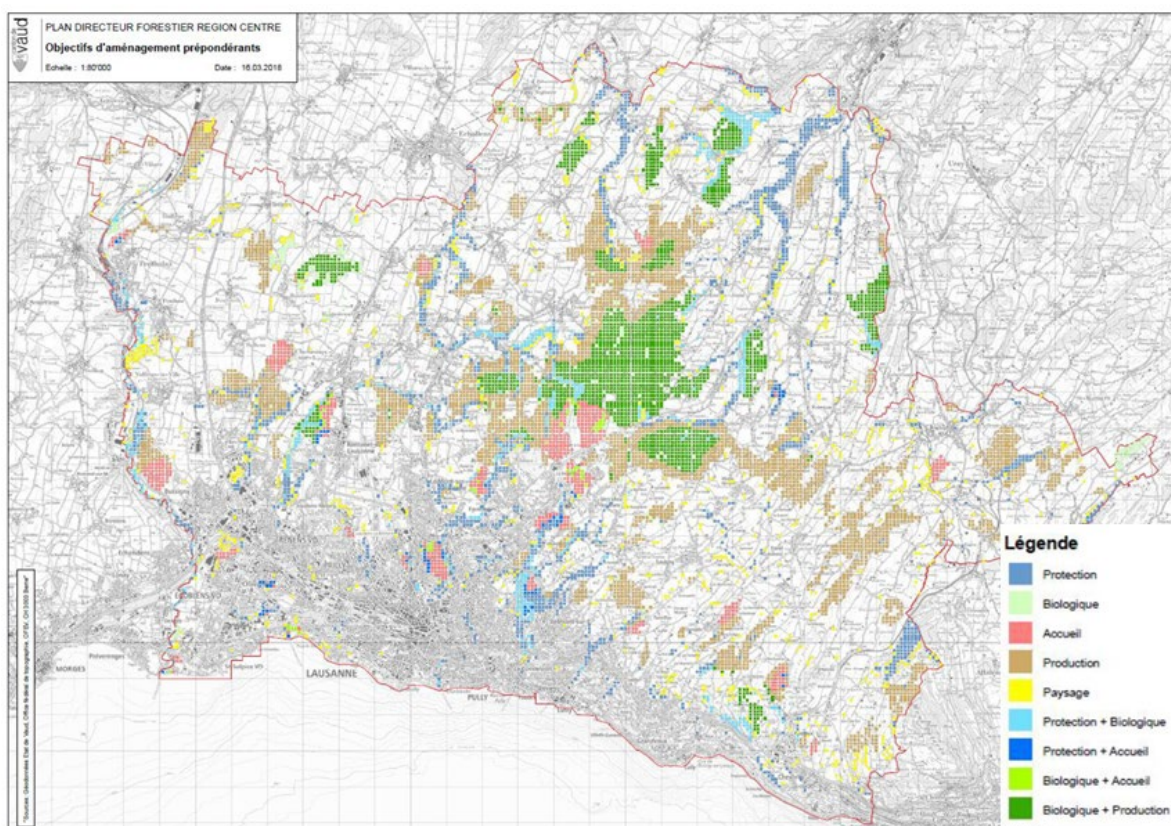


Fig. 15 : Carte des fonctions prépondérantes du Plan directeur forestier de la Région Centre (Source : Plan directeur forestier, 2018)

Les trois cartes suivantes reprennent les données du plan directeur sur les fonctions prépondérantes mais seulement au niveau des forêts de la Ville de Lausanne et pour certaines

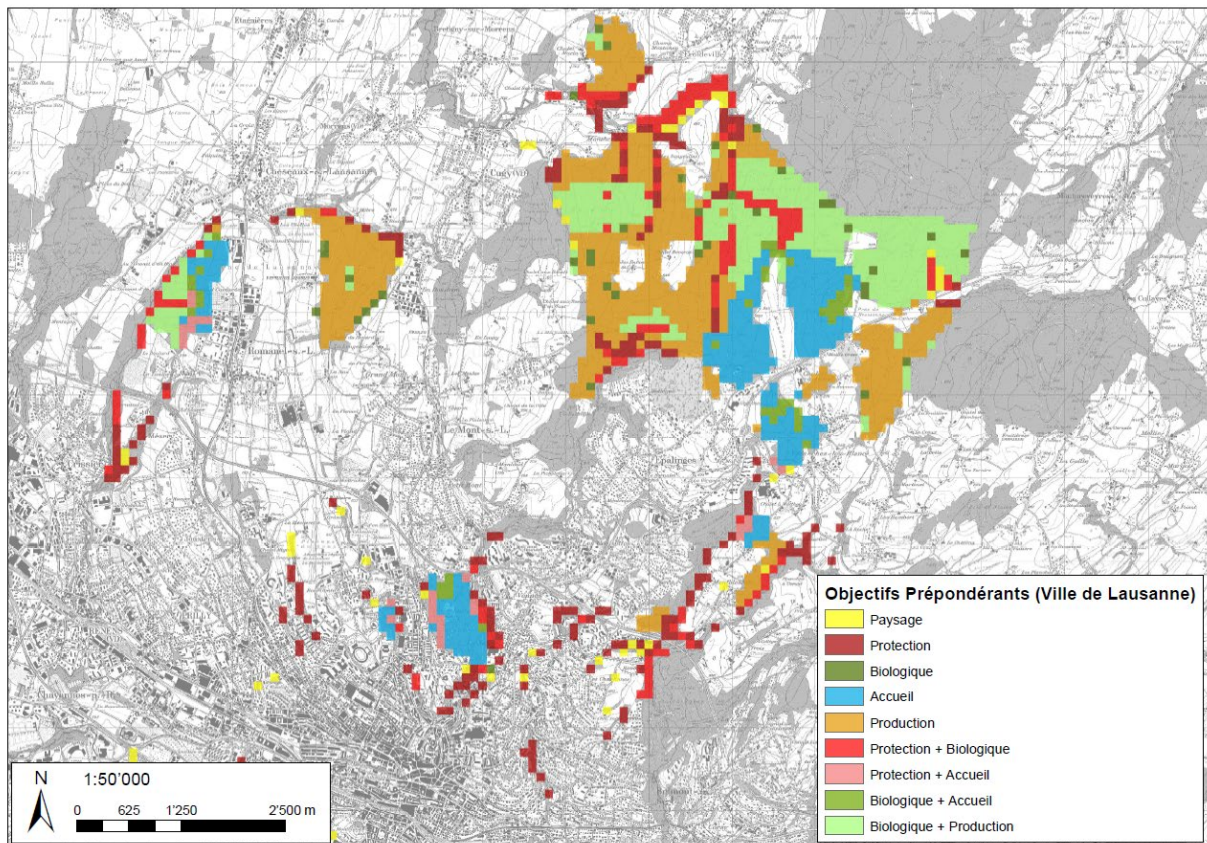


Fig. 16 présente un extrait de cette carte pour les forêts de la Ville de Lausanne.

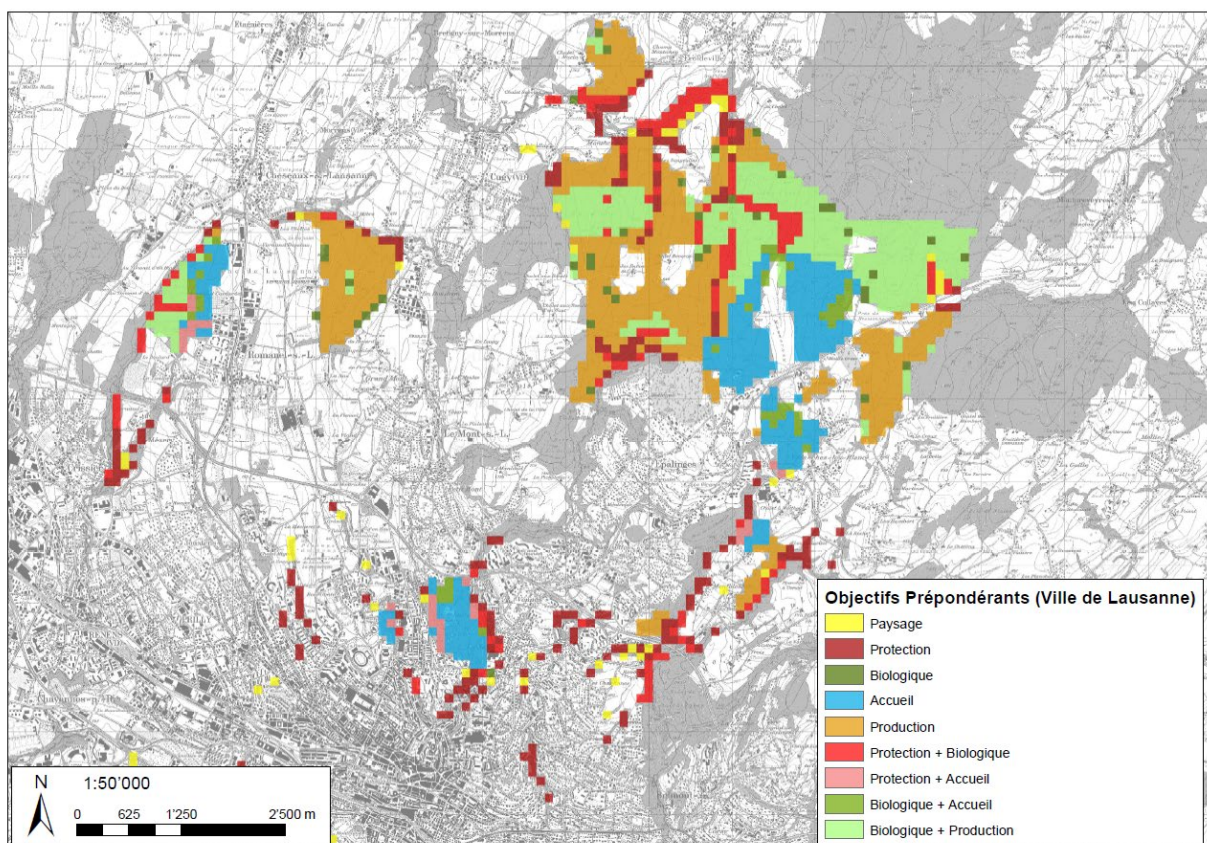


Fig. 16 : Extrait de la carte des fonctions prépondérantes pour les forêts de la ville de Lausanne
(Source : données utilisées pour le Plan directeur forestier, 2018)

La carte des fonctions prépondérantes montre plusieurs choses :

- **la fonction biologique est prépondérante sur de vastes surfaces mais coïncide le plus souvent avec d'autres fonctions forestières** : ainsi, les forêts à fonction biologique prépondérante couvrent 45% de la surface forestière régionale, dont plus de 93% coïncident avec d'autres fonctions forestières,
- il existe certaines forêts dédiées à la fonction d'accueil, elles couvrent 7% de la surface forestière totale, dont 30% coïncident avec d'autres fonctions ; ces 7% correspondent en général aux zones les plus fréquentées par le public (les infrastructures d'accueil sont néanmoins présentes sur l'ensemble du territoire) ; du fait de cette emprise spatiale limitée,
- **les antagonismes entre la fonction d'accueil du public et la fonction biologique ne concernent qu'une faible proportion de la surface forestière de la Région Centre,**
- les forêts de production couvrent 53% de la surface forestière dont 38% coïncident avec d'autres fonctions forestières,
- les forêts de protection contre les dangers naturels couvrent 23% de la surface forestière de la Région Centre dont 27% coïncident avec d'autres fonctions forestières.

Dans le Jorat, il n'y a pas à l'heure actuelle de fort antagonisme entre fonctions : la fonction biologique et les autres fonctions s'intègrent sans problème. De par sa vocation à créer une zone de réserve intégrale en forêt, le projet de Parc naturel périurbain du Jorat pose néanmoins certaines questions quant à l'articulation des fonctions biologique et d'accueil, qui font l'objet d'une présentation en détail dans la section 3.

1.2.3. Les stratégies sectorielles du Plan directeur forestier de la Région Centre

Les stratégies sectorielles définies dans le plan directeur forestier ont pour objectif de permettre sa mise en œuvre opérationnelle. Les stratégies sectorielles propres aux différentes fonctions de la forêt sont déclinées en objectifs stratégiques et lignes d'action. Parmi ces objectifs, certains qui portent sur les activités de loisirs et de détente ainsi que sur la coordination des différentes fonctions sont particulièrement pertinents dans le cadre de cette étude, ils sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Stratégie sectorielle	Objectif stratégique	Ligne d'action
Stratégie pour la diversité biologique en forêt	Maîtriser les pressions d'usage et d'accès sur le milieu naturel	<ul style="list-style-type: none"> • Limiter les pressions sociales sur le milieu naturel et renforcer la tranquillité des zones et liaisons d'intérêt biologique • Renforcer la prise en compte des milieux naturels et de la diversité biologique dans les interventions sylvicoles
Stratégie de protection contre les dangers naturels	Maîtriser les pressions du développement urbain et des activités de loisirs sur les forêts de protection	<ul style="list-style-type: none"> • Limiter la pression du développement urbain sur la conservation et la gestion durable des forêts de protection • Limiter la pression des activités de loisirs sur les forêts de protection
Stratégie pour l'accueil et les loisirs en forêt	Assurer une gestion efficace et rationnelle des prestations et infrastructures d'accueil en forêt	<ul style="list-style-type: none"> • Etablir un concept intégré pour la gestion de l'accueil et des loisirs en forêt

	<p>Limiter les conflits et pression des activités de sports et loisirs en forêt</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Assurer une cohabitation durable entre les différentes activités de sports et loisirs en forêt • Limiter la pression des activités des sports et loisirs en forêt sur le milieu naturel et les autres fonctions forestières • Mettre en place des processus de concertation ad hoc pour la résolution des conflits identifiés dans la Région Centre
--	---	---

Tab. 11 : Sélection de lignes d'action (correspondantes aux stratégies sectorielles) portant sur les activités de loisirs et de détente et sur la coordination des différentes fonctions forestières (Source : Plan directeur forestier de la Région Centre, 2018)

Les objectifs stratégiques et lignes d'action mentionnés ci-dessus abordent explicitement la problématique de l'impact de l'accueil du public sur le milieu forestier et sur les autres fonctions forestières.

1.3. Planification directrice et accueil du public en forêt

Selon Yves Kazemi, l'accueil du public en forêt dans la Région Centre n'est pas planifié et géré en fonction de données systématiques mais administré « au jour le jour » sur la base d'évaluations et d'appréciations empiriques. C'est-à-dire qu'il existe certains principes techniques (voir ci-dessous) pour guider l'action et que les gestionnaires peuvent s'appuyer sur leur savoir-faire empirique et leur expérience mais il manque des objectifs stratégiques, des indicateurs objectifs, des concepts pour la mise en œuvre sur le terrain, ainsi qu'un système de contrôle. Ces éléments sont nécessaires à une gestion rationalisée.

Cette situation s'explique en particulier par le déficit de données objectives et systématiques sur la fréquentation des forêts par le public, qui constitue à l'heure actuelle un point faible pour la planification et la gestion forestières. Selon Yves Kazemi, les seuls endroits en Suisse où de telles données existent sont les endroits où : i) des travaux de recherche ont été menés, ii) certains problèmes rencontrés ont dû faire l'objet d'un relevé de données et d'actions spécifiques, et enfin iii) les endroits à forte valeur touristique (ex. à Davos, les données sur la fréquentation sont utilisées pour le calcul de certaines subventions).

Comme poursuit Yves Kazemi, cela ne signifie pas que la planification et la gestion actuelles de l'accueil du public en forêt soient mauvaises ou insatisfaisantes mais il manque une base objective pour s'en assurer. Par ailleurs, cette approche purement empirique devient de plus en plus difficile à mesure que les intérêts se superposent et en particulier, que la fréquentation des forêts par le public s'accroît, comme c'est le cas à l'heure actuelle. Le plan directeur forestier indique clairement que si la situation actuelle n'est pas encore problématique, elle risque de se détériorer à l'avenir. A noter que les problèmes sont moins liés à l'interaction entre l'accueil du public et les autres fonctions forestières qu'aux conflits d'usage entre les visiteurs en forêt.

Partant de ce constat, la définition d'une stratégie pour l'accueil du public en forêt s'avère nécessaire. L'objectif de cette stratégie est de garantir le maintien de la multifonctionnalité dans un contexte de fréquentation accrue des forêts. La mise en place de cette stratégie pour l'accueil du public est prévue dans le plan directeur forestier actuel. Cette mise en place correspond à la première étape d'un processus de percolation : tout d'abord la définition d'une stratégie au niveau de la Région Centre, puis sa traduction en termes de planification directrice au niveau des arrondissements forestiers et enfin, sa mise en œuvre par les gestionnaires forestiers. Le processus devrait se dérouler dans les 5 années à venir. Dans le même temps, il est nécessaire de mettre en place un monitoring de l'accueil du public en forêt, condition nécessaire à la mise en œuvre et l'évaluation de toute stratégie dans le domaine.

Certains principes-clés pour l'accueil du public en forêt sont définis dans le cadre de la stratégie sectorielle pour l'accueil et les loisirs en forêt :

- il faudra éviter de développer de nouveaux chemins ou de nouvelles infrastructures d'accueil, la possibilité de supprimer certains chemins ou de démonter certaines infrastructures est même évoquée ; cela ne signifie pas qu'il ne pourra plus du tout y avoir de nouvelles installations ou de nouveaux chemins mais cela ne pourra se faire que dans les zones où la pesée des intérêts est très fortement en faveur de la fonction d'accueil,
- une stratégie sylvicole devra être formulée car une forêt d'accueil n'a pas la même structure qu'une forêt de production ; la ville de Lausanne cherche par exemple à obtenir des « faux vieux », c'est-à-dire des arbres qui ne sont pas vieux donc qui ne posent pas de problème de sécurité mais qui sont de dimension importante de sorte à plaire au public,
- la canalisation du public par la qualité des infrastructures reste l'outil principal pour gérer les visiteurs : selon Yves Kazemi, la plupart des visiteurs restent sur les infrastructures (quelques groupes sortent des sentiers : c'est le cas des chasseurs, des pêcheurs, des champignonnières, des coureurs d'orientation et des biologistes !).

A noter que la politique de canalisation du public ne se limite pas à la planification forestière. Il faut aussi la coordonner avec d'autres types de planification, telles que le développement des transports en commun, des axes routiers et des parkings qui influencent grandement les pratiques du public et en particulier la répartition spatiale des visites en forêt.

2. Gestion forestière

La planification directrice pose les conditions-cadres et les grands principes de l'aménagement et de la gestion des forêts qui sont ensuite du ressort des propriétaires forestiers. Dans notre étude de cas, le propriétaire et gestionnaire est la Ville de Lausanne.

2.1. Contextes sylvicoles et gestion forestière dans les forêts de la ville de Lausanne

Les forêts de Lausanne ont globalement toutes une structure de futaie régulière, mis à part quelques endroits dans le massif du Jorat qui présentent une structure irrégulière par bouquet. Globalement, il y a trois types de massifs qui se distinguent à la fois par leur dimension, leur proximité aux espaces urbains mais aussi les contraintes de gestion qui s'y appliquent :

1. les grands massifs périurbains, par exemple le Jorat,
2. les 5 massifs urbains : Bois Mermet, Bourget, Rovéréaz, Sauvabelin, Vuachère,
3. les 10 micromassifs urbains.

Les caractéristiques principales de ces trois types de massifs sont synthétisées dans le tableau ci-dessous et présentées en détails ci-après.

Type de massif	Grands massifs périurbains	Massifs urbains	Micromassifs urbains
Ordre de grandeur surface	Plusieurs dizaines à plusieurs centaines d'hectares	Une à plusieurs dizaines d'hectares	Un à quelques hectares
Fonctions les plus représentées	Production, Biologique	Accueil, Protection, Biologique (situation très variable d'un massif à l'autre et à l'intérieur des massifs)	
Ordre de grandeur volume exploité par coupe	500-800 m ³	80-120 m ³	Coupes portant parfois sur 2-3 arbres

Sécurisation des coupes	1 à 2 sentinelles par coupe	Jusqu'à 10 sentinelles par coupe équipées de systèmes de communication radio, information multicanale (réseaux sociaux, etc.) préalable
--------------------------------	-----------------------------	---

Tab. 12 : Principales caractéristiques des différents types de massifs constituant les forêts de la ville de Lausanne (source : Ville de Lausanne)

Les grands massifs périurbains

Les grands massifs périurbains tels que le Jorat sont ceux qui se rapprochent le plus d'une forêt de production au sens classique du terme (production dans une logique de sylviculture proche de la nature et multifonctionnelle). La production y est la fonction prépondérante, suivie de la fonction biologique et enfin, de la fonction d'accueil. Dans ces massifs, l'exploitation du bois peut encore se faire par de grosses coupes de 500 à 800 m³, permettant des économies d'échelle. Il existe certes un surcoût d'exploitation lié à la sécurisation vis-à-vis des visiteurs en forêt, une à deux sentinelles sont par exemple nécessaires pour une coupe. Cette situation s'explique par une pression douce des visiteurs en forêt du fait d'une fréquentation diluée sur de grandes surfaces. Dans le Jorat, les visiteurs pratiquent la balade ou la randonnée pédestre, ainsi que des activités sportives (VTT, équitation, ski de fond, sentier didactique, courses d'orientation). Quelques problèmes liés aux VTT ont toutefois été relevés mais il s'agit plutôt de conflits d'usage entre visiteurs en forêt plutôt que de problèmes liés à la gestion forestière.

Les massifs urbains

Dans les massifs urbains, les fonctions d'accueil du public et la fonction biologique priment globalement sur la fonction de production. La situation est toutefois variable d'un massif à l'autre, par ex. dans le massif de la Vuachère, la fonction de protection contre les dangers naturels et la fonction biologique sont prépondérantes mais pas la fonction d'accueil. En outre, la situation est également variable d'une unité de gestion à l'autre au sein même d'un massif, ce qui traduit le fait que dans les massifs urbains, la planification (en particulier au niveau des fonctions) et la gestion se font sur une mosaïque beaucoup plus fine que dans les grands massifs périurbains. Cela est dû à l'importance de la fonction de protection le long des cours d'eau en milieu urbain ainsi qu'à l'importance de la fonction d'accueil. La volonté d'intégrer ces deux fonctions aux deux autres dans le cadre d'une gestion multifonctionnelle sur de petites surfaces forestières justifie ainsi cette fine mosaïque.

En ce qui concerne la réalisation des coupes dans les massifs urbains, il s'agit globalement d'intervenir souvent mais modérément par petites coupes de 80 à 120 m³. Les riverains ou groupes d'intérêt réagissent en effet aux changements apparents. Lorsque le changement est discret, les réactions sont moins fortes. Par ailleurs, les coupes sont menées le plus rapidement possible car cela limite l'installation potentielle de conflits avec ces mêmes personnes.

En outre, dans les massifs urbains, l'équipement utilisé (en termes d'engins d'exploitation) est le même que pour les grosses coupes dans les massifs périurbains mais il est complété par du petit équipement permettant de rendre les collaborateurs plus visibles et de leur permettre de communiquer entre eux par radio. Cette communication par radio n'est pas anecdotique, elle est essentielle en termes de sécurité et d'efficacité. L'effort humain et financier pour assurer la sécurisation des coupes en milieu urbain est élevé, il faut ainsi compter parfois jusqu'à 10 sentinelles pour une coupe.

Pour les coupes en milieu urbain, une information préalable et multicanale (contacts directs, sites internet, réseaux sociaux, etc.) est essentielle. Un budget important est d'ailleurs alloué à cette communication. De manière générale, la communication fonctionne bien lorsqu'il s'agit de dialoguer de manière bilatérale mais moins bien lorsqu'il s'agit de faire face à une action collective.

Malgré ces contraintes, les exploitations réalisées ces dernières années ont permis de rattraper les retards d'exploitation qui avaient été pris. Les perchis trop denses ont été traités et les structures démographiques des différents massifs ont été rééquilibrées grâce à un rajeunissement dynamique et au développement de jeunes futaies. A l'heure actuelle, la première priorité est d'entretenir les

rajeunissements de chêne car le hêtre subit un très fort dépérissement dans les massifs urbains alors que le chêne affiche une vitalité de plus en plus forte.

Les micromassifs urbains

La logique de planification et de gestion dans les micromassifs est la même que pour les autres massifs urbains mais elle se fait à une échelle spatiale encore plus fine du fait de contraintes liées à l'environnement urbain encore plus fortes. Les martelages et interventions se font presque au niveau de l'arbre, 2 à 3 pièces à la fois. Le martelage se fait toujours à deux afin de pouvoir discuter les décisions et il faut parfois une demi-journée pour marquer 20m³ car il y a beaucoup de facteurs à prendre en compte et il faut être très précis. En cas de plainte, il faut pouvoir parfaitement justifier les décisions. Il est à noter que les riverains ou groupes d'intérêt acceptent mal les états de fait, par exemple le fait que les martelages aient force légale sans recours possible.

Une autre caractéristique des micromassifs, que l'on retrouve dans les autres massifs urbains mais dans une moindre mesure, concerne les accès très limités et difficiles pour l'exploitation forestière. La coupe et la sortie des bois doivent s'adapter à chaque contexte particulier. En fonction du contexte, divers moyens peuvent être utilisés : camion, câble-grue, cheval mais aussi hélicoptère. D'autre part, les micromassifs comptent presque 100 % de feuillus (hêtre et chêne) qui sont plus durs à travailler.

En lien avec l'impératif de communication auprès de la population et des riverains et surtout du fait de ces accès difficiles, un dialogue continu avec les gestionnaires et gérants d'immeubles situés dans le voisinage des micromassifs est nécessaire. De ce fait, les compétences sociales du garde forestier chargé des massifs urbains sont essentielles et il faut plusieurs années à ce poste pour développer les relations nécessaires.

Les tendances d'évolution

La tendance est à un accroissement de la pression et des contraintes pesant sur la gestion forestière du fait du développement urbain. Ce dernier entraîne une raréfaction des espaces verts hors forêt, ce qui rapproche de plus en plus habitat et forêt. Cette proximité accrue rend les massifs de moins en moins accessibles pour la gestion forestière et l'exploitation du bois. Cette évolution tend à faire reculer le front distinguant massifs périurbains et massifs urbains. Ainsi, le Jorat devient de plus en plus un massif périurbain car le développement vers le Nord de l'agglomération lausannoise attire de plus en plus de visiteurs dans le massif. La construction de la ligne M2 du métro a été décisive dans cette dynamique et la construction du M3 jouera probablement un rôle similaire pour le Nord-Ouest lausannois.

2.2. Planification d'entreprise et prise en compte de l'accueil du public

Tout comme la planification directrice, la planification d'entreprise est un processus itératif suivant lequel les plans de gestion sont révisés régulièrement afin de prendre en compte les évolutions du contexte social et naturel, déterminant pour la gestion forestière. Au niveau de la Ville de Lausanne, les différents documents ayant trait à la planification forestière illustrent bien la nature dynamique de ce processus. Il s'agit :

- du plan de gestion de 1995, encore en vigueur à l'heure actuelle,
- du document de travail de 2013 complétant *de facto* le plan de gestion pour les massifs urbains,
- du futur plan de gestion en cours de préparation et devant entrer en vigueur en 2021.

2.2.1. Le plan de gestion de 1995

Le plan de gestion en vigueur pour la ville de Lausanne date de 1995 et il faisait également office de plan directeur forestier avant l'entrée en vigueur du plan directeur forestier de 2018. Ce plan identifie déjà clairement la problématique de l'augmentation de la demande sociale pour les activités de loisirs et de détente en forêt du fait du développement urbain. Afin de répondre à cette demande accrue, le plan de gestion prévoit un développement/réaménagement des infrastructures

d'accueil du public et des réaménagements sylvicoles au sein des périmètres très fréquentés. Ces infrastructures visent à canaliser de manière douce les visiteurs afin d'éviter qu'ils ne sortent des chemins et n'endommagent les parterres forestiers. Le plan de gestion de 1995 recommande déjà d'éviter de développer de nouvelles infrastructures d'accueil hors des périmètres déjà très fréquentés, en particulier dans les zones où les « fonctions de protection prioritaires » (correspondant à la fonction de protection contre les dangers naturels et la fonction biologique) sont importantes. Ces recommandations sont en accord avec le plan directeur forestier de 2018 qui propose *a minima* d'éviter le développement de nouvelles infrastructures. Cependant, si le plan de gestion exprime clairement la subordination de la fonction d'accueil aux fonctions de protection prioritaires, il n'exprime pas clairement la primauté de la fonction d'accueil sur la fonction de production dans les zones à forte fréquentation, comme c'est le cas dans le plan directeur de 2018.

Certains phénomènes naturels tel que l'ouragan Lothar de 1999 ont par ailleurs eu pour effet de rendre caducs les objectifs figurant dans le plan de gestion en ce qui concerne les prévisions d'exploitation. Enfin, le plan ne fait pas mention des effets du réchauffement climatique (relativement méconnu en 1995). Ces événements naturels, la pression toujours plus forte exercée par le public et la diversification des loisirs en forêt rendent aujourd'hui le plan de gestion de 1995 largement obsolète.

2.2.2. Le « plan » de gestion des massifs urbains (2013)

Le plan de gestion de 1995 était peu adapté aux spécificités des massifs urbains qui se caractérisent par une échelle de travail (pour la planification et la gestion) spatialement plus fine, principalement du fait de la forte demande sociale pour les activités de détente et de loisirs en forêt.

Pour parer à ce problème, un document de travail, complétant *de facto* le plan de gestion pour les massifs urbains a été élaboré en 2013. Ce plan porte sur les 5 massifs urbains de la ville de Lausanne : Bois Mermet, Bourget, Rovéréaz, Sauvabelin, Vuachère, ainsi que sur les 9 micromassifs urbains. En fait, il s'agit de plusieurs documents car chaque massif fait l'objet d'une fiche technique faisant office de plan de gestion. Chaque fiche résume la situation du massif : présentation générale, stations, essences, carte des stades de développement. Les massifs les plus gros sont divisés en unités d'intervention. Chaque fiche précise les fonctions forestières prépondérantes au niveau de chacune des unités du massif et les principes de gestion associés (incluant concepts esthétiques, accueil du public, sécurisation). En ce qui concerne l'accueil du public, les mesures les plus fréquemment évoquées concernent la sécurisation des infrastructures, l'aménagement/réaménagement et l'entretien de chemins et sentiers, l'obstruction douce de certains chemins ainsi que le renforcement de la qualité paysagère (travail sur les lisières, protection des haies et bosquets). En ce qui concerne la fonction biologique, les mesures les plus souvent mentionnées sont le fait de ne pas développer de nouvelles infrastructures d'accueil dans les zones sensibles, le maintien de la diversité des essences, la préservation des arbres habitats (pour autant que la sécurité le permette), le traitement étagé des lisières pour limiter l'accès et la visibilité dans certaines zones.

Ces fiches thématiques ont permis de donner une vision et une orientation vers les objectifs à la gestion forestière de ces massifs. Les objectifs opérationnels qui y sont définis, sont en effet traduits en programmes d'intervention annuels. De manière générale, ce plan de gestion s'avère cohérent avec le plan directeur forestier de 2018.

2.2.3. Elaboration d'un nouveau plan de gestion (2021)

Malgré l'obsolescence du plan de gestion de 1995, la gestion des forêts de la ville de Lausanne a su évoluer. Comme le montre le diagnostic stratégique du PDF Centre, elle est à l'heure actuelle, satisfaisante du point de vue de la multifonctionnalité. Le document de 2013 sur les massifs urbains constitue une étape importante dans cette évolution. Toutefois, la situation mérite d'être clarifiée car l'articulation entre le plan de gestion de 1995 et le plan directeur de 2018 n'est pas toujours très claire. Le plan directeur devrait en théorie avoir la primauté mais dans la pratique, ce n'est pas toujours le cas.

Afin de répondre à ce problème, l'élaboration d'un nouveau plan de gestion a été initiée, qui verra le jour en 2021. Ce plan de gestion sera cohérent avec le plan directeur et devrait intégrer, après ajustements, le document de travail de 2013 pour les massifs urbains. La carte des fonctions prépondérantes de ce plan de gestion s'appuiera largement sur la carte des fonctions du plan directeur.

2.3. Solutions pratiques pour l'accueil du public en forêt

Il n'existe pas à l'heure actuelle de concept global pour l'accueil du public au niveau des forêts de la Ville de Lausanne. L'élaboration d'une stratégie pour l'accueil du public telle qu'elle est prévue dans le plan directeur forestier (voir section 1.3) constituera une première étape en ce sens.

A défaut de concept global, l'accueil du public au niveau de la Ville de Lausanne peut s'appuyer sur les principes techniques définis dans le plan directeur forestier (voir section 1.3) ainsi que sur les mesures proposées dans le complément au plan de gestion de 2013, qui sont cohérentes avec ces principes techniques. Enfin, l'accueil du public est complété par une multitude de petites interventions liées à l'entretien et à l'aménagement d'infrastructures, souvent décidées au cas par cas.

Les mesures liées à la canalisation et à l'orientation du public sont essentielles et fonctionnent plutôt bien. Il s'agit de canaliser les visiteurs au travers de chemins et d'infrastructures attractifs mais il ne s'agit en aucun cas de les bloquer, sinon par de l'obstruction très douce. Le blocage peut même s'avérer contre-productif du fait de l'effet de *réactance psychologique* (Brehm, 1966). Ainsi, si l'installation de barrières dans certains massifs urbains s'est avérée inefficace, les visiteurs ont tout de même tendance à passer là où l'accès est le plus facile et à rester sur les emplacements ou itinéraires les mieux aménagés. Les aménagements, linéaires et ponctuels, qui permettent la canalisation du public peuvent par exemple être des sentiers, des chemins pour VTT, des sentiers équestres, des ponts, des fontaines, des bancs, des tables à pique-nique ou des emplacements de barbecue, toujours bien entretenus. Les photos des figures Fig. 17 et Fig. 18 ci-dessous présentent un exemple d'aménagement réalisé par la ville de Lausanne autour d'un étang dans le Nord de l'agglomération (domaine périurbain). L'objectif de cet aménagement est d'attirer les visiteurs en un seul point au bord de l'étang et d'éviter ainsi les dégâts à la végétation tout autour de celui-ci.



Fig. 17 : Ponton en bois aménagé près d'un étang (Source : photographie de l'auteur)



Fig. 18 : Espace avec banc et table de pique-nique aménagé près d'un étang (Source : photographie de l'auteur)

Contrairement aux parcs urbains où il s'agit de gérer des pics d'affluence saisonniers, la fréquentation en forêt est plus diluée et ne pose pas encore trop de problèmes liés aux conflits entre visiteurs bien que la situation se tende progressivement. Les approches de canalisation du public devront de plus en plus tenir compte de cette problématique.

La sécurisation de ces infrastructures, en particulier la sécurisation des chemins et sentiers est essentielle pour l'accueil du public en forêt. En outre, il s'agit d'une thématique centrale en ce qui concerne l'impact des activités de loisirs et de détente sur la fonction biologique de la forêt. La section 3.5 revient en détail sur cette question dans le cadre du projet de mise en place d'un parc naturel périurbain dans le massif du Jorat. Il existe deux dangers principaux pour le public liés aux vieux arbres :

- les chutes de branches (gravitaires) qui posent problème dans l'environnement immédiat des sentiers,
- les chutes d'arbres qui nécessitent de sécuriser de larges bandes d'environ 30 mètres de chaque côté des sentiers.

En forêt, contrairement aux parcs, on pratique peu l'élagage spécifique et la sécurisation se fait en général au niveau de l'arbre (même lorsque seules des branches sont problématiques). Il existe toutefois un concept sylvicole spécifique pour la sécurisation dans les zones à haute valeur biologique. Ainsi, il existe deux îlots de vieux bois en centre-ville dans lesquels les branches à risque sont régulièrement coupées, ce qui évite d'abattre de vieux arbres en entier. Si l'abattage de l'arbre s'avère néanmoins nécessaire, celui-ci est couché à l'aide d'un tracteur, plutôt que d'être coupé, et il est laissé à terre afin de favoriser la présence de bois mort. Cette approche est bien connue et applicable dans la pratique mais elle demande un important travail de contrôle. Sa potentielle généralisation à de grandes surfaces pose donc des questions de ressources (voir section 3.5). En contrepartie, les travaux d'entretien et de sécurisation des sentiers et infrastructures d'accueil présentent plusieurs avantages : ils interviennent dans les périodes creuses de la gestion forestière et c'est un travail qui plaît aux collaborateurs, entre autres parce qu'il introduit de la diversité dans le travail.

Enfin, il existe également un concept sylvicole pour soutenir l'attractivité esthétique de certaines forêts d'accueil tout en maintenant un niveau de sécurité satisfaisant. Ce concept repose sur l'idée de favoriser l'apparition de « faux vieux », c'est-à-dire d'arbres suffisamment jeunes pour ne pas

poser de problème de sécurité mais avec de relativement gros diamètres afin de de plaire esthétiquement au public. Ces arbres sont obtenus grâce à une sylviculture dynamique.

Ces différents concepts sylvicoles sont décrits dans des documents de travail qui pourraient être au moins partiellement repris dans le futur plan de gestion.

2.4. Impact des activités de détente et de loisirs sur les coûts d'exploitation

Les activités de détente et de loisirs en forêt ont un impact indirect sur les coûts d'exploitation du fait du dimensionnement plus faibles des coupes, de la sécurisation des coupes (temps de travail pour les sentinelles) et de la nécessité des abattages de sécurité. A noter que le faible dimensionnement des coupes en milieu urbain est également dû à des questions paysagères et d'acceptabilité par les riverains et n'est pas seulement lié aux visiteurs en forêt. En outre, le coût d'exploitation est également impacté par la difficulté d'accès aux massifs par les engins d'exploitation (justifiant parfois des débardages par hélicoptère). La différence de coûts d'exploitation entre le massif du Jorat, dans lequel les coupes sont relativement peu impactées par l'accueil du public et la proximité à l'agglomération, et les massifs urbains permettent de quantifier l'influence de ces différentes sources d'impact. Ces différents éléments sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Type de massif	Coût total d'exploitation
Massifs périurbains (ex. Jorat)	65 CHF/m ³
Massifs urbains	150-180 CHF/m ³
Micromassifs	300-500 CHF/m ³

Tab. 13 : Estimation des coûts d'exploitation dans les différents types de massifs (Source : Ville de Lausanne)

Les coûts directement liés à l'accueil du public correspondent pour beaucoup à l'entretien des infrastructures d'accueil. La Ville de Lausanne n'a pas à ce jour réalisé d'analyse de ces coûts directs.

1.3 Inventaire et suivi de la biodiversité

La planification et la gestion forestières au niveau de la Ville de Lausanne doivent pouvoir s'appuyer sur des données. Il n'existe pas à proprement parler de monitoring systématique et généralisé de la biodiversité dans les forêts de la ville de Lausanne (ou plus généralement dans les forêts de la Région Centre). Cependant, de nombreux objets d'intérêt sont répertoriés dans différents cadres, qu'il s'agisse d'inventaires légaux ou informatifs et ce, à différentes échelles spatiales et pour différents objectifs (aménagement du territoire, planification directrice, gestion, recherche scientifique). Ces objets peuvent être de nature diverse : des surfaces, des objets ponctuels, ou des espèces.

Ces différents types d'objets sont les suivants :

- les objets liés aux inventaires écologiques légaux, fédéraux, cantonaux ou communaux, dont la protection est obligatoire ; au niveau fédéral, il s'agit par ex. des biotopes d'importance nationale, tels que les hauts-marais et les marais de transition, les bas-marais, les zones alluviales, les sites de reproduction de batraciens, ainsi que les prairies et pâturages secs ; la protection de ces biotopes fait l'objet d'un contrôle des effets,
- les objets (surfaces) liés aux inventaires officiels qui n'ont pas de portée légale mais qui servent de base pour la définition de politiques publiques liées à la mission générale de protection de la biodiversité : il s'agit en premier lieu du réseau écologique national (REN, voir Berthoud et al. 2004) constitué par les différents réseaux écologiques cantonaux (REC) ; le REN liste les territoires d'intérêt et les liaisons biologiques d'importance suprarégionale ou régionale et s'adresse en premier lieu aux acteurs de l'aménagement et

de la planification du territoire ; le REC est par ex. utilisé dans le plan directeur forestier de la Région Centre pour caractériser spatialement l'importance de la fonction biologique,

- les objets dont la protection est contractuelle et fait l'objet de subventions : il s'agit par exemple des objets biologiques d'intérêt (OBI), des îlots de sénescence ou des arbres habitats ; ils font en général l'objet d'un contrôle voire d'un suivi,
- les objets recensés dans le cadre de la gestion forestière ou des espaces naturels : par ex. le recensement des arbres remarquables ou des plantes envahissantes par la ville de Lausanne,
- les objets recensés ponctuellement dans le cadre de la recherche scientifique : par ex. les données sur les espèces centralisées sur le site infospecies.ch.

L'intégration de la protection de ces différents objets, très hétérogènes mais qui se recoupent largement au niveau spatial, représente un défi pour la gestion forestière car il faut intégrer sur une même surface des mesures de protection très diverses.

3. Le projet de parc naturel périurbain du Jorat

Le projet de parc naturel périurbain dans le Jorat, en cours à l'heure actuelle, revêt une grande importance pour l'avenir des forêts de la Ville de Lausanne. Si la mise en place du parc est acceptée, il aura un impact fort sur la gestion forestière du massif du Jorat qui est un des principaux massifs appartenant à la ville. Par la mise en réserve d'une grande surface forestière, le parc renforcera la fonction biologique de ce massif et il présente à la fois un défi et des opportunités pour la fonction d'accueil du public.

3.1. Historique de lancement du projet de parc dans le Jorat

La mise en place du projet de parc s'est faite en plusieurs étapes qui s'étendent sur plus de 10 ans :

- 2008 : une exposition du musée cantonal de zoologie « Jorat, patrimoine de l'humanité » puis une exposition itinérante dans les différentes communes du Jorat font germer l'idée d'un parc naturel dans le Jorat,
- 2012 : l'association « Jorat, une terre à vivre au quotidien » est créée, un de ses trois objectifs statutaires est d'étudier l'opportunité de création du parc naturel périurbain,
- 2015 : un dossier est déposé au niveau fédéral pour le lancement d'un projet de candidature au statut de Candidat parc naturel périurbain,
- 2016 : le label Candidat parc naturel périurbain est attribué, le montage du dossier de candidature est initié,
- 2019 : de nombreuses décisions sont prises par les communes partenaires du projet,
- 2020 : le Conseil communal de Lausanne s'est prononcé en faveur du projet de parc et celui-ci en est au stade de l'enquête publique.

En 2019, l'emprise géographique du parc a été déplacée vers le Sud à la suite de la décision de certaines communes rurales partenaires du projet de se retirer. A l'heure actuelle, l'emprise prévue pour le parc se situe exclusivement sur le territoire et sur la propriété de la Ville de Lausanne. En 2020, le Conseil municipal de la Ville de Lausanne s'est prononcé sur le projet, à la fois en tant que commune et en tant que propriétaire des surfaces forestières considérées.

3.2. Le projet de Parc

Au niveau biologique, l'un des objectifs principaux du parc est de favoriser l'accumulation de vieux bois et de bois mort et ce, dans les milieux prioritaires. Pour ce faire, le territoire d'un parc naturel est basé sur la définition de deux zones :

- une zone centrale dont les surfaces sont mises en réserve intégrale,

- une zone de transition sans mise en réserve mais ayant vocation à atteindre des objectifs spécifiques et ambitieux en termes de volume de bois mort.

La Fig. 19 ci-dessous présente la carte de ces deux zones telles qu'elles sont prévues à l'heure actuelle dans le projet de parc naturel périurbain du Jorat :

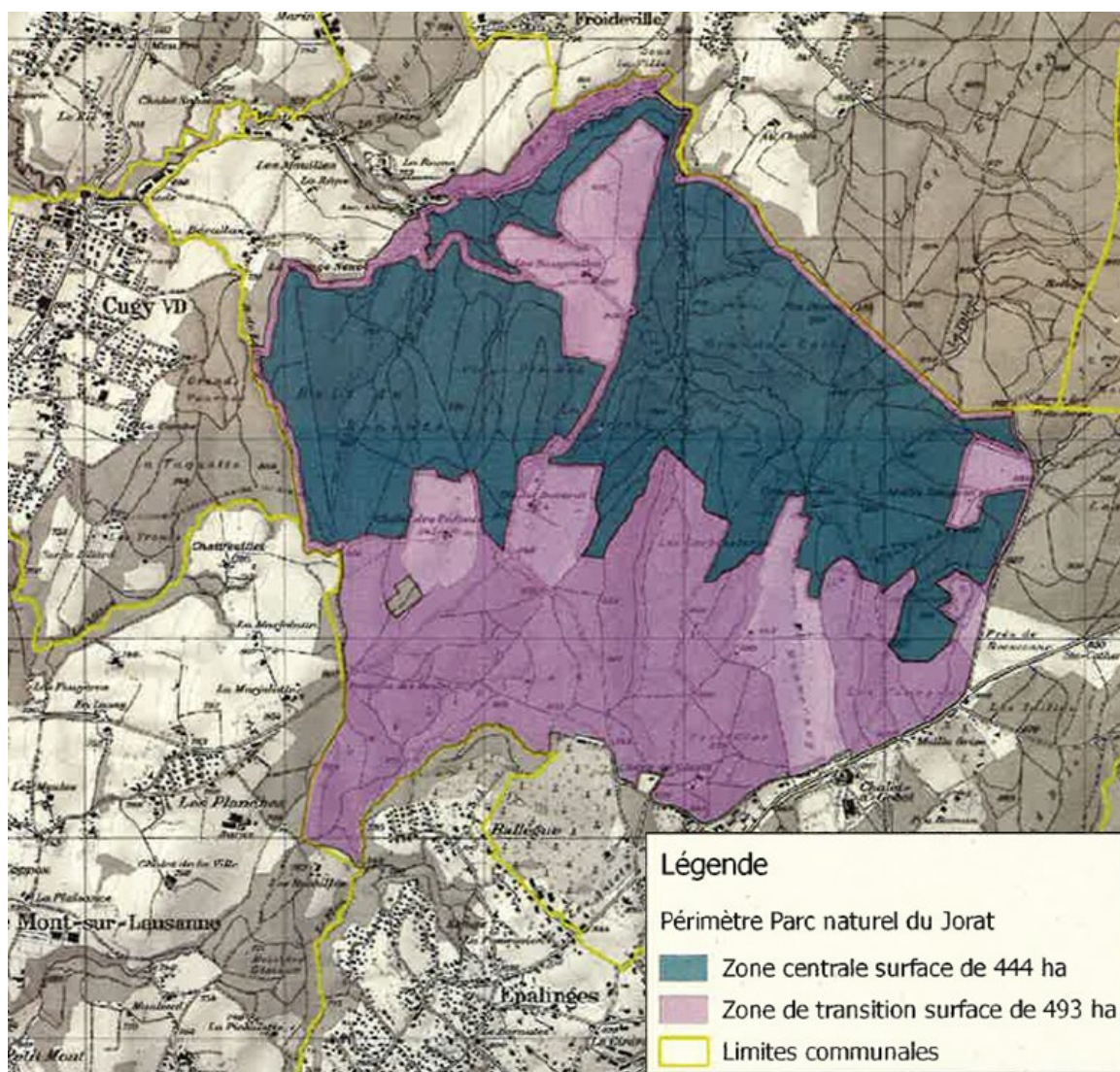


Fig. 19 : Carte de l'emprise prévue dans le projet de parc naturel périurbain dans le Jorat (échelle 1:40'000)

La zone centrale représenterait avec ses 444 ha environ 10% des 4'500 ha de surface forestière du massif du Jorat et 45% de la propriété de la ville sur le massif. La mise en réserve intégrale de cette zone signifie une absence d'intervention sylvicole avec toutefois les exceptions suivantes : entretien et sécurisation des chemins (une exception notable, voir section 3.5), aménagements liés à l'eau, suivi scientifique, lutte contre les plantes invasives, régulation des espèces sur décision cantonale (par ex. liée au bostryche).

La zone de transition représenterait une superficie à peu près équivalente à la zone centrale. Elle ne serait pas soumise à des contraintes de gestion particulières hormis des objectifs chiffrés et spécifiques en termes de volume de bois mort. A ce titre, il n'existe pas de seuil légal fixé dans les textes de loi mais dans le principe, il devra être relativement élevé, supérieur aux objectifs fixés à l'heure actuelle par la Ville de Lausanne.

Une charte a été rédigée afin de définir les règles de gestion sur la base de ce qui est attendu légalement pour un parc naturel périurbain dont le principal objectif est de protéger la biodiversité. La charte constitue l'objet sur lequel le Conseil communal de Lausanne se positionne. Cette charte

et le label de parc naturel périurbain sont valables pour 10 ans, renouvelables. Cependant, l'engagement pour la mise en réserve intégrale est de 50 ans, c'est la durée qui est recommandée par l'OFEV et reprise dans le projet de parc. Cette longue durée est nécessaire pour que la mise en réserve porte ses fruits au niveau de ses objectifs biologiques. Cette mise en réserve ouvre droit à une subvention pour le propriétaire forestier afin de le dédommager pour l'arrêt de la production de bois. Cette subvention est basée sur une estimation de la perte de rendement (c'est-à-dire la valeur du bois qui n'est pas exploitée) et correspond dans ce cas à environ 8'000 CHF par hectare pour le contrat de 50 ans. A noter que les subventions liées à la mise en réserve sont versées directement au propriétaire alors que les charges salariales liées à l'administration et à la gestion du parc devraient être couvertes par les subventions liées à la politique des parcs. La gestion forestière sera, quant à elle, coordonnée avec la Ville de Lausanne.

3.3. Sélection des surfaces à mettre en réserve

La sélection des surfaces à mettre en réserve a fait l'objet d'une étude préalable du bureau d'ingénieur n + p (voir l'introduction). Trois scénarios prospectifs ont été comparés :

1. Mise en réserve d'une grande surface d'un seul tenant,
2. Mise en réserve d'un réseau de petites surfaces reliées entre elles,
3. Même logique que la 2. mais avec des surfaces plus petites et plus nombreuses.

Cette étude prospective s'est basée sur la méthode du *Systematic Conservation Planning* (voir Margules et Pressey, 2000), qui permet de répartir une surface donnée de conservation (ici, la zone centrale à mettre en réserve) de sorte à maximiser un indice représentant la valeur biologique des surfaces sélectionnées. Dans le cas de cette étude, l'indice utilisé agrège la valeur liée à : i) la diversité structurelle (distribution des diamètres et enrésinement), ii) des milieux particuliers (ex. zones humides telles que les aulnaies), et iii) la diversité en termes d'espèces. Les données pour la mise en œuvre de cette analyse proviennent de différentes sources telles que infospecies.ch, les inventaires dendrométriques (du canton), les données LiDAR, les inventaires des milieux naturels (ex. Milieux naturels prioritaires). A noter que cette approche a également été utilisée dans le cadre de la planification directrice pour l'élaboration de la carte d'importance de la fonction biologique (voir section 1.1).

Cette étude préalable a montré que la définition de poches de réserve reliées par des corridors auraient pu être une bonne chose car les surfaces ayant à l'heure actuelle une forte valeur biologique (ex. milieux prioritaires, îlots de vieux bois) sont naturellement présents par clusters. Ce n'est cependant pas l'approche qui a été retenue pour la sélection des surfaces.

Les règles édictées par la Confédération poussent en effet à définir une surface de réserve « d'un seul tenant » car en cas de discontinuité entre les zones de réserve, celles-ci ne peuvent pas être comptabilisées en totalité. Cela peut être un problème car il faut atteindre une surface comptabilisée d'au moins 400 ha pour la zone centrale. Ces règles reposent sur l'idée d'atteindre une surface critique de réserve pour recréer le cycle naturel d'une forêt tempérée. Certaines phases de ce cycle correspondent à une ambiance lumineuse alors que d'autres, correspondent à une ambiance ombragée, plus rare dans les forêts exploitées. Les cœurs de forêt à l'ambiance ombragée sont recherchés par beaucoup d'espèces cherchant à s'abriter des fluctuations climatiques et des dérangements, par ex. les batraciens qui s'abritent dans des zones d'hivernage. En écologie, on parle d'*interior species*, par opposition aux *edge species*, voir Harris, 1988. Le fait de créer de petites surfaces de réserve reliées par des corridors démultiplie l'effet de lisière et casse la logique de cycle, favorisant les *edge species* qui sont mieux représentées dans les forêts exploitées du Plateau suisse. Les lisières internes, dues par exemple aux chemins, peuvent avoir un effet similaire, ce qui pose question par rapport au maintien de la fonction d'accueil dans les zones de réserve (voir section 3.5).

3.4. Effets attendus de la mise en place du parc sur la fonction biologique

L'objectif principal d'une réserve intégrale est de laisser libre cours aux dynamiques naturelles. Le principal résultat escompté est l'accumulation de vieux bois et de bois mort. Un autre bénéfice de la mise en réserve est d'assurer la protection des milieux prioritaires.

En ce qui concerne la protection des milieux prioritaires, l'emprise géographique prévue pour le parc du Jorat correspond en effet à une zone qui comprend de vastes surfaces parmi les Territoires d'intérêt biologique prioritaire (TIBP) et les Territoires d'intérêt biologique supérieur (TIBS) du Réseau écologique cantonal REC, comme le montre la carte ci-dessous :

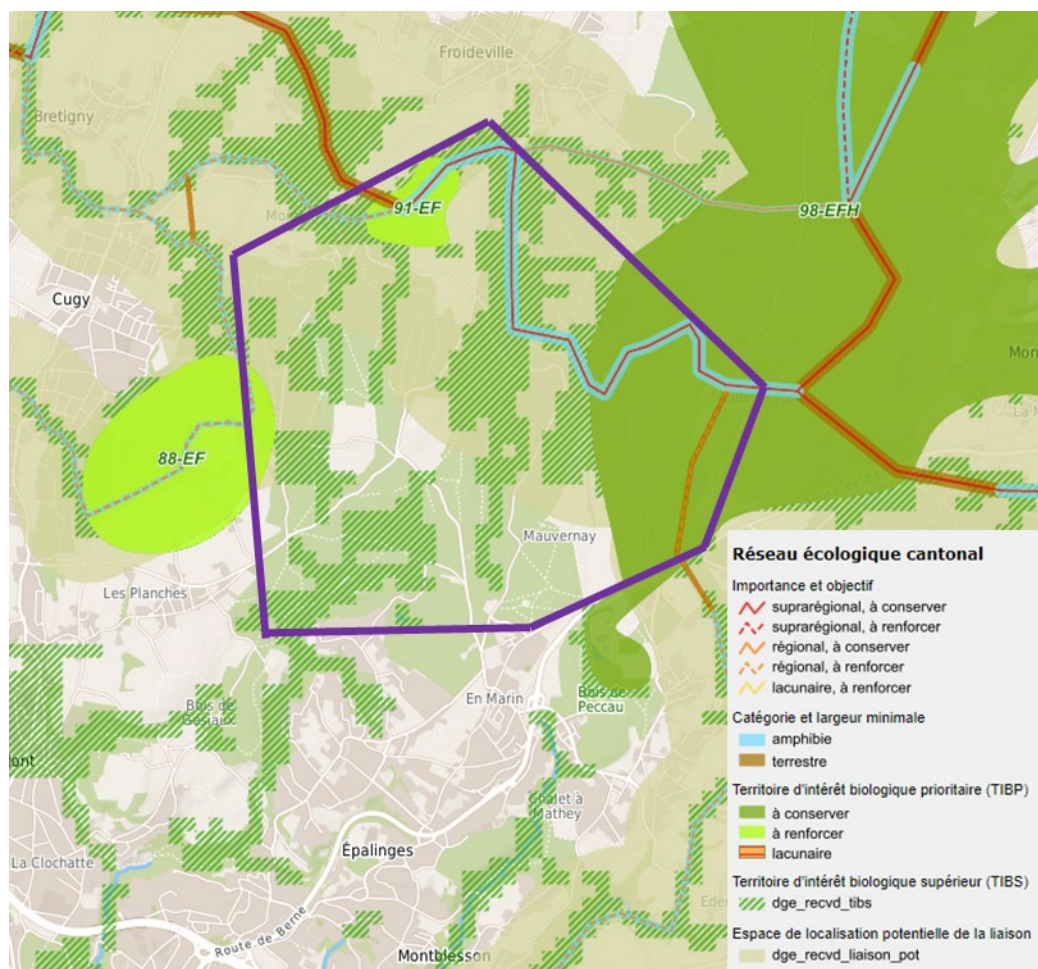


Fig. 20 : Superposition schématique de l'emprise prévue pour le parc naturel du Jorat sur la carte du Réseau écologique cantonal REC (source : Guichet cartographique cantonal du Canton de Vaud, le polygone lié à l'emprise du parc a été ajouté par l'auteur)

Reprenant les résultats obtenus lors de l'élaboration du plan directeur forestier (approche de *Systematic conservation planning*, voir section 1.2.1), la carte présentée dans la Fig. 21 ci-dessous représente l'importance actuelle de la fonction biologique dans la zone centrale, qui est très majoritairement élevée, voire supérieure.

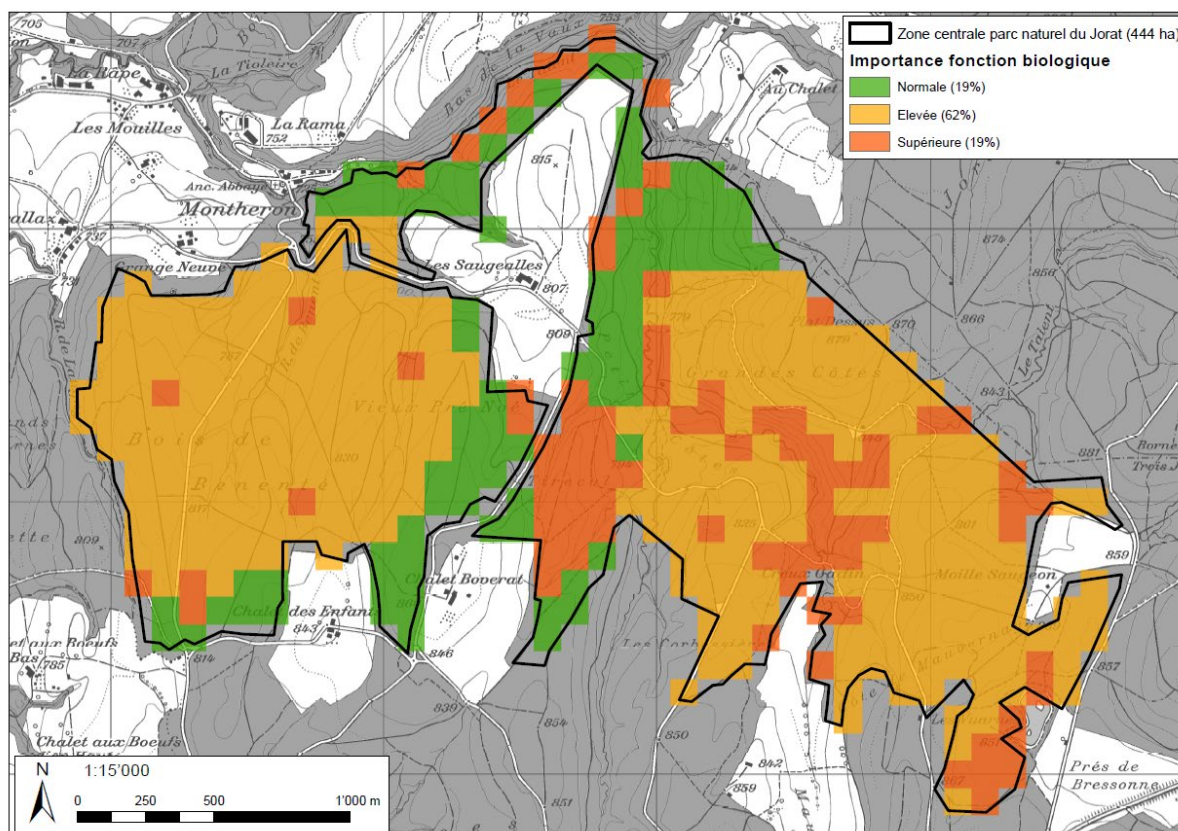


Fig. 21 : Raster présentant l'importance actuelle de la fonction biologique dans la zone centrale du projet de parc dans le Jorat (Source : données utilisées pour le plan directeur forestier)

La valeur biologique de ces surfaces, situées exclusivement sur la propriété de la Ville de Lausanne, s'expliquent entre autres par la gestion forestière de la ville, précurseur et orientée vers le renforcement de la fonction biologique depuis les années 80 (ex. bouchage de drains, mise en place d'îlots de sénescence).

S'il n'y a pas eu d'étude spécifique sur l'impact sur la fonction biologique de la mise en place d'un parc naturel dans le Jorat, l'effet positif d'un tel parc sur la biodiversité fait consensus chez les deux biologistes interrogés. Certes, certaines espèces, telles que les espèces pionnières et certains oiseaux, bénéficient de l'exploitation forestière du fait des trouées occasionnées dans le couvert forestier. Il s'agit des espèces dont l'habitat primaire correspond aux trouées qui apparaissent naturellement dans le cycle de vie d'une forêt tempérée (dues par ex. aux chablis) et qui trouvent un habitat secondaire dans les trouées dues aux exploitations forestières. Cependant, nombre d'autres espèces, plus rares dans les forêts exploitées devraient bénéficier de la fin de l'exploitation forestière. Il s'agit des espèces bénéficiant des milieux forestiers au couvert dense et à l'ambiance ombragée, et des espèces liées au bois mort.

La mise en réserve de la zone centrale et l'adaptation de la gestion de la zone transitoire vont permettre d'augmenter très significativement les volumes de bois mort situés sur ces surfaces et ainsi, de soutenir l'abondance et la diversité de toutes les espèces liées au bois mort. La biodiversité liée au bois mort est particulièrement riche, avec environ 5'000 espèces de champignons saproxyliques et 1'300 coléoptères saproxyliques, auxquels s'ajoutent lichens et mousses. Ces espèces sont essentielles au bon fonctionnement de l'écosystème. D'après Jérôme Pellet, dans les surfaces mises en réserve, le volume de bois mort devrait augmenter de 10 m³/ha/an, ce qui permettra d'atteindre le seuil de bois mort visé au bout de 20 ans. La colonisation par les premières espèces liées au bois mort est attendue au bout de 20 à 30 ans.

La mise en réserve dans la zone centrale a suscité quelques inquiétudes chez certains biologistes car certains Objets biologiques d'intérêt (OBI) dont la protection est contractualisée sont maintenues grâce à des interventions régulières. Historiquement, le réseau des OBI a beaucoup structuré la question de la fonction biologique dans le massif du Jorat et a beaucoup influencé la

planification et la gestion forestière. Le Jorat est en effet une ancienne zone humide qui a beaucoup été drainée par le passé. Si le projet de parc est accepté, ces OBI devraient effectivement disparaître en une quinzaine d'années, en se bouchant de matière organique. Deux arguments peuvent être opposés à cette inquiétude. D'une part, certains plans d'eau devraient réapparaître naturellement au bout d'une trentaine d'années. D'autre part et il s'agit de l'argument principal, le concept sous-jacent à la mise en réserve d'une grande surface correspond à un changement de paradigme par rapport à l'approche plus classique de préservation de la biodiversité qui sous-tend les OBI. Cette approche classique consiste à maximiser le nombre d'espèces trouvées au sein d'un périmètre forestier alors que la logique d'une réserve est de favoriser la protection des espèces rares à l'échelle d'une plus grande zone géographique (ex. le Plateau suisse) même si la diversité d'espèces n'est pas maximisée localement. Cependant, il est important de noter qu'un des OBI dans la zone centrale serait pérennisé et qu'il est prévu d'en installer de nouveaux hors de la zone centrale.

3.5. La question des chemins et des dessertes dans la Zone Centrale

Si le projet de parc est accepté, seuls les itinéraires d'accueil existant actuellement dans la zone centrale du parc pourront être utilisés par les usagers. Dans la zone centrale, les routes servant uniquement à l'exploitation forestière, qui sont à l'heure actuelle également utilisées par les visiteurs, ne seront plus entretenues. Elles vont donc se reboiser naturellement sur le long terme. Ces dessertes représentent environ la moitié des infrastructures linéaires dans la zone centrale. L'autre moitié de ce linéaire est représenté par les différents sentiers ou itinéraires liés à l'accueil du public. Pour des raisons d'acceptabilité sociale et politique du projet de parc, celui-ci prévoit de conserver l'intégralité des sentiers existants. Or, la densité en sentiers est très élevée dans le massif du Jorat (voir la Fig. 22 pour un aperçu des principales infrastructures linéaires, à noter que les chemins figurant sur la carte nationale 2019 sont également conservés, et la Fig. 23 pour un aperçu des infrastructures d'accueil dans la zone centrale), beaucoup plus que dans la réserve de Sihlwald (Canton de Zürich), pour l'instant seul parc naturel périurbain de Suisse. Cette forte densité représente un défi vis-à-vis des objectifs du parc en termes de protection de la biodiversité.

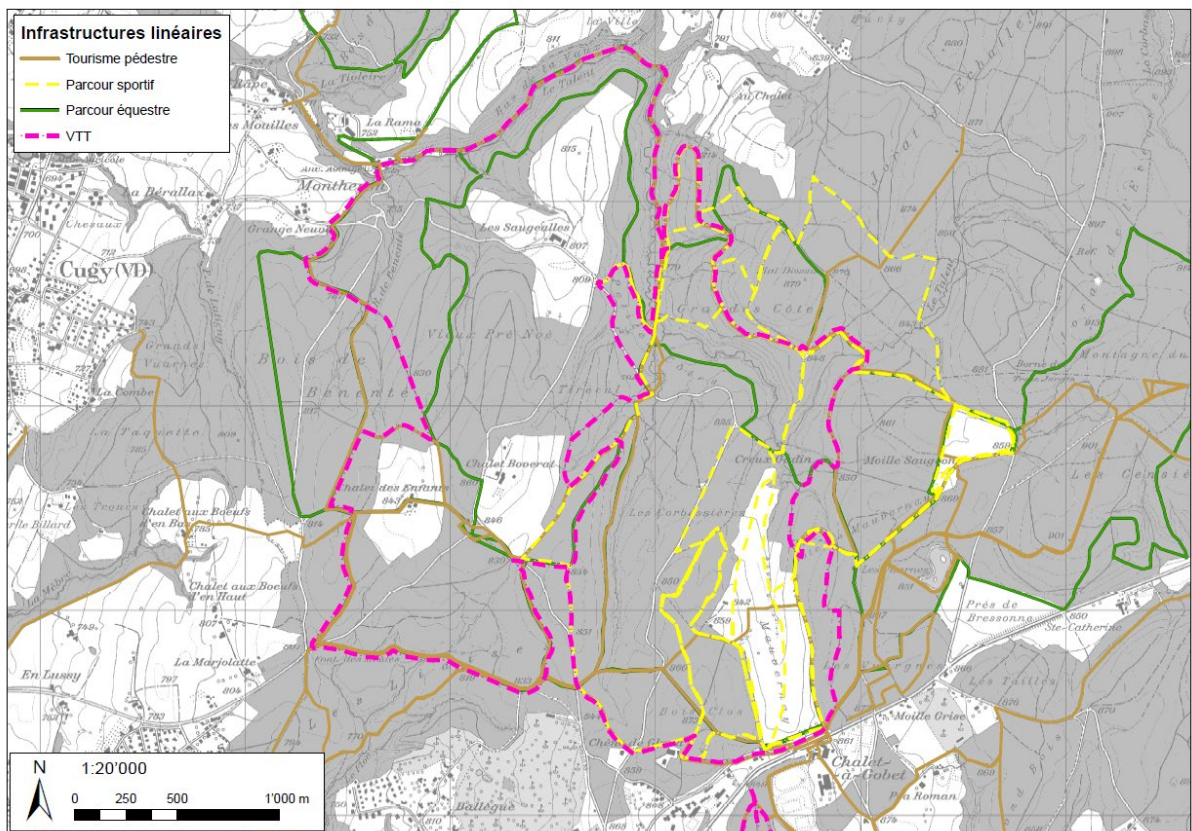


Fig. 22 : Principales infrastructures linéaires d'accueil du public dans le massif du Jorat (Source : Ville de Lausanne)

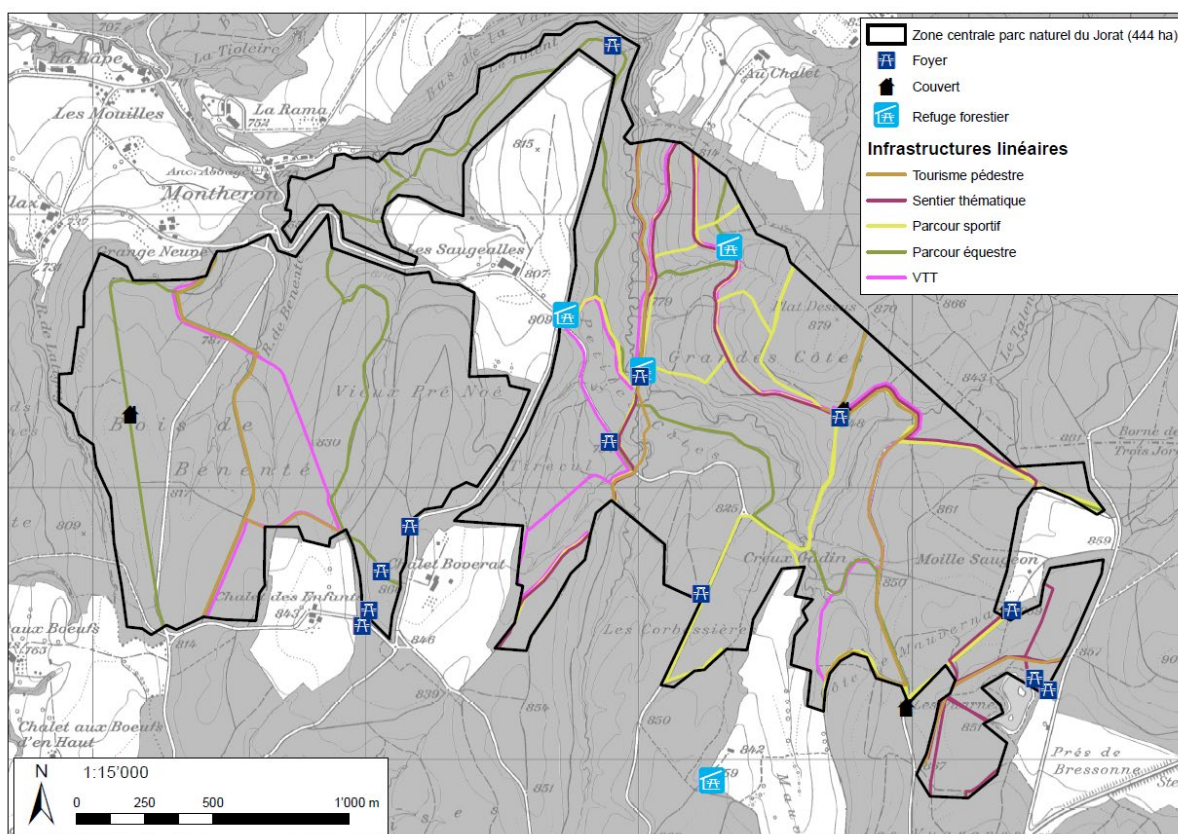


Fig. 23 : Principales infrastructures linéaires d'accueil du public⁸ dans la zone centrale prévue dans le projet de parc naturel dans le Jorat (Source : Ville de Lausanne)

D'une part, ce réseau de sentiers et dessertes crée de nombreuses lisières internes qui viendraient casser l'effet de cycle naturel que l'on souhaite obtenir avec la mise en réserve. Comme cela est expliqué en détail dans la section 3.3, cet effet de cycle est recherché pour ses phases ombragées où un couvert forestier dense et continu permet à certaines espèces (qualifiées d'*interior species*) de s'abriter des fluctuations climatiques et des dérangements.

D'autre part, l'obligation juridique (voir encadré ci-dessous) de sécuriser les sentiers représente un problème vis-à-vis des vieux arbres et des arbres secs sur pied. La sécurisation des sentiers consiste d'une part à éliminer les risques liés à la chute gravitaire des branches sèches ou endommagées et lorsque le risque est jugé trop important, à abattre les arbres pouvant présenter un risque de chute (et donc souvent, les vieux arbres) sur une bande de 20m de chaque côté du chemin, ce qui correspond environ à une hauteur d'arbre. Considérant l'ensemble des sentiers existants, ces bandes représenteraient une proportion importante de la surface de la zone centrale, de l'ordre de 30%.

La sécurisation des sentiers ne nécessite toutefois pas d'abattre tous les vieux arbres et le cas échéant, ne nécessite pas de sortir les arbres abattus. Ceux-ci peuvent être laissés sur place afin d'accroître les volumes de bois mort. Dans la phase initiale suivant la mise en réserve, cela permet même d'accélérer le processus d'accumulation de bois mort. A noter que le dérangement lié aux sentiers ne pose pas de problèmes pour les espèces liées au bois mort. Les espèces saproxyliques (champignons, coléoptères), ainsi que les espèces qui s'en nourrissent (ex. batraciens, mollusques) ne sont en effet pas sensibles au dérangement.

Un concept de sécurisation consistant à laisser les arbres abattus en forêt est déjà utilisé par la Ville de Lausanne pour la sécurisation des surfaces de haute valeur biologique (ex. îlots de sénescence) dans les massifs urbains. Ce concept de sécurisation pourra être repris et adapté à

⁸ A noter que les foyers situés dans la zone centrale et le refuge forestier au nord du massif (vétuste) ne seront pas conservés en cas d'acceptation du parc.

l'échelle de la zone centrale. Un inconvénient de ce concept de sécurisation est que sa mise en œuvre représente un très important travail de contrôle. C'est-à-dire que les surfaces concernées doivent être régulièrement et systématiquement contrôlées. Ce besoin de contrôle se fera de plus en plus fort à mesure que la mise en réserve portera ses fruits. Cela pose la question des ressources à disposition.

Malgré ces possibilités, du fait de la question des cycles naturels et du dérangement des mammifères et des oiseaux, il aurait été préférable du point de vue biologique de prévoir une réduction de la densité en sentiers dans la zone centrale. Une approche possible aurait été de réduire les sentiers dans les fonds de vallon, qui concentrent les zones à forte valeur biologique et accueillent les espèces sensibles au dérangement, et de concentrer au maximum la fréquentation sur les crêtes. Cependant, les démarches participatives menées dans le cadre du projet de parc naturel et impliquant des associations d'usagers ont montré que le public était globalement opposé à la suppression de chemins et sentiers. Les principales raisons évoquées étaient le principe même de la liberté de circulation en forêt et la crainte que la fermeture de certaines voies n'entraîne une augmentation de la fréquentation sur les voies restantes par un effet de report. Afin de garantir l'acceptabilité sociale et politique du projet, cette option a donc été rejetée. A défaut ou de manière complémentaire, une solution serait de moins sécuriser voire ne plus sécuriser les chemins dans la zone centrale et de responsabiliser les visiteurs. Les conditions juridiques actuelles limitent néanmoins fortement cette possibilité.

En complément, il est important de préciser que les routes en forêt ont un impact beaucoup plus fort que les sentiers. Le bruit généré et donc le dérangement sont beaucoup plus forts et elles sont une importante source de pollution. Dans la version actuelle du projet de parc dans le Jorat, une seule route (la route de Saugeales) coupe le parc en deux. Certaines routes ont été supprimées avant le lancement du projet de parc, la Ville de Lausanne ayant déjà pris ces mesures en faveur de la biodiversité.

3.6. Accueil et canalisation du public en forêt

Si le massif du Jorat est déjà largement fréquenté pour les activités de détente et de loisirs en forêt, le nombre exact de visiteurs, ainsi que leurs déplacements et habitudes dans le massif, restent pour le moment inconnus du fait d'une absence de monitoring (voir section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). En revanche, le nombre de visites potentielles peut être estimé sur la base de l'analyse du bassin de population à proximité du parc. En cumulant les arrivées touristiques et la population résidente, les statistiques ont montré qu'environ 800'000 personnes résident à moins de 15 minutes en voiture du Chalet-à-Gobet. Le plan directeur forestier mentionne 1'000'000 de visiteurs chaque année. Selon Yves Kazemi, ce chiffre issu du plan de gestion des forêts lausannoise de 1995 n'a jamais été calculé ou vérifié.

En cas d'acceptation du projet, les animations qui seront proposées dans le cadre du parc naturel, grâce aux subventions, permettront une sensibilisation du public à l'environnement. De manière générale, la question de l'accueil du public dans le parc et ses environs a fait l'objet de plusieurs études d'impacts socio-économiques et paysagères réalisées dans le cadre du projet de parc.

La fréquentation élevée du massif n'est pas sans poser certains défis au vu des objectifs du parc en termes de protection de la biodiversité, surtout en ce qui concerne la zone centrale. Néanmoins, ce défi peut être nuancé pour deux principales raisons. D'une part, les situations géographiques respectives des deux zones du parc sont telles que les flux de visiteurs devraient naturellement se concentrer dans la zone de transition. Les visiteurs entrent en effet dans le parc par le sud, du côté de la ville, et en général, ne s'aventurent pas dans la zone centrale au nord car le massif du Jorat est grand et que la zone centrale est plus vallonnée, ce qui est limitant pour certains visiteurs. Enfin la zone de transition compte davantage de mélanges d'essences, plus attractifs pour les visiteurs.

En matière de canalisation des visiteurs, l'objectif serait de renforcer une canalisation spatiale et temporelle (par ex. lors de la période de reproduction de certaines espèces) des visiteurs hors de la zone centrale par un report vers la zone de transition. Il s'agirait d'une canalisation douce,

permise par un renforcement de l'attractivité de la zone de transition⁹, à travers la qualité des sentiers, la présence d'une signalétique renforcée (ex. itinéraire découverte) et l'organisation d'animations (ex. interventions de biologistes, d'ornithologues). En outre, sans aller jusqu'à la suppression, la possibilité de détourner certains sentiers de la zone centrale pour permettre l'existence de sous-zones moins fréquentées par le public pourrait également être considérée (cette possibilité n'est toutefois pas considérée dans le cadre du projet de parc). Enfin, l'information et la sensibilisation du public aux objectifs du parc sont également essentielles pour l'acceptabilité de cette canalisation. Un concept d'accueil, d'information et d'offre de visite aux points d'entrée du parc a par ailleurs été élaboré par le bureau d'ingénieur Thematis (2019).

Si ces mesures devraient entraîner un report des visites de la zone centrale vers la zone de transition, il est *a priori* difficile de savoir dans quelle mesure. Un déplacement massif et immédiat des visiteurs suivant la mise en place du parc est cependant peu probable. Seule une suppression de certains sentiers pourrait le garantir et cette option a été écartée pour des raisons d'acceptabilité sociale et politique (voir section 3.5). S'il est effectif, le report de visiteurs vers la zone de transition ou vers les massifs forestiers voisins (par exemple sur les communes de Froideville et de Cugy) entraînerait une hausse de la fréquentation et de la pression du public dans ces massifs qu'il faudra surveiller et gérer. Le projet de parc propose justement la mise en place d'un système de monitoring ou tout du moins de suivi de la fréquentation du public en forêt (voir section 3.7) qui permettrait d'analyser et d'accompagner ces évolutions. Le futur parc constituerait par ailleurs un outil nouveau pour la résolution des conflits potentiels, par exemple entre différents types de visiteurs en forêt.

3.7. Projet de monitoring dans le parc du Jorat

Le projet de parc naturel prévoit le renforcement du suivi de la biodiversité et la mise en place d'un monitoring des activités de détente et de loisirs.

Concernant la biodiversité, les données disponibles à l'heure actuelle proviennent de l'Inventaire forestier national (IFN) et de l'inventaire cantonal vaudois. Ces données portent sur certains attributs dendrométriques ayant une signification en termes de biodiversité (ex. la structure des peuplements) et sur certains attributs directement liés à la biodiversité (ex. le bois mort). Toutefois, ces inventaires ne couvrent pas systématiquement la thématique biodiversité et de ce fait, ne constituent pas un système de monitoring de la biodiversité. En outre, l'Inventaire forestier national n'est pas adapté à l'échelle du massif du Jorat, la densité de placettes étant trop faible. Pour remédier à cette situation, un concept spécifique de suivi de la biodiversité est en cours d'élaboration dans le cadre du projet de parc naturel. Ce concept est basé sur l'idée d'une densification des placettes d'inventaire par rapport à l'IFN et d'un suivi complémentaire des espèces liées au bois mort (champignons saproxyliques et coléoptères saproxyliques) et des milieux particuliers du Jorat (ex. milieux humides, sources).

De manière beaucoup plus spécifique, un suivi du gibier (photo-monitoring et inventaire des dégâts) est également prévu dans le projet de parc. Ce suivi permettra une déclaration des dégâts au Canton dans une optique de dédommagement financier (par ex. des agriculteurs). Ce monitoring spécifique répond à la crainte que la zone centrale ne serve de refuge pour les chevreuils et les sangliers au vu de l'interdiction de la chasse dans la zone centrale ou si la fréquentation du public diminue. Il est peu probable de rencontrer ce problème à court-terme mais ce projet de monitoring permet de renforcer l'acceptabilité sociale du projet de parc.

Enfin, le projet de parc prévoit la mise en place d'un monitoring des activités récréatives. Ce monitoring serait basé sur l'usage de capteurs de comptage des visiteurs en forêt¹⁰ permettant de les différencier par type (ex. piétons, cavaliers, VTT) et installés au niveau des accès vers la zone centrale. Les données collectées par ces éco-compteurs seraient complétées par la réalisation

⁹ Le travail sur l'attractivité se fera de manière générale mais il est intéressant de noter l'existence d'une initiative spécifiquement dédiée à l'accès pour les personnes à mobilité réduite et les publics fragiles. Pour ces derniers, des activités et certains itinéraires spécifiques seront élaborés.

¹⁰ De tels capteurs sont disponibles sur le marché. Les capteurs envisagés dans le cadre du projet de parc sont ceux proposés par la société éco-compteur (eco-compteur.com) et déjà utilisés dans au moins un massif dans le Canton de Neuchâtel.

d'enquêtes plus classiques auprès des visiteurs, basées sur des questionnaires. L'objectif principal de ce type de monitoring est d'assurer un suivi et d'analyser le dérangement occasionné par le public en forêt, ses effets sur la taille des populations et enfin, les dégâts occasionnés. La mise en place du parc représente une bonne opportunité pour mener ce type d'analyse.

Conclusion

Cette étude de cas sur les forêts de la Ville de Lausanne révèle plusieurs éléments intéressants sur la manière dont les différentes fonctions forestières peuvent être intégrées à la planification et à la gestion forestières. Ces différents éléments ont également une portée générale et peuvent s'avérer pertinents pour d'autres forêts périurbaines de Suisse. Ces éléments sont les suivants :

- la multifonctionnalité reste le principe de base de la gestion des forêts lausannoises, au sens où plusieurs fonctions prépondérantes coïncident sur une grande partie de la surface forestière,
- les antagonismes avec la fonction d'accueil du public et la fonction biologique ne concernent qu'une faible proportion de la surface forestière,
- Il existe des méthodes systématiques et objectives qui peuvent fournir une base pour établir la carte des fonctions prépondérantes, par ex. l'approche de *Systematic conservation planning* (Margules et Pressey, 2000) qui permet de quantifier la valeur biologique de manière spatialisée,
- il manque des données objectives, systématiques et spatialisées sur la fréquentation, les attentes et les caractéristiques sociodémographiques du public en forêt ; ces informations sont essentielles pour la définition de stratégies d'accueil du public en forêt,
- bien qu'étant actuellement globalement supportable, la pression exercée par le public sur le territoire forestier se renforce et pourrait à l'avenir poser certains problèmes, tels que des conflits d'usage entre différents types de visiteurs,
- les infrastructures d'accueil, linéaires et ponctuelles, sont réparties sur l'ensemble de la surface forestière et peuvent poser certains problèmes vis-à-vis de la fonction biologique, en particulier dans les zones où des objectifs particuliers ont été fixés (ex. mise en réserve prévue dans le projet de parc naturel dans le Jorat) :
 - la nécessité de sécuriser les infrastructures d'accueil - linéaires ou ponctuelles, est difficilement compatible avec le maintien d'arbres instables ; ce problème peut néanmoins être atténué en utilisant des concepts de sécurisation en forêt qui permettent de moins intervenir mais qui requièrent un monitoring détaillé et des interventions régulières ; concrètement, il s'agit de ne pas abattre systématiquement les arbres instables s'ils peuvent être sécurisés au niveau des branches et que le risque au niveau de l'arbre est jugé acceptable. En cas d'abattage, l'arbre peut être laissé sur place pour faire du bois mort,
 - les sentiers et chemins constituent des lisières internes au sein d'un massif qui peuvent gêner la création d'espaces à l'ambiance ombragée, propices à certaines espèces cherchant à s'abriter des fluctuations climatiques et empêchent la création de zones sans ou avec peu de dérangements,
- l'accueil du public a un impact sur les coupes et sur les coûts d'exploitation : plus la fréquentation dans le massif est élevée, plus les coupes doivent être de petites dimensions, rapides et sécurisées et plus elles sont coûteuses,
- plusieurs grands principes ont été définis en lien avec l'accueil du public en forêt :
 - le développement de nouvelles infrastructures d'accueil doit être limité,
 - le public peut et doit être canalisé de manière douce à travers l'aménagement d'infrastructures linéaires ou ponctuelles attractives et l'installation d'une signalétique adéquate,

- la sylviculture joue un rôle important pour la canalisation des usagers et la qualité des conditions d'accueil du public en forêt. Elle peut être par exemple utilisée pour renforcer l'esthétique d'une forêt tout en assurant la sécurité du public (il s'agit par ex. d'obtenir des « faux vieux », c'est-à-dire des arbres de grande dimension mais stables et vitaux),
- il est très difficile de faire accepter socialement et politiquement la suppression de sentiers et chemins (à des fins biologiques par ex.),
- malgré l'existence de principes et de mesures, il manque une stratégie pour l'accueil du public en forêt ; cette stratégie va être mise en place au niveau du Canton de Vaud puis trouver sa traduction au niveau de la planification directrice et de la gestion forestière.

Les forêts de la ville de Lausanne ont été choisies comme cas d'étude pour leur situation de forêts périurbaines du Plateau suisse situées près d'un grand centre urbain. Les forêts périurbaines accueillent un nombre important de visiteurs et illustrent particulièrement bien les différents enjeux abordés dans ce rapport. Par ailleurs, la planification et la gestion des forêts de la Ville de Lausanne se trouvent à une étape charnière, à travers l'élaboration en cours d'un nouveau plan de gestion (prévu pour 2021) sous l'égide d'un plan directeur forestier récent (2018). En outre, le projet de mise en place d'un parc naturel périurbain dans le Jorat renforce le défi de l'intégration de la fonction d'accueil et de la fonction biologique et nourrit la réflexion à ce sujet. Il s'agirait toutefois d'analyser d'autres cas d'étude pour compléter les résultats obtenus.

Discussion générale

Cette discussion prend la forme d'une synthèse comparative des principaux résultats obtenus dans les trois parties de cette étude. Cette synthèse souligne les principaux messages récurrents identifiés dans ces trois parties et identifie certains déficits d'information qui sont à ce jour limitants pour caractériser le lien entre les activités récréatives et les autres services écosystémiques (en particulier la protection de la biodiversité). Une attention particulière est portée aux messages et déficits ayant une portée pratique.

Les messages récurrents

- Les activités récréatives ont un impact négatif et conséquent sur la biodiversité. Les impacts directs se manifestent à travers le dérangement de la faune et les dégâts occasionnés sur la végétation et le sol. Les activités récréatives peuvent également avoir des impacts indirects à travers la présence d'infrastructures d'accueil, ponctuelles ou linéaires, qui modifient la nature de l'habitat forestier, par ex. en le fragmentant. Cependant, cette fragmentation ne peut être imputée totalement aux activités récréatives que dans certains cas particuliers, tels que les réserves forestières.
- L'impact des activités récréatives sur la biodiversité dépend des activités pratiquées mais aussi de l'intensité de leur pratique. Les surfaces problématiques pour la biodiversité sont concentrées dans les zones fortement fréquentées et dans le voisinage des infrastructures d'accueil.
- La situation actuelle liée à l'intégration des activités récréatives avec les autres services écosystémiques n'est généralement pas jugée problématique (par la population suisse mais aussi par les professionnels forestiers). Cependant, l'augmentation importante de la fréquentation des forêts par le public et la multiplication des formes de récréation sont préoccupantes. Au-delà de l'intégration des différents services écosystémiques, cette tendance accroît aussi le risque de conflits entre types de visiteurs.
- Une des principales mesures pour atténuer l'impact des activités récréatives sur la biodiversité en forêt est de jouer sur les tracés et la qualité des chemins et sentiers forestiers (et sur l'accessibilité des massifs par les transports en commun ou individuels), sachant que les forêts suisses sont très densément aménagées en infrastructures linéaires. Toutefois, il est politiquement difficile voire contreproductif de supprimer ou d'obstruer des voies forestières, la forêt étant largement perçue comme un bien public par la population suisse. En revanche, il est possible de pratiquer une canalisation douce, basée sur une attractivité différenciée de ces chemins.
- Il existe une large base de préférences esthétiques partagées au sein de la population. Par la sylviculture et l'aménagement de certaines infrastructures, il est possible d'accroître l'attractivité esthétique d'une forêt.
- La participation du public aux processus de planification forestière est essentielle, ce qui inclut les groupes d'intérêt associés aux activités récréatives. De même, une communication continue auprès de ce public est indispensable, qu'il s'agisse de communication sur la biodiversité ou sur les interventions sylvicoles.
- Les activités récréatives génèrent des coûts directs (ex. aménagement et entretien des infrastructures ponctuelles et linéaires) et indirects (ex. sécurisation des coupes) pour les entreprises forestières.

Les déficits d'information

- La littérature scientifique traitant de l'impact des activités récréatives sur la biodiversité comporte beaucoup d'études au *scope* restreint. Celles-ci sont basées sur une ou plusieurs espèces (souvent communes) et sur des contextes géographiques, naturelles et socio-économiques spécifiques et divers, souvent éloignés du contexte suisse. De ce fait, il est

difficile de généraliser ces résultats même s'ils apportent des informations quant aux différents types d'impact, leurs mécanismes d'action et les mesures d'atténuation possibles. La littérature basée sur les approches multi-espèces (ou sur les communautés biologiques) sont rares. L'impact effectif sur les populations et le taux de reproduction est rarement évalué, au profit d'études comportementales.

- Les études traitant de l'impact des activités récréatives sur la biodiversité se focalisent en général sur la mesure de l'impact mais la mesure de la source d'impact est parfois négligée et rarement quantifiée. En outre, il manque un standard pour mesurer les sources d'impact et assurer la comparabilité des résultats.
- Il manque un monitoring systématique et spatialisé de la fréquentation des forêts à des fins récréatives. Ce déficit de données a un impact sur la planification directrice et la gestion forestières.
- Il manque des études empiriques (et systématiques) sur les préférences esthétiques de la population et également des études statistiques sur le lien entre attributs forestiers et fréquentation par le public.
- Il manque des statistiques sur les coûts, les pertes de productivité ou les problèmes de gestion forestière liés (directement ou indirectement) aux activités récréatives et supportés par les entreprises forestières.

Références

- Bell, S., Simpson, M., Tyrväinen, L., Sievänen, T., & Pröbstl, U. (Eds.). (2009). *European forest recreation and tourism: a handbook*. Taylor & Francis.
- Hunziker, Marcel, Benjamin Freuler, and Eike Von Lindern. "Erholung im Wald: Erwartungen und Zufriedenheit, Verhalten und Konflikte." *Forum für Wissen*. Vol. 2011. 2011.
- Hunziker, M., Freuler, B., & Lindern, E. V. (2011). Recreation in the forest: expectations and satisfaction, behaviour and conflicts. In *Forum für Wissen* (No. 2011, pp. 43-51). Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.?: freilaufende und wildernde Hunde, checked on 11/11/2019.
- Abildtrup, Jens; Garcia, Serge; Olsen, Søren Bøye; Stenger, Anne (2013): Spatial preference heterogeneity in forest recreation. In *Ecological economics* 92, pp. 67–77.
- Adinolfi, Cristiano; Suárez-Cáceres, Gina Patricia; Carinanos, Paloma (2014): Relation between visitors' behaviour and characteristics of green spaces in the city of Granada, south-eastern Spain. In *Urban forestry & urban greening* 13 (3), pp. 534–542.
- Alriksson, Stina; Öberg, Tomas (2008): Conjoint analysis for environmental evaluation. In *Environmental Science and Pollution Research* 15 (3), pp. 244–257.
- Granet, A. M., Mann, C., & Dehez, J. (2009). L'accueil du public en forêt: une perspective européenne. Quelques résultats du COST E33" Forest for recreation and nature tourism".
- Amrein, Dominik; Rusterholz, Hans-Peter; Baur, Bruno (2005): Disturbance of suburban Fagus forests by recreational activities: Effects on soil characteristics, above-ground vegetation and seed bank. In *Applied Vegetation Science* 8 (2), pp. 175–182.
- Anderson, Karen; Gaston, Kevin J. (2013): Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. In *Frontiers in Ecology and the Environment* 11 (3), pp. 138–146. DOI: 10.1890/120150.
- Appleton, J. (1996). *The experience of landscape* (pp. 66-7). Chichester: Wiley.
- Arlettaz, R., Patthey, P., & Braunisch, V. (2013). Impacts of outdoor winter recreation on alpine wildlife and mitigation approaches: a case study of the Black Grouse. *The Impacts of Skiing and Related Winter Recreational Activities on Mountain Environments* (eds C. Rixen & A. Rolando), S, 137-154.
- Arnberger, Arne; Eder, Renate (2011): The influence of age on recreational trail preferences of urban green-space visitors: a discrete choice experiment with digitally calibrated images. In *Journal of Environmental Planning and Management* 54 (7), pp. 891–908.
- Arnberger, Arne, and Renate Eder. "Are urban visitors' general preferences for green-spaces similar to their preferences when seeking stress relief?." *Urban Forestry & Urban Greening* 14.4 (2015): 872-882.
- Arroyo, Beatriz; Razin, Martine (2006): Effect of human activities on bearded vulture behaviour and breeding success in the French Pyrenees. In *Biological Conservation* 128 (2), pp. 276–284. DOI: 10.1016/j.biocon.2005.09.035.
- Ascensão, Fernando; Kindel, Andreas; Teixeira, Fernanda Zimmermann; Barrientos, Rafael; D'Amico, Marcello; Borda-de-Água, Luís; Pereira, Henrique M. (2019): Beware that the lack of wildlife mortality records can mask a serious impact of linear infrastructures. In *Global Ecology and Conservation* 19, e00661. DOI: 10.1016/j.gecco.2019.e00661.
- Faune: Il y a de moins en moins de chamois en Suisse, *La Tribune de Genève*, 2 March 2017.
- Astrade, L., & Droin, T. 2015. Course d'orientation et environnement. Prise en compte des enjeux, modélisation de l'emprise spatiale et temporelle d'un événement et suivi du marquage du terrain: retour sur les World Orienteering Championship (WOC) de 2011 dans le Parc Naturel Régional des Bauges (Savoie, France).

- Aubad, Jorge; Aragón, Pedro; Rodríguez, Miguel Á. (2010): Human access and landscape structure effects on Andean forest bird richness. In *Acta Oecologica* 36 (4), pp. 396–402. DOI: 10.1016/j.actao.2010.03.009.
- Ballantyne, Mark; Pickering, Catherine Marina (2015): Recreational trails as a source of negative impacts on the persistence of keystone species and facilitation. In *Journal of Environmental Management* 159, pp. 48–57. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.05.026.
- Ballantyne, Mark; Pickering, Catherine Marina (2015): The impacts of trail infrastructure on vegetation and soils: Current literature and future directions. In *Journal of Environmental Management* 164, pp. 53–64. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.08.032.
- Banks, Peter B.; Bryant, Jessica V. (2007): Four-legged friend or foe? Dog walking displaces native birds from natural areas. In *Biology Letters* 3 (6), pp. 611–613. DOI: 10.1098/rsbl.2007.0374.
- Baranzini, Andrea; Borzykowski, Nicolas; Maradan, David (2015): La forêt vue par les Genevois: perceptions et valeurs économiques de la forêt. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 166 (5), pp. 306–313.
- Barja, Isabel; Silván, Gema; Rosellini, Stefano; Piñeiro, Ana; González-Gil, Alfredo; Camacho, Laura; Illera, Juan Carlos (2007): Stress physiological responses to tourist pressure in a wild population of European pine marten. In *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology* 104 (3-5), pp. 136–142. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2007.03.008.
- Barthod, Christian (2015): La multifonctionnalité des forêts entre discours et pratiques: illusion ou réalité à assumer? In *Revue Forestière Française* 4-2015, pp. 293–319.
- Baruffol, Ueli, Baur, Priska, Dürrenmatt, Roger, Kammerhofer, Alfred; Zimmermann, Willi; Schmithüsen, Franz (2003) : EU-Project Evaluating Financing of Forestry in Europe. Zürich, Birmensdorf. Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ) in Zürich, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL). 122 p.
- Bayne, Erin M.; Habib, Lucas; Boutin, Stan (2008): Impacts of chronic anthropogenic noise from energy-sector activity on abundance of songbirds in the boreal forest. In *Conservation biology : the journal of the Society for Conservation Biology* 22 (5), pp. 1186–1193. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2008.00973.x.
- Beale, Colin M.; Monaghan, Pat (2004): Behavioural responses to human disturbance: a matter of choice? In *Animal Behaviour* 68 (5), pp. 1065–1069. DOI: 10.1016/j.anbehav.2004.07.002.
- Beale C. and Monaghan P. (2004): Human disturbance: people as predation-free predators? In *Journal of Applied Ecology* 41 (355 - 343).
- BEB, S. A. - Bureau d'études biologiques (2012): Réseau Ecologique-Analyse au niveau cantonal (REC-VD), Canton de Vaud, 67 p.
- Bebi, Peter (2005): ALPSCAPE-Simulation und Bewertung von Zukunftsszenarien alpiner Regionen am Beispiel der Landschaft Davos. In *Davos: Eidgenöss. Forsch. anstalt WSL*.
- Bejder, L.; Samuels, A.; Whitehead, H.; Finn, H.; Allen, S. (2009): Impact assessment research: use and misuse of habituation, sensitisation and tolerance in describing wildlife responses to anthropogenic stimuli. In *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 395, pp. 177–185. DOI: 10.3354/meps07979.
- Bejder, Lars; Samuels, Amy; Whitehead, Hal; Gales, Nick (2006): Interpreting short-term behavioural responses to disturbance within a longitudinal perspective. In *Animal Behaviour* 72 (5), pp. 1149–1158. DOI: 10.1016/j.anbehav.2006.04.003.
- Belotti E., Heurich M., Kreisinger J., Šustr P. and Bufka L. (2012): Influence of tourism and traffic on the Eurasian lynx hunting activity and daily movements. In *Animal Biodiversity and Conservation* 35 (2).
- Bernard, Guillaume E.; van Dongen, Wouter F.D.; Guay, Patrick-Jean; Symonds, Matthew R.E.; Robinson, Randall W.; Weston, Michael A. (2018): Bicycles evoke longer flight-initiation distances and higher intensity escape behaviour of some birds in parks compared with pedestrians. In *Landscape and urban planning* 178, pp. 276–280. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2018.06.006.

Bernasconi, A., Mohr, C., & Weibel, F. (2003). Herleitung von Grundlagen zur Kostenermittlung im Erholungswald am Fallbeispiel Region Bern. *Arbeitsgemeinschaft für den Wald und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Eidgenössische Forstdirektion, Bern*.

Bernasconi A., Schrott U. 2008: Loisirs et détente en forêt. Bases, instruments, exemples. Connaissance de l'environnement no 0819. Office fédéral de l'environnement, Berne. 69 p

Bernasconi, Andreas (2004): Erholung und Walddynamik: Freizeit und Erholung in der forstlichen Planung. *Arbeitsgemeinschaft für den Wald (AfW) und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Eidgenössische Forstdirektion*, 21 p.

Bernasconi, Andreas (2011): Seilparks in der Schweiz. In *Wald und Holz* (4/11).

Bernasconi, Andreas; Schrott, Urs (2003): Erholung und Walddynamik: Verhalten, Erwartungen und Zahlungsbereitschaft von Waldbesuchern in der Region Bern: *Arbeitsgemeinschaft für den Wald (AfW) und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Eidgenössische Forstdirektion*, 79 p.

Bernasconi, Andreas; Schrott, Urs; Zahnd, Christof (2003b): Erholung und Walddynamik: Belastung und Belastbarkeit der Erholungswälder in der Region Bern: *Arbeitsgemeinschaft für den Wald (AfW) und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Eidgenössische Forstdirektion*, 23 p.

Bernasconi, Andreas; Weibel, Franz; Mohr, Conradin (2003a): Erholung und Walddynamik: Herleitung von Grundlagen zur Kostenermittlung im Erholungswald am Fallbeispiel Region Bern: *Arbeitsgemeinschaft für den Wald (AfW) und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Eidgenössische Forstdirektion*, 20 p.

Bernath, K; Roschewitz, A.; Studhalter, S.; 2006: Die Wälder der Stadt Zürich als Erholungsraum. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 43 S.

Bernhardt-Römermann, Markus; Gray, Alan; Vanbergen, Adam J.; Bergès, Laurent; Böhner, Andreas; Brooker, Rob W. et al. (2011): Functional traits and local environment predict vegetation responses to disturbance: a pan-European multi-site experiment. In *Journal of Ecology* 99 (3), pp. 777–787. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2011.01794.x.

Berriozabal-Islas, Christian; Badillo-Saldaña, Luis M.; Ramírez-Bautista, Aurelio; Moreno, Claudia E. (2017): Effects of Habitat Disturbance on Lizard Functional Diversity in a Tropical Dry Forest of the Pacific Coast of Mexico. In *Tropical Conservation Science* 10, 194008291770497. DOI: 10.1177/1940082917704972.

Berthoud G., Lebeau R. P., Righetti A. 2004 : Réseau écologique national REN. Rapport final. Cahier de l'environnement no 373. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 132 p.

Bertram G. Murray Jr. (2000): Measuring Annual Reproductive Success in Birds. In *The Condor* 102, pp. 470–473.

Bielański, Mikołaj; Taczanowska, Karolina; Muhar, Andreas; Adamski, Paweł; González, Luis-Millán; Witkowski, Zbigniew (2018): Application of GPS tracking for monitoring spatially unconstrained outdoor recreational activities in protected areas – A case study of ski touring in the Tatra National Park, Poland. In *Applied Geography* 96, pp. 51–65. DOI: 10.1016/j.apgeog.2018.05.008.

Bisson, I.-A.; Butler, L. K.; Hayden, T. J.; Kelley, P.; Adelman, J. S.; Romero, L. M.; Wikelski, M. C. (2011): Energetic response to human disturbance in an endangered songbird. In *Anim Conserv* 14 (5), pp. 484–491. DOI: 10.1111/j.1469-1795.2011.00447.x.

Blanc R, Guillemain M., Mouronval J-B., Desmonts D. and Fritz H. (2006): Effects of non-consumptive leisure disturbance to wildlife. In *Rev. Ecol (Terr Vie)* 61, pp. 117–133, checked on 11/11/2019.

Blancher, Peter (2013): Estimated Number of Birds Killed by House Cats (*Felis catus*) in Canada. In *ACE* 8 (2). DOI: 10.5751/ACE-00557-080203.

Blattner, Martin, and Alain Perrenoud. *Haselhuhn und Waldbewirtschaftung*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Dokumentation, 2001.

- Blumstein, D. T.; Fernandez-Juricic, E.; Zollner, P. A.; Garity, S. C. (2005): Inter-specific variation in avian responses to human disturbance. In *Journal of Applied Ecology* 42 (5), pp. 943–953. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2005.01071.x.
- Blumstein Daniel T. (2006): Developing an evolutionary ecology of fear: how life history and natural history traits affect disturbance tolerance in birds. In *Animal Behaviour* 71 (2), pp. 389–399. DOI: 10.1016/j.anbehav.2005.05.010.
- Borzykowski, Nicolas; Baranzini, Andrea; Maradan, David (2017): A travel cost assessment of the demand for recreation in Swiss forests. In *Review of agricultural, food and environmental studies* 98 (3), pp. 149–171.
- Borzykowski, N., & Kacprzak, A. (2017). *Existe-t-il des conflits entre les fonctions de la forêt en Suisse ? : Perceptions de la population* (Cahier de recherche. CRAG - Haute école de gestion de Genève HES-SO/HEG-GE/C--17/1/1--CH). Genève: CRAG - Haute école de gestion de Genève.
- Borzykowski, Nicolas; Kacprzak, Alicja (2018): Interroger les équilibres de la multifonctionnalité dans les forêts helvétiques. Regards croisés d'experts et de la population. In *Revue Forestière Française* 5-2018, pp. 503-517.
- Bötsch, Y. (2018). *Impact of human recreational activities on forest birds* (Doctoral dissertation, University of Zurich).
- Brändli, U. B.; Ulmer, U. (2001): Recreational function. In *Swiss National Forest inventory: Methods and models of the second assessment*. Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf, pp. 254–264.
- Brändli, Urs-Beat (2010): Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der dritten Erhebung: 2004-2006: Swiss Federal Research Institute (WSL).
- Brehm, Jack W. (1966): A theory of psychological reactance: *Social psychology collection*, Academic Press, New York.
- Breman, P. (2006): Gérer les paysages forestiers—une approche élémentaire, une approche de bon sens. In *Rendez-vous techniques de l'ONF* 12, pp. 32–36.
- Brenot J.F., Catusse M., Menoni E. (1996): Effets de la station de ski de fond du Plateau de Beille (Ariège) sur une grosse population de Grand Tétrás. In *Alauda* 64, pp. 249–260.
- Brown, A. L. (1990): Measuring the effect of aircraft noise on sea birds. In *Environment International* 16 (4-6), pp. 587–592. DOI: 10.1016/0160-4120(90)90029-6.
- Bründl, M.; McAlpin, M.; Gruber, U.; Fuchs, S. (2006): Application of the marginal cost-approach and cost-benefit analysis to measures for avalanche risk reduction—A case study from Davos, Switzerland. In *RISK21-Coping with Risks Due to Natural Hazards in the 21st Century*, pp. 155–168.
- Bujoczek, Małgorzata; Ciach, Michał; Yosef, Reuven (2011): Road-kills affect avian population quality. In *Biological Conservation* 144 (3), pp. 1036–1039. DOI: 10.1016/j.biocon.2010.12.022.
- Bunkley, Jessie P.; McClure, Christopher J.W.; Kleist, Nathan J.; Francis, Clinton D.; Barber, Jesse R. (2015): Anthropogenic noise alters bat activity levels and echolocation calls. In *Global Ecology and Conservation* 3, pp. 62–71. DOI: 10.1016/j.gecco.2014.11.002.
- Burger, Joanna (2007): The behavioral response of emerging pine snakes (*Pituophis melanoleucus*) to people: implications for survival and protection. In *Urban Ecosystems* 10 (2), pp. 193–201. DOI: 10.1007/s11252-007-0019-6.
- Bürgi, A. (2011). Holzproduktion im Schweizer Wald: Potenzial und Nutzungskonflikte. In *Forum Für Wissen* (Vol. 2011, pp. 15-21).
- Burke, David J.; Knisely, Chad; Watson, Michael L.; Carrino-Kyker, Sarah R.; Mauk, Ronald L. (2016): The effects of agricultural history on forest ecological integrity as determined by a rapid forest assessment method. In *Forest Ecology and Management* 378, pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.07.004.

- Bushaw, Jacob; Ringelman, Kevin; Rohwer, Frank (2019): Applications of Unmanned Aerial Vehicles to Survey Mesocarnivores. In *Drones* 3 (1), p. 28. DOI: 10.3390/drones3010028.
- Cahler, A. A.; Marsten, J. P. (Eds.) (2012): Deer: Habitat, Behavior and Conservation. *Animal science, issues, and professions series, Nova Science*, New York.
- Caillard I. (2018): Évaluer et accroître l'attractivité des forêts de loisir pour le bien-être des visiteurs. *Thèse de Master. Haute école spécialisée bernoise, Zollikofen*.
- Callaghan C. J. (2002): The ecology of gray wolf (*Canis lupus*) habitat use, survival, and persistence in the Central Rocky Mountains, Canada. *PhD Dissertation, University of Guelph, National Library of Canada, Ottawa*.
- Callahan, Joshua, "Erosion and Trail Building: A Case Study of the East Tennessee State University Trail System." (2008). Electronic Theses and Dissertations. Paper 1952.
<https://dc.etsu.edu/etd/1952>
- Campbell, Kimberley A.; Proppe, Darren S.; Congdon, Jenna V.; Scully, Erin N.; Miscler, Shannon K.; Sturdy, Christopher B. (2019): The effects of anthropogenic noise on feeding behaviour in black-capped chickadees (*Parus atricapillus*). In *Behavioural processes* 158, pp. 53–58. DOI: 10.1016/j.beproc.2018.10.015.
- Campbell J. E. and Gibson D. J. (2001): The effect of seeds of exotic species transported via horse dung on vegetation along trail corridors. In *Plant Ecology* 157, pp. 23–35, checked on 11/11/2019.
- Canton de Vaud (2018). Plan directeur forestier de la Région Centre, Diagnostic, projet de territoire et stratégies d'action, Version pour la consultation publique. Canton de Vaud, Direction générale de l'environnement, Direction des ressources et du patrimoine naturels, Inspection cantonale des forêts.
- Canton du Jura (2018): Halte à la pratique sauvage de la moto en forêt jurassienne. *Canton du Jura*.
- Caprio E., Chamberlain D. and Rolando A. (2014): Skiing, birds and biodiversity in the Alps. In *Proceedings of the BOU's 2014 Annual Conference*, checked on 11/14/2019.
- Carson, Richard T. (2012): Contingent valuation: A practical alternative when prices aren't available. In *Journal of economic perspectives* 26 (4), pp. 27–42.
- Cederna, A., and S. Lovari. (1985): The impact of tourism on chamois feeding activities in an area of the Abruzzo National Park, Italy. *The biology and management of mountain ungulates* (1985): 216–225.
- Ceia-Hasse, Ana; Navarro, Laetitia M.; Borda-de-Água, Luís; Pereira, Henrique M. (2018): Population persistence in landscapes fragmented by roads: Disentangling isolation, mortality, and the effect of dispersal. In *Ecological Modelling* 375, pp. 45–53. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2018.01.021.
- Christie, Katherine S.; Gilbert, Sophie L.; Brown, Casey L.; Hatfield, Michael; Hanson, Leanne (2016): Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology. In *Front Ecol Environ* 14 (5), pp. 241–251. DOI: 10.1002/fee.1281.
- Ciuti, Simone; Northrup, Joseph M.; Muhly, Tyler B.; Simi, Silvia; Musiani, Marco; Pitt, Justin A.; Boyce, Mark S. (2012): Effects of humans on behaviour of wildlife exceed those of natural predators in a landscape of fear. In *PloS one* 7 (11), e50611. DOI: 10.1371/journal.pone.0050611.
- Clius, Mioara; Teleucă, Alexandra; David, Ovidiu; Moroşanu, Adrian (2012): Trail Accessibility as a Tool for Sustainable Management of Protected Areas: Case Study Ceahlău National Park, Romania. In *Procedia Environmental Sciences* 14, pp. 267–278. DOI: 10.1016/j.proenv.2012.03.026.
- Cole, David N.; Daniel, Terry C. (2003): The science of visitor management in parks and protected areas: from verbal reports to simulation models. In *Journal for Nature Conservation* 11 (4), pp. 269–277. DOI: 10.1078/1617-1381-00058.
- Cole D. N. (1995): Experimental trampling of vegetation. I. Relationship between trampling intensity and vegetation response. In *Journal of* 32, pp. 203–214.

- Coleman, Tyler H.; Schwartz, Charles C.; Gunther, Kerry A.; Creel, Scott (2013): Grizzly bear and human interaction in Yellowstone National Park: An evaluation of bear management areas. In *Jour. Wild. Mgmt.* 77 (7), pp. 1311–1320. DOI: 10.1002/jwmg.602.
- Colson, Vincent; Garcia, Serge; Rondeux, Jacques; Lejeune, Philippe (2010): Map and determinants of woodlands visiting in Wallonia. In *Urban forestry & urban greening* 9 (2), pp. 83–91.
- Conway, Tenley M.; Almas, Andrew D.; Coore, Danielle (2019): Ecosystem services, ecological integrity, and native species planting: How to balance these ideas in urban forest management? In *Urban forestry & urban greening* 41, pp. 1–5. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.03.006.
- Coppes, Joy; Braunisch, Veronika (2013): Managing visitors in nature areas: where do they leave the trails? A spatial model. In *Wildlife Biology* 19 (1), pp. 1–12.
- Coppes, Joy; Burghardt, Friedrich; Hagen, Robert; Suchant, Rudi; Braunisch, Veronika (2017): Human recreation affects spatio-temporal habitat use patterns in red deer (*Cervus elaphus*). In *PloS one* 12 (5), e0175134. DOI: 10.1371/journal.pone.0175134.
- Coppes, Joy; Ehrlicher, Judith; Thiel, Dominik; Suchant, Rudi; Braunisch, Veronika (2017): Outdoor recreation causes effective habitat reduction in capercaillie *Tetrao urogallus* : a major threat for geographically restricted populations. In *J Avian Biol* 48 (12), pp. 1583–1594. DOI: 10.1111/jav.01239.
- Coppes, Joy; Nopp-Mayr, Ursula; Grünschachner-Berger, Veronika; Storch, Ilse; Suchant, Rudi; Braunisch, Veronika (2018): Habitat suitability modulates the response of wildlife to human recreation. In *Biological Conservation* 227, pp. 56–64. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.08.018.
- Corinne Larrue, P. Knoepfel, Marion Amalric, Mathieu Bonnefond, Fabien Pousset, S. Servain-Courant, Jean-David Gerber (2010): Usages et régulation de la ressource paysage : Etudes de cas en France et en Suisse: HAFL archives-ouvertes (hal-01094628).
- Crealock, Anne, "The role of trails and trail-users in the spread of non-native plants" (2002). *Master's Theses*. 2353. DOI: <https://doi.org/10.31979/etd.7qvm-babb>
- D'Acunto L. E., Spaul R. J., Heath J. A., Zollner P. A. (2018): Simulating the success of trail closure strategies on reducing human disturbance to nesting Golden Eagles. In *The Condor* 120 (3), pp. 703–718.
- Darinot, F. (2014). Impact du sanglier (*Sus scrofa*) et de la corneille noire (*Corvus corone*) sur les prairies et l'avifaune nicheuse de la Réserve naturelle nationale du Marais de Lavours (Ain). *Publications de la Société Linnéenne de Lyon*, 3(1), 260-270.
- David F., Mionnet A., Romain Riols R. et Turret P. (2017): Plan national d'actions en faveur du Milan royal 2018-2027. *Ministère de la Transition écologique et solidaire*.
- Deda P., Ielbertzhagen I., Klussmann M. (2007): Light pollution and the impacts on biodiversity, species and their habitats. *Secretariat of the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (UNEP-CMS)*.
- Deluca, William V.; King, David I. (2014): Influence of hiking trails on montane birds. In *Jour. Wild. Mgmt.* 78 (3), pp. 494–502. DOI: 10.1002/jwmg.675.
- Franzen, Axel; Zimmermann, Willi (2000): Les attentes de la société envers la forêt suisse: enquête d'opinion: résultats d'une enquête d'opinion représentative de l'OFEFP, réalisée dans le cadre du projet Monitoring socioculturel des forêts (WaMos): *Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage*.
- Rapport annuel sur la faune (2017): *Direction générale de l'environnement du Canton de Vaud*.
- Dög, Markus; Seintsch, Björn; Rosenkranz, Lydia; Dieter, Matthias (2016): Belastungen der deutschen Forstwirtschaft aus der Schutz- und Erholungsfunktion des Waldes. In *Landbauforschung* 66 (2), pp. 71–92.
- Dominoni, D. M. (2017). Ecological effects of light pollution: how can we improve our understanding using light loggers on individual animals?. In *Ecology and Conservation of Birds In Urban Environments* (pp. 251-270). Springer, Cham.

- Drever, Mark C.; Chabot, Dominique; O'Hara, Patrick D.; Thomas, Jeffrey D.; Breault, André; Millikin, Rhonda L. (2015): Evaluation of an unmanned rotorcraft to monitor wintering waterbirds and coastal habitats in British Columbia, Canada. In *J. Unmanned Veh. Sys.* 3 (4), pp. 256–267. DOI: 10.1139/juvs-2015-0019.
- Duarte, Jesús; García, Francisco José; Fa, John E. (2016): Depredatory impact of free-roaming domestic dogs on Mediterranean deer in southern Spain: implications for human-wolf conflict. In *Folia Zoologica* 65 (2), pp. 135–141. DOI: 10.25225/fozo.v65.i2.a8.2016.
- Dunk, Andreas von der; Grêt-Regamey, Adrienne; Dalang, Thomas; Hersperger, Anna M. (2011): Defining a typology of peri-urban land-use conflicts—A case study from Switzerland. In *Landscape and urban planning* 101 (2), pp. 149–156.
- E, Stefan (2018): Statistik Heimtierpopulation 2018. *Verband für Heimtiernahrung*.
- E. Belotti; K. Mayer; J. Kreisinger; M. Heurich; L. Bufka (2018): Recreational activities affect resting site selection and foraging time of Eurasian lynx (*Lynx lynx*). In *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy* 29 (2), pp. 181–189.
- Edwards, David; Jay, Marion; Jensen, Frank; Lucas, Beatriz; Marzano, Mariella; Montagné, Claire et al. (2012): Public preferences across Europe for different forest stand types as sites for recreation. In *Ecology and Society* 17 (1).
- Edwards, David; Jay, Marion; Jensen, Frank S.; Lucas, Beatriz; Marzano, Mariella; Montagné, Claire et al. (2012): Public preferences for structural attributes of forests: Towards a pan-European perspective. In *Forest Policy and Economics* 19, pp. 12–19.
- Edwards, David; Jensen, Frank S.; Marzano, Mariella; Mason, Bill; Pizzirani, Stefania; Schelhaas, Mart-Jan (2011): A theoretical framework to assess the impacts of forest management on the recreational value of European forests. In *Ecological Indicators* 11 (1), pp. 81–89.
- Eggermann, Julia; da Costa, Gonçalo Ferrão; Guerra, Ana M.; Kirchner, Wolfgang H.; Petrucci-Fonseca, Francisco (2011): Presence of Iberian wolf (*Canis lupus signatus*) in relation to land cover, livestock and human influence in Portugal. In *Mammalian Biology* 76 (2), pp. 217–221. DOI: 10.1016/j.mambio.2010.10.010.
- Eidgenössische Forschungsanstalt WSL (Hrsg.) 2011: Der multifunktionale Wald – Konflikte und Lösungen. Forum für Wissen 2011: 58 S.
- Elmhagen, Bodil; Rushton Stephen P. (2007): Trophic control of mesopredators in terrestrial ecosystems: top-down or bottom-up? In *Ecology Letters* 10, pp. 197–206.
- Elsasser, Peter, et al. "A bibliography and database on forest benefit valuation studies from Austria, France, Germany, and Switzerland—A possible base for a concerted European approach." *Journal of Forest Economics* 15.1-2 (2009): 93-107.
- Elsasser, Peter, Jürgen Meyerhoff, and Priska Weller (2016). *An updated bibliography and database on forest ecosystem service valuation studies in Austria, Germany and Switzerland*. No. 65. Thünen Working Paper.
- Enggist-Diiblin, Peter; Ingold, Paul (2003): Modelling the impact of different forms of wildlife harassment, exemplified by a quantitative comparison of the effects of hikers and paragliders on feeding and space use of chamois *Rupicapra rupicapra*. In *Wildlife Biology* 9 (1), pp. 37–45. DOI: 10.2981/wlb.2003.006.
- Eriksson, Louise; Nordlund, Annika (2013): How is setting preference related to intention to engage in forest recreation activities? In *Urban forestry & urban greening* 12 (4), pp. 481–489.
- Eriksson, Louise; Nordlund, Annika M.; Olsson, Olof; Westin, Kerstin (2012): Recreation in different forest settings: A scene preference study. In *Forests* 3 (4), pp. 923–943.
- Fernández, Néstor; Selva, Nuria; Yuste, Carmen; Okarma, Henryk; Jakubiec, Zbigniew (2012): Brown bears at the edge: Modeling habitat constraints at the periphery of the Carpathian population. In *Biological Conservation* 153, pp. 134–142. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.04.013.

- Fernandez-Juricic, Esteban (2000): Local and Regional Effects of Pedestrians on Forest Birds in a Fragmented Landscape. In *The Condor* 102 (2), pp. 247–255, checked on 11/7/2019.
- Fernández-Juricic, E.; Tellería, J. L. (2000): Effects of human disturbance on spatial and temporal feeding patterns of Blackbird *Turdus merula* in urban parks in Madrid, Spain. In *Bird Study* 47 (1), pp. 13–21. DOI: 10.1080/00063650009461156.
- Fernandez-Juricic E., Jimenez M. D. and Lucas E. (2001): Alert distance as an alternative measure of bird tolerance to human disturbance: implications for park design. In *Environmental Conservation* 28 (3), pp. 263–269, checked on 11/19/2019.
- Fernandez-Juricic E., Vaca, Raul; Schroeder, Natalia (2004): Spatial and temporal responses of forest birds to human approaches in a protected area and implications for two management strategies. In *Biological Conservation* 117 (4), pp. 407–416. DOI: 10.1016/j.biocon.2003.02.001.
- Filla, Marc; Premier, Joseph; Magg, Nora; Dupke, Claudia; Khorozyan, Igor; Waltert, Matthias et al. (2017): Habitat selection by Eurasian lynx (*Lynx lynx*) is primarily driven by avoidance of human activity during day and prey availability during night. In *Ecology and Evolution* 7 (16), pp. 6367–6381. DOI: 10.1002/ece3.3204.
- Filyushkina, Anna; Agimass, Fitalew; Lundhede, Thomas; Strange, Niels; Jacobsen, Jette Bredahl (2017): Preferences for variation in forest characteristics: Does diversity between stands matter? In *Ecological economics* 140, pp. 22–29.
- Finger-Stich, Andréa (2006): Les populations alpines et leurs forêts communales| Alpine populations and their communal forests (reviewed paper). In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 157 (10), pp. 453–463.
- Fink J. and Schwärzli J. (2001): Alert distance as an alternative measure of bird tolerance to human disturbance: implications for park design. In *Environmental Conservation* 28 (3), pp. 263–269, checked on 11/7/2019.
- Fink J. and Schwärzli J. (2018): Untersuchung des neuen Wegekonzeptes des Nationalpark Schwarzwald. in Bezug auf störungsreduzierte Bereiche für Wildtiere. Projektarbeit, Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.
- Adrian Fischer, M. Lamprecht, H.P. Stamm (2015): Wandern in der Schweiz 2014. Hrsg. Bundesamt für Strassen und Schweizer Wanderwege, Bern.
- Foley, Jonathan A.; Defries, Ruth; Asner, Gregory P.; Barford, Carol; Bonan, Gordon; Carpenter, Stephen R. et al. (2005): Global consequences of land use. In *Science (New York, N.Y.)* 309 (5734), pp. 570–574. DOI: 10.1126/science.1111772.
- Foster, James J.; Smolka, Jochen; Nilsson, Dan-Eric; Dacke, Marie (2018): How animals follow the stars. In *Proceedings. Biological sciences* 285 (1871).
- FRAME, PAUL F.; CLUFF, H. DEAN; HIK, DAVID S. (2007): Response of Wolves to Experimental Disturbance at Homesites. In *Journal of Wildlife Management* 71 (2), pp. 316–320. DOI: 10.2193/2005-744.
- Francis, Clinton D.; Ortega, Catherine P.; Cruz, Alexander (2009): Noise pollution changes avian communities and species interactions. In *Current biology: CB* 19 (16), pp. 1415–1419. DOI: 10.1016/j.cub.2009.06.052.
- Frid, Alejandro; Dill, Lawrence M. (2002): Human-caused Disturbance Stimuli as a Form of Predation Risk. In *Conservation Ecology* 6 (1). DOI: 10.5751/ES-00404-060111.
- Bilecen, Erol; Kleiber, Oliver (2002): Erholung im Wald: Des einen Freud des andern Leid, Kosten für Waldeigentümer und deren Einflussfaktoren. Center for sustainability management, Universität Lüneburg.
- Gander H. and Ingold P. (1997): Reactions of male alpine chamois *Rupicapra r. rupicapra* to hikers, joggers and mountainbikers. In *Biological Conservation* 79, pp. 107–109.

Garcia, Serge; Jacob, Julien (2010): La valeur récréative de la forêt en France: une approche par les coûts de déplacement. In *Review of Agricultural and Environmental Studies-Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement (RAEStud)* 91 (906-2016-71148), pp. 43-71.

Gaynor, Kaitlyn M.; Hojnowski, Cheryl E.; Carter, Neil H.; Brashares, Justin S. (2018): The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. In *Science (New York, N.Y.)* 360 (6394), pp. 1232-1235. DOI: 10.1126/science.aar7121.

Geffroy, Benjamin; Samia, Diogo S. M.; Bessa, Eduardo; BLUMSTEIN, DANIEL T. (2015): How Nature-Based Tourism Might Increase Prey Vulnerability to Predators. In *Trends in Ecology & Evolution* 30 (12), pp. 755-765. DOI: 10.1016/j.tree.2015.09.010.

Geist C. Liao J., Libby S. and Blumstein D. T. (2005): Does walker group size and orientation affect flight initiation distance in birds? In *Animal Biodiversity and Conservation* 28 (1), pp. 69-73.

George, Shalene L.; Crooks, Kevin R. (2006): Recreation and large mammal activity in an urban nature reserve. In *Biological Conservation* 133 (1), pp. 107-117. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.05.024.

Georgii, B., and D. Hofer (1997). Ballonsport, Tiere und Vegetation. *Bayer. Staatsministerium f. Landesentwicklung u. Umweltfragen. Materialien Umwelt & Entwicklung* 123 (1997): 95.

Gernigon, Christèle (2002): Un guide paysager pour la forêt limousine. Office national des forêts, Cellule Forêt-paysage du Limousin.

Gerstenberg, Tina; Hofmann, Mathias (2016): Perception and preference of trees: A psychological contribution to tree species selection in urban areas. In *Urban forestry & urban greening* 15, pp. 103-111.

Giergiczny, Marek; Czajkowski, Mikołaj; Żylicz, Tomasz; Angelstam, Per (2015): Choice experiment assessment of public preferences for forest structural attributes. In *Ecological economics* 119, pp. 8-23.

Gill J. A. (2007): Approaches to measuring the effects of human disturbance on birds. In *Ibis* 149 (1), pp. 9-14.

Gill J. A., Norris K. and Sutherland A. J. (2001): Why behavioural responses may not reflect the population consequences of human disturbance. In *Biological Conservation* 97, pp. 265-268.

Goeft u. and Alder J. (2001): Sustainable Mountain Biking: A Case Study from the Southwest of Western Australia. In *Journal of sustainable tourism* 9 (3), pp. 193-211.

Gompper, Matthew Edzart (Ed.) (2014): Free-ranging dogs and wildlife conservation. First edition. Oxford United Kingdom, New York NY United State States of America: Oxford University Press.

Grahn, Patrik; Stigsdotter, Ulrika K. (2010): The relation between perceived sensory dimensions of urban green space and stress restoration. In *Landscape and urban planning* 94 (3-4), pp. 264-275.

Grêt-Regamey, Adrienne; Bebi, Peter; Bishop, Ian D.; Schmid, Willy A. (2008a): Linking GIS-based models to value ecosystem services in an Alpine region. In *Journal of Environmental Management* 89 (3), pp. 197-208.

Grêt-Regamey, Adrienne; Brunner, Sibyl; Altwegg, Juerg; Christen, Marc; Bebi, Peter (2013): Integrating expert knowledge into mapping ecosystem services trade-offs for sustainable forest management. In *Ecology and Society* 18 (3).

Grêt-Regamey, Adrienne; Walz, Ariane; Bebi, Peter (2008b): Valuing ecosystem services for sustainable landscape planning in Alpine regions. In *Mountain Research and Development* 28 (2), pp. 156-166.

Grooms, Bennett P.; Urbanek, Rachael E. (2018): Exploring the effects of non-consumptive recreation, trail use, and environmental factors on state park avian biodiversity. In *Journal of Environmental Management* 227, pp. 55-61. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.08.080.

Grooms, Bennett P. (2016). Effects of Non-Consumptive Recreation and Environmental Factors on Arkansas State Park Biodiversity. Theses from 2016. 2.

- Grubisic, M.; van Grunsven, R.H.A.; Kyba, C.C.M.; Manfrin, A.; Hölker, F. (2018): Insect declines and agroecosystems: does light pollution matter? In *Ann Appl Biol* 173 (2), pp. 180–189.
- Grünigen, Stefan von; Montanari, Daniel (2014): Erholung im Schweizer Wald: monetärer Wert und Determinanten. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 165 (5), pp. 113–120.
- Gugelmann S. (2016): Differences in Flight-Initiation Distance Between Forest Birds in Anthropogenically Disturbed and Undisturbed Forests. With assistance of Jenni L, Bötsch Y. and Holderegger R. Edited by ETH Zurich.
- Gundersen, Vegard; Helge Frivold, Lars (2011): Naturally dead and downed wood in Norwegian boreal forests: public preferences and the effect of information. In *Scandinavian journal of forest research* 26 (2), pp. 110–119.
- Guthörl V. (1994): Aktivitätsmuster von Rehen (*Capreolus capreolus* Linné, 1758) in einem Stadtwald mit starkem Erholungsverkehr. In *Z. Jagdwiss.* 40, pp. 241–252.
- Gutzwiller K.; Anderson S. H. (1999): Spatial Extent of Human-Intrusion Effects on Subalpine Bird Distributions. In *The Condor* 101, 378–189.
- Halfwerk, Wouter; Slabbekoorn, Hans (2009): A behavioural mechanism explaining noise-dependent frequency use in urban birdsong. In *Animal Behaviour* 78 (6), pp. 1301–1307. DOI: 10.1016/j.anbehav.2009.09.015.
- Hallmann, Caspar A.; Sorg, Martin; Jongejans, Eelke; Siepel, Henk; Hofland, Nick; Schwan, Heinz et al. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. In *PloS one* 12 (10), e0185809.
- Hamberg, Leena; Malmivaara-Lämsä, Minna; Lehvävirta, Susanna; O'Hara, Robert B.; Kotze, D. Johan (2010): Quantifying the effects of trampling and habitat edges on forest understory vegetation—a field experiment. In *Journal of Environmental Management* 91 (9), pp. 1811–1820. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.04.003.
- Hamr, Joseph (1988): Disturbance Behaviour of Chamois in an Alpine Tourist Area of Austria. In *Mountain Research and Development* 8 (1), p. 65.
- Han, Ke-Tsung (2007): Responses to six major terrestrial biomes in terms of scenic beauty, preference, and restorativeness. In *Environment and Behavior* 39 (4), pp. 529–556.
- Hansson, Karl; Kylvik, MART; Bell, Simon; Maikov, Kadri (2012): A preliminary assessment of preferences for Estonian natural forests. In *Baltic Forestry* 18 (2), pp. 299–315.
- Harris, Larry D. (1988): Edge effects and conservation of biotic diversity. In *Journal of Wildlife Management* 2 (4), pp. 330–332.
- Harshaw, H. W.; Sheppard, S. R.J.; Kozak, R. A. (2007): Outdoor recreation and forest management: A plea for empirical data. In *The Forestry Chronicle* 83 (2), pp. 231–238.
- Hasspacher, Beate (2007): Neue Wege im Allschwiler Wald-Erholungskonzept mit Pioniercharakter| New approaches in the forest of Allschwil—a recreation concept with pioneer character. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 158 (7), pp. 206–215.
- Hauru, Kaisa; Koskinen, Saara; Kotze, D. Johan; Lehvävirta, Susanna (2014): The effects of decaying logs on the aesthetic experience and acceptability of urban forests—implications for forest management. In *Landscape and urban planning* 123, pp. 114–123.
- Hebblewhite, Mark; Merrill, Evelyn (2008): Modelling wildlife-human relationships for social species with mixed-effects resource selection models. In *Journal of Applied Ecology* 45 (3), pp. 834–844. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2008.01466.x.
- Heer, Claudia; Rusterholz, Hans-Peter; Baur, Bruno (2003): Forest perception and knowledge of hikers and mountain bikers in two different areas in northwestern Switzerland. In *Environmental Management* 31 (6), pp. 709–723.
- Hegetschweiler, K. Tessa; Plum, Christiane; Fischer, Christoph; Brändli, Urs-Beat; Ginzler, Christian; Hunziker, Marcel (2017): Towards a comprehensive social and natural scientific forest-

recreation monitoring instrument—A prototypical approach. In *Landscape and urban planning* 167, pp. 84–97.

Hegetschweiler, K. Tessa; Rusterholz, Hans-Peter; Baur, Bruno (2007): Fire place preferences of forest visitors in northwestern Switzerland: Implications for the management of picnic sites. In *Urban forestry & urban greening* 6 (2), pp. 73–81.

Hegetschweiler, K. Tessa; van Loon, Nicole; Ryser, Annette; Rusterholz, Hans-Peter; Baur, Bruno (2009): Effects of fireplace use on forest vegetation and amount of woody debris in suburban forests in Northwestern Switzerland. In *Environmental Management* 43 (2), p. 299.

Hegetschweiler, K. Tessa; Vries, Sierp de; Arnberger, Arne; Bell, Simon; Brennan, Michael; Siter, Nathan et al. (2017): Linking demand and supply factors in identifying cultural ecosystem services of urban green infrastructures: A review of European studies. In *Urban forestry & urban greening* 21, pp. 48–59.

Heinemeyer, Kimberly; Squires, John; Hebblewhite, Mark; O'Keefe, Julia J.; Holbrook, Joseph D.; Copeland, Jeffrey (2019): Wolverines in winter: indirect habitat loss and functional responses to backcountry recreation. In *Ecosphere* 10 (2), e02611. DOI: 10.1002/ecs2.2611.

Hennings, L. (2016). The impacts of dogs on wildlife and water quality: A literature review. *Metro Parks and Nature*, April 2016. pp. 1–13.

Herbold H. (1995): Anthropogener Einfluss auf die Raumnutzung von Rehwild (*Capreolus capreolus*). In *Z. Jagdwiss.* 41, pp. 13–23.

Herbold H., Suchentrunk F., Wagner S. and Willing R. (1992): Einfluss anthropogener Störreize auf die Herzfrequenz von Rotwild (*Cervus elaphus*) und Rehwild (*Capreolus capreolus*). In *Z. Jagdwiss.* 38, pp. 145–159.

Herrera-Montes, Maria Isabel; Aide, T. Mitchell (2011): Impacts of traffic noise on anuran and bird communities. In *Urban Ecosyst* 14 (3), pp. 415–427. DOI: 10.1007/s11252-011-0158-7.

Herzog, Thomas R.; Kirk, Kristin M. (2005): Pathway curvature and border visibility as predictors of preference and danger in forest settings. In *Environment and Behavior* 37 (5), pp. 620–639.

Higham, J.E.S.; Shelton, E. J. (2011): Tourism and wildlife habituation: Reduced population fitness or cessation of impact? In *Tourism Management* 32 (6), pp. 1290–1298. DOI: 10.1016/j.tourman.2010.12.006.

Hillman, J. C.; Lovari, S. (Eds.) (1986): *The Biology and Management of Mountain Ungulates* (23).

Hofmann, Mathias; Gerstenberg, Tina; Gillner, Sten (2017): Predicting tree preferences from visible tree characteristics. In *European Journal of Forest Research* 136 (3), pp. 421–432.

Hölker, Franz; Wolter, Christian; Perkin, Elizabeth K.; Tockner, Klement (2010): Light pollution as a biodiversity threat. In *Trends in Ecology & Evolution* 25 (12), pp. 681–682. DOI: 10.1016/j.tree.2010.09.007.

Horne, Paula; Boxall, Peter C.; Adamowicz, Wiktor L. (2005): Multiple-use management of forest recreation sites: a spatially explicit choice experiment. In *Forest Ecology and Management* 207 (1–2), pp. 189–199.

Hughes, Joeline; Macdonald, David W. (2013): A review of the interactions between free-roaming domestic dogs and wildlife. In *Biological Conservation* 157, pp. 341–351. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.07.005.

Huhta, Esa; Sulkava, Pekka (2014): The impact of nature-based tourism on bird communities: a case study in Pallas-Yllästunturi National Park. In *Environmental Management* 53 (5), pp. 1005–1014. DOI: 10.1007/s00267-014-0253-7.

Hummel S., Boldt A. and Bieri Willisch K. (2014): Der Rothirsch kehrt ins Mittelland zurück : Charakterisierung von Tageslagern im Sommereinstandsgebiet. In *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern* 71, pp. 147–169.

Hunziker, Marcel; Frick, J.; Bauer, N.; Lindern, E. von; Graf, O. (2013): La population suisse et sa forêt. Rapport sur l'enquête sur le monitoring socioculturel des forêts (WaMos 2). Office fédéral

de l'environnement, Berne, et Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, Birmensdorf. *Connaissance de l'environnement* n° 1307: 92 p.

Ikuta, Laurie A.; Blumstein, D. T. (2003): Do fences protect birds from human disturbance? In *Biological Conservation* 112 (3), pp. 447–452. DOI: 10.1016/S0006-3207(02)00324-5.

Ineichen, P., Graf, R. F., & Suter, W. (2015). Habitat selection of roe deer (*Capreolus capreolus*) in a landscape of fear shaped by human recreation. *Unpublished Master thesis*. Department of Environmental System Science (D-USYS), Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zürich. *Raumverhalten des Rehs Literaturverzeichnis*.

Ingold, Karin; Zimmermann, Willi (2011): How and why forest managers adapt to socio-economic changes: a case study analysis in Swiss forest enterprises. In *Forest Policy and Economics* 13 (2), pp. 97–103.

Ingold P. (2003): Reaktionen der Wildtiere gegenüber Freizeitaktivitäten. Tagung für die Jägerschaft, 2003.

Ingold P. (2004): Freizeitaktivitäten und Wildtiere – Konflikte, Lösungen. In *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern*, pp. 76–91.

Ingold, P. (2005). Freizeitaktivitäten im Lebensraum der Alpentiere. *Haupt, Bern*, 1-516.

Ingold P., Uber B., Neuhaus P., Mainini B., Marbacher H., Schnidrig-Petrig R. and Zeller R. (1993): Tourismus und Freizeitsport im Alpenraum - ein gravierendes Problem für Wildtiere? In *Revue suisse de zoologie* 100 (3), pp. 529–545.

Jaberg C., Bohnenstengel T., Amstutz R. and Blant J-D (2006): Utilisation du milieu forestier par les chauves-souris (Mammalia: Chiroptera) du canton de Neuchâtel – implications pour la gestion sylvicole. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 157 (7), pp. 254–259.

Jay, Marion; Schraml, Ulrich (2013): Managing city forests for or in spite of recreation? Perspectives of forest managers. In *European Journal of Forest Research* 132 (1), pp. 93–105.

Jayakody, Sevvandi; Sibbald, Angela M.; Gordon, Iain J.; Lambin, Xavier (2008): Red deer *Cervus elephus* vigilance behaviour differs with habitat and type of human disturbance. In *Wildlife Biology* 14 (1), pp. 81–91. DOI: 10.2981/0909-6396(2008)14[81:RDCEVB]2.0.CO;2.

Jayakody, Sevvandi; Sibbald, Angela M.; Mayes, Robert W.; Hooper, Russell J.; Gordon, Iain J.; Lambin, Xavier (2011): Effects of human disturbance on the diet composition of wild red deer (*Cervus elaphus*). In *Eur J Wildl Res* 57 (4), pp. 939–948. DOI: 10.1007/s10344-011-0508-z.

Jiang, Guangshun; Zhang, Minghai; Ma, Jianzhang (2008): Habitat use and separation between red deer *Cervus elaphus xanthopygus* and roe deer *Capreolus pygargus bedfordi* in relation to human disturbance in the Wandashan Mountains, northeastern China. In *Wildlife Biology* 14 (1), pp. 92–100.

Jiang G., Ma J. Zhang M. and Stott P. (2009): Effects of human activities on the spatial distribution of eastern roe deer *Capreolus pygargus bedfordi* in the Lesser Khingan Mountains, northeastern China. In *Acta Theriologica* 54 (1), pp. 61–76.

Jiménez, Gerardo; Lemus, Jesús A.; Meléndez, Leandro; Blanco, Guillermo; Laiolo, Paola (2011): Dampened behavioral and physiological responses mediate birds' association with humans. In *Biological Conservation* 144 (5), pp. 1702–1711. DOI: 10.1016/j.biocon.2011.03.003.

Jokimäki, Jukka (1999): Occurrence of breeding bird species in urban parks: Effects of park structure and broad-scale variables. In *Urban Ecosystems* 3 (1), pp. 21–34. DOI: 10.1023/A:1009505418327.

Jörg E. (2019): Jagdinspektorat des Kantons Bern Jahresbericht 2018. Edited by LANAT Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern.

Jorgensen, Anna; Hitchmough, James; Calvert, Tig (2002): Woodland spaces and edges: their impact on perception of safety and preference. In *Landscape and urban planning* 60 (3), pp. 135–150.

Joslin G. and Youmans H. (Ed.) (1999): Effects of recreation on Rocky Mountain wildlife: A Review for Montana. Committee on Effects of Recreation on Wildlife, Montana Chapter of The Wildlife Society.

Kaisanlahti-Jokimäki M-L., Jokimäki J. Huhta E., Ukkola M., Helle P. and Ollila T. (2008): Territory occupancy and breeding success of the Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) around tourist destinations in northern Finland. In *Ornis Fennica* 85 (2-13).

Kangas, Annika; Rasinmäki, Jussi; Eyvindson, Kyle; Chambers, Philip (2015): A mobile phone application for the collection of opinion data for forest planning purposes. In *Environmental Management* 55 (4), pp. 961–971.

Kangas K., Luoto M., Iiantola A., Tomppo E. and Siikamäki P. (2010): Recreation-induced changes in boreal bird communities in protected areas. In *Ecological Applications* 20 (6), pp. 1775–1776.

Kaplan, Rachel; Kaplan, Stephen (1989): The experience of nature: A psychological perspective: *CUP Archive*.

Kays, Roland; Parsons, Arielle W.; Baker, Megan C.; Kalies, Elizabeth L.; Forrester, Tavis; Costello, Robert et al. (2017): Does hunting or hiking affect wildlife communities in protected areas? In *J Appl Ecol* 54 (1), pp. 242–252. DOI: 10.1111/1365-2664.12700.

Kearney, Anne R.; Bradley, Gordon A. (2011): The effects of viewer attributes on preference for forest scenes: Contributions of attitudes, knowledge, demographic factors, and stakeholder group membership. In *Environment and Behavior* 43 (2), pp. 147–181.

Kearney, Anne R.; Tilt, Jenna R.; Bradley, Gordon R. (2010): The effects of forest regeneration on preferences for forest treatments among foresters, environmentalists, and the general public. In *Journal of Forestry* 108 (5), pp. 215–229.

Kempenaers, Bart; Borgström, Pernilla; Loës, Peter; Schlicht, Emmi; Valcu, Mihai (2010): Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. In *Current biology : CB* 20 (19), pp. 1735–1739. DOI: 10.1016/j.cub.2010.08.028.

Kerbiriou, Christian; Le Viol, Isabelle; Robert, Alexandre; Porcher, Emmanuelle; Gourmelon, Françoise; Julliard, Romain (2009): Tourism in protected areas can threaten wild populations: from individual response to population viability of the chough *Pyrrhocorax pyrrhocorax*. In *Journal of Applied Ecology* 46 (3), pp. 657–665. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2009.01646.x.

Kéry, Marc; Banderet, Gabriel; Neuhaus, Martin; Weggler, Martin; Schmid, Hans; Sattler, Thomas; Parish, David (2018): Population trends of the Peregrine Falcon in Switzerland with special reference to the period 2005–2016. In *Ornis Hungarica* 26 (2), pp. 91–103. DOI: 10.1515/orhu-2018-0017.

Gutzwiller, K. J., & Anderson, S. H. (1999). Spatial extent of human-intrusion effects on subalpine bird distributions. *The Condor*, 101(2), 378–389.

KEVIN J. GUTZWILLER; Heidi A. Marcum; Henry B. Harvey; James D. Roth; STANLEY H. ANDERSON (1998): Bird Tolerance to Human Intrusion in Wyoming Montane Forests. In *The Condor* 100, pp. 519–527.

Kevin J. Gutzwiller; Richard T. Wiedenmann; Krista I. Clements; Stanley H. Anderson (1994): Effects of Human Intrusion on Song Occurrence and Singing Consistency in Subalpine Birds. In *The Auk* 111 (1), pp. 28–37.

Kienast, Felix; Degenhardt, Barbara; Weilenmann, Barbara; Wäger, Yvonne; Buchecker, Matthias (2012): GIS-assisted mapping of landscape suitability for nearby recreation. In *Landscape and urban planning* 105 (4), pp. 385–399.

Kilchling, Petra; Hansmann, Ralf; Seeland, Klaus (2009): Demand for non-timber forest products: surveys of urban consumers and sellers in Switzerland. In *Forest Policy and Economics* 11 (4), pp. 294–300.

Kissling, Marion; Hegetschweiler, K. Tessa; Rusterholz, Hans-Peter; Baur, Bruno (2009): Short-term and long-term effects of human trampling on above-ground vegetation, soil density, soil organic

matter and soil microbial processes in suburban beech forests. In *Applied soil ecology* 42 (3), pp. 303–314.

Kissling-Näf, Ingrid (1999): Grosser Wert und wenig Geld? Über die Honorierung von Waldleistungen| Highly Valuable But Hardly Remunerative? On Compensating Forest Benefits. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 150 (2), pp. 41–48.

Kitzes, Justin; Merenlender, Adina (2014): Large roads reduce bat activity across multiple species. In *PloS one* 9 (5), e96341.

Klaus S. and Augst U. (Hrsg.) (1994): Das Aussterben des Auerhuhns *Tetrao urogallus* L. im Elbsandsteingebirge. In *Schriftenreihe des Nationalparks der Sächsischen Schweiz* 2, pp. 18–46.

Kleiber, O. (2001): Valuation of recreational benefits and visitor conflicts in an urban forest. Fifth International Conference of the International Society for Ecological Economics (ISEE).

Köchli, Daniel A.; Brang, Peter (2005): Simulating effects of forest management on selected public forest goods and services: A case study. In *Forest Ecology and Management* 209 (1-2), pp. 57–68.

Köchli, Daniel Arthur (2006): Gewichtung der Ansprüche der Gesellschaft an den Wald| Prioritization of societal needs for forest products and services (reviewed paper). In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 157 (2), pp. 37–44.

Komatsu, Hikaru; Katayama, Ayumi; Hirose, Shigeki; Kume, Atsushi; Higashi, Naoko; Ogawa, Shigeru; Otsuki, Kyoichi (2007): Reduction in soil water availability and tree transpiration in a forest with pedestrian trampling. In *Agricultural and Forest Meteorology* 146 (1-2), pp. 107–114. DOI: 10.1016/j.agrformet.2007.04.014.

Konijnendijk, Cecil C. (2000): Adapting forestry to urban demands—role of communication in urban forestry in Europe. In *Landscape and urban planning* 52 (2-3), pp. 89–100.

Kortmann, Mareike; Heurich, Marco; Latifi, Hooman; Rösner, Sascha; Seidl, Rupert; Müller, Jörg; Thorn, Simon (2018): Forest structure following natural disturbances and early succession provides habitat for two avian flagship species, capercaillie (*Tetrao urogallus*) and hazel grouse (*Tetrastes bonasia*). In *Biological Conservation* 226, pp. 81–91. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.07.014.

Krimbas C. B. (2004): On fitness. In *Biology and Philosophy* 19, pp. 185–203.

Laiolo, Paola; Rolando, Antonio (2005): Forest bird diversity and ski-runs: a case of negative edge effect. In *Animal Conservation* 8 (1), pp. 9–16. DOI: 10.1017/S1367943004001611.

Langston R. H. W., Liley D., Murison G., Woodfield E. and Clarke R. T. (2007): What effects do walkers and dogs have on the distribution and productivity of breeding European Nightjar *Caprimulgus europaeus*? In *Ibis* 149 (1), pp. 27–36.

Larson, Courtney L.; Reed, Sarah E.; Merenlender, Adina M.; Crooks, Kevin R. (2016): Effects of Recreation on Animals Revealed as Widespread through a Global Systematic Review. In *PloS one* 11 (12), e0167259. DOI: 10.1371/journal.pone.0167259.

Laundre, John W.; Hernandez, Lucina; Ripple, William J. (2010): The Landscape of Fear: Ecological Implications of Being Afraid In *The Open Ecology Journal* 3 (3), pp. 1–7. DOI: 10.2174/1874213001003030001.

Legagneux, Pierre; Ducatez, Simon (2013): European birds adjust their flight initiation distance to road speed limits. In *Biology letters* 9 (5), p. 20130417. DOI: 10.1098/rsbl.2013.0417.

Lemon W. C. (1993): The energetics of lifetime reproductive success in the zebra finch *Taeniopygia guttata*. In *Physiological Zoology* 66 (6), pp. 943–963.

Lenth, Benjamin E.; Knight, Richard L.; Brennan, Mark E. (2008): The Effects of Dogs on Wildlife Communities. In *Natural Areas Journal* 28 (3), pp. 218–227. DOI: 10.3375/0885-8608(2008)28[218:TEODOW]2.0.CO;2.

Lesmerises, Frédéric; Déry, Florent; Johnson, Chris J.; St-Laurent, Martin-Hugues (2018): Spatiotemporal response of mountain caribou to the intensity of backcountry skiing. In *Biological Conservation* 217, pp. 149–156. DOI: 10.1016/j.biocon.2017.10.030.

- Lesmerises, Frédéric; Dussault, Christian; St-Laurent, Martin-Hugues (2012): Wolf habitat selection is shaped by human activities in a highly managed boreal forest. In *Forest Ecology and Management* 276, pp. 125–131. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.03.025.
- Lethlean, Hannah; van Dongen, Wouter F.D.; Kostoglou, Kristal; Guay, Patrick-Jean; Weston, Michael A. (2017): Joggers cause greater avian disturbance than walkers. In *Landscape and urban planning* 159, pp. 42–47. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2016.08.020.
- Leung, Yu-Fai; Walden-Schreiner, Chelsey; Conlon, Katharine; Miller, Anna B. (2015): A simple method for monitoring dog leash compliance behavior in parks and natural areas. In *Journal of outdoor recreation and tourism* 9, pp. 11–16. DOI: 10.1016/j.jort.2015.03.001.
- Liley, Durwyn; Clarke, Ralph T. (2003): The impact of urban development and human disturbance on the numbers of nightjar *Caprimulgus europaeus* on heathlands in Dorset, England. In *Biological Conservation* 114 (2), pp. 219–230. DOI: 10.1016/S0006-3207(03)00042-9.
- Limpert, Dana I.; Birch, Dixie I.; Scott, Michael S.; Andre, Melissa; Gillam, Erin (2007): Tree Selection and Landscape Analysis of Eastern Red Bat Day Roosts. In *Journal of Wildlife Management* 71 (2), pp. 478–486.
- Lomas, E.; Larsen, K. W.; Bishop, C. A. (2015): Persistence of Northern Pacific Rattlesnakes masks the impact of human disturbance on weight and body condition. In *Anim Conserv* 18 (6), pp. 548–556. DOI: 10.1111/acv.12208.
- Losey, S.; Wehrli, A. (2013): Forêt protectrice en Suisse. Du projet SilvaProtect-CH à la forêt protectrice harmonisée. In *et annexes. Office fédéral de l'environnement, Berne*, p. 3.
- Loss, Scott R.; Will, Tom; Marra, Peter P. (2013): The impact of free-ranging domestic cats on wildlife of the United States. In *Nature communications* 4, p. 1396. DOI: 10.1038/ncomms2380.
- Lowe, Andrew; Rogers, Amy C.; Durrant, Kate L. (2014): Effect of human disturbance on long-term habitat use and breeding success of the European Nightjar, *Caprimulgus europaeus*. In *ACE* 9 (2). DOI: 10.5751/ACE-00690-090206.
- Lozano, Jorge; Olszańska, Agnieszka; Morales-Reyes, Zebensui; Castro, Antonio A.; Malo, Aurelio F.; Moleón, Marcos et al. (2019): Human-carnivore relations: A systematic review. In *Biological Conservation* 237, pp. 480–492. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.07.002.
- Lupp, Gerd; Börtitz, Katharina; Kantelberg, Valerie; Koch, Marc; Pauleit, Stephan (2017): Management urbaner Wälder zwischen Ansprüchen der Gesellschaft und Besitzerzielen. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 168 (5), pp. 261–268.
- Lupp, Gerd; Förster, Bernhard; Kantelberg, Valerie; Markmann, Tim; Naumann, Johannes; Honert, Carolina et al. (2016): Assessing the recreation value of urban woodland using the Ecosystem Service Approach in two forests in the Munich Metropolitan Region. In *Sustainability* 8 (11), p. 1156.
- Lyndon-Gee, Francesca; Sumner, Joanna; Hu, Yang; Ciofi, Claudio; Jessop, Tim S. (2017): Abundance and genetic diversity responses of a lizard (*Eulamprus heatwolei*) to logging disturbance. In *Aust. J. Zool.* 65 (6), p. 362. DOI: 10.1071/ZO17051.
- Lyons, Mitchell; Brandis, Kate; Callaghan, Corey; McCann, Justin; Mills, Charlotte; Ryall, Sharon; Kingsford, Richard (2018): Bird interactions with drones, from individuals to large colonies. In *Australian Field Ornithology* 35, pp. 51–56. DOI: 10.1101/109926.
- M. Crausaz (2018): Le ski de randonnée se fait une place dans les stations de ski. Etude de la première année d'ouverture du rando parc de Crans-Montana : bilan et pistes d'amélioration, PhD dissertation, Haute Ecole de Gestion & Tourisme Valais.
- Macarthur R. A., Geits V. and Johnston R. H. (1982): Cardiac and behavioral response of mountain sheep to human disturbance. In *J. Wildl. Manage.* 46 (2), pp. 351–358.
- Mallord J. W., Dolmand P. M. Brown A. F., Sutherland, W. J. (2007): Linking recreational disturbance to population size in a ground-nesting passerine. In *Journal of Applied Ecology* 44 (1), pp. 185–195. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2006.01242.x.

- Mann S. L., Steidl R. J. and Dalton V. M. (2002): Effects of cave tours on breeding *Myotis velifer*. In *J. Wildl. Manage.* 66 (3), pp. 618–624.
- Manor R. and Saltz D. (2003): Impact of Human Nuisance Disturbance on Vigilance and Group Size of a Social Ungulate. In *Ecological Applications* 13 (6), pp. 1830–1834.
- Marchand, Pascal; Garel, Mathieu; Bourgoïn, Gilles; Dubray, Dominique; Maillard, Daniel; Loison, Anne (2014): Impacts of tourism and hunting on a large herbivore's spatio-temporal behavior in and around a French protected area. In *Biological Conservation* 177, pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.05.022.
- Margules, Chris R.; Pressey, Robert L. (2000): Systematic conservation planning. In *Nature* 405 (6783), p. 243.
- Marion, Jeffrey L.; Cole, David N. (1996): Spatial and temporal variation in soil and vegetation impacts on campsites. In *Ecological Applications* 6 (2), pp. 520–530.
- Marion, Jeffrey L.; Wimpey, Jeremy (2017): Assessing the influence of sustainable trail design and maintenance on soil loss. In *Journal of Environmental Management* 189, pp. 46–57. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.11.074.
- Marshall K. (2005): Capercaillie and Recreational Disturbance Study. *Unpublished report for CNPA, FCS and SNH*.
- Martin, Jodie; Basille, Mathieu; van Moorter, Bram; Kindberg, Jonas; Allainé, Dominique; Swenson, Jon E. (2010): Coping with human disturbance: spatial and temporal tactics of the brown bear (*Ursus arctos*). In *Canadian Journal of Zoology* 88 (9), pp. 875–883. DOI: 10.1139/Z10-053.
- Martinetto K. and Cugnasse J-M. (2001): Reaction Distance in Mediterranean Mouflon *Ovis gmelini musimon* x *Ovis* sp.) in the Presence of Hikers with a Dog on the Caroux Plateau (Hérault, France). In *Rev. Ecol (Terr Vie)* 56.
- Martínez-Abraín A., Oro D., Jiménez J., Stewart G., Pullin A. (2010): A systematic review of the effects of recreational activities on nesting birds of prey. In *Basic and Applied Ecology* 11 (4), pp. 312–319. DOI: 10.1016/j.baae.2009.12.011.
- Marzluff, John M.; Neatherlin, Erik (2006): Corvid response to human settlements and campgrounds: Causes, consequences, and challenges for conservation. In *Biological Conservation* 130 (2), pp. 301–314. DOI: 10.1016/j.biocon.2005.12.026.
- Mas-Collel, Whinston; Whinston, M. D.; Green, J.: JR (1995). *Microeconomic Theory*: Oxford University Press, Oxford, New York.
- Mason, J. Tate; McClure, Christopher J.W.; Barber, Jesse R. (2016): Anthropogenic noise impairs owl hunting behavior. In *Biological Conservation* 199, pp. 29–32. DOI: 10.1016/j.biocon.2016.04.009.
- McClure, Christopher J. W.; Ware, Heidi E.; Carlisle, Jay; Kaltenecker, Gregory; Barber, Jesse R. (2013): An experimental investigation into the effects of traffic noise on distributions of birds: avoiding the phantom road. In *Proceedings. Biological sciences* 280 (1773), p. 20132290. DOI: 10.1098/rspb.2013.2290.
- McIntyre, Emma; Leonard, Marty L.; Horn, Andrew G. (2014): Ambient noise and parental communication of predation risk in tree swallows, *Tachycineta bicolor*. In *Animal Behaviour* 87, pp. 85–89. DOI: 10.1016/j.anbehav.2013.10.013.
- McLeod, Emily M.; Guay, Patrick-Jean; Taysom, Alice J.; Robinson, Randall W.; Weston, Michael A. (2013): Buses, cars, bicycles and walkers: the influence of the type of human transport on the flight responses of waterbirds. In *PloS one* 8 (12), e82008. DOI: 10.1371/journal.pone.0082008.
- Meo, Isabela de; Paletto, Alessandro; Cantiani, Maria Giulia (2015): The attractiveness of forests: preferences and perceptions in a mountain community in Italy. In *Annals of Forest Research* 58 (1), pp. 145–156.

- Merkel, Flemming Ravn; Johansen, Kasper Lambert (2011): Light-induced bird strikes on vessels in Southwest Greenland. In *Marine pollution bulletin* 62 (11), pp. 2330–2336. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.08.040.
- Michael Bütler (2014): Haftung bei walddtypischen Gefahren. Rechtsprechungsübersicht und Rechtslage. Edited by Bundesamt für Umwelt (Rechtsgutachten).
- Michallet J., Gaillard J.-M., Toigo C. and Yoccoz N. G. (1999): Sélection des quartiers d'hivernage par le chamois, *Rupicapra rupicapra*, dans les massifs montagnards de l'Isère (France). In *Rev. Ecol (Terr Vie)* 54, pp. 351–363.
- Miller J. R. and Hobbs T. N. (2000): Recreational trails, human activity, and nest predation in lowland riparian areas. In *Landscape and urban planning* 50, pp. 227–236.
- Miller S. G.; Knight L. R.; Miller C. K. (2001): Wildlife Responses to Pedestrians and Dogs. In *Wildlife Society Bulletin* 29 (1), pp. 124–132.
- Miller S. G., Knight R. L. and Miller C. K. (1998): Influence of recreational trails on breeding bird communities. In *Ecological Applications* 8 (1), pp. 162–169.
- Mingyu, Yang; Hens, Luc; Xiaokun, Ou; Wulf, Robert De (2009): Impacts of recreational trampling on sub-alpine vegetation and soils in Northwest Yunnan, China. In *Acta Ecologica Sinica* 29 (3), pp. 171–175. DOI: 10.1016/j.chnaes.2009.07.005.
- Miquet (1990): Mortality in black grouse *Tetrao tetrix* due to elevated cables. In *Biological Conservation* 54 (4), pp. 349–355.
- Moen, Gro Kvelprud; Støen, Ole-Gunnar; Sahlén, Veronica; Swenson, Jon E. (2012): Behaviour of solitary adult Scandinavian brown bears (*Ursus arctos*) when approached by humans on foot. In *PloS one* 7 (2), e31699. DOI: 10.1371/journal.pone.0031699.
- Møller, Anders Pape; Tryjanowski, Piotr (2014): Direction of approach by predators and flight initiation distance of urban and rural populations of birds. In *Behavioral Ecology* 25 (4), pp. 960–966. DOI: 10.1093/beheco/aru073.
- Mollet P., Stadler B., Bollmann K. (2008): Plan d'action Grand Tétras Suisse. Programme de conservation des oiseaux en Suisse. Office fédéral de l'environnement.
- Monti, F.; Duriez, O.; Dominici, J.-M.; Sforzi, A.; Robert, A.; Fusani, L.; Grémillet, D. (2018): The price of success: integrative long-term study reveals ecotourism impacts on a flagship species at a UNESCO site. In *Anim Conserv* 21 (6), pp. 448–458. DOI: 10.1111/acv.12407.
- Monz, Christopher A.; Pickering, Catherine M.; Hadwen, Wade L. (2013): Recent advances in recreation ecology and the implications of different relationships between recreation use and ecological impacts. In *Frontiers in Ecology and the Environment* 11 (8), pp. 441–446. DOI: 10.1890/120358.
- Moore, Roger L.; Leung, Yu-Fai; Matisoff, Craig; Dorwart, Catherine; Parker, Alan (2012): Understanding users' perceptions of trail resource impacts and how they affect experiences: An integrated approach. In *Landscape and urban planning* 107 (4), pp. 343–350. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2012.06.016.
- Morant, J.; Zabala, J.; Martínez, J. E.; Zuberogoitia, I. (2018): Out of sight, out of mind? Testing the effects of overwinter habitat alterations on breeding territories of a migratory endangered species. In *Anim Conserv* 21 (6), pp. 465–473. DOI: 10.1111/acv.12412.
- Morelli, Federico; Mikula, Peter; Benedetti, Yanina; Bussièrre, Raphaël; Jerzak, Leszek; Tryjanowski, Piotr (2018): Escape behaviour of birds in urban parks and cemeteries across Europe: Evidence of behavioural adaptation to human activity. In *The Science of the total environment* 631–632, pp. 803–810. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.118.
- Morogues, Francis de; Florentin, Georges-Henri; Monchaux, Philippe; Bailly, Alain; Cacot, Emmanuel (2015): Du coût de la multifonctionnalité et de la réglementation en forêt... à une forêt «pour l'homme». In *Revue Forestière Française*.

- Morrison J. R., de Vergie W. J., Alldredge A. W., Byrne A. E. and Andree W. W. (1995): The Effects of Ski Area Expansion on Elk. In *Wildlife Society Bulletin* 23 (3), pp. 481–489.
- Moss, Robert; Leckie, Fiona; Biggins, Amanda; Poole, Tim; Baines, David; Kortland, Kenny (2014): Impacts of Human Disturbance on Capercaillie Tetrao urogallus Distribution and Demography in Scottish Woodland. In *Wildlife Biology* 20 (1), pp. 1–18. DOI: 10.2981/wlb.12065.
- Müller, Martin; Job, Hubert (2009): Managing natural disturbance in protected areas: Tourists' attitude towards the bark beetle in a German national park. In *Biological Conservation* 142 (2), pp. 375–383.
- Murgui, Enrique; Hedblom, Marcus (Eds.) (2017): Ecology and Conservation of Birds in Urban Environments. *Springer*, Switzerland.
- Musiani, Marco; Morshed Anwar, Sk.; McDermid, Gregory J.; Hebblewhite, Mark; Marceau, Danielle J. (2010): How humans shape wolf behavior in Banff and Kootenay National Parks, Canada. In *Ecological Modelling* 221 (19), pp. 2374–2387. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2010.06.019.
- Naylor, Leslie M.; J. Wisdom, Michael; G. Anthony, Robert (2009): Behavioral Responses of North American Elk to Recreational Activity. In *Journal of Wildlife Management* 73 (3), pp. 328–338. DOI: 10.2193/2008-102.
- Nellemann, Christian; Støen, Ole-Gunnar; Kindberg, Jonas; Swenson, Jon E.; Vistnes, Ingunn; Ericsson, Göran et al. (2007): Terrain use by an expanding brown bear population in relation to age, recreational resorts and human settlements. In *Biological Conservation* 138 (1-2), pp. 157–165. DOI: 10.1016/j.biocon.2007.04.011.
- Nielsen, Anders Busse; Heyman, Erik; Richnau, Gustav (2012): Liked, disliked and unseen forest attributes: Relation to modes of viewing and cognitive constructs. In *Journal of Environmental Management* 113, pp. 456–466.
- Nix, Joshua H.; Howell, Ryan G.; Hall, Lucas K.; McMillan, Brock R. (2018): The influence of periodic increases of human activity on crepuscular and nocturnal mammals: Testing the weekend effect. In *Behavioural processes* 146, pp. 16–21. DOI: 10.1016/j.beproc.2017.11.002.
- Nordström, Eva-Maria; Dolling, Ann; Skärbäck, Erik; Stoltz, Jonathan; Grahn, Patrik; Lundell, Ylva (2015): Forests for wood production and stress recovery: trade-offs in long-term forest management planning. In *European Journal of Forest Research* 134 (5), pp. 755–767.
- Oberosler, Valentina; Groff, Claudio; Iemma, Aaron; Pedrini, Paolo; Rovero, Francesco (2017): The influence of human disturbance on occupancy and activity patterns of mammals in the Italian Alps from systematic camera trapping. In *Mammalian Biology* 87, pp. 50–61. DOI: 10.1016/j.mambio.2017.05.005.
- Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (Ed.) (2018): Réseau Bécasse - Lettre d'information n° 27 - Octobre 2018.
- Ed : OFROU (2009). Construction et entretien des chemins de randonnée pédestre, Manuel. Office fédéral des routes et Suisse Rando.
- Ed : OFROU (2014). Planification du réseau de chemins de randonnée pédestre, Manuel. Office fédéral des routes et Suisse Rando.
- OFS (2017): Mobilité et transports. Statistique de poche 2017. Edited by Office fédéral de la statistique (OFS) (837-1700).
- Oggier P. (2013): Le ténia du renard: une maladie parasitaire en augmentation dans les Alpes. In *fauna vs info* 24.
- Oja, R., Soe, E., Valdmann, H., & Saarma, U. (2017). Non-invasive genetics outperforms morphological methods in faecal dietary analysis, revealing wild boar as a considerable conservation concern for ground-nesting birds. *PloS one*, 12(6).
- Olschewski, Roland; Bebi, Peter; Teich, Michaela; Hayek, Ulrike Wissen; Grêt-Regamey, Adrienne (2011): Lawinenschutz durch Wälder-Methodik und Resultate einer Zahlungsbereitschafts-analyse. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 162 (11), pp. 389–395.

- Olschewski, Roland; Bebi, Peter; Teich, Michaela; Hayek, Ulrike Wissen; Grêt-Regamey, Adrienne (2012): Avalanche protection by forests—A choice experiment in the Swiss Alps. In *Forest Policy and Economics* 17, pp. 19–24.
- Olson, Lucretia E.; Squires, John R.; Roberts, Elizabeth K.; Ivan, Jacob S.; Hebblewhite, Mark (2018): Sharing the same slope: Behavioral responses of a threatened mesocarnivore to motorized and nonmotorized winter recreation. In *Ecology and Evolution* 8 (16), pp. 8555–8572. DOI: 10.1002/ece3.4382.
- Olson, Lucretia E.; Squires, John R.; Roberts, Elizabeth K.; Miller, Aubrey D.; Ivan, Jacob S.; Hebblewhite, Mark (2017): Modeling large-scale winter recreation terrain selection with implications for recreation management and wildlife. In *Applied Geography* 86, pp. 66–91. DOI: 10.1016/j.apgeog.2017.06.023.
- Orians, Gordon H. (1980): Habitat selection: General theory and applications to human behavior. In *The evolution of human social behavior*.
- Ott W., Baur M. 2005: Der monetäre Erholungswert des Waldes. Umwelt-Materialien Nr. 193. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 68 S.
- Parent C. E. (1997): The Effects of Human Disturbance on Eastern Massasauga Rattlesnakes (*Sistrurus catmatus catenatus*) in Killbear Provincial Park, Ontario. Carleton University.
- Parker, K. L., Robbins, C. T., & Hanley, T. A. (1984). Energy expenditures for locomotion by mule deer and elk. *The Journal of Wildlife Management*, 474–488.
- Parsons, Arielle Waldstein; Bland, Christina; Forrester, Tavis; Baker-Whetton, Megan C.; Schuttler, Stephanie G.; McShea, William J. et al. (2016): The ecological impact of humans and dogs on wildlife in protected areas in eastern North America. In *Biological Conservation* 203, pp. 75–88. DOI: 10.1016/j.biocon.2016.09.001.
- Pastorella, Fabio; Giacomelli, Grazia; Meo, Isabella de; Paletto, Alessandro (2017): People's preferences for Alpine forest landscapes: results of an internet-based survey. In *Journal of Forest Research* 22 (1), pp. 36–43.
- Pater, Larry L.; Grubb, Teryl G.; Delaney, David K. (2009): Recommendations for Improved Assessment of Noise Impacts on Wildlife. In *Journal of Wildlife Management* 73 (5), pp. 788–795. DOI: 10.2193/2006-235.
- Patthey, Patrick; Wirthner, Sven; Signorell, Natalina; Arlettaz, Raphaël (2008): Impact of outdoor winter sports on the abundance of a key indicator species of alpine ecosystems. In *Journal of Applied Ecology* 45 (6), pp. 1704–1711. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2008.01547.x.
- Pavisse, Roman; Vangeluwe, Didier; Clergeau, Philippe (2019): Domestic Cat Predation on Garden Birds: An Analysis from European Ringing Programmes. In *Ardea* 107 (1), p. 103. DOI: 10.5253/arde.v107i1.a6.
- Pedrini P. and Gilberto V. (2017): Current status of the Golden Eagle *Aquila chrysaetos* in the province of Trento (central and Eastern Alps). In *Avocetta* 41, pp. 47–48, checked on 11/11/2019.
- Pęksa, Łukasz; Ciach, Michał (2015): Negative effects of mass tourism on high mountain fauna: the case of the Tatra chamois *Rupicapra rupicapra tatrica*. In *Oryx* 49 (3), pp. 500–505. DOI: 10.1017/S0030605313001269.
- Pelletier F. (2006): Effects of Tourist Activities on Ungulate Behaviour in a Mountain Protected Area. In *J. Mt. Eco.* 8, pp. 15–18.
- Perona, Arturo M.; Urios, Vicente; López-López, Pascual (2019): Holidays? Not for all. Eagles have larger home ranges on holidays as a consequence of human disturbance. In *Biological Conservation* 231, pp. 59–66. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.01.010.
- Peter Oggier Traduction: Clémence Dirac Ramohavelo (2013): Le ténia du renard: une maladie parasitaire en augmentation dans les Alpes. In *Infofaune.vs* 24, Décembre 2013, pp. 14–15.
- Petrak M. (1996): Der Mensch als Störgrösse in der Umwelt des Rothirsches (*Cervus elaphus* L. 1758). In *Z. Jagdwiss.* 42, pp. 180–194.

- Phillips G. e. and Alldredge A. W. (2013): Reproductive Success of Elk Following Disturbance by Humans during Calving Season. In *J. Wildl. Manage.* 64 (2), pp. 521–530.
- Pickering, Catherine Marina; Hill, Wendy; Newsome, David; Leung, Yu-Fai (2010): Comparing hiking, mountain biking and horse-riding impacts on vegetation and soils in Australia and the United States of America. In *Journal of Environmental Management* 91 (3), pp. 551–562. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.09.025.
- Pickering, Catherine Marina; Rossi, Sebastian; Barros, Agustina (2011): Assessing the impacts of mountain biking and hiking on subalpine grassland in Australia using an experimental protocol. In *Journal of Environmental Management* 92 (12), pp. 3049–3057. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.07.016.
- Potts, Simon G.; Biesmeijer, Jacobus C.; Kremen, Claire; Neumann, Peter; Schweiger, Oliver; Kunin, William E. (2010): Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. In *Trends in Ecology & Evolution* 25 (6), pp. 345–353.
- Potvin, Dominique A.; Mulder, Raoul A.; Parris, Kirsten M. (2014): Silvereyes decrease acoustic frequency but increase efficacy of alarm calls in urban noise. In *Animal Behaviour* 98, pp. 27–33. DOI: 10.1016/j.anbehav.2014.09.026.
- Pröbstl, U., Elands, B., & Wirth, V. (2009). Forest recreation and nature tourism in Europe: context, history, and current situation. In *European Forest Recreation and Tourism* (pp. 36-56). Taylor & Francis.
- Pröbstl, Ulrike; Wirth, Veronika; Elands, Birgit H. M.; Bell, Simon (2010): Management of recreation and nature based tourism in European forests: Springer Science & Business Media.
- Pütsch, Michael (2006): Natursport und Kommunikation: Tagungsband zum Internationalen Fachseminar "Erlebnis-Konsumgut Natur: Verehrt-Verzehrt", 10.-11.11. 2005 in Basel; Verantst. vom Bundesamt für Naturschutz, Bonn u. dem Bundesamt für Umwelt, Bern./Bearb.: Michael Pütsch: BfN.
- Pütz, Marco; Schmid, Silvio; Bernasconi, Andreas; Wolf, Brigitte (2015): Urban forestry: definition, trends und Folgerungen für die Waldakteure in der Schweiz. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 166 (4), pp. 230–237.
- Pütz, Marco; Schmid, Silvio; Bernasconi, Andreas; Wolf, Brigitte (2015): Urban forestry: definition, trends und Folgerungen für die Waldakteure in der Schweiz. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 166 (4), pp. 230–237.
- Raap, Thomas; Pinxten, Rianne; Eens, Marcel (2016): Artificial light at night disrupts sleep in female great tits (*Parus major*) during the nestling period, and is followed by a sleep rebound. In *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)* 215, pp. 125–134. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.04.100.
- Radkovic, Anna Z.; van Dongen, Wouter F. D.; Kirao, Lennox; Guay, Patrick-Jean; Weston, Michael A. (2019): Birdwatchers evoke longer escape distances than pedestrians in some African birds. In *Journal of Ecotourism* 18 (1), pp. 100–106. DOI: 10.1080/14724049.2017.1372765.
- Randler, Christoph (2006): Disturbances by dog barking increase vigilance in coots *Fulica atra*. In *Eur J Wildl Res* 52 (4), pp. 265–270. DOI: 10.1007/s10344-006-0049-z.
- Raveh, S.; van Dongen, W. F. D.; Grimm, C.; Ingold, P. (2012): Cone opsins and response of female chamois (*Rupicapra rupicapra*) to differently coloured raincoats. In *Eur J Wildl Res* 58 (5), pp. 811–819. DOI: 10.1007/s10344-012-0629-z.
- RCJU (2013) : Plan directeur cantonal des forêts. République et Canton du Jura, Département de l'Environnement et de l'Équipement, Delémont.
- Reed, Sarah E.; Merenlender, Adina M. (2008): Quiet, Nonconsumptive Recreation Reduces Protected Area Effectiveness. In *Conservation Letters* 1 (3), pp. 146–154. DOI: 10.1111/j.1755-263X.2008.00019.x.
- Reed, Sarah E.; Merenlender, Adina M. (2011): Effects of management of domestic dogs and recreation on carnivores in protected areas in northern California. In *Conservation biology : the*

Journal of the Society for Conservation Biology 25 (3), pp. 504–513. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2010.01641.x.

Reilly, M. L.; Tobler, M. W.; Sonderegger, D. L.; Beier, P. (2017): Spatial and temporal response of wildlife to recreational activities in the San Francisco Bay ecoregion. In *Biological Conservation* 207, pp. 117–126. DOI: 10.1016/j.biocon.2016.11.003.

Reimoser, Susanne (2012). Influence of anthropogenic disturbances on activity, behavior and heart rate of roe deer (*Capreolus capreolus*) and red deer (*Cervus elaphus*), in context of their daily and yearly patterns. *Deer: habitat, behaviour and conservation*. Nova Science Publishers Inc., Hauppauge: 1-95.

Remacha, Carolina; Pérez-Tris, Javier; Delgado, Juan Antonio (2011): Reducing visitors' group size increases the number of birds during educational activities: Implications for management of nature-based recreation. In *Journal of Environmental Management* 92 (6), pp. 1564–1568. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.01.006.

Rempel, Robert S.; Naylor, Brian J.; Elkie, Phil C.; Baker, Jim; Churcher, Joe; Gluck, Michael J. (2016): An indicator system to assess ecological integrity of managed forests. In *Ecological Indicators* 60, pp. 860–869. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.08.033.

Rempfler T. (2013). Raum-Zeit-System des Rothirsches im Wildnispark Zürich und dessen Umgebung. Masterarbeit. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Wädenswil. pp. 33 ohne Anhänge.

Renaud, P. C.; Verheyden-Tixier, H.; Dumont, B. (2003): Damage to saplings by red deer (*Cervus elaphus*): effect of foliage height and structure. In *Forest Ecology and Management* 181 (1-2), pp. 31–37. DOI: 10.1016/S0378-1127(03)00126-9.

Richard, Julien H.; Côté, Steeve D. (2016): Space use analyses suggest avoidance of a ski area by mountain goats. In *Jour. Wild. Mgmt.* 80 (3), pp. 387–395. DOI: 10.1002/jwmg.1028.

Riera, Pere; Signorello, Giovanni; Thiene, Mara; Mahieu, Pierre-Alexandre; Navrud, Ståle; Kaval, Pamela et al. (2012): Non-market valuation of forest goods and services: Good practice guidelines. In *Journal of Forest Economics* 18 (4), pp. 259–270.

Rikus S., Fischer A. and Lamprecht, M. (2015): Mountainbiken in der Schweiz 2014 (Pilotstudie). Sekundäranalyse von «Sport Schweiz 2014» und Erhebungen auf den Routen von Mountainbikeland Schweiz. Edited by ASTRA Bundesamt für Strassen.

Rio-Maior, Helena; Nakamura, Mônia; Álvares, Francisco; Beja, Pedro (2019): Designing the landscape of coexistence: Integrating risk avoidance, habitat selection and functional connectivity to inform large carnivore conservation. In *Biological Conservation* 235, pp. 178–188. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.04.021.

Rixen C. and Rolando A. (Ed.) (2013): The Impacts of Skiing on Mountain Environments. In book: The Impacts of Skiing and Related Winter Recreational Activities on Mountain Environments, Chapter: The Ecological Values of Mountain Environments and Wildlife, Publisher: Bentham e-Books, Editors: christian rixen, anotonio rolando, pp.3-29

Rodríguez-Prieto, Iñaki; Bennett, Victoria J.; ZOLLNER, PATRICK A.; Mycroft, Mike; List, Mike; FERNÁNDEZ-JURICIC, ESTEBAN (2014): Simulating the responses of forest bird species to multi-use recreational trails. In *Landscape and urban planning* 127, pp. 164–172. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.03.008.

Rodway-Dyer, S. J.; Walling, D. E. (2010): The use of ¹³⁷Cs to establish longer-term soil erosion rates on footpaths in the UK. In *Journal of Environmental Management* 91 (10), pp. 1952–1962. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.04.014.

Rodway-Dyer, Sue; Ellis, Nicola (2018): Combining remote sensing and on-site monitoring methods to investigate footpath erosion within a popular recreational heathland environment. In *Journal of Environmental Management* 215, pp. 68–78. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.03.030.

- Rogala, James Kimo; Hebblewhite, Mark; Whittington, Jesse; White, Cliff A.; Coleshill, Jenny; Musiani, Marco (2011): Human Activity Differentially Redistributes Large Mammals in the Canadian Rockies National Parks. In *E&S* 16 (3).
- Rolando A., Caprio E. and Negro M. (2013): The Effect of Ski-Pistes on Birds and Mammals. In Rixen C. and Rolando A. (Ed.): *The Impacts of Skiing on Mountain Environments*. In book: *The Impacts of Skiing and Related Winter Recreational Activities on Mountain Environments*, Publisher: Bentham Science, Editors: Christian Rixen, Antonio Rolando, pp.101-122
- Rolando A., Negro M., Isaia M. and Palestini C. (2013): Ground-Dwelling Arthropods and Ski-Pistes. In Rixen C. and Rolando A. (Ed.): *The Impacts of Skiing on Mountain Environments*. In book: *The Impacts of Skiing and Related Winter Recreational Activities on Mountain Environments*, Publisher: Bentham Science, Editors: Christian Rixen, Antonio Rolando, pp. 79-100.
- Romero, L. Michael; Platts, Steven H.; Schoech, Stephan J.; Wada, Haruka; Crespi, Erica; Martin, Lynn B.; Buck, C. Loren (2015): Understanding stress in the healthy animal - potential paths for progress. In *Stress (Amsterdam, Netherlands)* 18 (5), pp. 491-497. DOI: 10.3109/10253890.2015.1073255.
- Roschewitz A., Holthausen N. 2007: Wald in Wert setzen für Freizeit und Erholung. Situationsanalyse. Umwelt-Wissen Nr. 0716. Bundesamt für Umwelt, Bern. 39 S.
- Rösner, Sascha; Mussard-Forster, Emily; Lorenc, Tomáš; Müller, Jörg (2014): Recreation shapes a "landscape of fear" for a threatened forest bird species in Central Europe. In *Landscape Ecol* 29 (1), pp. 55-66. DOI: 10.1007/s10980-013-9964-z.
- Royal Society for the Protection of Birds (Ed.) (2002): The impact of human disturbance on the breeding success of nightjar *Caprimulgus europaeus* on heathlands in south Dorset, England. English Nature Research Reports 483: English Nature.
- Ruddock, M. and Whitfield, D. P. (2007): A Review of Disturbance Distances in Selected Bird Species. Edited by Natural Research (Projects) Ltd to Scottish Natural Heritage, 181.
- Rüetschi J., Stucki P., Müller P., Vicentini H., Claude F. (2012): Liste rouge Mollusques (gastéropodes et bivalves). Espèces menacées en Suisse, état 2010. Office fédéral de l'environnement, Berne, et Centre suisse de cartographie de la faune, Neuchâtel. L'environnement pratique n° 1216: 148 p.
- Rupf R., Wyttenbach M., Köchli D., Hediger M., Lauber S., Ochsner P and Graf R. (2011): Assessing the spatio-temporal pattern of winter sports activities to minimize disturbance in capercaillie habitats. In *eco.mount* 3 (2).
- Rusterholz, Hans-Peter; Baur, Bruno (2014): Bodenschäden durch Freizeitaktivitäten im Wald: Regeneration durch Einzäunen. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 165 (1), pp. 2-9.
- Rusterholz, Hans-Peter; Bilecen, Erol; Kleiber, Oliver; Hegetschweiler, K. Tessa; Baur, Bruno (2009): Intensive recreational activities in suburban forests: A method to quantify the reduction in timber value. In *Urban forestry & urban greening* 8 (2), pp. 109-116.
- Rusterholz, Hans-Peter; Stingelin, Karin; Baur, Bruno (2000): Freizeitnutzung des Allschwiler Waldes: Einfluss auf Bodenvegetation, Strauchschicht und wirbellose Tiere| Effects of Recreational Activities on the Ground Vegetation, Shrubs and Ground-Dwelling Invertebrates in the Forest of Allschwil near Basle, Switzerland. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 151 (4), pp. 117-126.
- Sami Kurki, Ari Nikula, Pekka Helle and Harto Linden (1998): Abundances of Red Fox and Pine Marten in Relation to the Composition of Boreal Forest Landscapes. In *Journal of Animal Ecology* 67, pp. 874-886.
- Samia, Diogo S. M.; Blumstein, D. T.; Díaz, Mario; Grim, Tomas; Ibáñez-Álamo, Juan Diego; Jokimäki, Jukka et al. (2017): Rural-Urban Differences in Escape Behavior of European Birds across a Latitudinal Gradient. In *Front. Ecol. Evol.* 5, p. 325. DOI: 10.3389/fevo.2017.00066.

- Sang, Åsa Ode; Knez, Igor; Gunnarsson, Bengt; Hedblom, Marcus (2016): The effects of naturalness, gender, and age on how urban green space is perceived and used. In *Urban forestry & urban greening* 18, pp. 268–276.
- SARDA-PALOMERA F.,BOTA G., VINOLO C., PALLARES O., SAZATORNIL V., BROTON L.S., RIZ S. G. and SARDA F. (2012): Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems. In *Ibis* 154, pp. 177–183.
- Schägnier, Jan Philipp; Maes, Joachim; Brander, Luke; Paracchini, Maria-Luisa; Hartje, Volkmar; Dubois, Gregoire (2017): Monitoring recreation across European nature areas: A geo-database of visitor counts, a review of literature and a call for a visitor counting reporting standard. In *Journal of outdoor recreation and tourism* 18, pp. 44–55.
- Scheffer, M.; Carpenter, S.; Foley, J. A.; Folke, C.; Walker, B. (2001): Catastrophic shifts in ecosystems. In *Nature* 413 (6856), pp. 591–596.
- Schläpfer, Felix; Waltert, Fabian; Segura, Lorena; Kienast, Felix (2015): Valuation of landscape amenities: A hedonic pricing analysis of housing rents in urban, suburban and periurban Switzerland. In *Landscape and urban planning* 141, pp. 24–40.
- Schmithüsen, Franz Josef (2000): Communal Forest Tenure in Switzerland: Towards Co-Financing Forest Management Systems. In *Working papers. International series* 2000 (8).
- Schmithüsen, Franz Josef; Kazemi, Yves (1995): Analyse des rapports entre les attitudes des gens envers la forêt et leurs attitudes envers la gestion forestière. In *Arbeitsberichte. Allgemeine Reihe/Professur Forstpolitik und Forstökonomie* 1995 (1).
- Schnidrig-Petrig R. and Ingold, P. (2001): Effects of paragliding on alpine chamois *Rupicapra rupicapra rupicapra*. In *Wildlife Biology* 7 (4), pp. 285–294.
- Scholten, Janneke; Moe, Stein R.; Hegland, Stein Joar (2018): Red deer (*Cervus elaphus*) avoid mountain biking trails. In *Eur J Wildl Res* 64 (1), p. 1226. DOI: 10.1007/s10344-018-1169-y.
- Schranz R. (2009): Effects of recreation disturbance on foraging patterns and habituation potential of Alpine wildlife: a case study of black grouse, an endangered species of timberline ecosystems. PhD Dissertation, Institute of Ecology and Evolution, Division of Conservation Biology, University of Bern.
- Scrucca, F., Severi, C., Galvan, N., & Brunori, A. (2016). A new method to assess the sustainability performance of events: Application to the 2014 World Orienteering Championship. *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 1-11.
- Seeland, Klaus; Moser, Kuno; Scheuthle, Hannah; Kaiser, Florian G. (2002): Public acceptance of restrictions imposed on recreational activities in the peri-urban Nature Reserve Sihlwald, Switzerland. In *Urban forestry & urban greening* 1 (1), pp. 49–57.
- Seibold, Sebastian; Gossner, Martin M.; Simons, Nadja K.; Blüthgen, Nico; Müller, Jörg; Ambarlı, Didem et al. (2019): Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. In *Nature* 574 (7780), pp. 671–674. DOI: 10.1038/s41586-019-1684-3.
- Seibold, Sebastian; Hempel, Anke; Piehl, Sarah; Bässler, Claus; Brandl, Roland; Rösner, Sascha; Müller, Jörg (2013): Forest vegetation structure has more influence on predation risk of artificial ground nests than human activities. In *Basic and Applied Ecology* 14 (8), pp. 687–693. DOI: 10.1016/j.baae.2013.09.003.
- Sever, Ivan; Verbič, Miroslav (2018): Providing information to respondents in complex choice studies: A survey on recreational trail preferences in an urban nature park. In *Landscape and urban planning* 169, pp. 160–177. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2017.09.003.
- Sherman, Chen; Unc, Adrian; Doniger, Tirza; Ehrlich, Rachel; Steinberger, Yosef (2019): The effect of human trampling activity on a soil microbial community at the Oulanka Natural Reserve, Finland. In *Applied soil ecology* 135, pp. 104–112. DOI: 10.1016/j.apsoil.2018.11.013.
- Sibbald, Angela Margaret; Hooper, Russell J.; McLeod, James E.; Gordon, Iain J. (2011): Responses of red deer (*Cervus elaphus*) to regular disturbance by hill walkers. In *Eur J Wildl Res* 57 (4), pp. 817–825. DOI: 10.1007/s10344-011-0493-2.

- Sidorovich, Vadim; Schnitzler, Annik; Schnitzler, Christophe; Rotenko, Irina (2017): Wolf denning behaviour in response to external disturbances and implications for pup survival. In *Mammalian Biology* 87, pp. 89–92. DOI: 10.1016/j.mambio.2016.11.011.
- Silva-Rodríguez, Eduardo A.; Sieving, Kathryn E. (2012): Domestic dogs shape the landscape-scale distribution of a threatened forest ungulate. In *Biological Conservation* 150 (1), pp. 103–110. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.03.008.
- Sime C. A. (1999): Domestic Dogs in Wildlife Habitats. In Joslin G. and Youmans H. (Ed.): Effects of recreation on Rocky Mountain wildlife: A Review for Montana.
- Smith-Castro J. R. (2008): Impacts of Recreational Trails on Breeding Birds in Forested Urban Parks. PhD Dissertation. The Ohio State University.
- Spaul, Robert J.; Heath, Julie A. (2016): Nonmotorized recreation and motorized recreation in shrub-steppe habitats affects behavior and reproduction of golden eagles (*Aquila chrysaetos*). In *Ecology and Evolution* 6 (22), pp. 8037–8049. DOI: 10.1002/ece3.2540.
- Spaul, Robert J.; Heath, Julie A. (2017): Flushing Responses of Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*) In Response To Recreation. In *The Wilson Journal of Ornithology* 129 (4), pp. 834–845. DOI: 10.1676/16-165.1.
- Stankowich, Theodore (2008): Ungulate flight responses to human disturbance: A review and meta-analysis. In *Biological Conservation* 141 (9), pp. 2159–2173. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.06.026.
- Steidl R. J. and Powell B. F. (2006): Assessing the Effects of Human Activities on Wildlife. In *The George Wright Forum* 23 (2), pp. 50–58.
- Steinmeyer, Corinna; Schielzeth, Holger; Mueller, Jakob C.; Kempenaers, Bart (2010): Variation in sleep behaviour in free-living blue tits, *Cyanistes caeruleus*: effects of sex, age and environment. In *Animal Behaviour* 80 (5), pp. 853–864. DOI: 10.1016/j.anbehav.2010.08.005.
- Sterl, P.; Brandenburg, C.; Arnberger, A. (2008): Visitors' awareness and assessment of recreational disturbance of wildlife in the Donau-Auen National Park. In *Journal for Nature Conservation* 16 (3), pp. 135–145. DOI: 10.1016/j.jnc.2008.06.001.
- Steven, Rochelle; Pickering, Catherine; Guy Castley, J. (2011): A review of the impacts of nature based recreation on birds. In *Journal of Environmental Management* 92 (10), pp. 2287–2294. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.05.005.
- Storch, Ilse (2013): Human disturbance of grouse - why and when? In *Wildlife Biology* 19 (4), pp. 390–403. DOI: 10.2981/13-006.
- Storch, Ilse; Leidenberger, Christian (2003): Tourism, mountain huts and distribution of corvids in the Bavarian Alps, Germany. In *Wildlife Biology* 9 (1), pp. 301–308. DOI: 10.2981/wlb.2003.018.
- Stucki B. (1983): Einfluss des Skitourismus auf das Verteilungsmuster der Wildtiere im Raum Grindelwald. Universität Zürich. Zoologisches Institut.
- Suchant R. and Braunisch V. (2004): Grouse and Tourism in Natura 2000 areas. Edited by Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden- Württemberg.
- Swiss Orienteering (2009). CO et environnement, Mesures pour la protection de la faune et de la flore
- Tarlow, Elisa M.; Blumstein Daniel T. (2007): Evaluating methods to quantify anthropogenic stressors on wild animals. In *Applied Animal Behaviour Science* 102 (3-4), pp. 429–451. DOI: 10.1016/j.applanim.2006.05.040.
- Taylor a. R. and Knight R. L. (2003): Wildlife responses to recreation and associated visitor perceptions. In *Ecological Applications* 13 (4), pp. 951–963.
- Taylor, K., Anderson, P., Taylor, R., Longden, K., & Fisher, P. (2005). Dogs, access and nature conservation. *English Nature Research Reports, working towards Natural England for people, places and nature*. English Nature, Peterborough.

Thematis (2019). Développement d'un avant-projet sommaire. Accueil, information, offre de visite aux points d'entrée du parc. 2019, 56 p.

Thierry, Moigneu (2005): Gérer les forêts périurbaines, Ed: Office National des Forêts.

Thomas D. W. (1995): Hibernating bats are sensitive to nontactile human disturbance. In *Journal of Mammology* 76 (3), pp. 940–946.

Thompson, Bill (2015): Recreational trails reduce the density of ground-dwelling birds in protected areas. In *Environmental Management* 55 (5), pp. 1181–1190. DOI: 10.1007/s00267-015-0458-4.

Thurston, E.; Reader, R. J. (2001): Impacts of experimentally applied mountain biking and hiking on vegetation and soil of a deciduous forest. In *Environmental Management* 27 (3), pp. 397–409. DOI: 10.1007/s002670010157.

Tolvanen, Anne; Kangas, Katja (2016): Tourism, biodiversity and protected areas--Review from northern Fennoscandia. In *Journal of Environmental Management* 169, pp. 58–66. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.12.011.

Tomczyk, Aleksandra M. (2011): A GIS assessment and modelling of environmental sensitivity of recreational trails: The case of Gorce National Park, Poland. In *Applied Geography* 31 (1), pp. 339–351. DOI: 10.1016/j.apgeog.2010.07.006.

Tomczyk, Aleksandra M.; Ewertowski, Marek (2013): Planning of recreational trails in protected areas: Application of regression tree analysis and geographic information systems. In *Applied Geography* 40, pp. 129–139. DOI: 10.1016/j.apgeog.2013.02.004.

Tomczyk, Aleksandra M.; Ewertowski, Marek (2013): Quantifying short-term surface changes on recreational trails: The use of topographic surveys and 'digital elevation models of differences' (DODs). In *Geomorphology* 183, pp. 58–72. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.08.005.

Törn, A.; Tolvanen, A.; Norokorpi, Y.; Tervo, R.; Siikamäki, P. (2009): Comparing the impacts of hiking, skiing and horse riding on trail and vegetation in different types of forest. In *Journal of Environmental Management* 90 (3), pp. 1427–1434. DOI: 10.1016/j.jenvman.2008.08.014.

Trouwborst, Arie; Somsen, Han (2019): Domestic Cats (*Felis catus*) and European Nature Conservation Law—Applying the EU Birds and Habitats Directives to a Significant but Neglected Threat to Wildlife. In *Journal of Environmental Law*. DOI: 10.1093/jel/eqz035.

Ulmer, U.; Brändli, U. B. (2010): Erholung im Schweizer Wald. Ergebnisse des dritten Landes forstinventars LFI3. In *Wald und Holz* 5 (10), pp. 3–6.

Ulrich, Roger S.; Simons, Robert F.; Losito, Barbara D.; Fiorito, Evelyn; Miles, Mark A.; Zelson, Michael (1991): Stress recovery during exposure to natural and urban environments. In *Journal of environmental psychology* 11 (3), pp. 201–230.

Ulrich M. Brendel; Rolf Eberhardt; Karen Wiesmann (2002): Conservation of the Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*); in the European Alps—a Combination of Education, Cooperation, and Modern Techniques. In *J Raptor Res.* 36, pp. 20–24.

Van den Berg, Agnes E; Jorgensen, Anna; Wilson, Edward R. (2014): Evaluating restoration in urban green spaces: Does setting type make a difference? In *Landscape and urban planning* 127, pp. 173–181.

van der Wal, René; Miller, David; Irvine, Justin; Fiorini, Stefano; Amar, Arjun; Yearley, Steven et al. (2014): The influence of information provision on people's landscape preferences: A case study on understorey vegetation of deer-browsed woodlands. In *Landscape and urban planning* 124, pp. 129–139.

van Herzele, Ann; Wiedemann, Torsten (2003): A monitoring tool for the provision of accessible and attractive urban green spaces. In *Landscape and urban planning* 63 (2), pp. 109–126.

Vas, Elisabeth; Lescroël, Amélie; Duriez, Olivier; Boguszewski, Guillaume; Grémillet, David (2015): Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines. In *Biology letters* 11 (2), p. 20140754. DOI: 10.1098/rsbl.2014.0754.

- Veríssimo, D.; Fraser, I.; Groombridge, J.; Bristol, R.; MacMillan, D. C. (2009): Birds as tourism flagship species: a case study of tropical islands. In *Animal Conservation* 12 (6), pp. 549–558. DOI: 10.1111/j.1469-1795.2009.00282.x.
- Verlič, Andrej; Arnberger, Arne; Japelj, Anže; Simončič, Primož; Pirnat, Janez (2015): Perceptions of recreational trail impacts on an urban forest walk: A controlled field experiment. In *Urban forestry & urban greening* 14 (1), pp. 89–98.
- Vistnes, Ingunn; Nellemann, Christian (2008): The matter of spatial and temporal scales: a review of reindeer and caribou response to human activity. In *Polar Biol* 31 (4), pp. 399–407. DOI: 10.1007/s00300-007-0377-9.
- Von Grünigen S., Montanari D., Ott W. (2014): Wert der Erholung im Schweizer Wald. Schätzung auf Basis des Waldmonitorings soziokulturell (WaMos 2). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1416: 46 S. Umwelt-Wissen. Edited by Bundesamt für Umwelt. Bern.
- Wang, Yiwei; Allen, Maximilian L.; Wilmers, Christopher C. (2015): Mesopredator spatial and temporal responses to large predators and human development in the Santa Cruz Mountains of California. In *Biological Conservation* 190, pp. 23–33. DOI: 10.1016/j.biocon.2015.05.007.
- Watson, Hannah; Bolton, Mark; Monaghan, Pat (2014): Out of sight but not out of harm's way: Human disturbance reduces reproductive success of a cavity-nesting seabird. In *Biological Conservation* 174 (100), pp. 127–133. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.03.020.
- Westekemper, Katharina; Reinecke, Horst; Signer, Johannes; Meißner, Marcus; Herzog, Sven; Balkenhol, Niko (2018): Stay on trails – effects of human recreation on the spatiotemporal behavior of red deer *Cervus elaphus* in a German national park. In *Wildlife Biology* 2018 (1). DOI: 10.2981/wlb.00403.
- Weston A. M.; Stankowich T. (2014): Dogs as agents of disturbance. In Matthew Edzart Gompper (Ed.): *Free-ranging dogs and wildlife conservation*. First edition. Oxford United Kingdom, New York NY United States of America: Oxford University Press, pp. 111–118.
- White D. W., Waskey M. T., Brodehl G. P. and Foti P. E. (2006): A Comparative Study of Impacts to Mountain Bike Trails in Five Common Ecological Regions of the Southwestern U.S. In *Journal of Park and Recreation Administration* 24 (2), pp. 21–41.
- Whittington, Jesse; St Clair Colleen Cassady and Mercer George (2004): Path Tortuosity and the Permeability of Roads and Trails to Wolf Movement. In *Ecological Modelling* 9 (1).
- Whittington, Jesse; St Clair Colleen Cassady and Mercer George (2005): Spatial Responses of Wolves to Roads and Trails in Mountain Valleys. In *Ecological Application* 15 (2), pp. 543–553.
- Wierzbowska, Izabela A.; Hędrzak, Magdalena; Popczyk, Bartłomiej; Okarma, Henryk; Crooks, Kevin R. (2016): Predation of wildlife by free-ranging domestic dogs in Polish hunting grounds and potential competition with the grey wolf. In *Biological Conservation* 201, pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.biocon.2016.06.016.
- Wilkes-Allemann, Jerylee; Hanewinkel, Marc; Pütz, Marco (2017): Forest recreation as a governance problem: four case studies from Switzerland. In *European Journal of Forest Research* 136 (3), pp. 511–526.
- Wilkes-Allemann, Jerylee; Ludvig, Alice (2019): The role of social innovation in negotiations about recreational infrastructure in forests—A mountain-bike case study in Switzerland. In *Forest Policy and Economics* 100, pp. 227–235.
- Wilkes-Allemann, Jerylee; Pütz, Marco; Hirschi, Christian; Fischer, Christoph (2015): Conflict situations and response strategies in urban forests in Switzerland. In *Scandinavian journal of forest research* 30 (3), pp. 204–216.
- Wilson J. P. and Seney J. P. (1994): Erosional Impact of Hikers, Horses, Motorcycles, and Off-Road Bicycles on Mountain Trails in Montana. In *Mountain Research and Development*, 14 (1), pp. 77–88.

- Wimpey, Jeremy F.; Marion, Jeffrey L. (2010): The influence of use, environmental and managerial factors on the width of recreational trails. In *Journal of Environmental Management* 91 (10), pp. 2028–2037. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.05.017.
- Winton, Stephanie A.; Taylor, Richard; Bishop, Christine A.; Larsen, Karl W. (2018): Estimating actual versus detected road mortality rates for a northern viper. In *Global Ecology and Conservation* 16, e00476. DOI: 10.1016/j.gecco.2018.e00476.
- Wisdom, Michael J.; Preisler, Haiganoush K.; Naylor, Leslie M.; Anthony, Robert G.; Johnson, Bruce K.; Rowland, Mary M. (2018): Elk responses to trail-based recreation on public forests. In *Forest Ecology and Management* 411, pp. 223–233. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.01.032.
- Wolf, Isabelle D.; Croft, David B. (2014): Impacts of tourism hotspots on vegetation communities show a higher potential for self-propagation along roads than hiking trails. In *Journal of Environmental Management* 143, pp. 173–185.
- Wolf, Isabelle D.; Hagenloh, Gerald; Croft, David B. (2013): Vegetation moderates impacts of tourism usage on bird communities along roads and hiking trails. In *Journal of Environmental Management* 129, pp. 224–234. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.07.017.
- Worthington, Roger; McCormack, Art; Mariotti, Barbara (2009): 9 Site planning and design for recreation and nature tourism. In *European Forest Recreation and Tourism: A Handbook*, p. 207.
- Yaşar Korkanç, Selma (2014): Impacts of recreational human trampling on selected soil and vegetation properties of Aladag Natural Park, Turkey. In *CATENA* 113, pp. 219–225. DOI: 10.1016/j.catena.2013.08.001.
- Yu, Huan; Kong, Bo; Du, Rong-Xiang; Shi, Ze-Ming; He, Zheng-Wei (2017): The distribution characteristics of halogen elements in soil under the impacts of geographical backgrounds and human disturbances. In *Geoderma* 305, pp. 236–249. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.06.011.
- Zandersen, Marianne; Tol, Richard S. J. (2009): A meta-analysis of forest recreation values in Europe. In *Journal of Forest Economics* 15 (1-2), pp. 109–130.
- Zaradic, Patricia A.; Pergams, Oliver R. W.; Kareiva, Peter (2009): The impact of nature experience on willingness to support conservation. In *PloS one* 4 (10), e7367. DOI: 10.1371/journal.pone.0007367.
- Zarin-Nejadan, Milad (2019): La forêt suisse entre approvisionnement en bois et multifonctionnalité (essai). In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 170 (4), pp. 202–206.
- Zarzo-Arias, Alejandra; Delgado, María del Mar; Ordiz, Andrés; García Díaz, Juan; Cañedo, David; González, Manuel A. et al. (2018): Brown bear behaviour in human-modified landscapes: The case of the endangered Cantabrian population, NW Spain. In *Global Ecology and Conservation* 16, e00499. DOI: 10.1016/j.gecco.2018.e00499.
- Zeidenitz, C., 2005: Freizeitaktivitäten in der Schweiz – wegen oder gegen Natur und Landschaft? Eine umweltpsychologische Studie zu Motiven, Einstellungen und Lenkungsstrategien. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 108 S. und 28 S. Anhang
- Zeitler A. and Georgii B. (1994): Ikarus und die Wildtiere. Grundlagenstudie zum Thema Hängegleiten, Gleitsegeln und Wildtiere. Ettal Wildbiologische Gesellschaft München e.V. 1994
- Zimmermann J-L. and Santiago S. (2019): Contribution au suivi démographique de la Bécasse des bois *Scolopax rusticola* dans le canton de Neuchâtel (Suisse). In *Aves* 56 (1), pp. 49–75.
- Zurcher A. A. and Sparks D. W. (2010): Why the Bat Did Not Cross the Road? In *Acta Chiropterologica* 12, pp. 337–340.

