

RAPPORT DE STAGE DE 4^{ème} ANNÉE

29 avril – 19 juillet 2024

UNIVERSITÉ DE PARMA

Fanny CHABBERT

Étude des effets du changements climatiques sur la séquestration du carbone et la biodiversité dans les écosystèmes alpins et les hêtraies



Sappada, 4 juillet 2024

Tuteur : Alessandro PETRAGLIA

Professeur référent : Simon LADOUCE

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont encadré lors de ce stage à l'université de Parme. Tout d'abord, je remercie vivement Alessandro Petraglia, mon tuteur de stage pour sa confiance et le savoir-faire transmis au cours de ces 3 mois de stage. Je souhaite également remercier toute l'équipe de recherche du département de botanique, T'ai Forte, Michele Carbognani, Elisa Benenito, Giorgio Chiari et Filippo Grillo. Grâce à leur encadrement, j'ai pu découvrir le fonctionnement du monde de la recherche, de la botanique et surtout, j'ai pu partager de beaux moments dans la montagne.

Ma reconnaissance va également à l'université de Tours qui m'a permis de réaliser ce stage dans une université partenaire.

Enfin, je remercie mes parents qui me soutiennent dans mes décisions, comme faire un stage à l'étranger pendant 3 mois... qui me poussent à découvrir mon environnement et qui m'offrent un précieux soutien financier.

TABLE DES MATIERES

Introduction	4
Résumé	5
Abstract	5
Le cœur du stage : Etude des écosystèmes alpins face au changement climatique	6
Warming x Drought (= réchauffement et sécheresse) 2018.....	6
Warming and/or snow removal (réchauffement et/ou retrait de la neige), 2012	8
Diversité et cooccurrence des lichens, des bryophytes et des plantes vasculaires le long des gradients environnementaux dans les écosystèmes de haute altitude, 2024	10
Mon travail au cours des 3 mois de stage	11
Etude du changement climatique sur la séquestration du carbone du hêtre <i>Fagus sylvatica</i> dans les Apennins	13
Phénologie des feuilles de <i>Fagus sylvatica</i>	13
Séquestration du carbone en hêtraies	14
Le projet INSCAPE (INcremento del sequestro del Carbonio nelle foreste dell'APPennino Emiliano)	15
Conclusion.....	19
Bibliographie	20
Table des figures	21

INTRODUCTION

Dans le cadre de ma 4^{ème} année d'études à l'école de Polytech' Tours, au département Aménagement du Territoire et Environnement, j'ai effectué un stage de 3 mois à l'Université de Parme, en Italie. Ce stage s'est déroulé du 29 avril 2024 au 19 juillet 2024.

Parme est une ville de 197 018 habitants située dans la région de Emilia-Romagna, partie Nord de l'Italie. Par sa situation géographique, à moins d'une heure de la chaîne de montagne des Apennins et à 3h des Alpes, elle offre une possibilité d'études de différents écosystèmes et biomes. En effet, l'université de Parme est investie dans diverses études, nationales tout d'abord avec l'étude des écosystèmes alpins dans la province de Sappada en partenariat avec l'université de Udina. Ou encore au Passo Gavia avec l'université de Genova étudiant les champignons.

Dans la région Emilia-Romagna, le climat est tempéré subcontinental, avec des étés chauds et humides suivis d'hivers froids et rigoureux. Ce climat prend des caractéristiques nettement océaniques dans les Apennins, tandis qu'il tend vers le sub-méditerranéen uniquement le long de la bande côtière. Dans la province de Parme, les montagnes sont presque entièrement recouvertes de forêts jusqu'à une altitude d'environ 1 500 m, où elles sont ensuite remplacées par des prairies et la bruyère. Les forêts sont composées d'arbres aux feuilles caduques et notamment de hêtraies qu'il est possible de trouver à plus de 1 500 m d'altitude.

Mon stage s'effectue avec l'équipe de recherche en botanique de l'université composée de 3 chercheur.euse.s : Alessandro Petraglia (mon tuteur de stage), T'ai Forte et Michele Carbognani. Avec eux, travaillent Elisa Benenito ayant le statut de support de recherche, n'étant pas encore en doctorat, Giorgio Chiari et Filippo Grillo, doctorants. Ensemble, ils travaillent sur plusieurs projets, notamment Alessandro Petraglia, mais leurs principales thématiques de recherche sont la séquestration du carbone par les hêtres, les effets du changement climatique sur les écosystèmes alpins et sur la phénologie des hêtres. En réalité, dans l'étude des écosystèmes alpins, ce ne sont pas vraiment les écosystèmes qui sont étudiés mais la flore, dont 26 espèces de plantes vasculaires et cryptogames.

Dans le cadre de mon stage, j'apporte un support technique à l'équipe de recherche en effectuant des tâches de laboratoire. Également, j'accompagne les chercheurs sur le terrain afin d'observer la mise en œuvre de leurs expérimentations. Le plan de ce présent rapport de stage présentera tout d'abord, l'étude du changement climatique sur les écosystèmes alpins car c'est à ce domaine, que la plus grande partie de stage a été dédiée. Ensuite, sera présentée l'étude de la séquestration du carbone par les hêtres dans les Apennins.

RESUME

Mon travail principal a consisté à trier des échantillons de plantes par espèces (environ 20 espèces)(Annexe 1), dans un laboratoire. Ces échantillons proviennent de Passo Gavia situé à 2618 m d'altitude, dans la région de Lombardie, dans les Alpes, il fait office de frontière entre la province de Brescia et la province de Sondrio (Figure 1). C'est là-bas qu'est menée une étude sur l'impact de différents traitements modélisant un réchauffement climatique, déclinée en 4 sujets de recherche différents.



FIGURE 1 : PASSO GAVIA ET EQUIPE DE TRAVAIL (22 JUIN 2024)

Ces études sont réalisées pour certaines depuis plus de 20 ans et pour d'autres depuis l'année 2024. Le travail de terrain s'établit lors de la période estivale tandis que celui de laboratoire et de rédaction s'effectue d'octobre à mai, selon les conditions météorologique. En parallèle de cette étude, le recherche de la séquestration du carbone en hêtraie est réalisé sur le reste de l'année (octobre-mai).

La présentation détaillée des expérimentations réalisées sur ces sites sera décrite dans la première partie de ce rapport.

ABSTRACT

My main job was to sort plant samples by species (about 20 species)(Appendix 1), in a laboratory. These samples come from Passo Gavia located at 2618 m above sea level, in the Lombardy region, in the Alps, it acts as a border between the province of Brescia and the province of Sondrio (Figure 1). It is there that a study is being carried out on the impact of different treatments modelling global warming, broken down into 4 different research topics.

Some of these studies have been carried out for more than 20 years and others since 2024. Fieldwork is carried out during the summer period, while laboratory and writing work is carried out from October to May, depending on weather conditions. In parallel with this study, the research of carbon sequestration in beech forests is carried out over the rest of the year (October-May).

The detailed presentation of the experiments carried out on these sites will be described in the first part of this report.

LE CŒUR DU STAGE : ÉTUDE DES ECOSYSTEMES ALPINS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La mission principale de mon stage était l'étude des écosystèmes alpins face au changement climatique. Dans cette étude, l'équipe de recherche répond à 4 sujets de recherches différents :

- Les contrôles microclimatiques et les effets du réchauffement climatique sur la floraison dans les lits de neige alpins (Carbognani et al., 2016)
- Les impacts de la sécheresse dans les prairies et les arbustes du monde entier (Smith et al., 2024)
- Réponses de la phénologie de la floraison des plantes de lit de neige à une fonte des neiges extrêmement avancée imposée expérimentalement (Petraglia et al., 2014)
- Diversité et cooccurrence des lichens, des bryophytes et des plantes vasculaires le long des gradients environnementaux dans les écosystèmes de haute altitude

Pour répondre à ces sujets de recherche, 4 expérimentations sont réalisées sur les flancs du Passo Gavia à 2 700 m d'altitude (Figure 2).

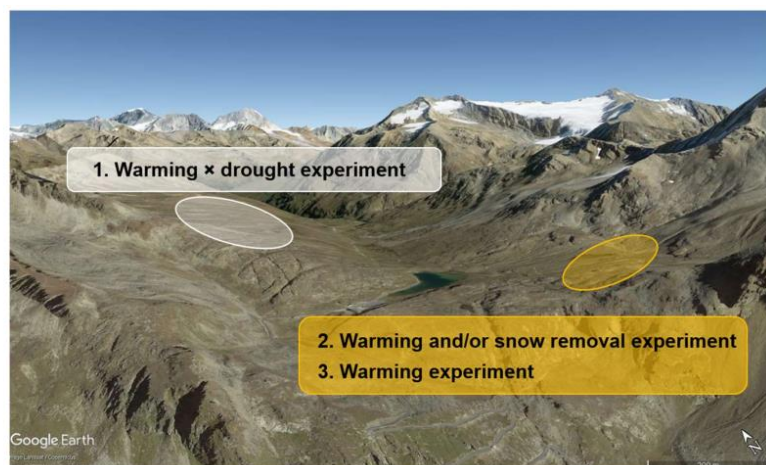


FIGURE 2 : LOCALISATION DES SITES D'ETUDES

Les expérimentations ont commencé en 2012, en 2018 et une nouvelle sur les champignons commence cette année. Néanmoins, des études sur cette zone se réalisent depuis le début des années 2000.

WARMING x DROUGHT (= RECHAUFFEMENT ET SECHERESSE) 2018

La première expérimentation est celle « Warming x drought » (=Réchauffement et sécheresse). Elle a commencé en 2018 dans une prairie alpine dominée par *Carex curvula*, de la famille des graminées. La période d'étude dépend des conditions environnementales mais généralement a lieu de juin à septembre. Le but de cette expérience est de simuler un réchauffement de température et une sécheresse, en isolant les plantes des précipitations, sur une surface d'environ 2,5 m x 1,5m.

Pour cette expérimentation il y a 4 traitements répliqués dans 6 zones donc un total de 24 plots. Les 4 traitements sont : contrôle, drought, drought + warming et warming. Les mesures réalisées sont la quantification de l'abondance de chaque espèce sur une surface de 1m², le flux de CO₂ (Figure 3A.B) et la biomasse produite. Parallèlement, afin d'évaluer le microclimat des plots, des mesures de température (sol + air), l'humidité relative et de pluviométrie sont également réalisées. L'appareil mesurant le flux de carbone utilise les infrarouges, le principe IRGA (InfraRed Gaz Analysis) consiste à faire circuler de l'air dans l'appareil cylindrique placé dans le sol vers l'IRGA, qui mesure la concentration de CO₂ au fil du temps. L'appareil enregistre les concentrations en CO₂ toutes les 5 secondes pendant 1 minute. Les mesures du flux de carbone sont effectuées à la lumière et à l'obscurité (Figure 3C.D) pendant le milieu de la journée (10h30-16h). Ainsi, des mesures de respiration de l'écosystème et de l'échange net d'écosystème (quantité entrante/quantité sortante de CO₂) ont été réalisées.



FIGURE 3 : SURFACE ETUDIEE ET APPAREIL DE MESURE DES FLUX DE CARBONE POUR L'EXPERIMENTATION WARMING AND DROUGHT (4 JUILLET 2024)

- a) vue d'ensemble du plot avec la zone de comptage de plantes. b) instrument de mesure du flux de carbone. c) mesure du flux de carbone en obscurité. d) mesure du flux de carbone en lumière.

Ensuite, afin de comparer l'impact de la sécheresse et d'un réchauffement, les toiles en plastiques (Figure 4) sont placées à différents moments : une zone de contrôle qui ne subit pas

ce traitement, une « early » ayant la toile en premier durant un temps donné, une « late » qui sera couverte lorsque la « early » sera découverte et une dernière zone couverte tout le long de l'étude. Les temps de couverture varient selon le début de l'étude, étant partie avant le début de l'expérimentation, je n'ai pas connaissance de la durée du traitement pour cette année.



FIGURE 4 : TOILE EN PLASTIQUE PERMETTANT UN RECHAUFFEMENT ET UNE IMPERMEABILISATION (24 JUILLET 2024)

En raison de la fonte très tardive de la neige, je n'ai pu assister seulement à la mise en place de l'expérimentation. Néanmoins, les résultats de la thèse de T'ai Forte de 2021 sur ce sujet montrent que ni le réchauffement ni une réduction chronique (prolongée) des précipitations n'ont été accompagnés de changements significatifs dans la production primaire nette (NPP) globale de l'écosystème cible, soit la prairie alpine. Cependant, les résultats concernant la couverture végétale et les différents composants de la NPP ont souligné que des impacts négligeables sur les fonctions clés au niveau de la communauté, n'impliquaient pas nécessairement une absence de réponse à des niveaux d'organisation inférieurs aux conditions environnementales changeantes.

En effet, les principaux taxons ont montré des réponses différentes à la réduction des précipitations lorsque la variation de la couverture végétale a été analysée, et la production souterraine a été réduite par une pluviométrie plus faible, au point de déterminer des ratios racine/partie aérienne légèrement inférieurs sous les abris. Les données ont donc révélé l'importance de considérer à la fois les compartiments aériens et souterrains lors de l'évaluation des effets du changement climatique sur les fonctions de l'écosystème, ainsi que le fait que les réponses dépendent fortement des espèces présentes au sein de la communauté.

WARMING AND/OR SNOW REMOVAL (RECHAUFFEMENT ET/OU RETRAIT DE LA NEIGE), 2012

Cette expérimentation cherche à évaluer l'impact d'un réchauffement associé ou non à une fonte de neige précoce. Pour se faire, il y a 3 traitements: control, snow removal and snow removal + warming dans deux différentes communautés soumises à la neige. Il y a donc un total de 6 blocs : 3 blocs dans la communauté *Salix* et 3 dans celle de *Polytrichastrum*. La zone d'étude mesure 1m².

Pour la réaliser, nous avons dans un premier temps, dû creuser la neige dans le but de trouver les piquets placés afin d'utiliser le même plot que l'année précédente. Malgré les distances et l'orientation connues, il était assez difficile de creuser les plus d'1m de neige et de chercher le repère au sol (Figure 5). Néanmoins, vers la mi-juillet, nous avons pu installer le plexiglass utilisé (Figure 6) pour réchauffer la zone soumise à l'étude « warming and snow removal ».



FIGURE 5 : CREUSER ET ENLEVER LA NEIGE POUR TROUVER LES REPERES AU SOL (22 JUIN 2024)



FIGURE 6 : PLEXIGLASS UTILISE POUR RECHAUFFER LA ZONE CONCERNEE (26 JUIN 2024)

Là encore, je n'ai pas pu assister à la mesure ni à l'analyse des résultats, néanmoins dans le rapport de Michele Carbognani de 2014, il a été évalué qu'un déneigement plus précoce pourrait affecter la période de l'année à laquelle se produit la floraison de plusieurs espèces sur développant sur les lits neigeux. En effet, la majorité des espèces ont montré une avancée significative ou marginalement significative de la date de pic de floraison dans le traitement AS par rapport au contrôle.

Cependant, l'intervalle de temps entre la fonte des neiges et le pic de floraison s'est allongé pour la majorité des espèces, ce qui soutient l'idée déjà avancée que, en général, la période pré florale s'allonge après une fonte des neiges avancés.

La fonte des neiges a lieu plus tard que d'habitude cette année, à la mi-juillet alors que les années précédentes, entre la mi-juin et le début de juillet le lit neigeux avait fondu. Par conséquent, cette année, les plantes se sont développées plus tardivement qu'usuellement et auront une période

de croissance plus courte : 40 jours de développement contre 60 jours en situation habituelle. La croissance des végétaux est dictée par la température et la lumière. La senescence (processus de vieillissement des cellules végétales conduisant à la mort de la plante) quant à elle est gouvernée par la photopériode, c'est-à-dire le temps d'ensoleillement durant la journée nécessaire à une plante. L'ensoleillement journalier diminue à partir de mi-août, déclenchant la senescence. Donc même si la plante commence sa croissance tard, son vieillissement peut arriver avant qu'elle n'ait pu terminer son cycle de vie.

DIVERSITE ET COOCURRENCE DES LICHENS, DES BRYOPHYTES ET DES PLANTES VASCULAIRES LE LONG DES GRADIENTS ENVIRONNEMENTAUX DANS LES ECOSYSTEMES DE HAUTE ALTITUDE, 2024

Enfin pour la dernière expérimentation étudiant la diversité et cooccurrence des lichens, des bryophytes et des plantes vasculaires le long des gradients environnementaux dans les écosystèmes de haute altitude, je n'ai pas suivi son déroulé. Néanmoins, l'objectif du projet s'inscrivant dans le cadre plus large du projet PPRIN PNRR « ACCLIMATE - Acclimation to Climate Change of Lichens in Mountain Alpine Terricolous Environments », est d'étudier la variation spatiale de la diversité des espèces de lichens, de bryophytes et de plantes vasculaires dans les écosystèmes terrestres de haute altitude.

L'étude s'appuiera sur des relevés de terrain multi-taxons à de petites échelles spatiales, dans des sites caractérisés par différents niveaux thermiques et de précipitations. Ces données, en plus de décrire la variation des communautés végétales terrestres le long des principaux gradients environnementaux, peuvent être utiles pour investiguer, à travers la cooccurrence des taxons, la présence et la direction des interactions biotiques entre les espèces et les groupes fonctionnels. De plus, ces données peuvent être utiles dans le cadre du projet ACCLIMATE pour l'interprétation des résultats des expériences sur le terrain et en laboratoire, et pour le développement de modèles prédictifs sur la dynamique future possible des lichens terrestres dans les environnements de haute altitude.

Les travaux à réaliser par le chercheur porteront, dans une première phase, sur l'acquisition et le traitement de données climatiques provenant de stations météorologiques dans les zones montagneuses et alpines (par exemple à partir de la base de données des stations météorologiques de la province de Trente) pour l'identification de sites d'échantillonnage, avec des inspections ultérieures sur le terrain pour évaluer l'adéquation des sites choisis (par exemple, en fonction des caractéristiques du substrat, du degré de perturbation et de l'accessibilité des sites). Après l'identification des sites appropriés, au cours des saisons de croissance 2024 et 2025, des relevés de végétation seront effectués dans des parcelles disposées selon des transects altitudinaux, au cours desquels des échantillons de taxons non identifiables sur le terrain seront également collectés, qui seront ensuite traités en laboratoire (en collaboration avec le Laboratoire de phytogéographie de l'Université de Florence).

MON TRAVAIL AU COURS DES 3 MOIS DE STAGE

Maintenant que les expériences ont été présentées, je peux décrire mon travail au laboratoire.

A la fin des expérimentations de 2023, des échantillons de plantes sont récoltés afin de mesurer la biomasse produite par chaque espèce selon divers traitements (contrôle, sécheresse, apport en nutriments NPK et apport en NPK+sécheresse). Une fois récoltés, les sachets contenant les plantes étaient conservés au congélateur. Ainsi, j'ai dû trier par espèce chaque échantillon, les mettre dans les récipients adaptés (Figure 8), puis les sécher au four pendant 3 jours à 40°C afin d'obtenir la masse de matière sèche (MS). A l'issue du séchage, les coupelles contenant les plantes ne devaient pas rester plus d'une minute à l'air ambiant sous risque de se réhydrater. Le moment de la pèse devait donc être rapide. Je devais peser la coupelle contenant la plante puis peser uniquement la coupelle vide afin d'obtenir la masse de MS (Figure 7).



FIGURE 8 : TRAVAIL DE TRI DES ECHANTILLONS

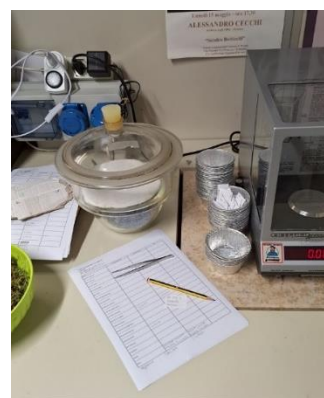


FIGURE 7 : PESEE DES COUPELLES

Une fois ceci réalisé, les données étaient saisies dans un Excel (Figure 9) présentant la date de collecte, le numéro de l'emplacement sur site, le type de traitement, les noms scientifiques des espèces collectées, la masse avec coupelle, celle de la coupelle puis la biomasse nette.

year	day	blk	trt	plot	quadrat	species	sp	pft	pft2	type	BIOMASS GROSS (g)										total biomass	dsh.mass	biomass	NET
											1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
2023	216	B1	C	B1C	A	Agrostis rup.	AR	gram	vasc	phyto	2,1745	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1745	2,1844	0,0011	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Agrostis sol.	AS	gram	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Anthoxanth.	AA	gram	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Carex curvul	CC	gram	vasc	phyto	4,3661	4,2714	3,3933	0	0	0	0	0	0	0	12,0308	6,5322	5,4986	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Festuca hal	FH	gram	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Oreochloa c	OD	gram	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Poa alpina	PA	gram	vasc	phyto	2,6096	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,6096	2,2018	0,4078	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Phleum com	PC	gram	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Avenula ver	AV	gram	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Alchemilla p	AP	forb	vasc	phyto	5,7787	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,7787	2,1967	3,582	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Euphrasia m	EM	forb	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Geum mont.	GM	forb	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Gnaphalium	GS	forb	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Leucanther	LA	forb	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Leontodon l	LH	forb	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Ligusticum r	LM	forb	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Potentilla au	PAU	forb	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Primula gluti	PG	forb	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Phyteuma h	PH	forb	vasc	phyto	3,2255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,2255	2,1904	1,0351	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Polygonum	PV	forb	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Polytrichum morto	bry	crisp	litter	2,5086	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5086	2,502	0,0066	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Polytrichum vivo	bry	crisp	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Soldanella g	SP	forb	vasc	phyto	2,659	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,659	2,2066	0,4524	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Salix herbac	SH	shrub	vasc	phyto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Biopyrenes	BRV	bry	crisp	phyto	2,2587	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2587	2,2118	0,0469	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Lichens	LICH	lich	crisp	phyto	2,546	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,546	2,4631	0,0829	0
2023	216	B1	C	B1C	A	Litter	LITTER	litter	litter	litter	6,0121	6,4658	0	0	0	0	0	0	0	0	12,4779	4,3155	8,1624	0

FIGURE 9 : EXEMPLE DE TABLE EXCEL OBTENUE SUITE A LA PESEE DES ECHANTILLONS

Par ailleurs, j'ai également saisi les données récoltées en 2023 sur le même site, concernant l'abondance des espèces (Figure 10). La fréquence d'observation était mesurée à partir de la méthode de quadrats. Sur un cadre d'1m² étaient mis en place un quadrillage afin d'effectuer le comptage au niveau des intersections des cordes. Ainsi était quantifié l'occurrence des espèces végétales soumises aux traitements NPK et NPK+sècheresse (NPKD). La présence de lichens, mousses et roches était également prise en compte.

En revanche, je n'ai pas pu voir la mise en place du traitement de fertilisation (NPK) lors de nos sorties au Passo Gavia.

year	blk	trt	Specie curvuleto	9_9	9_0	10_1	10_2	10_3	10_4	10_5	10_6	10_7	10_8	10_9	10_0	Somma
2023	B2	NPK	Agrostis rupestris All.	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	6
2023	B2	NPK	Alchemilla pentaphylla L.	0	1	2	2	1	1	2	0	2	0	2	1	90
2023	B2	NPK	Antoxanthum alpinum Love et Love	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
2023	B2	NPK	Avenula versicolor (Vill.) M. Lainz													0
2023	B2	NPK	Carex curvula All.	9	6	7	7	6	8	6	8	4	7	11	7	655
2023	B2	NPK	Euphrasia minima Jacq. ex DC.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	B2	NPK	Festuca halleri All.													0
2023	B2	NPK	Gnaphalium supinum L.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	B2	NPK	Hieracium piliferum Hoppe													0
2023	B2	NPK	Homogyne alpina													0
2023	B2	NPK	Leontodon helveticus Mérat	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	20
2023	B2	NPK	Leucanthemopsis alpina (L.) Heywood	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	B2	NPK	Ligusticum mutellina (L.) Crantz	0	0	1	1	2	1	0	0	0	0	1	0	129
2023	B2	NPK	Luzula lutea													0
2023	B2	NPK	Oreochloa disticha (Wulfen) Link													0
2023	B2	NPK	Pedicularis kernerii													0
2023	B2	NPK	Phleum commutatum Gaudin													0
2023	B2	NPK	Phyteuma hemisphaericum L.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	21
2023	B2	NPK	Poa alpina L.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101
2023	B2	NPK	Polygonum viviparum L.													0
2023	B2	NPK	Potentilla aurea L.													0
2023	B2	NPK	Primula glutinosa Wulfen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	B2	NPK	Salix herbacea L.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2023	B2	NPK	Sibbaldia procumbens L.													0
2023	B2	NPK	Soldanella pusilla Baumg.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
2023	B2	NPK	Taraxacum alpinum Hegetschw. & Her													0
2023	B2	NPK	Licheni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	B2	NPK	Muschi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	B2	NPK	Rocoe													0

FIGURE 10 : EXEMPLE DE TABLE EXCEL RECENSANT L'ABONDANCE DE CHAQUE ESPECE

Mon travail de terrain a consisté à aider à l'apport du matériel sur les sites d'études, situés à environ 30 min du parking du Passo Gavia. Également, nous avons déneigé durant plusieurs jours avant de finalement, rentrer à Parme en raison des conditions météorologiques défavorables au travail en extérieur. Enfin, lors de ma dernière semaine de stage, j'ai pu apporter mon aide à l'installation des expérimentations : creuser le sol pour délimiter les zones d'étude et stabiliser le terrain pour y installer les toits.

ETUDE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SEQUESTRATION DU CARBONE DU HETRE *FAGUS SYLVATICA* DANS LES APENNINS

L'Apennin du Nord, également appelé Apennin septentrional, relie la chaîne montagneuse aux Alpes occidentales par un col situé à 459 mètres d'altitude. Cette section de la chaîne ne compte qu'un seul massif dépassant les 2 000 mètres d'altitude : l'Apennin toscan-émilien, qui atteint son point culminant à 2 165 mètres au mont Cimone. Les montagnes, aux formes arrondies, forment une chaîne très étroite qui descend rapidement vers les collines environnantes (Figure 11). Les cols, souvent traversés par des routes, se trouvent généralement entre 700 et 1 000 mètres d'altitude. Dans la région de l'Apennin toscan-romagnol, entre la Toscane et l'Émilie-Romagne, cette partie des Apennins abrite encore de vastes forêts sauvages, notamment des hêtraies.

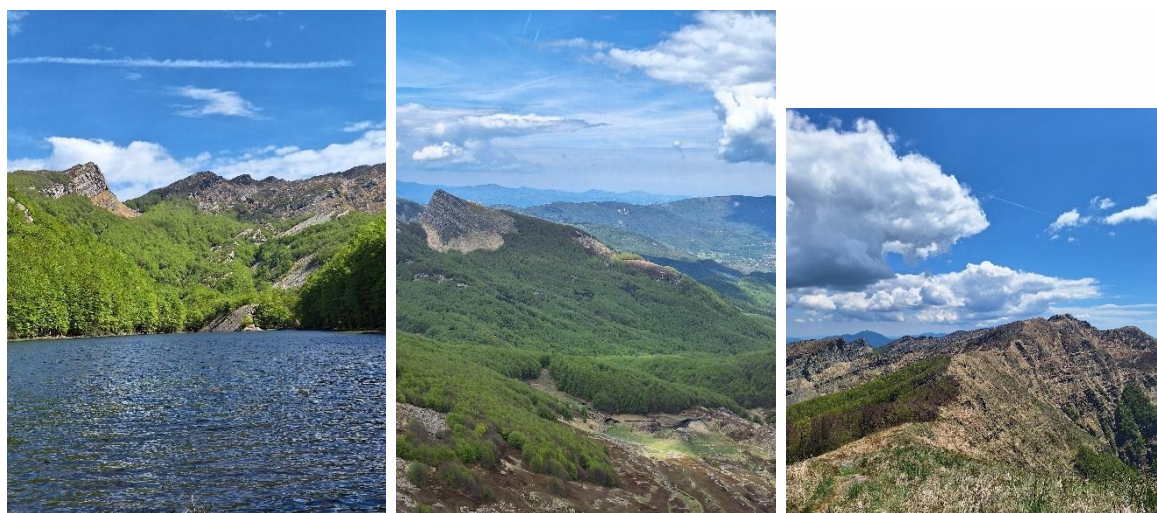


FIGURE 11 : PHOTOGRAPHIES DU PARC NATIONAL DES APENNINS TOSCO-EMILIEN (12 MAI 2024)

PHENOLOGIE DES FEUILLES DE *FAGUS SYLVATICA*

Au début de mon stage, j'ai accompagné le chercheur Alessandro Petraglia dans les Apennins où est étudié la phénologie de la feuillaison du hêtre (*Fagus sylvatica*). Il lui a été assigné le suivi de 600 individus, à différentes altitudes [1300;2000] m ; mais plus de 1 500 arbres sont étudiés par 3 autres chercheurs. Le but de ce travail est d'observer la date de feuillaison des hêtres qui est influencée par la température, variant ainsi, selon l'altitude. On estime la date à laquelle 50% des feuilles sont ouvertes et 50% sont toujours fermées (early or late). Les individus appelés « early » sont ceux qui commencent leur feuillaison les premiers, tandis que les « late » sont ceux qui la réalise plus tard. Les arbres sont étiquetés et chiffrés afin de les reconnaître (Figure 12), à l'aide des coordonnées GPS nous avons pu les trouver parmi les autres individus peuplant la forêt. Lors de nos sorties, nous souhaitions savoir depuis combien de jours 50% des feuilles de l'arbre avaient éclos par rapport à la date de notre observation, nous estimions aussi la date à laquelle ce phénomène se produirait pour les arbres dits « late ». A noter que dans la même forêt il est retrouvé des individus dont la feuillaison est réalisée plus tôt que d'autres, alors qu'ils partagent

le même environnement. Ceci est dû à la différence génotypique entre les individus. Concernant les individus « early », il a été observé des brûlures sur leurs feuilles en raison d'une vague de gel après la feuillaison. Cette observation rendait plus facile la détermination de la phénologie des feuilles de l'arbre. Ce phénomène est, de manière générale, dicté par la température.



FIGURE 12 : SORTIE DE TERRAIN AFIN D'ETUDIER LA PHENOLOGIE DES FEUILLES DE L'HÊTRE (04 MAI 2024)

SEQUESTRATION DU CARBONE EN HETRAIES

Parallèlement, j'ai pu suivre quelques expérimentations faisant partie du projet INSCAPE (augmentation de la séquestration du carbone). Ce projet a débuté au début de l'automne 2020 et est aujourd'hui officiellement terminé pour des raisons logistiques et financière, mais de manière officieuse, les relevés de terrain se poursuivent afin d'obtenir davantage de données. Ainsi, six zones ont été identifiées, dans lesquelles plus de 1500 hêtres ont été étiquetés (Figure 13). La hauteur et le diamètre de ces arbres ont été mesurés.



FIGURE 13 : IMAGE SATELLITE DES ZONES D'EXPERIMENTATION POUR ETUDIER LA SEQUESTRATION DU CARBONE PAR *FAGUS SYLVATICA*, DANS LE PARC NATIONAL DE L'APENNIN TOSCO-ÉMILIE (EN ROUGE)

LE PROJET INSCAPE (INCREMENTO DEL SEQUESTRO DEL CARBONIO NELLE FORESTE DELL'APPENNINO EMILIANO)

La description du projet ci-après a été rédigée en s'appuyant sur les informations de la page web de celui-ci.

Le projet IN.S.C.AP.E (Augmentation de la séquestration du carbone dans les forêts des Apennins Émilien) s'inscrit dans le Programme de Développement Rural de l'Émilie-Romagne 2014-2020, qui vise principalement à promouvoir le transfert de connaissances et l'innovation dans les secteurs agricole et forestier, ainsi que dans les zones rurales, dans un cadre de développement durable.



La séquestration du carbone

La réduction de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, y compris le CO₂, est l'une des priorités environnementales de notre planète. La séquestration du carbone représente une des options possibles pour diminuer le dioxyde de carbone atmosphérique. Cela se traduit par le transfert du CO₂ atmosphérique dans la biomasse végétale mais aussi à ralentir la décomposition de la matière organique libérant le carbone dans l'atmosphère.

Où peut-on séquestrer le carbone ?

Les forêts sont parmi les écosystèmes où il est possible d'augmenter les stocks de carbone. En Italie et en Europe, les forêts dominées par le hêtre sont parmi les écosystèmes forestiers les plus répandus. Les hêtraies sont également très étendues en région Émilie-Romagne au-dessus de 900 mètres d'altitude. Dans ces écosystèmes, la principale stratégie applicable consiste à augmenter la densité de carbone par unité de surface.

Comment s'effectue la séquestration du carbone ?

Sur le plan opérationnel, la séquestration du carbone peut être favorisée en augmentant le *stock de carbone* et en *réduisant les taux de décomposition* dans les principaux compartiments où le carbone est stocké : les arbres, le bois mort et le sol.

Le stock dans le compartiment épigé (la partie émergée des arbres) peut être enrichi en augmentant la croissance secondaire, c'est-à-dire l'accroissement du diamètre du tronc. Cela peut être favorisé par l'éclaircie forestière, qui consiste à réduire la compétition en éliminant certains individus. Cette méthode de gestion peut encourager le développement de peuplements inégaux, c'est-à-dire constitués d'arbres à différents stades de développement. Ainsi, cela augmente la complexité structurale de la forêt, contribuant ainsi à un accroissement supplémentaire du stock de carbone épigé.

En ce qui concerne le bois mort, cette matière est la plus appauvrie dans les forêts gérées par l'Homme. Pour des raisons historiques et sylvicoles, le bois mort dans les forêts gérées représente entre 2 % et 30 % de celui présent dans les forêts « naturelles », en raison de l'exploitation et donc l'extraction du bois mort à destination de l'utilisation

humaine. Même dans les hêtraies de l'Émilie-Romagne, les volumes estimés, autour de 8,3 m³ par hectare, sont dérisoires comparés aux données relatives à la nécromasse dans les hêtraies anciennes (environ 100 m³ par hectare au Royaume-Uni et 65 m³ par hectare en Italie). Cependant, le rôle du bois mort dans l'augmentation du stock de carbone est fondamental en raison de sa capacité à l'absorber plusieurs années après sa fin de vie. Il est identifié deux méthodes principales pour accroître la séquestration du carbone : 1) augmenter le dépôt de plantes mortes dans les environnements forestiers et 2) réduire les taux de décomposition des débris ligneux. En effet, lors de la minéralisation du bois, les substances organiques sont décomposées par les microorganismes en substances inorganiques produisant ainsi les éléments nutritifs nécessaires à la croissance des végétaux.

C'est dans ce contexte qu'est né et se développe le projet INSCAPE, qui a pour *principal objectif* « l'innovation des méthodes de gestion forestière au sein des hêtraies de l'Apennin afin de les rendre plus durables » (INSCAPE, 2020).

Objectif du projet

Dans le cadre du projet INSCAPE, de nombreux partenaires locaux travaillent dans les hêtraies des Apennins d'améliorer les méthodes de gestion dans le but d'atteindre les objectifs suivants :

- Augmenter la croissance secondaire des hêtres par un éclaircissement sélectif ;
- Accroître la quantité de carbone dans le compartiment du bois mort en laissant des arbres sur pied dans la forêt ;
- Réduire les taux de décomposition du bois mort grâce à pratiques nouvelles (comme le maintien des arbres morts en position verticale et l'empilement des débris ligneux) et à des techniques innovantes (utilisation du châtaignier, riche en tanins, pour ralentir la décomposition du hêtre) ;
- Augmenter le carbone dans les sols et réduire le taux de décomposition en les enrichissant avec du biochar, un résidu de combustion.

C'est donc dans le cadre de ce projet que j'ai pu aller sur le terrain afin de poursuivre ces études et spécialement, celle cherchant à mesurer la décomposition des arbres morts tombés au sol et de ceux restés debout. Ainsi, des cubes de bois de hêtre de 10 cm de côté sont utilisés et ont été placés au sol et à différentes hauteurs : sur les souches provenant de la coupe des arbres et sur les piles de bois à 1 m du sol, réalisées avec des troncs de hêtres et placés dans chaque traitement (Figure 14). Dans chacune des six zones expérimentales, 12 cubes ont été placés pour chaque position afin de permettre le prélèvement d'une paire de cubes après 6, 12, 18, 24, 36 et 48 mois dans le but de construire une courbe des taux de décomposition. En effet, les cubes sont récupérés, nettoyés puis séchés au four pendant 3 jours à 40°C afin de pouvoir mesurer la décomposition. Celle-ci est estimée en comparant le poids sec final des cubes avec leur poids initial, estimé au début de l'expérience.

Il a été ainsi démontré que la surélévation des cubes a permis de ralentir le phénomène de décomposition en raison d'un environnement moins humide que celui en contact avec la litière, mais aussi moins en contact avec les microorganismes décomposeurs. Cette étude a mis en évidence que les différentes techniques de stockage du bois en forêt modifient la vitesse de décomposition de cette matière.



FIGURE 14 : EXPERIMENTATION SUR LA DECOMPOSITION DU HETRE SOUS DIFFERENTES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES (24 MAI 2024)

La deuxième expérimentation à laquelle j'ai pu contribuer était celle où des disques en bois de hêtre avaient été placés dans différents milieux avec un ajout de tanin, menée par Andrea Vannini. En effet, le tanin contenu dans le châtaignier a été identifié comme ralentisseur de la dégradation du bois et donc de la matière organique. Ainsi, un tannin de synthèse a été utilisé, simulant celui du châtaignier, sur les disques de bois de hêtre. Ils ont été imbibés de ce tanin à différentes concentrations : 0%, 5%, 10%, 15% et 20%. Ces disques ont ensuite été placés à 5 cm sous le sol, sur le sol et à 5 cm au-dessus du sol, puis ont été prélevés au bout de 6 mois, 1 an, 2 ans, 3 ans et 4 ans. Une fois prélevés, ils ont été nettoyés et placés au four durant 3 jours à 40°C. Mon rôle a été de les nettoyer et de les identifier, selon le traitement qu'ils avaient perçu. Ensuite, ils ont été pesés afin de déterminer la différence de masse avant-après expérimentation et donc la variation de décomposition du bois selon le traitement reçu. La décomposition était la plus importante lorsque la concentration en tanin était la plus faible et lorsque le bois était enterré.

L'objectif de ces deux expérimentations était d'avoir des données chiffrées pour proposer des alternatives aux coupes de bois de hêtre afin de relâcher le moins possible de CO₂. Ainsi, en partageant les résultats avec les gestionnaires sylvicoles, les pratiques de coupe de hêtre pourront évoluer.

Par ailleurs, il a été testé d'anneler les troncs d'arbre pour tuer l'individu sans l'abattre, de cette manière la matière organique ne retourne pas au sol et donc ne se décompose pas, évitant ainsi de relâcher du dioxyde de carbone. Cette technique consiste à rompre le flux de la sève élaborée (circulant des feuilles vers les racines) afin d'affaiblir l'arbre (Figure 15), jusqu'à sa mort quelques

années plus tard. A noter que certains individus ont réussi à poursuivre leur développement malgré le cisaillement, dans une dernière lutte pour la vie...



FIGURE 15 : EXPERIMENTATION D'ANNELATION DES HETRES (24 MAI 2024)

CONCLUSION

Ce stage de 3 mois au sein d'une équipe de chercheurs à l'université de Parme m'a permis de découvrir le monde de la recherche en science environnementale. Le travail est dicté par les projets menés en partenariats avec diverses universités, nationales ou internationales, afin de partager les connaissances acquises, découvertes, autant lors de l'élaboration de protocole expérimentaux que lors de l'analyse des résultats. Dans ce domaine d'étude, la botanique, le travail est régi par le développement de la végétation étudiée et donc, par le climat. Également, pour mener à bien ces études, la recherche de financement est un paramètre important et donc pour cela, il faut justifier la pertinence de l'étude. Néanmoins, j'ai pu observer que parfois, malgré la suspension de financement, la conviction et l'envie d'effectuer un travail rigoureux sont tellement fortes que les chercheurs poursuivent l'étude ; c'est le cas par exemple avec le projet INSCAPE. Dans cette même dynamique de travail, le temps investi et les horaires ne doivent pas être des facteurs limitants ; en effet il est arrivé de travailler de nuit, de se lever très tôt et de rentrer tard pour aller sur le terrain et avoir un temps de travail optimal (autant dans un sens de durée que météorologique).

Néanmoins, il m'est apparu que ce n'est pas parce que nous sommes un.e botaniste que nous sommes une personne « respectueuse de l'environnement ». Par cette expression, je veux dire avoir un comportement responsable : savoir gérer sa consommation d'eau, d'électricité et savoir remettre en question son mode de consommation. Malgré l'importance et la pertinence de réaliser des études sur les écosystèmes alpins, il me semble que pour les préserver au mieux, il faut préserver la planète, non ?

Par conséquent, le fait de réaliser des projets plutôt que des études me paraît un travail plus concret si l'on souhaite préserver notre environnement. C'est pourquoi, grâce à ce stage et aux expériences que j'ai pu vivre à travers ces 3 mois, mon orientation professionnelle future se tournera vers le métier d'ingénieure plutôt que de chercheuse. Effectivement, j'espère pouvoir mener des projets pouvant changer nos villes, nos moyens de déplacement, inciter à nous questionner sur nos modes de vie, en étant au contact des citoyen.ne.s, choses qui ne me semble pas corrélées avec un travail de chercheuse. De mon point de vue, les papiers rédigés et publiés auront plus de poids si des personnes les lisent et les utilisent pour faire évoluer notre environnement, plutôt que de continuer à les rédiger pour enrichir les connaissances existantes.

BIBLIOGRAPHIE

Carbognani, M., Bernareggi, G., Perucco, F., Tomaselli, M., & Petraglia, A. (2016). Micro-climatic controls and warming effects on flowering time in alpine snowbeds. *Oecologia*, 182(2), 573-585. <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3669-3>

Forte, T. G. W. (2021). *ALPINE TUNDRA AND CLIMATE CHANGE: EFFECTS OF SUMMER WARMING AND REDUCED PRECIPITATION ON ECOSYSTEM FUNCTIONS IN A CAREX CURVULA GRASSLAND*.

Petraglia, A., Tomaselli, M., Petit Bon, M., Delnevo, N., Chiari, G., & Carbognani, M. (2014). Responses of flowering phenology of snowbed plants to an experimentally imposed extreme advanced snowmelt. *Plant Ecology*, 215(7), 759-768. <https://doi.org/10.1007/s11258-014-0368-1>

Progetto. (s. d.). Inscape. Consulté 14 août 2024, à l'adresse <http://inscape.unipr.it/it/progetto/42/>

Smith, M. D., Wilkins, K. D., Holdrege, M. C., Wilfahrt, P., Collins, S. L., Knapp, A. K., Sala, O. E., Dukes, J. S., Phillips, R. P., Yahdjian, L., Gherardi, L. A., Ohlert, T., Beier, C., Fraser, L. H., Jentsch, A., Loik, M. E., Maestre, F. T., Power, S. A., Yu, Q., ... Zuo, X. (2024). Extreme drought impacts have been underestimated in grasslands and shrublands globally. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(4), e2309881120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2309881120>

TABLE DES FIGURES

Figure	Titre	Page	Source
1	Passo gavia et équipe de travail	5	Personnelle
2	Localisation des sites d'études	6	Université de Parme
3	Surface étudiée et appareil de mesure des flux de carbone pour l'expérimentation warming and drought	7	Personnelle
4	Toile en plastique permettant un réchauffement et une imperméabilisation	8	Filippo Grillo
5	Creuser et enlever la neige pour trouver les repères au sol (22 juin 2024)	9	Personnelle
6	Plexiglass utilise pour réchauffer la zone concernée	9	
7	Pesée des coupelles	11	
8	Travail de tri des échantillons	11	
9	Exemple de table Excel obtenue suite à la pesée des échantillons	12	
10	Exemple de table Excel recensant l'abondance de chaque espèce	12	
11	Photographies du parc national des Apennins Tosco-Emilien	13	
12	Sortie de terrain afin d'étudier la phénologie des feuilles de l'hêtre	14	INSCAPE Project
13	Image satellite des zones d'expérimentation pour étudier la séquestration du carbone par <i>Fagus sylvatica</i> , dans le Parc National de l'Apennin Tosco-Émilien (en rouge)	14	
14	Expérimentation sur la décomposition du hêtre sous différentes conditions environnementales	17	Personnelle
15	Expérimentation d'annellation des hêtres	18	

ANNEXE 1 : TABLEAU RECAPITULATIF DES ESPECES TRIEES A PARTIR DES ECHANTILLONS RECOLTES
DANS LES ALPES, AU PASSO GAVIA, EN 2023

Nom scientifique	Nom commun français
<i>Agrostis rupestris</i>	Agrostide des rochers
<i>Anthoxanthum alpinum</i>	Flouve des Alpes
<i>Carex curvula</i>	Laîche courbée
<i>Oreochloa disticha</i>	Oréochloa à feuilles distique
<i>Poa alpina</i>	Pâturin des Alpes
<i>Alchemilla pentaphyllea</i>	Alchémille à cinq folioles
<i>Euphrasia minima</i>	Euphrase naine
<i>Gnaphalium supinum</i>	Gnaphale nain
<i>Leucanthemopsis alpina</i>	Marguerite des Alpes
<i>Leontodon helveticus</i>	Liondent de Suisse
<i>Ligusticum mutellina</i>	Mutelline à feuilles d'adonis
<i>Potentilla aurea</i>	Potentille dorée
<i>Primula glutinosa</i>	Primevère glutineuse
<i>Phyteuma hemisphaericum</i>	Raiponce hémisphérique
<i>Polygonum viviparum</i>	Renouée vivipare
<i>Polytrichum morto/vivo</i>	Polytrichum
<i>Soldanella pusilla</i>	Petite soldanelle
<i>Salix herbacea</i>	Saule herbacé
Bryophytes	
Lichens	
Litter	Litière