

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	4
1.1 Richesse spécifique	4
1.2 Biomes et Altitude	6
1.3 Buts de l'étude	7
2. MATERIELS ET METHODES	8
2.1 Objet d'étude	8
2.2 Zone d'étude	8
2.3 Géologie de la zone	9
2.4 Echantillonnage	10
Surface échantillonnée.....	10
Homogénéité floristique	11
Choix des unités d'échantillonnage	12
2.5 Analyses statistiques.....	13
3. RESULTATS	13
3.1 Richesse spécifique et altitude	13
3.2 Richesse spécifique et surface.....	15
3.3 Relations entre altitude, surface et richesse spécifique	16

4. DISCUSSION	18
4.1 Richesse spécifique et altitude	18
4.2 Richesse spécifique et surface.....	21
4.3 Relations entre altitude, surface et richesse spécifique	22
5. CONCLUSION	24
6. REMERCIEMENTS	25
7. BIBLIOGRAFIE	26

Annexes

1. INTRODUCTION

1.1 Richesse spécifique

La distribution des organismes n'est pas due au hasard, mais fortement influencée par des interactions complexes se déroulant le long des processus écologiques, historiques et évolutifs.

La répartition de la diversité biologique à la surface de la Terre est très inégale : elle augmente des latitudes élevées vers les latitudes basses, de la périphérie au centre des masses continentales et diminue avec l'altitude (Pianka 1966, 1988; Stevens 1989, 1992). L'existence de ces gradients de diversité a été démontrée pour toutes sortes d'organismes vivants, animaux et végétaux terrestres ou marins, champignons, parasites etc.

Pour comprendre l'importance du rôle que ces gradients jouent dans la distribution des organismes, il suffit de penser que près du 90% des espèces végétales et animales du monde vivent entre les tropiques du Cancer et du Capricorne. Des diversités très élevées sont habituellement associées à des aires de distribution beaucoup plus réduites que sous les latitudes plus élevées. Ce phénomène est décrit par la règle de Rapoport (1986) selon laquelle l'amplitude géographique de l'aire de distribution des espèces a tendance à augmenter de l'équateur aux pôles. Autrement dit, plus l'aire de distribution d'une espèce est éloignée de l'équateur plus grande est son amplitude latitudinale (Blondel 1996).

Les causes historiques et écologiques de ces gradients ont été l'objet de nombreuses spéculations qui ont été résumées dans Pianka (1966). Plus récemment Huston (1999) a étudié les causes de la régulation de la richesse spécifique en prenant en compte, entre autres, le gradient latitudinal.

Pour les gradients qui suivent la latitude et l'altitude il est peu probable qu'une théorie unitaire puisse les expliquer car, comme dans beaucoup de processus, plusieurs facteurs varient en parallèle. Il est donc presque sûr qu'un facteur puisse en entraîner une cascade d'autres (Pianka 1966).

Dans cette étude, on va poser notre attention sur un de ces gradients: la relation qui existe entre l'altitude et la richesse spécifique dans le règne végétal.

Même si la relation entre élévation et richesse spécifique est mal connue, on la rapproche souvent de celle qui existe entre la richesse spécifique et le gradient latitudinal (MacArthur 1972 et Simpson 1983 in Rahbek 1997). Cette vision est en partie due à un enchaînement de citations faites à partir de seulement quelques exemples (Rahbek 1997). Puisque plusieurs explications de la corrélation entre la latitude et la richesse spécifique marchent aussi bien appliquées à l'altitude, on dissocie rarement les effets du changement d'élévation de celui du changement de latitude, au moins en ce qui concerne la richesse spécifique (Stevens 1992).

On trouve quand même une exception à cela dans l'application du modèle de biogéographie insulaire (Mac Arthur 1972) aux gradients altitudinaux. Puisque, pour une île océanique, l'aire et le degré d'isolement sont corrélés avec la richesse spécifique, on peut penser que la diminution de l'aire des bandes des hautes altitudes et/ou l'isolement des cimes de montagnes par rapport aux vallées peuvent influencer la diminution de la richesse des communautés avec l'augmentation de l'altitude. Donc la faible richesse spécifique des hautes altitudes peut être due aux faibles taux d'invasion et/ou le fort taux d'extinction des populations qui colonisent ces milieux (Stevens 1992). Cette théorie pose des problèmes pour des régions soumises aux périodes de glaciation puisqu'elle est en conflit avec la théorie des nunataks, qui considère les sommets des montagnes comme étant un refuge pour les organismes pendant les époques glaciaires. Ces derniers seraient donc plutôt une source de dispersion qu'un milieu à recoloniser.

Il existe deux modèles généraux pour définir la relation entre richesse spécifique et altitude :

- diminution monotonique de la richesse avec l'augmentation de l'altitude (fig.1).

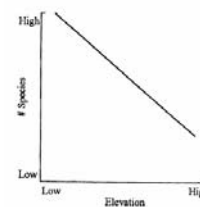


fig.1 diminution monotonique de la richesse spécifique avec l'altitude d'après Rahbek (1997)

- réponse suivant une courbe unimodale avec un maximum de richesse aux altitudes intermédiaires (fig.2).

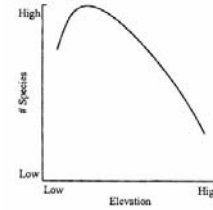


fig.2 variation unimodale de la richesse spécifique avec l'altitude d'après Rahbek (1997)

Des études plus approfondies sur ce sujet ont été faites par Terborgh (1977) sur les Andes Péruviennes. Selon lui ses résultats montrent qu'il existe une diminution monotonique entre richesse spécifique et élévation. La validité de cette interprétation a été fortement mise en doute. En effet plusieurs auteurs soutiennent que les données de Terborgh montrent bien une diminution de la richesse spécifique le long du gradient altitudinal, et que celle-ci ne suit pas une allure monotonique mais plutôt une courbe unimodale (Rahbek 1997).

Une étude plus récente de Schlüssel (1999) affirme que dans les deux transect étudiées le nombre de taxons diminue progressivement avec l'altitude et que cette diminution suit une loi linéaire.

Par contre Rahbek (1997) a présenté une critique des revues littéraires traitant de la richesse spécifique en relation avec l'altitude qui montre qu'approximativement la moitié de ces études présente une pointe maximale de richesse spécifique aux moyennes altitudes. En effet l'étude de Grytnes et Vetaas (2002), le long d'un gradient altitudinal dans l'Himalaya montre que la richesse spécifique (basée sur l'interpolation des maximums et minimums des espèces trouvés dans la littérature) présente une réponse unimodale à l'altitude avec un maximum entre 1500 et 2500 m.

1.2 Biomes et Altitude

Lorsqu'on travaille à une large échelle régionale, il est fort probable de trouver plusieurs biomes différents, chacun caractérisé par son niveau de richesse spécifique et par des communautés végétales composées d'espèces différentes. Donc, le niveau de richesse spécifique est strictement lié au degré d'hétérogénéité des biomes. Ceci se traduit par des

pics de richesse spécifique dans des zones où il y a une grande diversité de biomes, et inversement (Rahbek 1997).

À l'intérieur d'une même formation végétale, Schlüssel (1999) n'a observé aucune tendance quant à l'évolution de la richesse spécifique avec l'altitude, aussi bien au niveau de la formation végétale qu'au niveau de l'alliance phytosociologique. Il conclut donc qu'il n'y a pas de diminution du nombre de taxons avec l'augmentation de l'altitude. Le gradient écologique lié à l'augmentation d'altitude ne semble donc pas agir sur le nombre de taxons à l'intérieur des unités de végétation (alpha-diversité) mais plutôt sur le nombre d'unités de végétation elle-mêmes. Ce gradient correspond principalement à une diminution de la température de l'air, une augmentation de la durée de l'enneigement qui détermine une diminution de la longueur de la période de végétation, une augmentation des radiations solaires directes, une augmentation des précipitations et une augmentation de l'instabilité des sols (Ozenda 1985, Landolt & Aeschmann 1986, in Schlüssel 1999). Ces variables écologiques semblent donc limiter dans un premier temps la distribution altitudinale des unités de végétation, ayant pour conséquence la distribution altitudinale des espèces par l'absence des milieux adéquats. Ces résultats confirment des précédentes études de Dutoit (1983) et Wiget (1997) (Schlüssel 1999).

1.3 Buts de l'étude

Les études concernant la richesse spécifique faite à l'aide de transects altitudinaux semblent être rares, ceci aussi bien dans les Alpes qu'ailleurs. On se propose donc d'analyser un transect altitudinal pour évaluer l'évolution de la richesse spécifique à l'intérieur d'un même type d'habitat. De plus on s'intéressera à la relation qui existe entre richesse d'une surface donnée et altitude, et aussi à la surface d'échantillonnage minimale pour garantir la représentativité de l'échantillon.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Objet d'étude

La particularité de cette étude est de considérer l'évolution de la richesse spécifique en parallèle avec l'altitude dans un même type de milieu. En l'occurrence, nous avons choisi les prairies maigres, car il s'agit d'un habitat représenté aussi bien sur le fond de la vallée qu'aux altitudes plus élevées.

Les prairies maigres sont des écosystèmes semi-naturels issus des activités agricoles traditionnelles, dont principalement le pâturage et le fauchage. Les associations végétales typiques de ces prairies sont caractéristiques des sols avec un manque d'éléments nutritifs souvent associés à une sécheresse périodique. D'après l'ordonnance de l'Office fédéral de l'agriculture, les prairies maigres doivent respecter plusieurs conditions en ce qui concerne leur gestion (Annexe 1).

Aujourd'hui, surtout dans les inventaires, on utilise souvent comme synonymes les appellations de prairie maigre et prairie sèche (Antognoli et al., 1995), en effet les prairies sèches ne sont généralement pas engraisées car, à cause de la faible disponibilité en eau, leur niveau de production serait de toute façon très bas.

Pour ce travail, nous avons considéré les prairies maigres et les prairies sèches comme étant homogènes du point de vue physiologique et de structuration de la végétation, même si ceci, comme on vient de voir, n'est pas exactement le cas.

Pour l'identification des prés présentant ces caractéristiques, nous avons utilisé l'Inventaire cantonal des prairies sèches de 1987, l'Inventaire des prairies et pâturages secs de Suisse de 1997 et une mise à jour de l'inventaire cantonal fait par G. Maspoli en 2000 sur la région étudiée.

2.2 Zone d'étude

Le travail a été effectué au Tessin, région qui, par rapport à la subdivision des Alpes, se trouve dans une zone de transition se situant entre les Alpes intermédiaires, les Préalpes piémontaises et les Préalpes gardésanillyriques (Ozenda 1985). Selon Theurillat et al. (1993) on se trouve dans la région naturelle du Piémont oriental et du Tessin. La présence

d'éléments climatiques insubriens et du centre des Alpes, et des différentes conditions géologiques, ont permis un développement d'une grande richesse spécifique (Wohlgemuth 1993 in Antognoli 1995).

La zone d'étude se trouve dans la partie supérieure de la Valle Leventina (cordonnées: 697.0-703.0 / 149.0-155.0) le transect se situant sur l'adret.

Comme conséquence du fort gradient altimétrique, la Valle Leventina présente les trois principaux types de climats du versant méridional de l'arc alpin.

Au-dessous de 1500 m le climat est de type tempéré humide avec des températures moyennes du mois le plus froid supérieures à -3°C et du mois le plus chaud supérieures à $+15^{\circ}\text{C}$. Entre 1500-2000 m on trouve un climat de type boréal avec des températures moyennes du mois le plus froid inférieures à -3°C et du mois le plus chaud supérieures à $+10^{\circ}\text{C}$. Au-dessus de 2000 m le climat est de type arctique avec des températures moyennes du mois le plus froid inférieures à -10°C .

Dans toute la vallée, on a des précipitations annuelles de 1600-1800 mm distribuées de façon uniforme.

Les marches qui caractérisent le fond de la vallée, notamment au niveau des gorges de la Biaschina et du Piottino, et le changement de direction de la Media Leventina dans le sens longitudinal, empêchent aux flux méditerranéens et subtropicaux de remonter vers les zones plus internes, et notamment vers l'Alta Leventina (G. Buzzi 1983).

2.3 Géologie de la zone

En ce qui concerne la géologie le long de notre transect nous avons utilisé une carte de F. Beffa (1993-1995) (fig.3). On trouve de la moraine de la période glaciaire (en vert clair) jusqu'à environ 1800/1900 m d'altitude. Plus en haut, on trouve des éboulis stabilisés (en jaune), et on peut donc supposer que la géologie de cette zone est semblable à celle qu'on trouve en haut de la crête: on aura de la muscovite (en violet), du gneiss (en marron) et du granite (en rouge). Tout ceci contribue au caractère à tendance acide du sol. En vert plus foncé, on peut voir des zones d'amphibolite fortement basique.

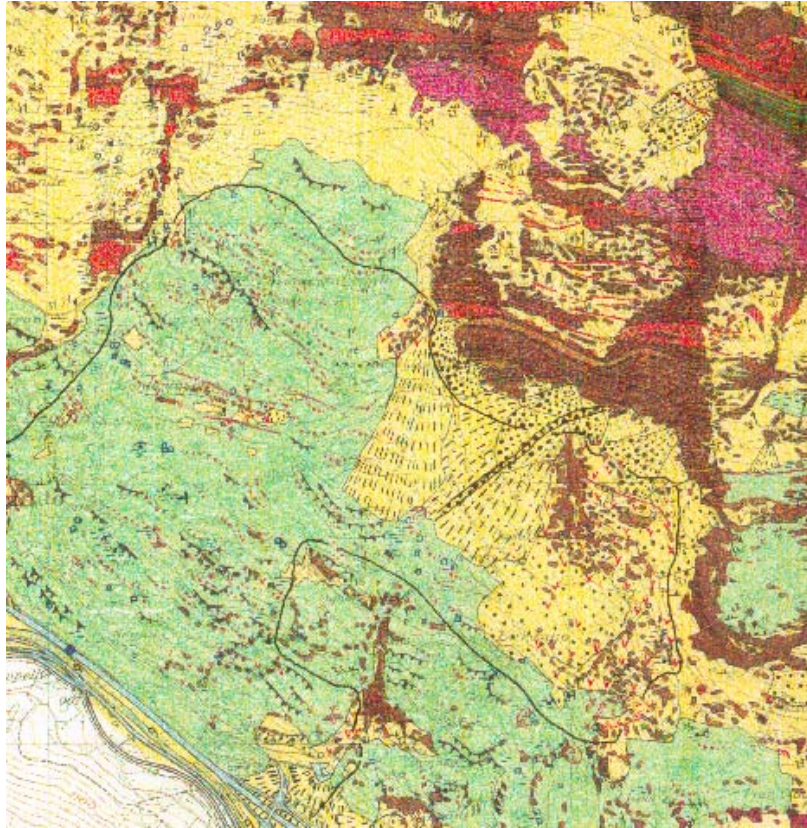


fig. 3 carte géologique de la zone étudiée extraite de la feuille 1252 (Ambri-Piotta) (Beffa, 1993-1995)

Sur les sous-sols morainiques et détritiques se sont formés, en grande partie, des sols podzoliques (exceptionnellement des renzines sur des bandes riches en carbonate). Les sols sableux, graveleux et plus ou moins fortement argileux et humides qui caractérisent la zone sont généralement maigres à modérément fertiles (G. Buzzi 1983).

2.4 Echantillonnage

Surface échantillonnée

Pour l'étude de la relation existante entre surface, altitude et diversité nous avons utilisé un système de trois carrés emboîtés de respectivement 2.5, 5 et 10 mètres de côté (fig.4).

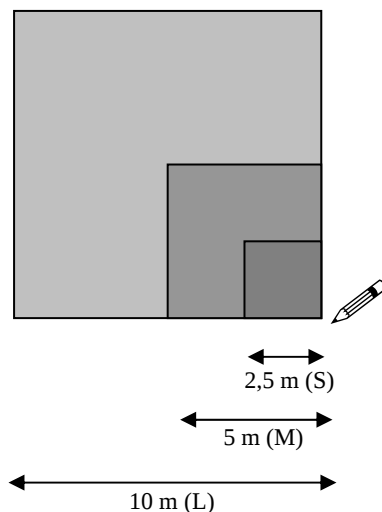


fig. 4 schéma de la surface d'échantillonnage

De plus ce système nous a permis de mettre en évidence l'importance du choix de la surface d'échantillonnage dans le cas des prairies sèches, et d'observer la relation existante entre richesse d'une surface et altitude.

Homogénéité floristique

Pour la bonne réussite de l'étude, nous avons posé une attention particulière à la prise en compte d'une surface floristiquement homogène. Le respect d'un tel critère repose sur un ensemble de conditions préalables: d'une part, l'homogénéité du contexte stationnel, estimée d'après les caractères topographiques (pente, exposition) et géologiques (substrat); d'autre part, l'homogénéité physionomique et structurale de la végétation, autrement dit son appartenance à un même type de formation.

En ce qui concerne l'aspect topographique, nous avons dérivé la pente et l'exposition à partir d'un modèle d'altitude MNT25. Les unités d'échantillonnage utilisées dans cette étude ont été sélectionnées à partir de parcelles de terrain caractérisées par une pente comprise dans l'intervalle 15°-32° et une exposition entre ouest sud-ouest. D'autre part pour l'aspect géologique on s'est limités, vu la forte hétérogénéité de la région, à éviter les zones caractérisées par un substrat fortement basique (fig.3 zones en vert foncé) contrastant avec le caractère plutôt acide du reste de la région.

Choix des unités d'échantillonnage

Les différentes informations (carte géologique, hydrologie, carte des périmètres, MNT25) ont été gérées avec le logiciel ArcGIS (ESRI inc., Redlands CA, USA). Ceci nous a permis d'identifier les prés présentant des conditions de pente, d'exposition et de géologie similaires, de plus l'application d'un « buffer » de 10 m autour des petites rivières et des sources d'eau ponctuelles a permis l'omission des zones présentant un caractère trop humide.

Tout le versant a été subdivisé en bandes altitudinales de 100 m entre 1000 m et 2300 m soit un total de 1300 m de dénivellation. La division arbitraire d'un gradient altitudinal en différentes bandes influence sûrement la perception des patterns de richesse spécifique. Néanmoins ceci ne doit pas être considéré comme un biais, car il s'agit d'une étape obligatoire pour l'échantillonnage (Rahbek 1997).

Dans chaque bande, nous avons effectué deux relevés, ce qui donne 26 relevés au total (Annexe 2). Pour éviter une autocorrélation spatiale nous avons respecté une distance minimale de 150 m entre chaque relevé (Fischer 1994).

Malheureusement l'emplacement des relevés a été choisi de façon assez subjective, au détriment d'objectivité statistique. Ceci a été fait d'une part pour garantir un recouvrement végétal suffisant, et d'autre part pour éviter l'influence probable du microclimat dû aux petites variations topographiques. Nous avons par contre fait attention à placer le petit carré dans une position (toujours en bas à droite) assurant une bonne représentativité de la richesse spécifique du pré.

Pour chaque relevée nous avons noté, grâce au GPS Garmin eTrex summit, les coordonnées avec une précision de ± 15 m, l'altitude ± 3 m, la pente et l'exposition ± 5 degrés. Les coordonnées et l'altitude sont relatives au coin en bas à droite du carré (fig.4 voir ). Une liste de toutes les espèces présentes dans le relevée a été faite à l'aide du Nouveau Binz (Aeschimann et Burdet, 1994) et de la Flora Helvetica (Lauber et Wagner, 2001). De plus pour la surface S nous avons noté les indices d'abondance de chaque espèce selon la méthode Braun-Blanquet.

La richesse spécifique a été évaluée en considérant les angiospermes, les gymnospermes et les ptéridophytes. Les bryophytes n'ont pas été recensés car ils sont plus liés aux conditions microclimatiques et au substrat que les plantes vasculaires.

2.5 Analyses statistiques

Toutes les données ont été traitées avec le logiciel R (R Development Core Team 2002).

Pour évaluer l'évolution de la richesse spécifique à l'intérieur d'un même type d'habitat nous avons utilisé un modèle additif généralisé (GAM) et ensuite, à titre de comparaison, un modèle linéaire généralisé (GLM). Ceci pour les trois surfaces, 2.5 m, 5 m et 10 m.

Pour la relation entre richesse d'une surface donnée et altitude, et pour évaluer la surface minimale d'échantillonnage, nous avons appliqué des régressions linéaires.

3. RESULTATS

Les données relatives à chaque relevé sont reportées dans le tableau en annexe (Annexe 3).

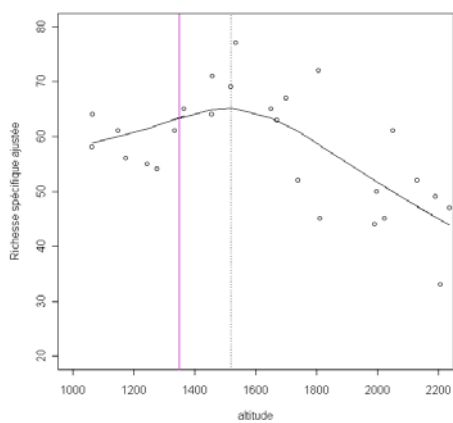
3.1 Richesse spécifique et altitude

La tendance de la richesse spécifique par rapport à l'altitude a été mise en évidence par un GAM (fig. 5). Etant donné que les données sont des comptages nous avons utilisé un GAM poisson avec une fonction de lissage "smoothing spline". Cette analyse a été faite pour les trois surfaces.

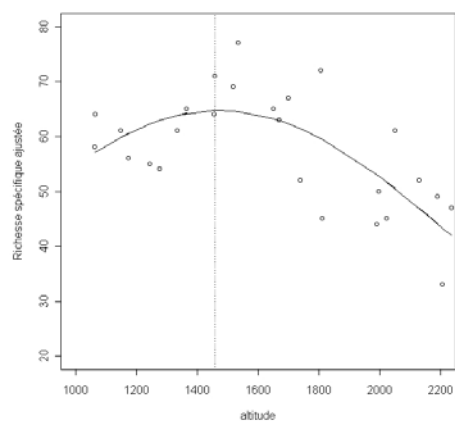
L'analyse GLM poisson a été appliquée en utilisant la formule :

$$\text{nb.esp.} \sim \text{alt.} + \text{alt.}^2$$

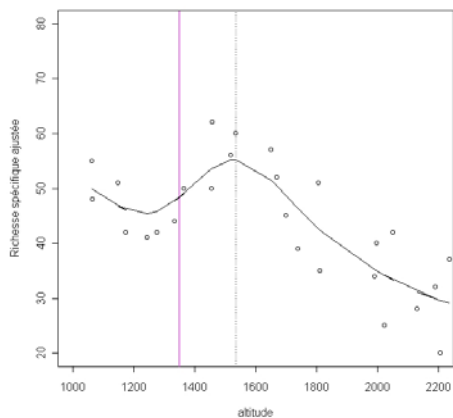
Le terme quadratique a été introduit, d'après la tendance de la courbe trouvée avec le GAM, pour avoir une fonction plus proche de la distribution des points.



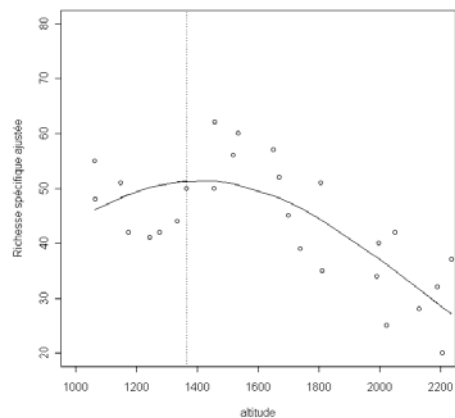
GAM appliqué à la surface de 100 m²



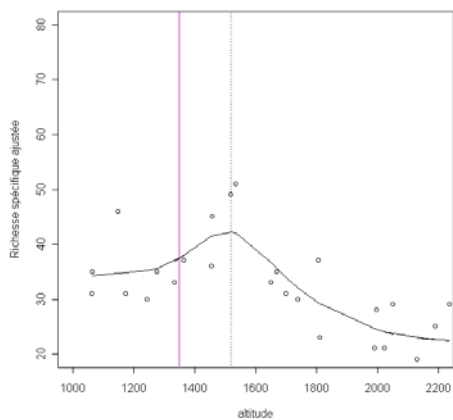
GLM appliqué à la surface de 100 m²



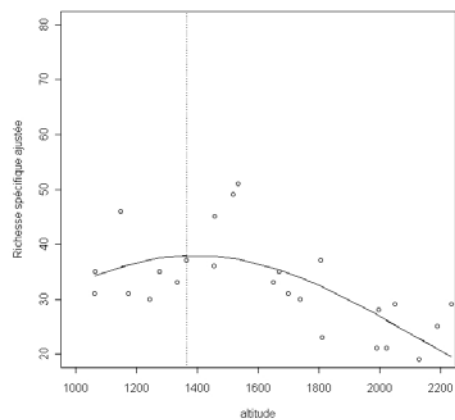
GAM appliqué à la surface de 25 m²



GLM appliqué à la surface de 25 m²



GAM appliqué à la surface de 6.25 m²



GLM appliqué à la surface de 6.25 m²

Fig.5 graphes des analyses statistiques de la relation entre altitude et richesse spécifique,
 ligne pointillée : max. de richesse
 ligne violette : limite supérieure de la bande avec forte activité anthropique
 (Mêmes graphes pour le GAM avec erreur standard dans l'Annexe 4)

Les trois modèles obtenus avec le GAM sont hautement significatifs. Les courbes trouvées avec les valeurs ajustées montrent des valeurs maximales de richesse spécifique aux altitudes de 1518 m, 1535 m et 1519 m, respectivement pour les surfaces de 6.25 m² (S), 25 m² (M) et 100 m² (L). Pour la surface S la variance expliquée par le modèle est de 67%, pour la surface M elle est de 72% et pour la surface L elle est de 55%.

En ce qui concerne les modèles obtenus avec le GLM nous avons trouvé les maximums aux altitudes de 1366 m, 1366m et 1458 m, respectivement pour les surfaces de S, M et L. Avec ces modèles les variances expliquées sont plus basses que celle du GAM ; elles sont de 51% pour la surface S, 57% pour M et 50% pour L.

3.2 Richesse spécifique et surface

Nous avons représenté graphiquement les données obtenues pour chaque relevé pour observer la tendance générale avec l'altitude (Annexe 5).

L'allure générale des graphes de chaque relevé est, sauf dans quelques exceptions, proche d'une courbe logarithmique (fig. 6 et Annexe 5).

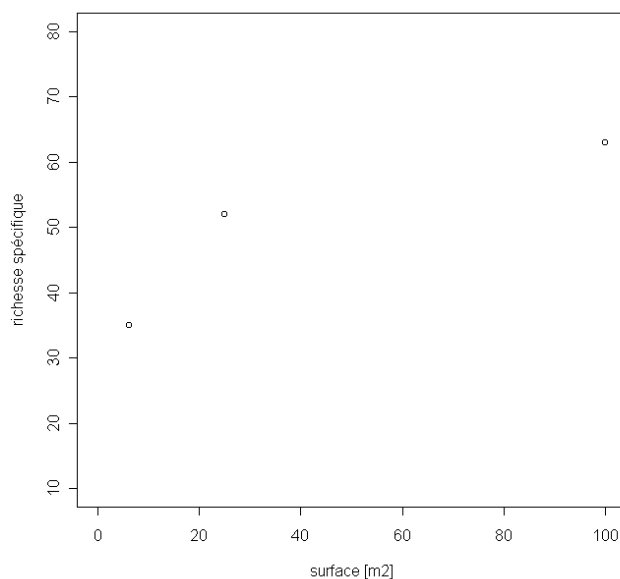


fig.6 exemple de graphe (relevé 14) montrant l'allure de la relation entre surface et richesse spécifique

3.3 Relations entre altitude, surface et richesse spécifique

La différence entre le nombre d'espèces total (surface L) et celui de la surface S a été utilisée pour tester s'il existe une variation significative de l'augmentation du nombre d'espèces avec l'altitude en augmentant la surface, à l'aide d'une régression linéaire.

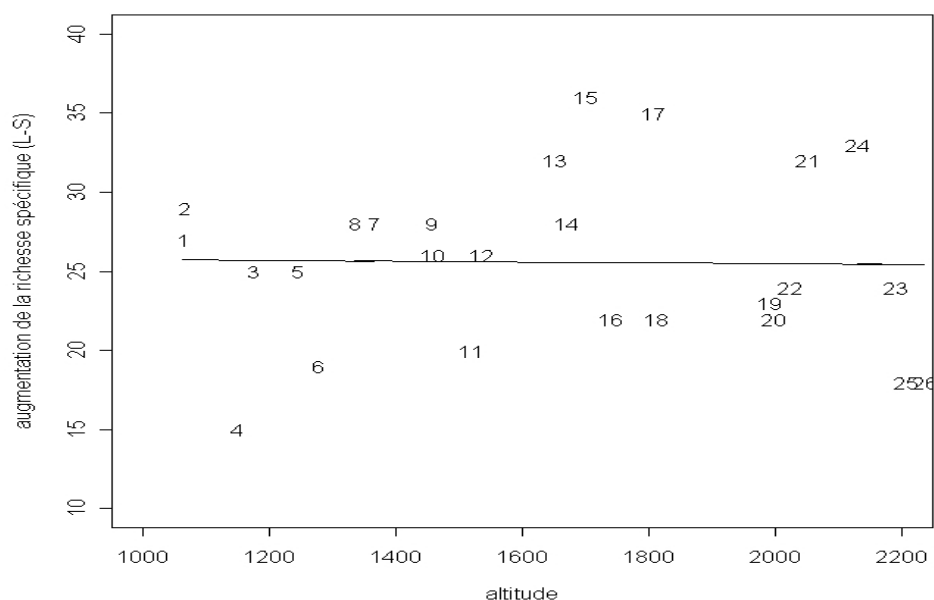


fig.6 régression entre altitude et augmentation de richesse (L-S)

les numéros des relevés remplacent les points

La régression obtenue (fig.6) n'est pas significative puisqu'elle présente une p-value de 0.9375 (>0.05). La droite a donc une pente statistiquement non différente de zéro, ce qui montre qu'il n'y a pas de relation entre l'augmentation de la richesse spécifique, avec l'augmentation de la surface, et l'altitude.

Pour tester si l'absence d'une diminution, théoriquement attendue, est due à la présence de prés pauvres en espèces non seulement aux haute altitudes mais aussi aux basses, nous avons fait la même analyse en séparant le jeu de données en deux parties; d'un côté les données inférieures au maximum trouvé avec le GAM, c'est-à-dire 1519 m (fig.7a)), et de l'autre côté les données supérieures à cette limite (fig.7b)).

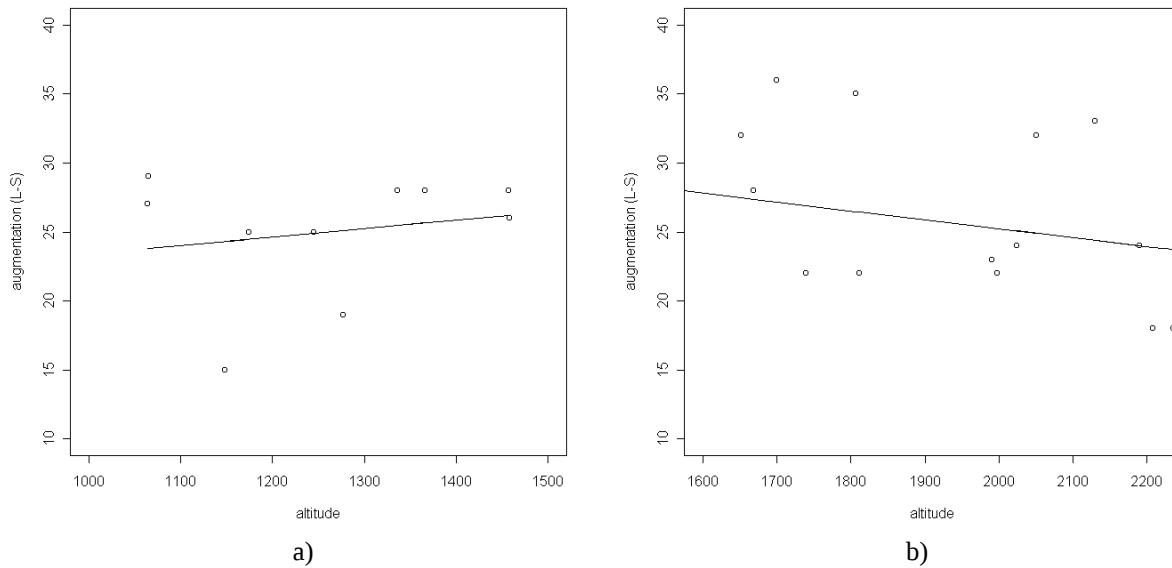


fig.7 régression entre altitude et augmentation de richesse pour
a) prés en dessous de 1519 m et b) prés au dessus de cette limite

Dans les deux cas nous avons obtenu des régressions non significatives ($p\text{-value} > 0.05$).
Ensuite nous avons mis en relation cette même augmentation de richesse avec la richesse totale des relevés (fig.8).

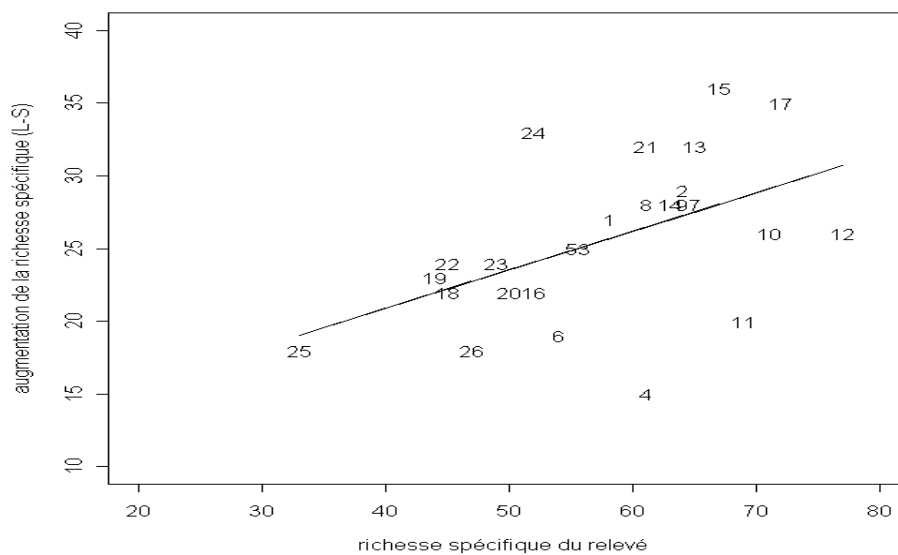


fig.8 régression entre richesse totale et augmentation de richesse
les numéros des relevés remplacent les points

La régression linéaire montre une p-value de 0.0081, ce qui indique qu'il existe une relation positive entre l'augmentation et la richesse spécifique totale des relevés.

4. DISCUSSION

4.1 Richesse spécifique et altitude

Pour l'interprétation des résultats on s'intéresse surtout à ceux obtenus avec le GAM, ce modèle étant plus proche de la distribution des points de nos relevés. En effet la variance expliquée par le GAM est dans les trois cas plus haute que celle du GLM. Cette différence est due au fait que le GAM utilise une fonction de lissage qui suit de plus près la distribution des points.

Comme on a vu précédemment, le graphique obtenu avec le GAM montre une augmentation de la richesse spécifique jusqu'aux environs de 1500 m. Après cette limite, la richesse subit une diminution progressive. Ce résultat se rapproche de ceux obtenus par Grytnes & Vetaas (2002) et Rhabek (1997), mais il faut tout de même souligner que ces derniers ont été trouvés en considérant la richesse spécifique totale et pas celle d'un même type de milieu.

Nous avons trouvé trois hypothèses possibles pouvant, dans la région étudiée, expliquer ce phénomène. Les cas de faible richesse spécifique rencontrés aux basses altitudes peuvent être dus non pas à des phénomènes naturels mais plutôt à des facteurs anthropiques. En effet sur le terrain nous avons pu constater qu'aux basses altitudes les prés utilisés pour l'échantillonnage étaient entourés de surfaces plus ou moins engraisées. Cette pratique influence sûrement, par ruissellement, le taux d'azote des surfaces considérées comme maigres et donc le nombre d'espèces. Des études ont prouvé qu'un fumage à base d'azote provoque, sur de petites surfaces, une forte régression du nombre d'espèces (Antognoli 1995). En effet un pré maigre de 100 m² contient en moyenne 60 espèces tandis que, en moyenne, seule une trentaine pousse dans un pré engraisé (Cotti 1990). Pour évaluer cette influence il serait utile de faire une analyse

phytosociologique mettant en évidence la présence d'espèces plutôt nitrophiles. De plus jusqu'à 1350 m (fig.5 GAM ligne verticale violette) on observe une forte exploitation due à un fauchage et à un pâturage systématique. Ceci aurait pu, au cours des années, mener à un appauvrissement progressif de ces prés.

Une deuxième explication peut être trouvée dans le fait que les relevés effectués entre 1300 m et 1600 m tombaient dans la période de floraison et développement maximal. Par contre lors des premières relevées les prés présentaient un degré de développement plus précoce. Ce fait pourrait avoir comme conséquence la non-observation de quelques espèces encore peu visibles ou avec un appareil végétatif très semblable à celui d'autres espèces.

Une troisième hypothèse plausible se base sur une observation de l'étagement qui caractérise le sud des Alpes. Selon Aeschmann et Burdet (1994), dans la zone de notre étude, la limite entre étage montagnard et étage subalpin se situe à environ 1600 m.

Cette limite n'est pas nette, souvent on observe une bande dans laquelle on trouve un recouvrement des deux étages. Dans notre cas on aurait une superposition de l'étage montagnard et du subalpin. Ceci a comme conséquence une augmentation du nombre d'espèces semblable à celle observée pour notre transect (fig.9). Pour vérifier cette hypothèse il aurait fallu faire une étude plus approfondie de la phytosociologie qui caractérise la zone étudiée.

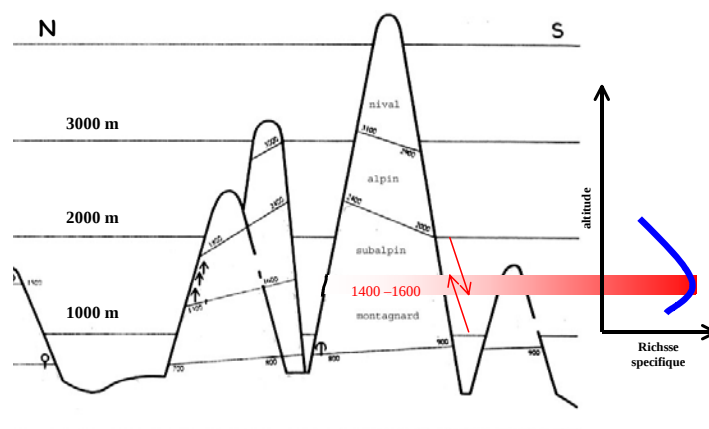


fig.9 représentation graphique de la superposition de l'étage montagnard et de l'étage subalpin
(d'après Aeschmann & Burdet, 1994, modifié)

En ce qui concerne la chute du nombre d'espèces après 1500 m on peut remarquer que, même en ayant pris soin d'avoir un milieu homogène en contrôlant la pente et l'exposition, il y a d'autres facteurs non pris en compte qui peuvent avoir une influence sur la richesse spécifique.

D'une part on trouve des facteurs liés au sol comme la profondeur, la granulométrie et le drainage. Lors du travail de terrain, nous avons observé une forte variabilité de la profondeur des sols à partir de 1700 m, ce qui a probablement influencé la richesse spécifique de nos relevés. De plus, on peut remarquer, en observant la carte géologique, que la bande altitudinale supérieure à 1800/1900 m est caractérisée par la présence d'éboulis et donc par une faible rétention de l'eau dans le sol à cause d'un drainage plus marqué (fig.3). Dans ce cas aussi il faudrait pouvoir vérifier l'influence de ce facteur à l'aide d'une étude phytosociologique mettant en évidence des espèces indicatrices.

D'autre part, on trouve les facteurs liés à la topographie et à la microtopographie. En effet les relevés situés sur des bosses, subissant donc fortement l'influence du vent, présentent des conditions opposées à celles des relevés situées dans des combes où l'absence de vent et la fonte retardée de la neige donnent aux conditions stationnelles un caractère nettement plus humide. À tout ceci s'ajoute le fait que les facteurs que nous avons essayé de contrôler, comme la pente et l'exposition, présentent des intervalles non négligeables, mais de toute façon nécessaires pour obtenir un nombre de relevés suffisant, pouvant influencer les conditions stationnelles.

Nous pouvons donc conclure que, selon les résultats obtenus, la richesse spécifique dans le milieu considéré et pour la région étudiée, ne suit pas une diminution monotone le long d'un gradient altitudinal contrairement aux résultats obtenus par Teeborgh (1977).

De même, en observant les résultats obtenus avec le GAM, on pourrait dire que notre courbe ne suit pas la théorie selon laquelle la richesse spécifique à l'intérieur d'un même milieu ne varie pas avec l'altitude comme proposé par Schlüssel (1999). Mais si on fait un graphe GAM avec l'erreur standard, vu l'importance de ces dernières, on ne peut pas exclure la présence d'un plateau qui va ensuite progressivement diminuer (fig.10).

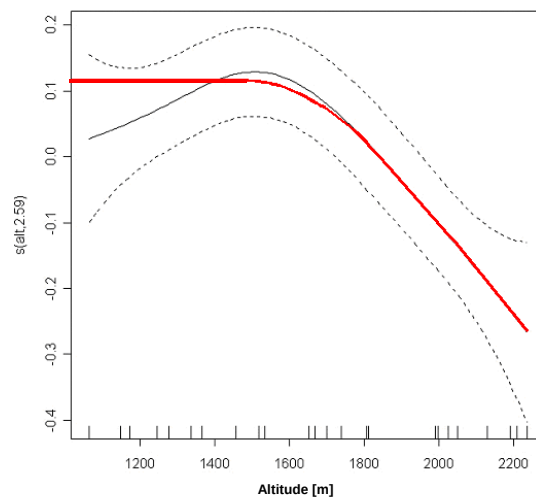


fig.10 GAM avec erreur standard
en rouge courbe possible présentant un plateau

Pour vérifier cette hypothèse il faudrait avoir la possibilité d'effectuer un transect descendant plus bas pour évaluer si effectivement ce plateau existe.

4.2 Richesse spécifique et surface

Si on observe l'allure générale des graphes montrant la relation entre richesse spécifique et surface, pour chaque relevée on voit que celle-ci suit, sauf dans quelques exceptions, une courbe proche de celle logarithmique (Annexe 5, fig.11).

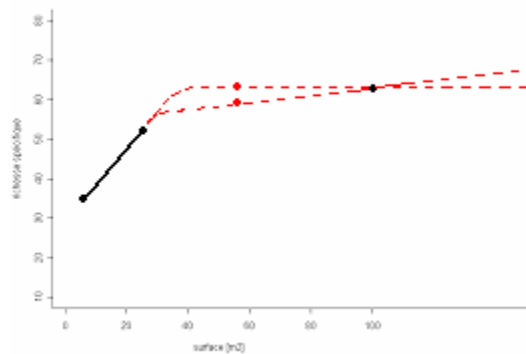


fig.11 graphe modifié présentant deux points intermédiaires hypothétiques (pour 56.25 m²)
montrant deux différentes allures possibles de la courbe de richesse

On peut affirmer avec certitude que, en ce qui concerne les prairies maigres, la surface minimale d'échantillonnage garantissant la représentativité du relevé doit être supérieure à 5 m^2 . En effet on peut observer que dans toutes les relevées il y a une augmentation significative suite à l'agrandissement de la surface de 25 m^2 à 100 m^2 . L'absence d'un quatrième point, entre 25 m^2 et 100 m^2 empêche une bonne analyse de la relation entre surface et richesse spécifique.

Pour cette raison, dans des études futures, il serait plus raisonnable d'ajouter une surface intermédiaire pour combler le vide qu'on observe entre la surface de 25 m^2 et celle de 100 m^2 . Une autre solution serait de doubler la surface du carré au lieu d'en doubler le côté (donc quadrupler la surface).

La présence d'une quatrième donnée pour une surface intermédiaire de 56.25 m^2 (fig.11) permettrait de décrire plus précisément la position du début du plateau si celui ci existe.

4.3 Relations entre altitude, surface et richesse spécifique

Pour les raisons vues sous 4.2 nous avons décidé d'utiliser la différence entre le nombre d'espèces total de chaque relevé et le nombre d'espèces présentes dans le carré S pour toutes les analyses concernant l'évolution de la richesse spécifique à l'intérieur de chaque carré le long de l'altitude.

D'après l'analyse effectuée entre l'augmentation de la richesse spécifique à l'intérieur du relevé, calculée comme la différence entre la surface L et la surface S, et l'altitude on n'observe aucune variation significative. Il faut être attentif à ne pas tirer de conclusions trop définitives puisque la régression obtenue a été faite à partir d'un nuage de points assez dispersés.

Pour faire face à ce problème et pour vérifier que ce résultat n'est pas dû à la présence de prés pauvres aussi bien aux basses altitudes qu'aux hautes altitudes nous avons divisé le jeu de données en deux parties (fig.7). Les résultats des deux régressions confirment celui obtenu avec le jeu de données complet (fig.6 et 7).

Pour avoir une vision plus complète de l'évolution de la richesse spécifique à l'intérieur des relevés nous avons aussi analysé la relation entre l'augmentation du nombre d'espèces en fonction de la surface et la richesse spécifique. Celle-ci montre que plus un pré est riche en espèces, plus l'augmentation de la richesse due à un agrandissement de la surface de 16 fois, est importante.

La richesse totale semble donc influencer la distribution de la richesse à l'intérieur du relevé. En effet dans les prés pauvres en taxons, chaque espèce est plus représentée au niveau de l'individu et donc la probabilité de trouver un exemplaire déjà dans le carré S est plus élevée. Cette probabilité est d'autant plus grande si on considère que cette espèce présente une distribution à l'intérieur du carré assez homogène, ce qui a été aussi constaté sur le terrain. Une étude plus approfondie des indices d'abondance pourrait permettre de tester statistiquement ce que nous avons observé.

Si on regroupe tous les résultats que nous avons analysés jusqu'ici, on peut constater la présence d'une contradiction apparente.

D'après les résultats du GAM nous avons vu que, au-dessus d'environ 1500 m, plus on monte en altitude plus les prés deviennent pauvres en espèces. La droite de régression de la relation entre richesse spécifique des relevés et augmentation du nombre d'espèces suite à un agrandissement de surface montre que plus le pré est pauvre en espèces plus l'augmentation est faible. En unissant ces deux résultats on devrait donc conclure que plus on monte en altitude plus l'augmentation à l'intérieur du relevé tend à diminuer. Mais cette relation n'est pas confirmée par les résultats obtenus avec la régression précédente (fig.6) qui illustre qu'il n'existe aucune variation significative de l'augmentation par rapport l'altitude.

Cette contradiction pourrait être en partie due à la présence d'une forte amplitude de la richesse spécifique entre deux relevés situés dans la même bande altitudinale, qui se traduit par une forte dispersion du nuage des points.

Sûrement cette situation naît du fait que le nombre de données n'est pas statistiquement fiable. En effet deux relevés par niveau d'altitude est nettement insuffisant.

5. CONCLUSIONS

La présente étude montre que, dans cette zone, la richesse spécifique dans le domaine des prés maigres subit une évolution le long d'un gradient altitudinal. Cette évolution n'a malheureusement pas pu être modélisé avec précision à cause d'un nombre insuffisant de données et à cause d'un gradient pas suffisamment long, en dépit des 1300 m de dénivèlement de notre transect.

C'est avec regret que nous constatons qu'une analyse phytosociologique nous aurait permis de mieux expliquer les causes des résultats obtenus, mais cette lacune nous à été imposée par un manque de temps. Vu que les données nécessaires pour cette étude ont déjà été récoltées au sein de notre travail, il serait donc intéressant de poursuivre les analyses.

De plus ce serait très intéressant d'effectuer le même type d'étude pour d'autres zones à fin d'avoir un cadre plus complet de l'évolution de la richesse spécifique dans les prairies sèches. Ce serait aussi important de comparer ces résultats avec des résultats obtenus grâce des études effectués sur des types de milieux différents. Ceci permettrait d'avoir une vision globale de l'évolution de la richesse spécifique le long d'un gradient altitudinal.

En conclusion, après avoir travaillé dans ce milieu, il nous semble important de mettre en évidence le fait que les prairies maigres présentent un grand intérêt du point de vue naturel et scientifique puisqu'on y trouve plusieurs espèces animales et végétales strictement liée à ce type de milieu unique. C'est donc important de promouvoir la sauvegarde de ces habitats, car leur disparition comporterait automatiquement l'élimination d'éléments floristiques et faunistiques d'extrême intérêt.

6. REMERCIEMENTS

C'est avec plaisir que nous remercions les personnes qui ont créé les bases pour que nous puissions mener à bon terme notre travail de module. Leurs apports scientifiques ont amélioré notre travail et surtout nos connaissances dans le domaine de la botanique.

Nous remercions de façon particulière:

Le Prof. *Antoine Guisan*, pour nous avoir permis d'effectuer ce travail au Tessin et surtout pour son aide précieuse dans les analyses statistiques et la rédaction.

Pascal Vittoz pour son aide précieuse sur le terrain.

Lorenzo Besomi pour sa disponibilité, pour avoir cru, sans hésitations, en notre travail.

Floriano Beffa pour sa disponibilité, et pour nous avoir mis à disposition son travail sur la région.

Filippo Rampazzi pour nous avoir permis d'obtenir du matériel indispensable pour ce travail.

Guido Maspoli pour nous avoir mis à disposition ses données sur les prairies maigres.

Pia Giorgietti pour nous avoir dirigés vers les bonnes personnes.

Le *Département du territoire* du canton Tessin et en particulier *Fabrizio Di Vittorio* pour nous avoir mis à disposition les cartes nécessaires.

Valerio Jelmini pour le coup de pouce initial dans la recherche du matériel.

Tous les *propriétaires des prés* qui nous ont permis de piétiner leur herbe.

En dernier un grand merci à la Montagne pour nous avoir fait cadeau de moments inoubliables.

7. BIBLIOGRAFIE

Aeschimann, D. & H. M. Burdet : 1994, Flore de la Suisse, le nouveau Binz. Editions du Griffon, Neuchâtel.

Antognoli, C., F. Guggisberg, M. Lörtscher, S. Häfelfinger & A. Stampfli : 1995, Prati magri ticinesi tra passato e futuro. Tipografia Poncioni SA, Losone.

Blondel, J. : 1995, Biogéographie: Approche écologique et évolutive. Masson, Paris.

Buzzi, G.: 1995, Atrante dell'edilizia rurale in Ticino Valle Leventina. Edizioni scuola tecnica superiore del Cantone Ticino.

Cotti, G., M. Felber, A. Fossati, G. Lucchini, E. Steiger & P. L. Zanon : 1990, Introduzione al paesaggio naturale del Cantone Ticino, **Vol.1** le componenti naturali. Armando Dadò editore, Locarno.

Fischer, H. S. : 1994, Simulation of the spatial distribution of plant communities based on maps of site factors: investigated in the MaB test site Davos. Veröff. Geobot. Inst. Eidgenöss. Tech. Hochsch. Stift. Rübel Zür. **122**: 1-136.

Grytnes, J.A. & O.R. Vetaas : 2002, Species richness and altitude: A comparison between null models and interpolated plant species richness along the Himalayan altitudinal gradient, Nepal. *American Naturalist* **159**(3): 294-304.

Huston, M.A. : 1999, Local processes and regional patterns : appropriate scales for understanding variation in the diversity of plants and animals. *Oikos* **86**: 393-401.

Lauber, K. & G. Wagner : 2001, Flora Helvetica, flore illustrée de Suisse. Paul Haupt, Bern

Ozenda, P. : 1985, La végétation de la chaîne alpine dans l'espece montagnard européen. Masson, Paris.

Rahbek, C. : 1997, The relationship among area, elevation, and regional species richness in neotropical birds. *American Naturalist* **149**: 857-902.

Schlüssel, A.: 1999, Phénologie, diversité et structure de la végétation dans l'écocline subalpin-alpin. Thèse, Département de botanique et de biologie végétale de l' Université de Genève.

Stevens, G.C. : 1989, The latitudinal gradients in geographical range: how so many species co-exist in the tropics. *American Naturalist* **133**: 240-256.

Stevens, G.C.: 1992, The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *American Naturalist* **140**: 893-911.

Terborgh, J.: 1977 : Bird species diversity on an Andean elevational gradient. *Ecology* **58**: 1007-1019.

Theurillat, J.-P. : 1993, Habitats et régions naturelles des Alpes. Colloques phytosociologiques **XXII**, 15-30.