

Végétation des milieux ouverts du plateau d'Anzeindaz (Préalpes vaudoises)

Corrélations entre groupements phytosociologiques et analyses
géochimiques des roches



Travail de Master es sciences pour l'enseignement

David Dubois

**Sous la direction des Professeurs
P. Vittoz et H.-R. Pfeifer**

Université de lausanne, Mars 2007

Table des matières :

Chapitre 1

Introduction	3
1.1 But du travail	3
1.2 Situation géographique du terrain étudié.....	3
1.3 Caractéristiques climatiques	4
1.4 Description du paysage.....	6
1.5 Méthodes	7

Chapitre 2

Contexte géologique	9
2.1. Introduction	9
2.2. Description des lithologies	10

Chapitre 3

La géochimie et les sols	18
3.1 Introduction	18
3.2 Analyse des données géochimiques :	20
Interaction entre la géochimie des roches, les sols et les plantes	20

Chapitre 4

La végétation d'Anzeindaz	22
4.1 Introduction	22
4.2 Description des groupements phytosociologiques	23
Bas-marais :	23
Les éboulis :	23
Les parois :	24
Dalles et lapiez :	24
Pelouses et pâturages maigres d'altitude :	24
Combes à neige :	26
Pâturage gras :	27
Mégaphorbiaies :	27

Landes :	27
Terrains piétinés et rudéraux :	28

Chapitre 5

Analyse statistique des relevés de végétation d'Anzeindaz.....	29
5.1 Introduction	29
5.2 Analyse factorielle des correspondances.....	29
5.3 Analyse en composantes principales	32
5.4 Analyse canonique des correspondances.....	34
5.5 Nouvelle ACF avec les milieux et leur groupement phytosociologique :	35
5.6 Nouvelle ACC avec les milieux et leur groupement phytosociologique :	37
5.7 AFC tenant compte des indices de Landolt :	38

Chapitre 6

Analyse statistique des relevés de végétation couplés aux données géochimiques.....	40
6.1 Introduction	40
6.2 Analyse factorielle des correspondances.....	40
6.3 Analyse en composante principale :	42
6.4 Analyse canonique des correspondances :	44

Chapitre 7

Conclusion de l'étude	49
Végétation sur roche acide :	49
Végétation sur roche carbonatée :	49
Végétation sur roche intermédiaire :	50
Le quaternaire :	50
Bibliographie	52
Annexes.....	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre 1

Introduction

1.1 But du travail

La distribution des espèces végétales dans l'environnement est dépendante de nombreux facteurs écologiques, tels que les facteurs climatiques, pédologiques, géologiques, ainsi que de l'activité humaine. Par l'équilibre que ces espèces forment avec leur environnement et ses facteurs, celles-ci vont donner lieu à différents groupements végétaux.

Cette étude a pour but d'éclairer le lien qui existe entre les différents groupements présents sur le site analysé et les facteurs géologiques, principalement géochimiques. Elle montrera que dans certaines conditions, ces deux domaines peuvent être interdépendants ; la géologie explique en partie la répartition des groupements végétaux alors que la botanique fournit de précieux indices au géologue.

Sur cette base et à partir d'un nombre suffisant de relevés de végétation, ce travail tentera d'établir si, par une analyse statistique, la fréquence des plantes varie en fonction de la composition géochimique des principales unités géologiques du terrain étudié. L'analyse se portera dans un premier temps sur la différenciation susceptible d'exister dans l'abondance des plantes situées sur des formations siliceuses d'une part et des formations carbonatées d'autre part. Dans un second temps, il s'agira de mettre en évidence si une variation de fréquence des espèces végétales est perceptible au sein des unités géologiques carbonatées en fonction d'une proportion plus ou moins importante de carbonate dans les roches.

1.2 Situation géographique du terrain étudié

Le terrain étudié est situé dans la bordure sud-est des Préalpes vaudoises. L'étude a été effectuée au lieu-dit Anzeindaz (Figure 1.1). Faisant partie de la commune de Bex, les vastes pâturages de ces lieux forment un large plateau dont l'altitude moyenne se situe aux environs de 1900m.

L'étude s'est portée sur la partie sud du plateau d'Anzeinde et plus particulièrement le massif situé entre Argentine et la Tête Tsernou. Le terrain est grossièrement délimité de la manière suivante (Figure 1.1):

- à l'est, par un axe allant de la Tête des Filasses (2157.3m) jusqu'à l'Ecuelle.

- au nord, par un axe allant de la Tour d'Anzeinde (2169m) jusqu'au Roc de la Vache (2051m).
- au sud, par un axe allant de la terminaison orientale de l'Argentine, à savoir la Haute Corde (2325m) jusqu'au-delà du Col des Essets (2029m) et de l'Ecuelle pour atteindre le pied de la Tête Tsernou (2733m).
- à l'ouest par un axe passant par la Tour d'Anzeinde et la Haute Corde.

La zone d'étude est comprise entre les coordonnées 578.000/127.000 et 579'500/124'500 (CN 1285 – Les Diablerets, 1/25'000). Elle représente une superficie d'environ 6 km² située entre des altitudes de 1800 et 2300m.

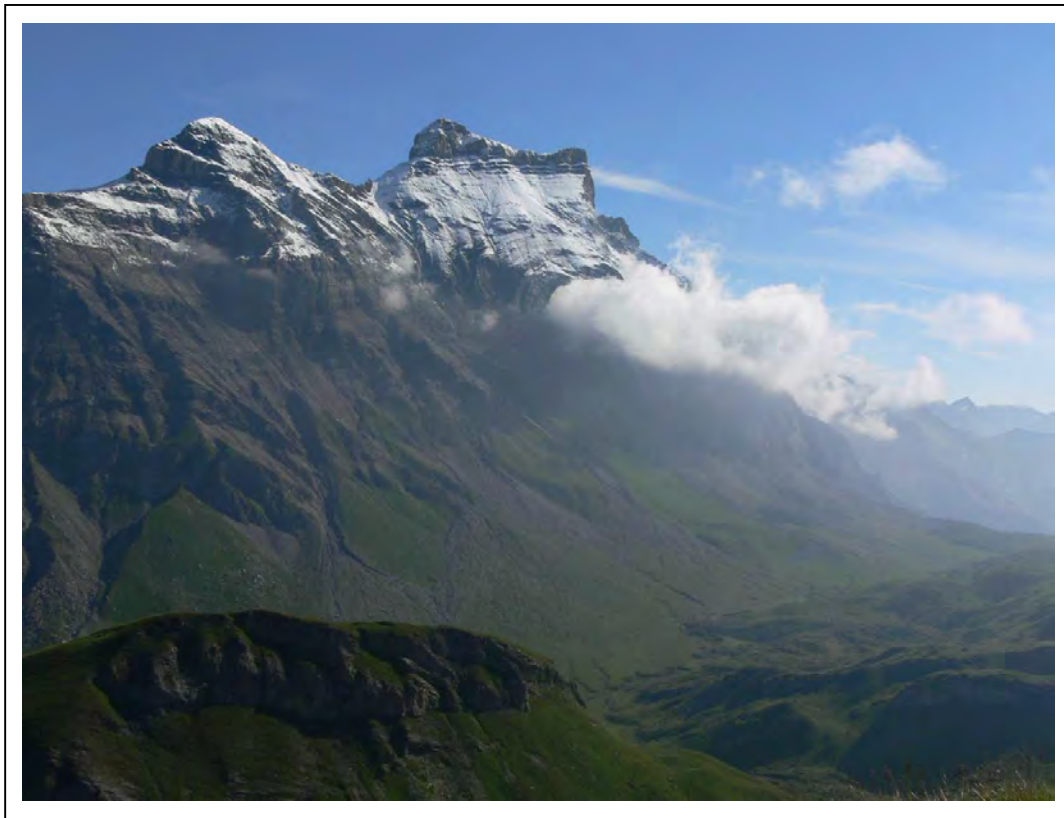


Photo 1 : Prise de vue du massif des Diablerets et de la partie N du plateau d'Anzeindaz depuis La Corde.

1.3 Caractéristiques climatiques

Le plateau d'Anzeindaz est situé à environ 1900m d'altitude, à savoir à la limite entre les étages subalpin et alpin. Cette limite varie entre les Préalpes (~1800m) et une situation plus interne à la chaîne alpine (2400m dans le Valais central).

Anzeindaz est soumis à plusieurs contraintes climatiques qui jouent un rôle déterminant pour la végétation qui y est présente :

1. **Précipitations** : Le climat des Préalpes vaudoises est de type subocéanique, avec une pluviosité assez élevée. Les premiers contreforts des Alpes que forment les Préalpes créent une barrière continue retenant une grande partie des précipitations liées aux perturbations provenant de l'Atlantique. Elles sont de l'ordre de 1200mm/an à 1600m d'altitude et de 2600mm/an à 3000m démontrant ainsi l'augmentation des précipitations avec l'altitude. Ces

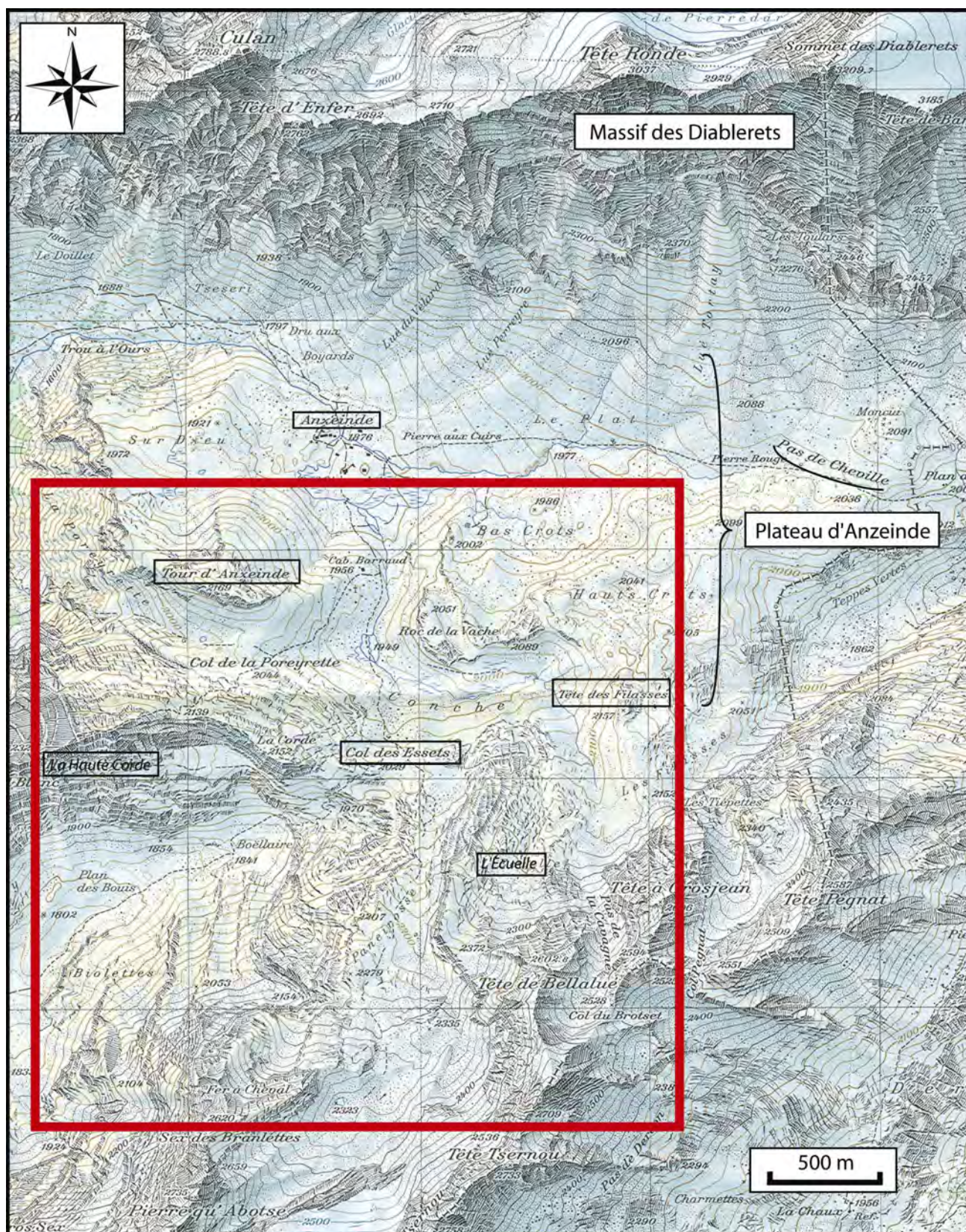


Figure 1.1: Carte topographique de la région d'Anzeinde

 : Situation de la zone d'étude

précipitations sont également importantes en comparaison avec les 600mm/an que l'on retrouve dans le Valais central.

2. **Températures** : la décroissance de la température de l'air avec l'altitude est de 0.5 à 0.6° / 100m. Cette décroissance est la plus marquée durant le mois de mai et nulle en janvier. Avec une température moyenne annuelle de ~2 à 3° à Anzeindaz, le fonctionnement organique ainsi que la décomposition de la matière végétale y est ralentie. L'humus garde par conséquent les éléments nutritifs plus longtemps sans les mettre à disposition des racines.
3. **Jours d'enneigement** : l'altitude implique une plus longue période d'enneigement du plateau qui diminuera d'autant la période de développement des plantes. A Leysin (1500m d'alt.) il faut compter avec 120 jours d'enneigement par année. A 1900m d'alt., on compte une trentaine de jours supplémentaires (selon Ozenda, 1985). La période d'enneigement va également augmenter en fonction de la situation des versants exposés au soleil (adret) ou non (ubac). Jusqu'à 2500m, la période d'enneigement entre les versants peut ainsi varier de 30 à 40 jours par année. Les couvertures neigeuses offrent cependant une protection efficace contre les risques de gel qui augmentent avec l'altitude et selon la saison (le printemps est la saison la plus critique pour les plantes).
4. **Rayonnement solaire** : à cette altitude, il faut compter avec 25% de radiation en plus qu'en plaine mais une insolation moindre. Il y a en effet plus d'énergie à disposition pour les plantes, mais les nombreux nuages qui restent accrochés au relief empêchent un rayonnement direct.
5. **Vents** : les vents sont essentiellement représentés par des vents thermiques locaux auxquels s'ajoute une situation régulière de Föhn provoquée par les « collisions » entre perturbations nuageuses et les Alpes. Le Föhn provoque un déneigement plus rapide sur les crêtes. En plus de la fonte et du déplacement de la neige, le vent accentue l'évaporation. Le vent et les micro-reliefs ont de fait une influence conséquente sur la répartition de la neige et des espèces végétales à l'étage alpin.

1.4 Description du paysage

La limite de la forêt étant située à ~1800m, le plateau d'Anzeinde ne comporte pas de milieux forestiers. La surface étudiée est par conséquent entièrement située en milieux ouverts, au dessus de la limite de la forêt.

En dehors des activités touristiques de randonnées, la seule activité humaine d'importance qui a un impact sur la flore et la nature du sol reste le bétail qui profite des pâturages. Les formes d'utilisation du paysage (construction, routes, etc...) par l'homme y sont par contre très peu nombreuses. Ceci permet de préserver une certaine richesse des milieux présents sur le site.

Le paysage se présente très grossièrement de la façon suivante. Sur sol profond et frais, ce sont des pâturages alpins qui trouvent leur place. Au-delà d'une altitude de 1900 à 2000m, on passe à une mosaïque de pelouses de différentes sortes. En se rapprochant des massifs rocheux sis au nord et au sud, ce sont des végétations plus typiques des éboulis, pierriers ou encore surfaces rocheuses ne présentant que peu de sol.

1.5 Méthodes

Dans le cadre de cette étude, la méthode d'analyse statistique repose sur deux composantes majeures ; d'une part sur l'analyse de tableaux de végétation dont les plantes ont été répertoriées à différents points de relevés, et d'autre part sur les analyses géochimiques effectuées sur différents échantillons de roches prélevés dans les principales formations géologiques présentes sur le terrain.

1. Pour la première composante, le choix des points à relever a été fait selon un échantillonnage aléatoire stratifié. Pour chaque relevé, toutes les espèces végétales ont été identifiées et notées. L'estimation de l'abondance de chaque espèce présente s'est faite selon l'échelle de Braun-Blanquet (1964) (Tableau 1.2). Les noms d'espèces utilisés sont ceux que Aeschmann et Heitz (1996) proposent dans leur Index synonymique de la Flore Suisse.

Les relevés, et les listes de plantes qui y ont été décrites, ont été rentrés dans une base de données Microsoft Access. Les tableaux de végétation qui doivent être préparés avant leur traitement statistique l'ont été avec Microsoft Excel. Les analyses statistiques ont ensuite été réalisées avec le programme R (Ihaka & Gentleman, 1996).

Le logiciel R permet d'effectuer de nombreuses analyses statistiques et de les représenter graphiquement. Les trois types d'analyse utilisées dans le cadre de cette étude sont) :

- **L'analyse factorielle des correspondances (AFC) :**

Ce type d'analyse permet de comparer les différents relevés en fonction de leur composition en espèces. Il cherche les similitudes et dissemblances existantes en terme d'espèces entre les relevés. Il permet aussi de mettre en évidence l'existence de gradients. Le tout est projeté dans un espace à n dimensions où on ne retient que celles (maximum de 3 dimensions) ayant le plus de variance.

Cette analyse est une ordination en espace réduit (Bénzécry, 1973). C'est une des analyses les plus souvent utilisées pour les tableaux de végétation car elle convient bien à ce genre de données et a l'avantage de permettre une projection simultanée des relevés et des espèces sur le même graphe et ainsi de pouvoir interpréter les groupes de relevés par des ensembles d'espèces (Vittoz, 1998). L'analyse factorielle des correspondances a été utilisée pour sa représentation graphique et pour la classification des relevés.

- **L'analyse en composantes principales (ACP) :**

Ce type d'analyse permet le traitement des données environnementales par une comparaison des relevés basée uniquement sur les variables environnementales à disposition ou descripteurs écologiques. Étant donné que les descripteurs ont des unités différentes, l'ACP est réalisée avec une matrice de corrélation. Le résultat est un graphe situant les relevés les uns par rapport aux autres en fonction de la ressemblance de leurs descripteurs écologiques. Ceux-ci sont représentés par des flèches dont la longueur et direction permettent d'interpréter les axes du graphique. Plus une flèche est longue, plus le descripteur écologique correspondant est responsable d'une part importante de la variance. La flèche pointe vers les valeurs maximales de ce descripteur (Vittoz, 1998).

▪ **L'analyse canonique des correspondances (ACC) :**

Ce type d'analyse donne la possibilité de tenir compte simultanément des espèces et des descripteurs écologiques. On peut ainsi les mettre en comparaison les unes aux autres et définir l'importance de chaque variable écologique sur la base des espèces (et non plus uniquement des relevés).

L'analyse canonique des correspondances (Ter Braak, 1986 et 1987) est l'équivalent d'une analyse factorielle des correspondances mais sous contrainte, c'est-à-dire que la variance explicable par les descripteurs écologiques à disposition est concentrée sur les premiers axes. Cette technique a l'avantage de pouvoir visualiser sur un seul graphe les relations entre les espèces, les relevés et les descripteurs écologiques. L'interprétation des flèches représentant les descripteurs est identique à l'ACP (Vittoz, 1998).

Avant de débiter les analyses statistiques, la conversion de l'échelle d'abondance-dominance de Braun-Blanquet telle que présentée dans la table 1.2 est rendue nécessaire pour l'utilisation du logiciel R qui ne reconnaît que des valeurs numériques. Il est à noter aussi que cette conversion permet de donner une importance moyenne aux espèces végétales peu fréquentes.

Echelle		Valeur numérique
r	rare (maximum 2 individus)	0.1
+	moins de 1% de recouvrement	0.5
1	1-5% de recouvrement	1
2a	5-13% de recouvrement	2
2b	13-25% de recouvrement	2.5
3	25-50% de recouvrement	3
4	50-75% de recouvrement	4
5	75-100% de recouvrement	5

Tableau 1.2 : Echelle d'abondance de Braun-Blanquet et valeurs numériques utilisées dans les analyses statistiques.

2. Pour la seconde composante, les échantillons de roches ont été prélevés sur les principales unités géologiques cartographiées sur l'Atlas géologique de la Suisse (feuille 88 - Les Diablerets) et qui traversaient directement la zone d'étude. Après le broyage et la calcination des échantillons de roches, ils ont été analysés par fluorescence X afin d'obtenir les pourcentages en poids des différents oxydes présentés au tableau 3.2.

Les différentes données obtenues pour ces deux composantes ont ensuite été reprises ensemble afin d'effectuer une nouvelle analyse statistique et de confronter les groupements végétaux aux données géochimiques. Sur l'ensemble des facteurs écologiques ayant une influence sur les différents milieux en présence, il s'agit ici de déterminer quelle est l'influence de la géologie, puis celle des différentes composantes géochimiques (SiO_2 ; CaO ; Al_2O_3 ; Na_2O ; K_2O ; MgO) sur l'abondance des espèces végétales.

Chapitre 2

Contexte géologique

2.1. Introduction

L'ensemble des formations géologiques présentent dans les massifs des Diablerets d'une part et celui d'Argentine – Tête Tsernou d'autre part sont relativement identiques bien que liées à des nappes différentes, respectivement nappe des Diablerets et nappe de Morcles. Elles diffèrent cependant énormément des unités géologiques présentes au niveau de la Tour d'Anzeinde, appartenant à une troisième nappe distincte, la nappe d'Anzeinde (Figure 2.1).

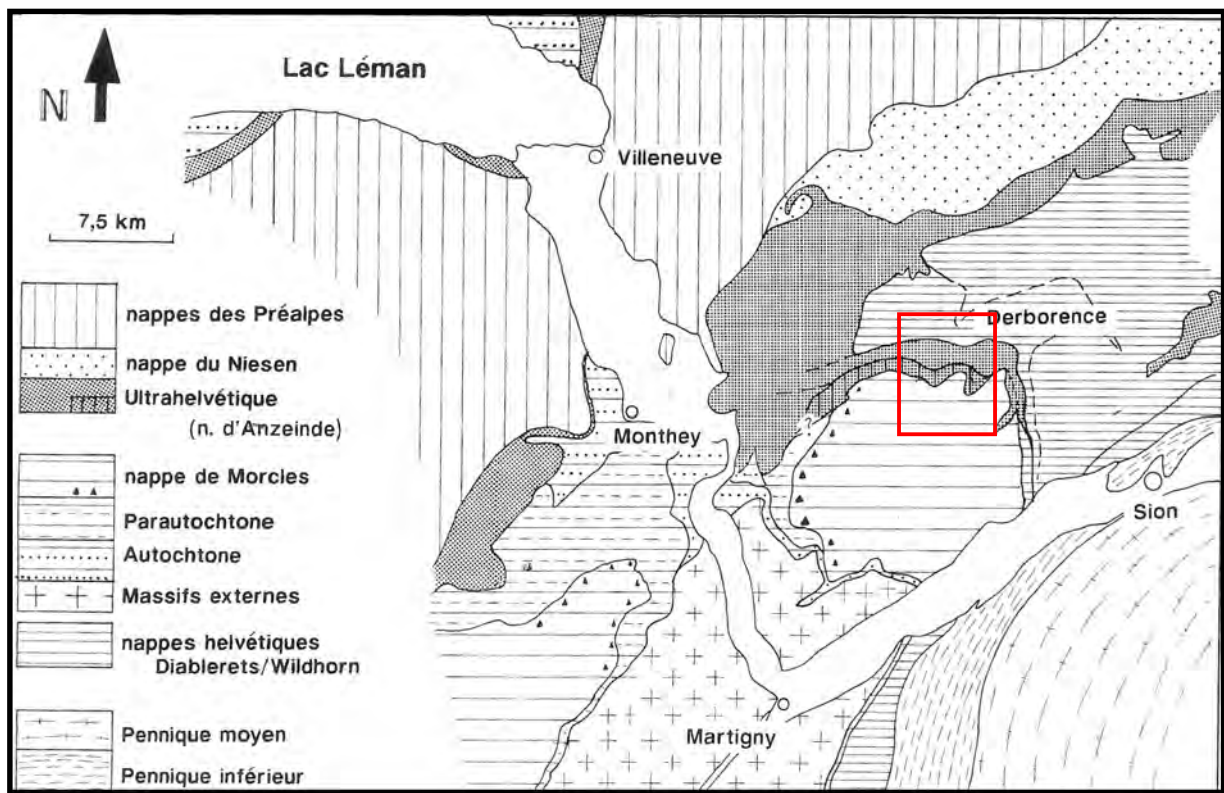


Figure 2.1 : Situation de la région étudiée sur la carte tectonique (Jeanbourquin, 1991).

Les nappes de Morcles et des Diablerets font partie intégrante du domaine helvétique. La 1^{ère} de ces nappes, la plus basse des nappes helvétiques, s'enracine dans les massifs hercyniens du Mont-Blanc et des Aiguilles rouges (Badoux, 1990). Elle disparaît ensuite par abaissement axial vers le NE en s'enfonçant sous l'Ultrahelvétique d'une part, à savoir la nappe d'Anzeinde et la Nappe de la Plaine Morte, et d'autre part sous la nappe des Diablerets.

Le domaine ultrahelvétique est pris en sandwich entre les nappes de Morcles et des Diablerets. Il forme ainsi le noyau des synclinaux de raccord des dites nappes (Badoux, 1990).

2.2. Description des lithologies

Ce sous-chapitre présente les diverses lithologies rencontrées durant le travail de terrain et figurant sur la carte géologique jointe à cet ouvrage. Les roches sont décrites selon leur domaine d'appartenance :

- Domaine helvétique
- Domaine ultrahelvétique

2.2.1. L'Helvétique :

Aucun échantillon de roche n'ayant été prélevé dans les formations constituant la nappe des Diablerets, la description stratigraphique présentée ci-dessous se concentrera sur celle de la nappe de Morcles. De plus, bien que l'âge des roches présentes dans cette nappe aille du Jurassique à l'Oligocène, seules les principales formations, et notamment celles sur lesquelles ont été réalisés des relevés d'espèces végétales ainsi qu'un échantillonnage de roche seront décrites. Les niveaux du Jurassique par exemple en seront exclus tout comme certains niveaux de l'Oligocène qui ne sont pas présents sur le terrain étudié.

Les principaux éléments de description proviennent de la notice explicative de l'Atlas géologique de la Suisse – feuille 88, les Diablerets.

Les astérisques (*) apparaissant à côté du nom de la formation démontrent la présence d'un échantillon prélevé dans ces niveaux. Pour la situation exacte du prélèvement, il est nécessaire de se référer à la carte géologique de la figure 2.2 et aux différentes coupes géologiques représentées en figures 2.3 et 2.4.

Nappe de Morcles :

Marnes noires et calcaires argileux sombres - Valanginien schisteux (I₈-C₂¹) :

Alternance de marnes noires et de calcaires argileux sombres, contenant dans sa partie sommitale, des bancs de calcaire bleuté et riche en débris de coquilles.

Calcaire subrécifal - Valanginien calcaire (C_{2k}) :

Grande épaisseur de calcaire (~250 m) qui se subdivise en deux membres :

¹ Dénomination reprise de la notice explicative de l'Atlas géologique de la Suisse – Feuille 88, Les Diablerets.

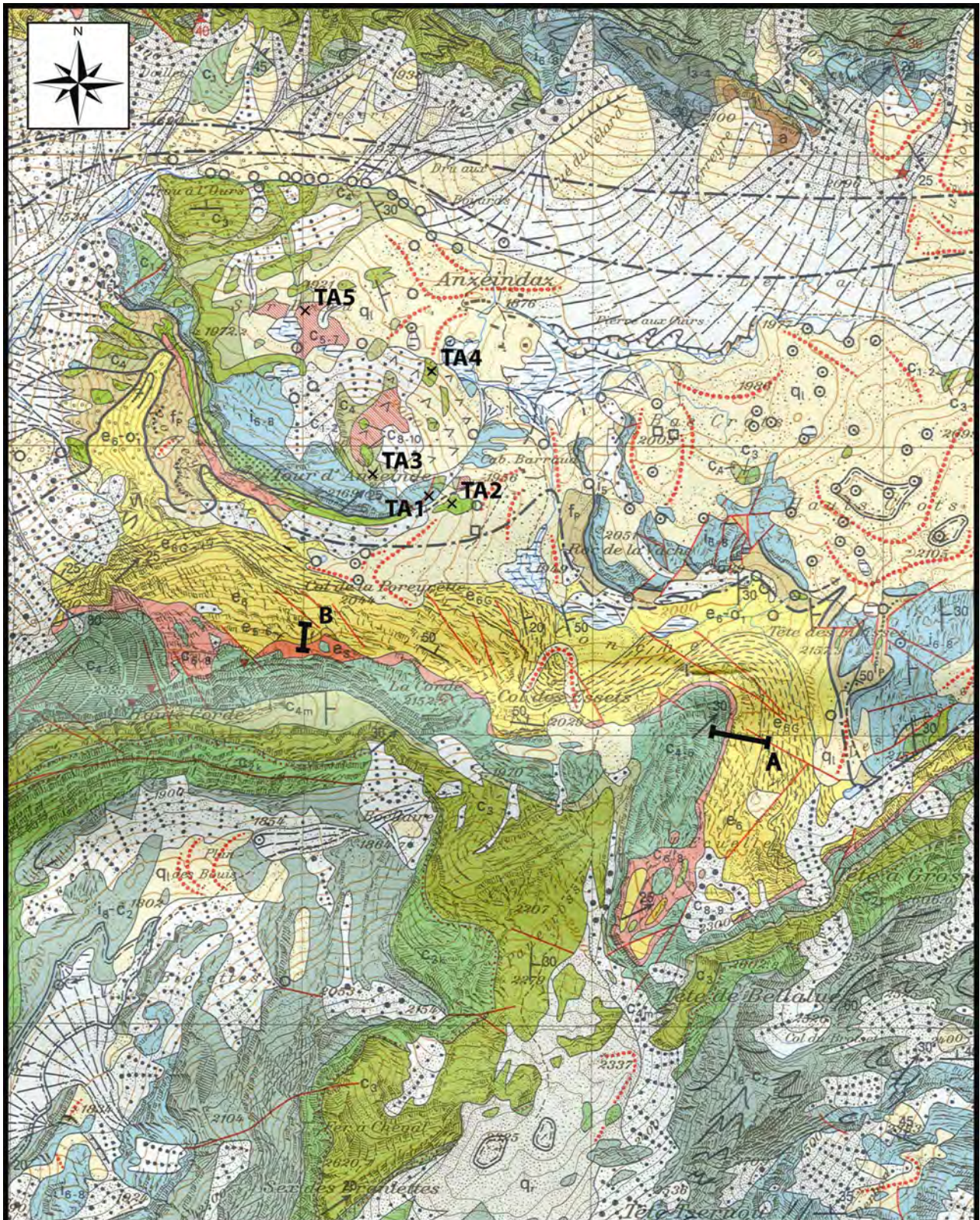


Figure 2.2 : Carte géologique de la région d'Anzeinde avec la situation des prélèvements d'échantillons et coupes représentées en fig. 2.3 et 2.4.

I : Situation des relevés stratigraphiques

x TA4 : Situation des échantillons prélevés en dehors des relevés stratigraphiques.

- Le membre inférieur débute par une alternance de gros bancs de calcaire à patine claire, pâte fine sombre. Le tout devenant vers le haut un calcaire plus massif à patine très claire, à pâte gris clair, spathique et souvent oolithiques, formé par des bancs épais sans délits marneux.
- Le membre supérieur (épaisseur d'~20m) débute par une passée microconglomératique, suivie par quelques mètres de calcaire grossièrement spathique siliceux à gravillons dolomitiques et à patine brun-orangé. Il est remplacé au sommet par un calcaire toujours grossièrement spathique, mais à pâte gris-claire et à patine jaune.

Calcaires siliceux - Hauterivien (C₃) :

Calcaire siliceux, d'une grande épaisseur (~100m), bien stratifié, à pâte bleue foncée, pyriteuse et patine brune. Certains bancs sont spathiques et glauconieux.

Couches du Drusberg - Barrémien (C_{4m}) :

Alternance de marnes et de bancs calcaires d'une épaisseur de 40 à 50 m. les calcaires sont variables : vers le haut, ils sont fins, siliceux et à patine claire ; plus bas, ils deviennent grossièrement spathiques, mais la patine demeure très claire ; puis la roche s'assombrit et commence à rappeler le calcaire siliceux (Hauterivien) sous-jacent.

Urgonien* (C₄₋₅) :

Puissante assise de calcaire clairs donnant des parois ou des surfaces karstifiées. La pâte de la roche est très variable. Le plus souvent elle est fine, parfois oolithique et biodétritique.

Echantillon prélevé : A1

Formation de Garschella* - Aptien sup.-Cénomanién (C₆₋₈) :

Cette formation est composée de plusieurs niveaux gréseux se succédant. L'affleurement de Sur Champ (figure 2.3) offre la série des Grès verts la plus épaisse (plus de 25 m) et la plus complète de la nappe de Morcles (Delamatte, 1997).

Grès « quartzitiques » rougeâtres, encastés dans des niveaux de grès fins parfois calcaires et souvent argileux. Il sont suivis de calcaires sableux à coquilles d'huîtres silicifiées ou concrétions de silex. Plusieurs de ces niveaux peuvent contenir à leur base des phosphoclastes noirs.

Plus au NE de la nappe de Morcles existe un banc, reposant directement sur l'Urgonien, formé de quartzites blancs ou glauconieux à nodules phosphatés pouvant comprendre, à Chevillon, 10 m de schistes violacés.

Echantillon prélevé : A3

Calcaires pélagiques (C₈₋₉) :

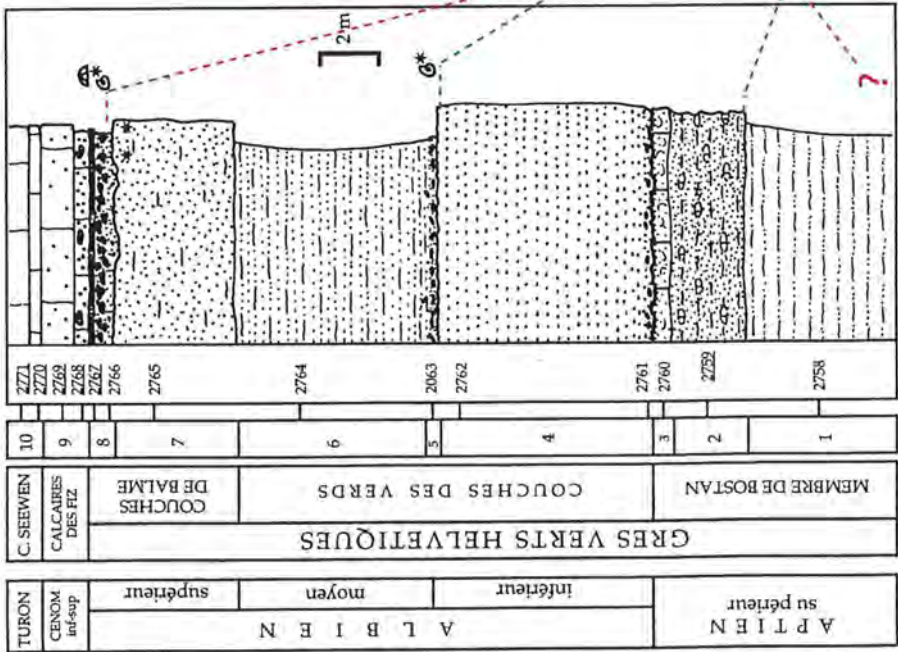
En quelques points du synclinal de l'Ecuelle, les quartzites sont coiffés d'une faible épaisseur de calcaire clair, pélagique.

Sidérolithique (E_s) :

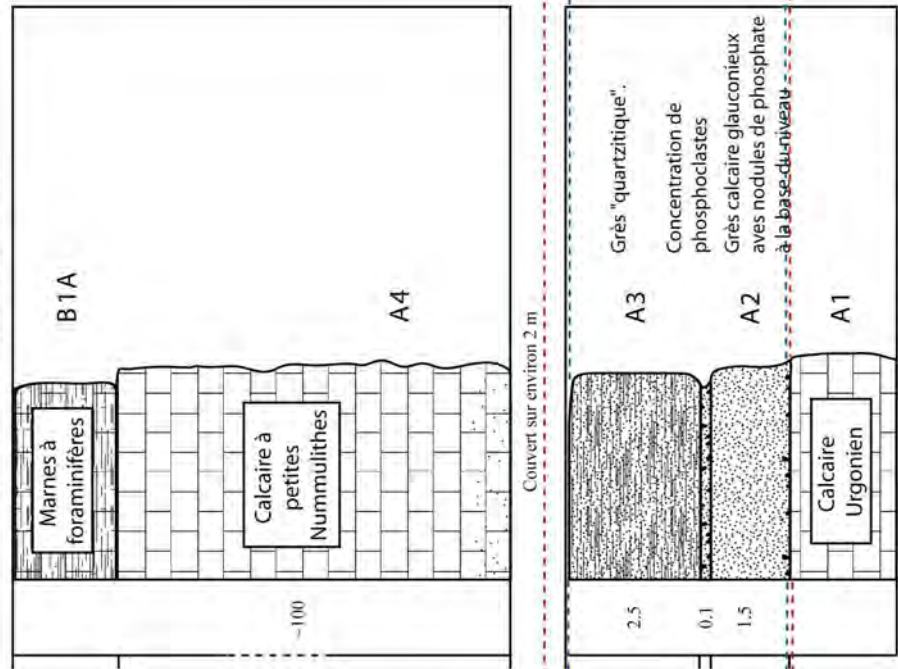
A la fin du Crétacé et au début du tertiaire, le territoire de la Nappe de Morcles était exondé et soumis à l'érosion. Cette période a correspondu à la mise en place de dépôts continentaux rares formés de sable jaunâtre ou de remplissage ferrugineux important.

Formation de Garschella

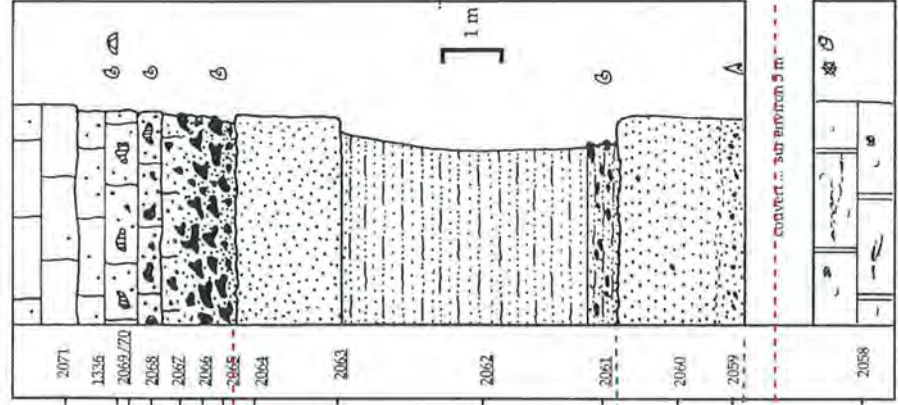
Relevé stratigraphique de Sur Champ
(situé à l'ouest du miroir d'Argentine - Coupe selon Delamattte, 1997)



Relevé stratigraphique A
(situé au N de l'Ecuille - Voir carte géologique, figure 2.2)



Relevé stratigraphique de Cheville
(situé au S du Pas de Cheville - Coupe selon Delamattte, 1997)



--- : Correspondances stratigraphiques entre formations principales.
- - - : Correspondances stratigraphiques au sein de la formation de Garschella.

Figure 2.3: Corrélation stratigraphique des coupes de la Formation de Garschella (ou Grès verts de l'Helvétique) relevées à proximité et sur la zone d'étude .

Couches à Cérithes* (E₅₋₆) :

Formation qui débute par un conglomérat à ciment sableux jaune dont les éléments calcaires proviennent de l'Urgonien et sont accompagnés de quelques débris de quartzite et de phosphate du Cénomaniens. N'existe que sporadiquement, remplissant des vides de l'Urgonien sous-jacent.

Par-dessus viennent 8 à 10 m de couches argilo-sableuses noires à la base, plus gréseuses et à patine rousse au sommet, très fossilifères.

Les couches à Cérithes, ainsi que le niveau sidérolithique, remplacent lorsqu'elles sont présentes la formation de Garschella.

Echantillon prélevé : B2A

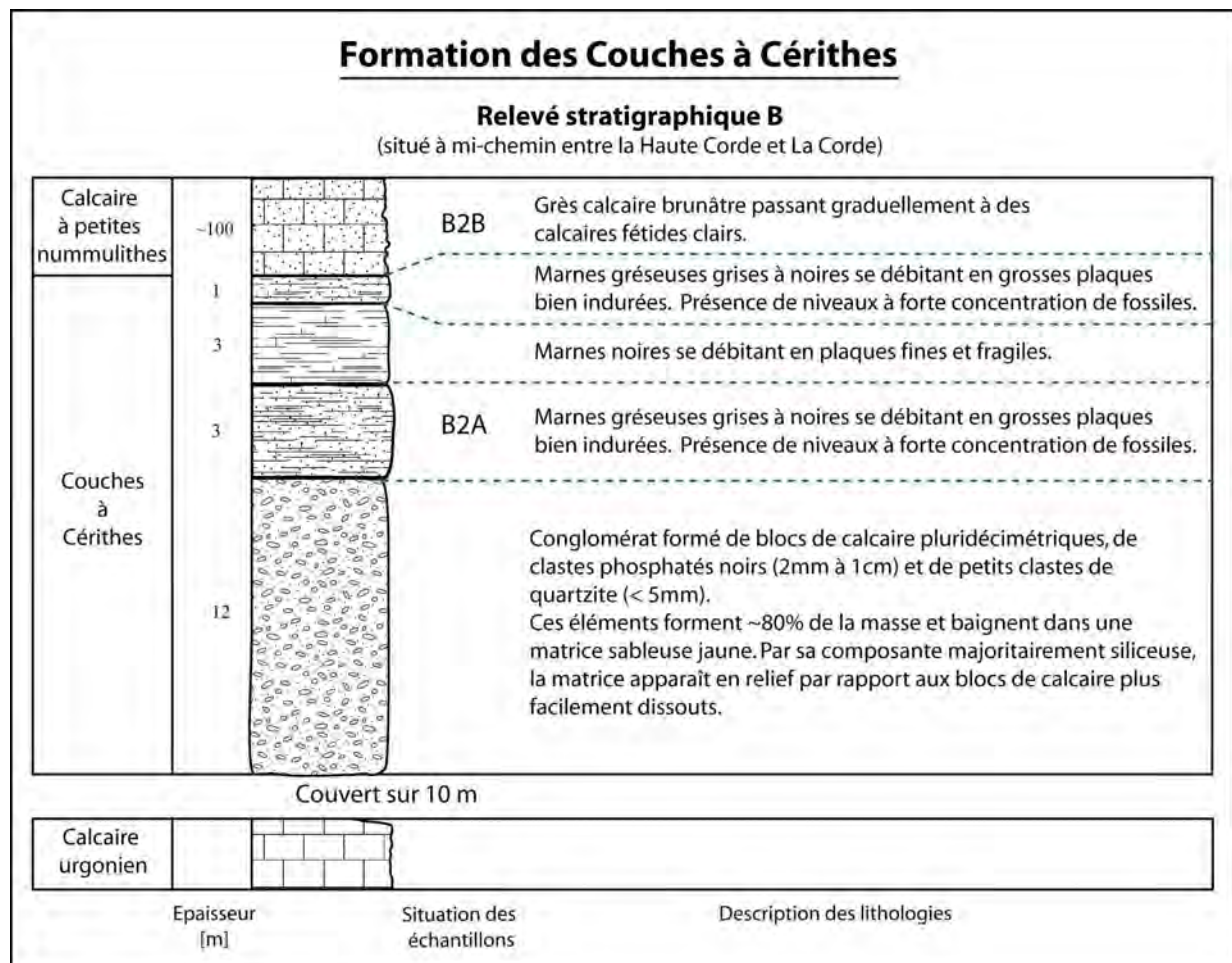


Figure 2.4: Relevé stratigraphique de la Formation des Couches à Cérithes

Calcaires à petites Nummulithes* (E₆) :

Grande épaisseur de calcaire gris qui débute par des grès calcaires brunâtres, passant graduellement à des calcaires fétides à patine claire. Ce calcaire est, par endroits, formé presque exclusivement de Lithothamnies, Orbitoïdes et petites Nummulithes, accompagnés de débris de coraux. L'épaisseur de cette masse calcaire peut dépasser 100m.

Echantillons prélevés : A4 – B2B (Base de la formation)

Marnes à Foraminifères (E_{6G}) :

Marnes beiges en lames épaisses localement schisteuses et grises. Elles contiennent souvent en abondance des Globigérines planctoniques et des fragments de spicules d'éponges.

Flyschs schisteux (E₆-O₁):

Marnes sombres, finement micacées, se débitant en plaques ou grosses lamelles, avec quelques passées plus sableuses et de rares bancs de microgrès.

2.2.2. L'Ultrahelvétique :

Nappe de la Plaine Morte :

Au-dessus de la nappe de Morcles est directement superposé une formation de flysch (f_p) d'épaisseur fort variable formant l'essentiel de la nappe de la Plaine Morte. La façade ouest de la Tour d'Anzeinde forme l'une des zones où ce flysch est particulièrement développé. Constitué d'une masse marno-gréseuse sombre, cette formation est mal litée, contient des lentilles, des blocs et même des lames de 200 m de long de calcaires pélagiques clairs. Par la grande variations de la taille des blocs, ce flysch est appelé « wildflysch ».

Surmontant la nappe de la Plaine Morte, apparaît la nappe d'Anzeinde composée des formations suivantes :

Nappe d'Anzeinde :

Schistes marneux - Callovo-Oxfordien (I₃₋₄):

Schistes marneux gris ou sombres parfois satinés et entrecoupés de quelques minces bancs de calcaire clair. Vers le haut, apparaissent des bancs de calcaire plus ou moins noduleux. Le tout est faiblement fossilifère (débris d'ammonites).

Alternance de marnes et de calcaires clairs - Argovien (I₅) :

Alternance de schistes et de calcaires clairs noduleux en bancs de 10 à 30 cm.

Calcaires bleutés* - Malm (I₆₋₈) :

Grande parois (~50m) calcaires à masse compacte, à patine claire bleutée et en bancs de 10 à 150 cm généralement soudés les uns aux autres. Ces calcaires sont parfois séparés par des schistes sombres avec présence de silex dans les couches de base.

Echantillon prélevé : TA1

Alternance de calcaires et de marnes - Bériasien (C₁) :

Niveau d'épaisseur variable (7 à 30m), lithologiquement de nature diverse : marnes arénacées comportant par endroit des calcaires pseudo-oolithiques à débris roulés et des microbrèches.

Alternance de calcaires et de marnes - Valanginien (C₂) :

Alternance régulière de bancs calcaires gris clairs marneux, et de schistes calcaires marneux.

Calcaire silico-spathique* - Hauterivien (C₃) :

Cette formation (25 à 30m) débute par des schistes arénacés et bitumineux à bancs spathiques, puis viennent des calcaires grésilo-siliceux, brun sombre à roussâtre, à spicules d'éponges.

Echantillon prélevé : TA4

Alternance de calcaires fins et de marnes* - Barrémien (C₄) :

Alternance de calcaires très fins un peu argileux se présentant en bancs de 30 à 40cm et séparés par des marnes de ~10cm d'épaisseur. Les calcaires contiennent des radiolaires calcitisées.

Echantillon prélevé : TA3

Schistes gréseux noirs et marnes glauconieuses* - Aptien-Albien (C₅₋₇) :

De 8 à 120 m d'épaisseur, cette formation est un ensemble de schistes sombres gréseux et de marnes massives gréseuses et glauconieuses.

Echantillon prélevé : TA5

Calcaires et marnes pélagiques* - Cénomaniens-Sénonien (C₈₋₁₀) :

Série de 50m d'épaisseur qui consiste en des calcaires argileux et marnes, le tout contenant des foraminifères pélagiques.

Echantillon prélevé : TA2a + TA2b

Il est à noter que la partie basse du plateau d'Anzeinde est recouvert de formations quaternaires, à savoir de dépôts glaciaires locaux avec vallum ou dépôts de cône d'éboulis. Ces derniers s'accumulent au pied des parois des différents massifs bordant la zone d'étude.



Photo 2.5 : Prise de vue sur la formation de Garschella, le calcaire Urgonien sous-jacent et le calcaire à petites Nummulithes en contact supérieur. Il est à noter la présence du lichen jaune (*Rhizocarpium Geographicum*) sur la formation gréseuse mettant en évidence la composition siliceuse des roches.



Photo 2.6 : Prise de vue sur le contact entre le calcaire à petites Nummulithes et les marnes à foraminifères.



Photo 2.7 : Conglomérat de la couche à Cérithes comprenant des blocs calcaires baignant dans une matrice sableuse jaune.

Chapitre 3

La géochimie et les sols

3.1 Introduction

Pour le monde végétal, la composition du sous-bassement rocheux est capitale puisqu'il va en bonne partie définir la composition des sols, souvent peu développés sur les fortes pentes des montagnes et donnant lieu à des lithosols (sols formés sur roche dure) ou des régosols (sols formés sur roche tendre) (P. Duchaufour, 1997).

Dans ces sols, seule une petite couche de matière organique apparaît en surface. Si la pente est trop importante, cette couche de surface est quasiment absente. Le substratum rocheux qui s'avère dans ces conditions peu altéré, se situe directement en-dessous. Lorsque l'horizon humifère prend plus de puissance suite à une pente moins forte, ou qu'apparaît un début d'altération de la roche-mère libérant ainsi du fer, on a apparition de rendzines sur roche calcaire ou encore de rankers sur des affleurements de roche dure et acide.

L'insuffisance des sols forme l'un des facteurs qui déterminent les conditions écologiques particulièrement sévères des étages alpin et nival. Selon Ozenda (1994), le développement des sols est freiné par les basses températures et la constante érosion qui intervient, de sorte que les caractères physico-chimiques de la roche-mère prennent ici beaucoup plus d'importance qu'aux moyennes et basses altitudes.

Les différentes formations géologiques rencontrées dans la zone d'étude étant toutes formées de roches sédimentaires, leurs grandes caractéristiques géochimiques ne vont varier qu'entre les trois catégories de roches présentées ci-dessous :

1. Les **roches silicatées** : formées de silicates et de silice, mais pauvre en carbonates.
2. Les **roches calcaires** : le carbonate de calcium, parfois associé au carbonate de magnésium en est l'élément dominant.
3. les **roches mixtes** : formées d'une part variable de silicates et de carbonates.

Tel que relevé par Ozenda, les caractères plus ou moins silicatés ou carbonatés de ces trois types de substrat, de par le développement très faible des sols, formeront

donc des caractères prédominants pour les espèces végétales. Les groupements des plantes alpines sont par conséquent souvent classées en deux grands ensembles suivant qu'ils se trouvent sur des roches silicatées ou carbonatées. Les espèces végétales et les groupements auxquels elles appartiennent sont alors dit silicicole, ou calcifuge, si elles évoluent sur des roches silicatées donnant lieu à des sols acides. Dans le cas inverse, les espèces végétales évoluant sur des roches carbonatées et donnant lieu à des sols de pH neutre à alcalin sont dites calcicoles.

	Roches carbonatées	Roches silicatées
Groupements rupicoles	Potentillon caulescentis p.p.	Androsacion vandellii
Groupements d'éboulis	Thlaspion rotundifolii	/
Crêtes ventées	Elynion	Loiseleurio-Vaccinion
Pelouses alpines	Caricion ferrugineae	Caricion curvulae
Pelouses rocheuses	Seslerion Caricion ferrugineae	Festucion variae
Combes à neige	Arabidion caeruleae	Salicion herbaceae
Groupements fontinaux	Cratoneurion commutati	Cardamineto-Montion
Marais	Caricion davallianae Caricion bicoloris-atrofuscae	Caricion fuscae

Tableau 3.1 : Tableau général indiquant les grandes divisions écologiques de l'étage alpin et les alliances phytosociologiques qui leur correspondent, sur roches carbonatées et silicatées (Ozenda, 1994 - complété avec les groupements rencontrés dans la région d'étude).

Les espèces végétales calcifuges se développent donc sur des sols acides. Caractéristique qui peut donc provenir du soubassement rocheux, de nature cristalline ou composé de roches silicatées mais aussi du lessivage de l'ensemble des éléments alcalino-terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+}). Ce dernier phénomène donne lieu à un substrat décarbonaté et à une diminution de la valeur du pH du sol, rendu plus riche en ions H^+ et Al^{3+} . L'acidité du sol peut également être d'origine organique où certains types de plantes, lors de leur décomposition, peuvent donner un humus acide. Les forêts d'épicéas sont caractéristiques de ce type d'acidité.

Sur la base du lien qui vient d'être tissé entre plantes et soubassement rocheux, il est nécessaire de connaître la composition géochimique exacte des formations lithologiques composant les différents massifs et reliefs présents sur le terrain. Les analyses obtenues seront, dans un deuxième temps, mises en comparaison avec les alliances phytosociologiques obtenues lors des relevés afin de voir quels sont les éléments qui influencent le plus la présence et l'abondance des espèces végétales.

3.2 Analyse des données géochimiques :

Les différents échantillons ont été prélevés dans les principales lithologies présentes sur le terrain étudié (voir fig. 2.2 à fig. 2.4). Dans la mesure du possible, cet échantillonnage s'est fait dans des formations ne présentant que peu de variations de manière à ce que l'on puisse considérer que l'analyse soit représentative de l'ensemble de l'unité géologique. Pour que les analyses se rapprochent au mieux de la réalité géochimique, il aurait fallu prélever de nombreux échantillons au sein même de chaque lithologie pour en établir une moyenne.

Les analyses, effectuées par fluorescence X, dévoilent des compositions géochimiques (tableau 3.2) qui reprennent les trois catégories de roches introduites préalablement.

1. L'ensemble des échantillons, pour lesquels une composante majoritaire de CaO (52% à 56%) apparaît, proviennent de formations de calcaire massif (TA1 ; A1 ; A4). La fraction siliceuse se situe dans des pourcentages de l'ordre 0.5% à 4%.
2. Les échantillons provenant de roches mixtes ont été prélevés dans des formations présentant une part non négligeable de détritisme. Ce dernier peut être :
 - à caractère fin (TA3 ; B1A). Les calcaires marneux dont proviennent ces échantillons ont une proportion de SiO₂ légèrement plus élevée, se situant entre 10 et 15% pour une proportion de CaO de 40 à 45%
 - comportant une composante gréseuse (TA2, B2B, TA5). On se situe dès lors face à des roches contenant de 21% à 33% de SiO₂ contre 35% à 40% de CaO.
3. les roches à forte composante siliceuse démontre des pourcentages de SiO₂ qui vont de 40% à 98%. Les formations concernées par ces données vont des marnes gréseuses (B2A) au calcaire grés-siliceux (TA4) en passant par des grès calcaires (A2) et enfin des grès « quartzitiques » (A3).

La perte au feu appliquée à l'ensemble des échantillons lors des analyses montre des résultats qui suivent la même tendance que la proportion de CaO présent dans la roche. Plus il y a de CaO, plus la perte au feu est importante alors que moins il y a de CaO, plus les résultats de la perte au feu sont minimes. Les différents éléments et molécules que la perte au feu élimine sont H₂O, C ou encore, suivant la nature des minéraux F, Cl et S. Il se peut, dans ce cas, que la perte au feu démontre la présence d'une quantité d'eau conséquente et qui pourrait être liée aux argiles insérés dans les calcaires. La perte au feu serait alors proportionnelle à la quantité d'argiles présente dans la roche. Ceci ne représente qu'un postulat qu'il s'agirait de vérifier par des analyses adéquates.

Interaction entre la géochimie des roches, les sols et les plantes

- La proportion de calcaire ou de silice est un facteur primordial pour beaucoup de plantes. Selon Duchaufour (1997), la notion de calcicole-calcifuge fait référence à la présence ou l'absence de calcaire actif dans le sol (calcaire sous la forme fine ou non cristallisée). Le calcaire actif libère du calcium soluble dans le sol en quantité d'autant plus élevée que la pression de CO₂ est forte suite à l'activité biologique. Le sol est alors dit alcalin. Ceci provoque la saturation du

complexe humique en Ca^{2+} au détriment des autres cations basiques (Mg^{2+} , K^+), éléments nutritifs qui font alors défaut, mais aussi l'insolubilisation de certains oligo-éléments indispensables (bore, fer, manganèse - En règle générale, si le pH s'élève, la solubilité des oligo-éléments diminue, si le pH s'abaisse, elle augmente.) et enfin des carences en N et P. Pour contrer cet effet indésirable du calcium, les espèces calcicoles produisent des substances chélatantes qui mobilise le Fe et Mn. Les espèces végétales calcifuges, ou silicicoles, ne possèdent pas cette capacité et souffrent de chlorose à la suite d'une carence de ces deux éléments.

- En dehors de ces trois composantes géochimiques principales des roches sédimentaires que sont le CaO , le SiO_2 et les éléments de perte au feu qui forment une majeure partie des roches sédimentaire analysées, il reste à relever la présence non négligeable de certains éléments qui peuvent avoir une incidence sur la croissance des plantes.

Il s'agit tout d'abord de Al_2O_3 dont le pourcentage varie de 0.12% à 5.4%. La présence d'aluminium dans le sol sous la forme du ion Al^{3+} s'avère fortement toxique car nuit au développement racinaire des espèces végétales neutrophiles (Duchaufour, 1997). Les espèces végétales calcifuges, quant à elles, sont en général très tolérantes vis-à-vis de l'aluminium, qu'elles précipitent dans leurs parois cellulaires, de manière à éviter tout dommage au cytoplasme (Gobat et al., 2003). La nocivité prend toute son ampleur lorsque le sol descend sous un pH de 5. Au-delà de cette valeur, sa toxicité est réduite.

On distingue aussi les nutriments de base, absorbés souvent en quantité élevée par la plante. Parmi les éléments majeurs faisant partie des analyses géochimiques des roches, il est à noter, en plus du calcium déjà cité, le phosphore, le magnésium et le potassium. En tant que cations basiques, le Ca^{2+} , le Mg^{2+} et le K^+ sont des sels solubles qui interviennent non seulement en tant qu'éléments nutritifs mais ont aussi un rôle essentiel à jouer dans la neutralisation de l'acidité des sols, le maintien de l'activité biologique mais aussi dans la structuration des sols (Duchaufour, 1997). La structure du complexe argilo-humique est en effet assurée par le calcium ou le fer. Ces deux éléments permettent de relier les deux composants de base du complexe argilo-humique que sont les argiles et les polymères organiques, à savoir l'humus. Le calcium donne des liaisons solides, très stables, qui empêchent une minéralisation trop rapide de la matière organique humifiée et qui s'oppose à la dispersion des argiles (Gobat et al. 2003). Le complexe argile-calcium-humus confère au sol une teinte noire. Il forme aussi la matrice des microagrégats et en assure la cohésion. Un ensemble de microagrégats, débris organiques (feuilles, racines) et grains de sable donnera lieu à un macroagrégat. C'est ce dernier qui forme la structure grumeleuse de la « terre ».

Le fer fait également partie des oligo-éléments indispensables à la plante en faible dose (Duchaufour, 1997).

Chapitre 4

La végétation d'Anzeindaz

4.1 Introduction

La végétation du plateau d'Anzeindaz a été analysée au travers de 130 relevés phytosociologiques. Ces derniers ont permis de mettre en évidence les différents groupements décrit au point 4.2.

Les groupements définis par le biais de ces relevés sont au nombre de dix-huit. Leur liste présentée ci-dessous suit la classification des unités typologiques telle que Delarze et al. (1998) le propose. Les groupements figurant en gras sont acidophiles :

Gazon des crêtes ventées :

- *Elynion*

Pelouses :

- *Seslerion*
- *Caricion ferrugineae*
- *Caricion firmae*

Combes à neiges:

- *Arabidion caeruleae*
- ***Salicion herbaceae***

Pâturages:

- *Poion alpinae*
- ***Nardion***

Dalles et lapiez:

- *Drabo-Seslerion*

Landes:

- ***Loiseleurio-Vaccinion***
- ***Rhododendro-Vaccinion***
- *Adenostylin*

Eboulis:

- *Thlaspion rotundifolii*
- *Petasition paradoxii*
- *Drabion hoppeanae*

Parois:

- *Potentillion*

Bas-marais:

- ***Caricion fuscae***

Reposoirs à bétails :

- *Rumicion alpini*

4.2 Description des groupements phytosociologiques

La description des différentes alliances présentée ci-dessous est faite sur la base des observations de terrains et des ouvrages de Delarze et al.(1998) ainsi que de Martinoni (2003). Cette description reprend l'ensemble des groupements phytosociologiques observés sur les nombreux relevés réalisés. Ces groupements ont été obtenus, lors de l'analyse statistique des données de végétation, par analyse factorielle des correspondances et par groupement (clustering) (voir chapitre 5).

Bas-marais :

Caricion fuscae – Parvocariçaie acidophile

Cette alliance est caractérisée par un tapis dense de cypéracées de petite taille, liées à des substrats pauvres en calcaire et donc de nature plutôt acide. Ce groupement que l'on retrouve surtout en moyenne montagne est répandu dans les zones de montagne présentant des roches acides ou encore des terrains décarbonatés dans les régions calcaires. *Carex canescens* et *Eriophorum scheuchzeri* font partie des espèces les plus caractéristiques de ce milieu.

Les éboulis :

Thlaspion rotundifolii – Eboulis calcaires d'altitude

Groupement particulièrement étoffé et répandu à l'étage alpin des Alpes du Nord et orientales. Il représente le premier stade de colonisation des éboulis carbonatés et ne présente qu'une faible densité de végétation.

La plupart des plantes de ce milieu sont très bien adaptées aux perturbations mécaniques des éboulis leur permettant de revenir chaque année à la surface du pierrier, après un ensevelissement temporaire. Ce milieu est aussi caractérisé par une certaine sécheresse due à la granulométrie conséquente qui ne retient que mal l'humidité. Le sol peu développé dans ce milieu est clairement de nature alcaline. *Thlaspi repens*, *Cerastium latifolium*, *Galium megalospermum* ou *Leontodon montanus* forment des espèces caractéristiques de cette alliance.

Drabion hoppeanae – Eboulis de calcschistes d'altitude

Alliance se développant sur des éboulis de schistes calcaires. Par la nature de la roche qui comporte une plus grande teneur en éléments fins, ce milieu offre une plus grande humidité. De plus, la désagrégation en plaquettes fines diminue la mobilité de l'éboulis et implique l'observation de plantes plus petites et trapues que celle des éboulis calcaires. Les sols développés dans ce milieu sont en général neutre à alcalin. Ce groupement phytosociologique s'étend à l'étage alpin jusqu'à la limite des neiges permanentes (étage nival – 4000m). *Achillea nana*, *Saxifraga biflora* et *Trisetum spicatum* font partie des espèces les plus caractéristiques de ce milieu.

Petasition paradoxi – Eboulis calcaire humide

Alliance se développant sur des éboulis calcaires plus ou moins mobiles, situés en pied de pente et sur des cônes d'alluvions. On la retrouve en général aux étages montagnard, subalpin et alpin. Par sa richesse en terre fine, le sol, de nature alcaline, y est souvent plus frais et plus fertiles que dans les autres éboulis. La végétation formée majoritairement de pétasites, adénostyles et valérianes y est luxuriante. La plante la plus typique et souvent dominante est *Petasites paradoxus*.

Les parois :

Potentillion – Parois calcaires ensoleillées avec végétation vasculaire

Groupe pionnier des roches calcaires et dolomitiques des Alpes et du Jura. La végétation, colonisant des parois verticales ne permettant pas l'accumulation de terre fine, n'a qu'un faible recouvrement. Le peu de sol présent est fortement influencé par la roche-mère et présente une composante très alcaline. Ce milieu, par sa situation, est soumis à des périodes d'intenses sécheresses et à d'importantes variations de température. *Potentilla caulescentis*, *Androsace helvetica* font partie des espèces caractéristiques de ce milieu.

Dalles et lapiez :

Drabo-Seslerion – Dalles calcaires et lapiez de montagne

Alliance riche en plantes rampantes ligneuses, formant des espaliers à la surface des dalles calcaires exposées au sud. La végétation est pauvre en thérophytes puisque les conditions hivernales y sont trop rudes pour permettre le développement de leurs rosettes. Des éboulis de gros blocs stabilisés et le lapiez peuvent aussi être colonisés.

En tant que milieu pionnier, les sols sont très peu développés ont un pH neutre à alcalin.

Astragalus depressus, *A. sempervirens* ou *Euphrasia salisburgensis* sont quelques unes des plantes caractéristiques de ce milieu.

Pelouses et pâturages maigres d'altitude :

Seslerion – Pelouse calcaire sèche à Soslérie

Cette pelouse fleurie, à flore très diversifiée et riche en légumineuses, occupe des pentes pierreuses calcaires ensoleillées. Le sol y est superficiel, séchant, de nature alcaline et forme le type rendzine. La structure du milieu est conditionnée par la dominance de plantes cespitueuses (*Sesleria caerulea*, *Carex sempervirens*) qui forment des gradins sous l'effet de la solifluxion. La soslérie est typique de ces pelouses et en général dominante. *Arabis ciliata*, *Arenaria grandiflora*, *Carex baldensis* forment quelques-unes des plantes caractéristiques de ce milieu.

Sur la zone d'étude, ce milieu montre parfois une tendance à développer des caractéristiques de l'*Arabidion caeruleae* ou encore de l'*Elynion*.

Caricion ferrugineae – Pelouse calcaire fraîche

Alliance qui s'étend de l'étage montagnard à l'étage alpin, plus précisément dans des couloirs à avalanches humides et des pâturages frais. Cette pelouse occupe généralement des pentes calcaires, à sol alcalin, exposées au nord. Elle est souvent dominée par *Carex ferruginea*, *Festuca violacea* ou *Calamagrostis varia* qui forment des tapis plus ou moins continus. Pas de véritable espèce différentielle.

Sur la zone d'étude, ce milieu montre parfois une tendance à développer des caractéristiques de l'*Elynion* ou encore du *Seslerion*.

Caricion firmae – Pelouse calcaire sèche à laïche ferme

Alliance formant une pelouse rase et clairsemée, dominée par les touffes serrées et coriaces de laïche ferme (*Carex firma*). Cette espèce croît lentement et a une grande longévité. Comme les autres plantes de ce milieu, elle est adaptée à une période de végétation brève, entrecoupées de fréquentes intempéries et périodes sèches. Ce groupement est également résistant au stress mécanique des terrains soumis à des gels fréquents.

Cette alliance remplace la pelouse à séslerie (*Seslerion*) sur des sols squelettiques calcaires (rendzines), souvent pauvres en terre fine, mais parfois riches en humus. Elle occupe surtout l'étage alpin supérieur (2300m à 2800m) mais peut s'étendre à plus basse altitude dans des sites au climat rude.

Les espèces caractéristiques que l'on retrouve dans ce groupement sont, en dehors de *Carex firma*, *Crepis kernerii* ou encore *Saxifraga caesia*.

Nardion – Pâturage maigre acide

Alliance qui forme un gazon ras et uniforme, parsemé de fleurs et qui occupe des sols acides en surface et pauvres en nutriments. Le *Nardion* est marqué par la dominance de *Nardus stricta*. Il est répandu à l'étage alpin inférieur et caractérisé, entre autres plantes, par *Arnica montana*, *Geum montanum*, *Campanula barbata* ou encore *Gentiana acaulis*.

Sur la zone d'étude, ce milieu montre parfois une tendance à développer des caractéristiques du *Rhododendro-Vaccinion*.

Elynion – Gazon des crêtes ventées

L'aspect de ce gazon est déterminé par les touffes denses d'*Elyna myosuroides*, espèce très résistante au froid. Entre ces touffes croissent des plantes basses et des lichens.

Ce groupement n'occupe que les crêtes ventées soumises à un microclimat continental. En effet, l'absence de couverture neigeuse en hiver expose

directement le milieu à des températures très basses ainsi qu'à l'action desséchante et érosive des vents.

Cette alliance nécessite un terrain de pH neutre, riche en humus qu'elle trouve souvent dans des pierriers colonisés par des saules rampants.

Elyna myosuroides et *Antennaria carpatica* font partie des plantes caractéristiques du milieu.

Combes à neige :

La végétation de la combe à neige est fortement marquée par une longue période d'enneigement ne laissant qu'un laps de temps très court, variant de 6 semaines à 4 mois, pour le développement des plantes. Durant la brève période déneigée, le sol reste détrempé en permanence.

Avec le temps, le sol va tendre à une certaine acidification suite à une décomposition lente des végétaux, à un enrichissement du sol en matériel fin capturé par la neige et au sol très humide.

Arabidion caeruleae – Combe à neige calcaire

Alliance caractérisée par un tapis discontinu de plantes de petite taille en rosettes qui occupent la partie centrale longuement enneigée de la combe. En périphérie du centre, des saules rampants (*Salix retusa* et *Salix reticulata*) dominant le plus souvent. Cette végétation exige un sol calcaire et humide en permanence, alors même que le substrat est plus caillouteux et donc plus perméable que les combes à neige acides. Pour cette raison, les mousses y sont relativement peu abondantes. *Arabis caerulea*, *Gnaphalium hoppeanum* ou *Salix reticulata* sont des espèces caractéristiques de ce milieu.

Cette unité se rencontre de l'étage subalpin à l'étage subnival.

Salicion herbaceae – Combe à neige acide

Ce milieu possède un tapis végétal plus continu que la combe calcaire. Il est dominé par *Salix herbacea* ou des dicotylédones à rosettes. Les mousses sont beaucoup plus abondantes que dans la combe à neige calcaire et domine dans les endroits où la période d'enneigement dépasse 10 mois. Les conditions les plus marquantes sont la grande humidité du sol, présence d'humus en quantité au vu de la décomposition lente des végétaux, présence d'argile dans l'horizon superficiel, un sol de nature acide et des conditions climatiques stables puisque imposées par les longues périodes de couverture neigeuse. *Alchemillapentaphyllea*, *Carex foetida* ou encore *Cardamine alpina* sont des plantes caractéristiques du milieu.

Cette unité se rencontre de l'étage subalpin à l'étage subnival. Sur la zone d'étude, elle montre parfois une tendance à développer les caractéristiques du *Rumicion alpini*.

Pâturage gras :

Poion alpinae – Pâturage gras subalpin et alpin

Groupe formant des pelouses denses et basses, où des espèces alpines telles que *Phleum alpinum*, *Poa alpina*, *Plantago alpina*, remplacent les plantes des pâturages de basses altitudes. Cette unité se rencontre sur des sols neutres, fertiles et alimentés en eau. Elle occupe des surfaces peu pentues et longuement enneigées. Le *Poion alpinae* est abondant à partir de l'étage montagnard supérieur sur l'ensemble de la région alpine. Les espèces caractéristiques de ce milieu sont, entre autres, *Phleum rhaeticum* ou *Crepis aurea*.

Sur la zone d'étude, ce milieu montre parfois une tendance à développer des caractéristiques du *Seslerion* ou du *Nardion*.

Mégaphorbiaies :

Adenostylion – Mégaphorbiaies de montagne hygrophiles à *Adenostyles*

Mégaphorbiaie dominée par des plantes dicotylédones à feuilles larges telles que *Aconitum*, *Adenostyles* et *Cicerbita*. Le sol y est profond, neutre à alcalin, constamment humide, présentant une forte activité biologique et une grande richesse en nutriments. Une situation peu ensoleillée lui convient très bien. Ce groupement se situe sur des terrains longuement enneigés des étages subalpin et alpin inférieur, avec une période de végétation courte mais intense. Les espèces caractéristiques de ce milieu sont, entre autres, *Aconitum neomontanum*, *Delphinium elatum* ou *Myosotis decumbens*.

Ce type de mégaphorbiaie est abondante dans les zones schisteuses et bien arrosées des Alpes du nord.

Landes :

Loisoleurio-Vaccinion – Lande alpine ventée

Lande de petite taille, constituée d'un tapis d'éricacées et d'empétracées, généralement accompagnées de nombreux lichens. Cette formation se développe à l'étage alpin sur des croupes ventées soumises à de très basses températures hivernales suite à l'absence de couverture neigeuse. Elle remplace le gazon des crêtes ventées sur des sols acides, type de sol où *Loisoleuria* et les lichens sont favorisés. Les espèces caractéristiques de ce milieu sont, entre autres, *Empetrum nigrum* ssp. *hermaphroditum*, *Loiseleuria procumbens*.

Sur la zone d'étude, ce milieu montre parfois une tendance à développer des caractéristiques de l'*Elynion*.

Rhododendro-Vaccinion – Lande alpine méso-hygrophile sur sol acide

Groupe caractérisé par une importante couverture de *Rhododendron ferrugineum* ou de *Vaccinium myrtillus* ainsi que de mousses pleurocarpes. Parfois, le pin couché y est également abondant.

L'optimum de ce milieu est situé dans des zones peu ensoleillées et longtemps sous la neige. Dans la mesure où le Rhododendron est sensible aux basses températures, la neige assure une très bonne protection contre les grands froids.

Le sol, souvent de type podzol, est acide, pauvre en nutriments et présente une couche d'humus brut en surface.

Associée aux forêts de conifères, ce groupement dessine une ceinture à la limite supérieure de l'étage subalpin.

Terrains piétinés et rudéraux :

Rumicion alpini – reposoirs à bétail

Mégaphorbiée luxuriante caractéristique, dominée par les plantes non consommées par le bétail telles que *Rumex alpinus*, *Senecio alpinus* ou encore *Aconitum compactum*. Ces dernières profitent du surengraissement des terrains provoqué par la présence du bétail dans les alentours directs des chalets d'alpage l'accueillant ou sur les replats utilisés pour ruminer. Le sol de ce milieu est en général de nature alcaline à neutre.

La flore constante des reposoirs comprend également des ubiquistes des sols riches comme *Alchemilla xanthochlora*, *Rumex alpestris*, *Deschampsia caespitosa* et *Stellaria nemorum*.

Sur la zone d'étude, ce milieu montre parfois une tendance à développer des caractéristiques du *Nardion*.

Suite à la description de l'ensemble des milieux répertoriés, il est à noter que 5 milieux sont acidophiles et situés sur des substrats acides. Les milieux restants évoluent sur des sols neutres à alcalins. Les deux types de plantes, calcicoles et calcifuges, sont donc bien représentés sur le terrain d'étude.

Chapitre 5

Analyse statistique des relevés de végétation d'Anzeindaz

5.1 Introduction

Comme décrit dans la méthode du sous-chapitre 5.1, le traitement des différentes données liées à la végétation se fait au travers de trois types d'analyses :

- Analyse factorielle des correspondances (AFC)
- Analyse en composante principale (ACP)
- Analyse canonique des correspondances (ACC)

5.2 Analyse factorielle des correspondances

Ce type d'analyse permet de comparer les différents relevés en fonction de leur composition en espèces. Il cherche à établir les similitudes et dissemblances existantes en terme d'espèces entre les relevés. Il permet aussi de mettre en évidence l'existence de gradients. Le tout est projeté dans un espace à n dimensions où on ne retient que celles (maximum de 3 dimensions) ayant le plus de variance.

L'AFC est représentée à la figure 5.1. Les données étant réparties sur un fort gradient écologique, les relevés et espèces sont réparties le long d'un arc, appelé effet Guttman au sein duquel il est difficile de faire ressortir des groupes de relevés.

Il est à noter que sur cette figure, le relevé 538 n'est pas représenté dans la mesure où il se situe largement en dehors du nuage de point principal.

Par la méthode du « clustering », il est possible d'effectuer une séparation. Ceci amènera par conséquent un groupement des relevés d'une part et des espèces d'autre part sur deux dendrogrammes distincts (voir figure 5.2 et 5.3). Une fois ces groupements effectués, il s'agit de faire une comparaison et de voir quelles sont les correspondances entre les deux groupements obtenus.

Dans notre cas et selon les dendrogrammes obtenus, ce sont 18 groupes de relevés qu'il est possible de faire ressortir ainsi que 30 groupes d'espèces. L'ensemble de ces groupes sont rassemblés dans un tableau de végétation figurant en annexe 1. Ce tableau permet d'avoir une idée globale des groupes de relevés, des espèces qu'ils

comportent et de la valeur discriminante des espèces dans les groupes de relevés obtenus.

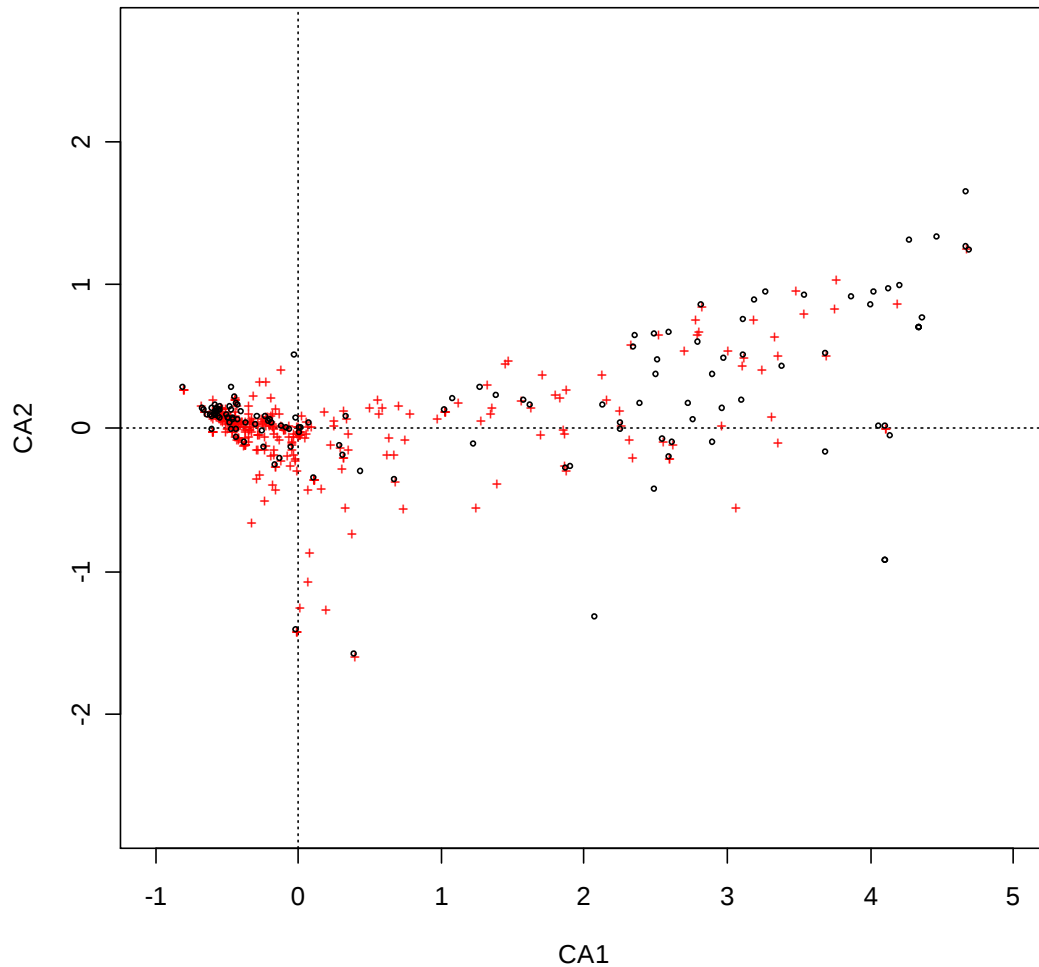


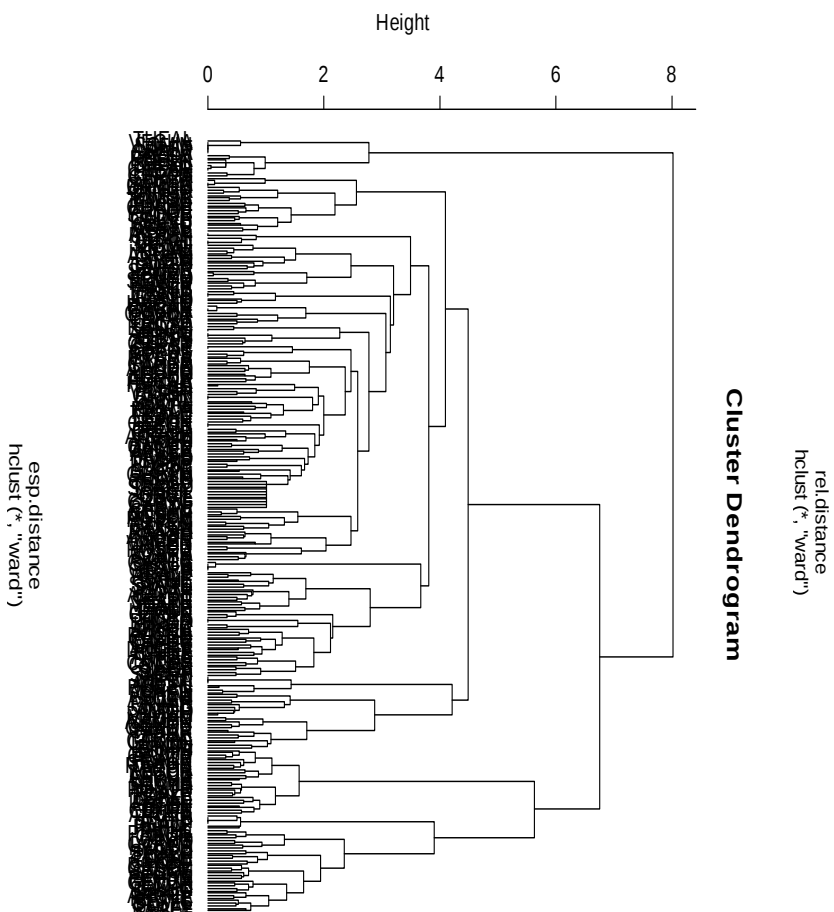
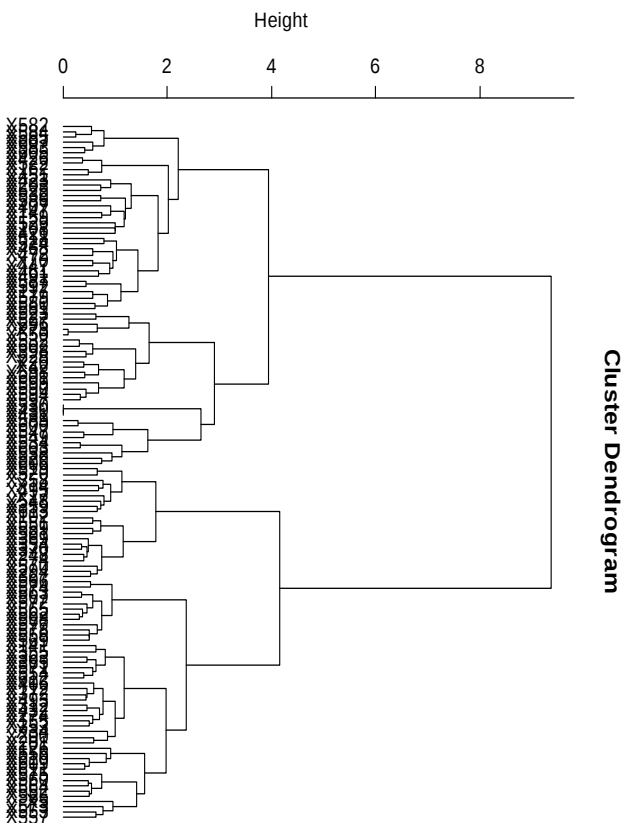
Figure 5.1 : Représentation des relevés et des espèces sur les axes 1 et 2 du plan factoriel (AFC). Cette AFC a été recentrée sur le nuage principal des points.

Une valeur discriminante est obtenue pour chaque espèce végétale après analyse discriminante. Cette dernière permet de classer les espèces en fonction de leur spécificité au groupe de relevé. Les espèces très fréquentes ou très rares, tout groupe de relevé confondus, sont en effet inutiles pour le groupement des relevés. La valeur discriminante est d'autant plus élevée que l'espèce est caractéristique du groupe de relevé.

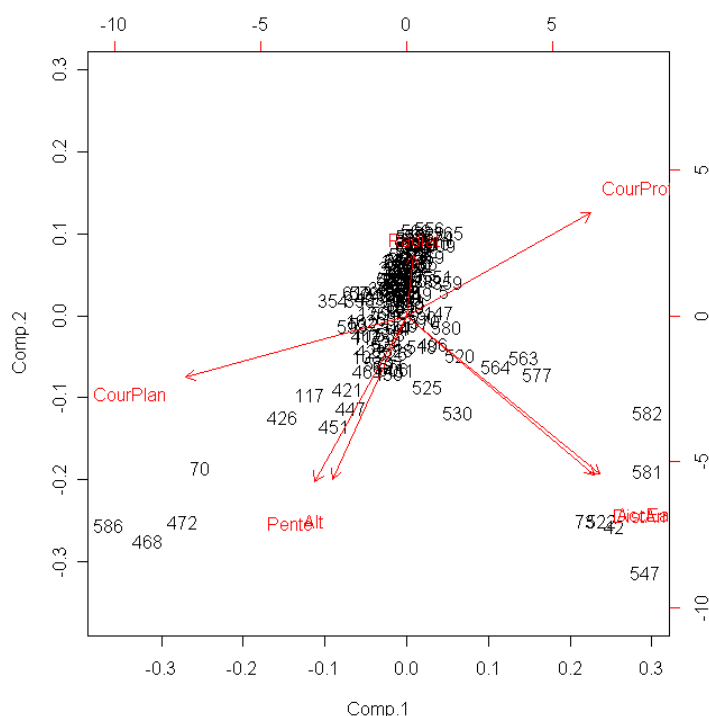
Figures 5.2 et 5.3 :

En haut : dendrogramme des relevés sur la base duquel 18 groupes de relevés ont été formés.

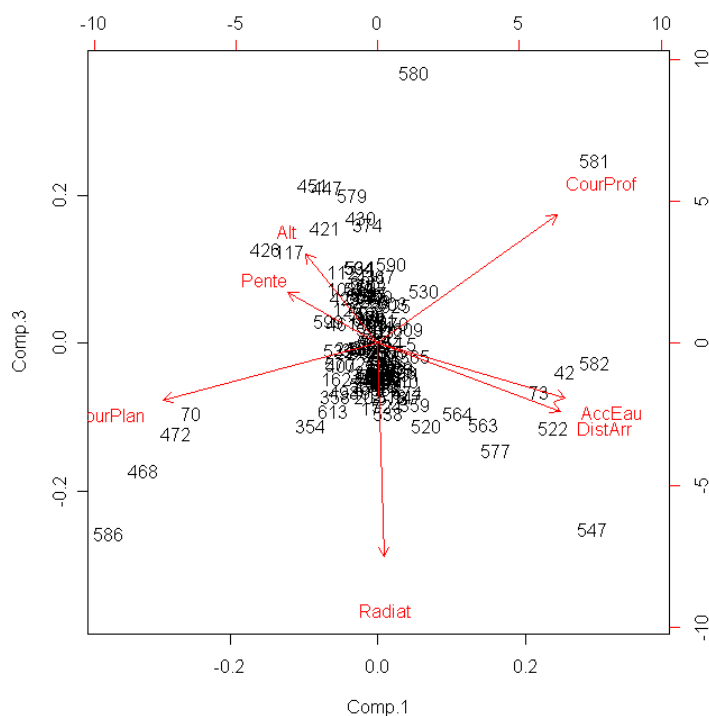
En bas : dendrogramme des espèces sur la base duquel 30 groupes d'espèces ont été formés.



5.3 Analyse en composantes principales



Figures 5.4 et 5.5: Analyses des relevés en composantes principales.



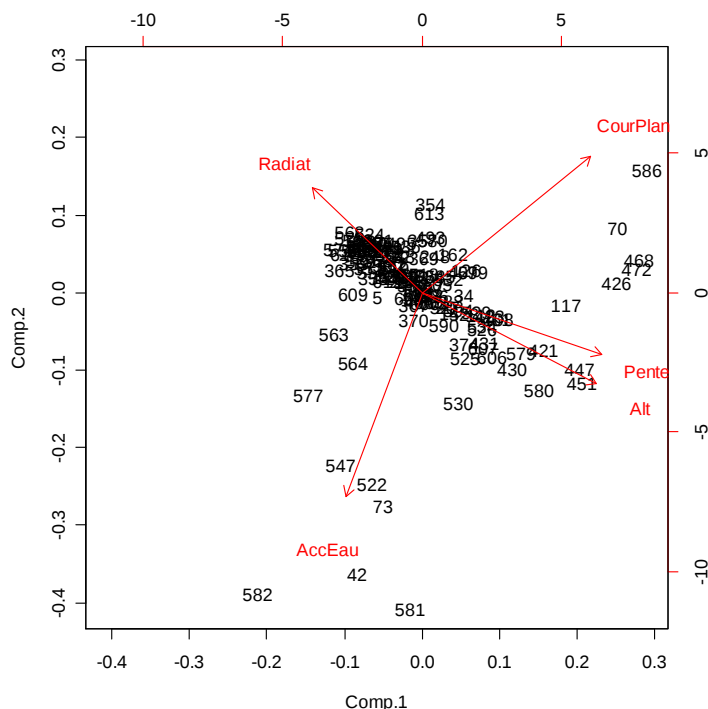
Ce type d'analyse permet le traitement des données environnementales par une comparaison des relevés basée uniquement sur les variables environnementales à disposition. Dans cette première ACP, la géochimie n'est pas encore prise en compte.

Les figures 5.4 et 5.5 permettent de visualiser les différents relevés sur la base des variables environnementales qui sont la pente, l'altitude, la courbure plan, la courbure profil, la radiation, la distance à la crête et l'accumulation de l'eau.

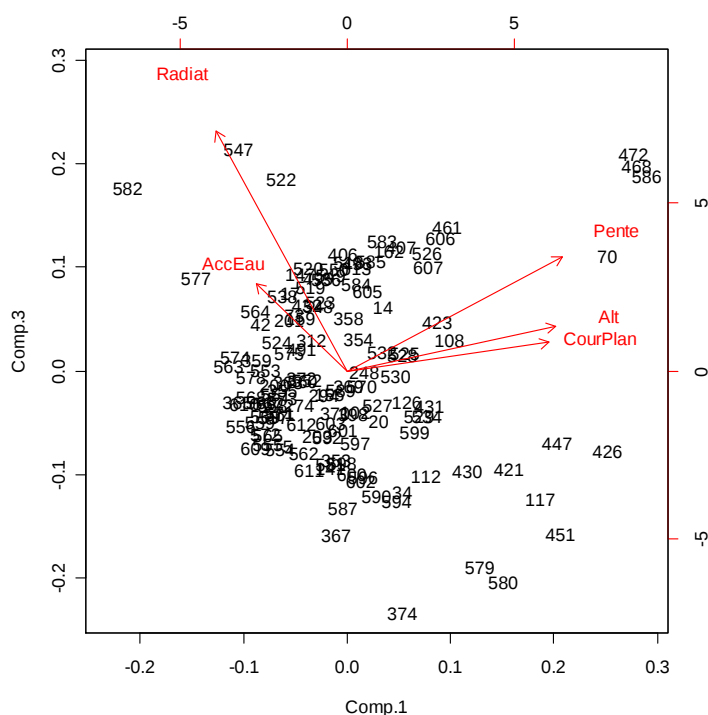
Les graphiques nous indiquent que sur l'ensemble des variables écologiques, toutes semblent jouer un rôle conséquent en dehors de la pente et de l'altitude qui ont une importance moindre. De plus, la courbure plan et la courbure profil, inversement corrélées, sont les variables qui expliquent la plus grande partie de la variance. On remarque aussi que la distance à la crête et l'accumulation de l'eau d'une part ; la pente et l'altitude d'autre part sont également des variables corrélées.

Ces différentes corrélations peuvent également être testées en construisant un graphique ne reprenant que les valeurs des deux variables en corrélation. Les graphiques obtenus et situés en annexe 3 démontrent que la corrélation inverse se vérifie bel et bien pour les courbures plan et profil. La corrélation se vérifie également pour la distance à la crête et l'accumulation d'eau.

Cependant, au vu du graphique pente-altitude présentant un nuage de point très dispersé, la corrélation entre ces deux dernières variables n'est plus avérée.



Figures 5.6 et 5.7: Analyses des relevés en composantes principales après modification des variables écologiques.



Sur la base de ces constatations, il est possible d'effectuer une nouvelle ACP en supprimant une variable pour chaque paire de variables corrélées. La variable courbure profil sera dès lors éliminée au profit de la variable courbure plan qui présente une variation plus importante. Dans le 2^{ème} cas de figure, conserver la variable d'accumulation d'eau paraît plus pertinent dans la mesure où elle influence une gamme plus large de relevés que la distance à la crête qui influence principalement les relevés situés sur ou en bordure de crête.

Les résultats de l'ACP tenant compte des modifications opérées quant au nombre et à la nature des variables sont présentés en figures 5.6 et 5.7.

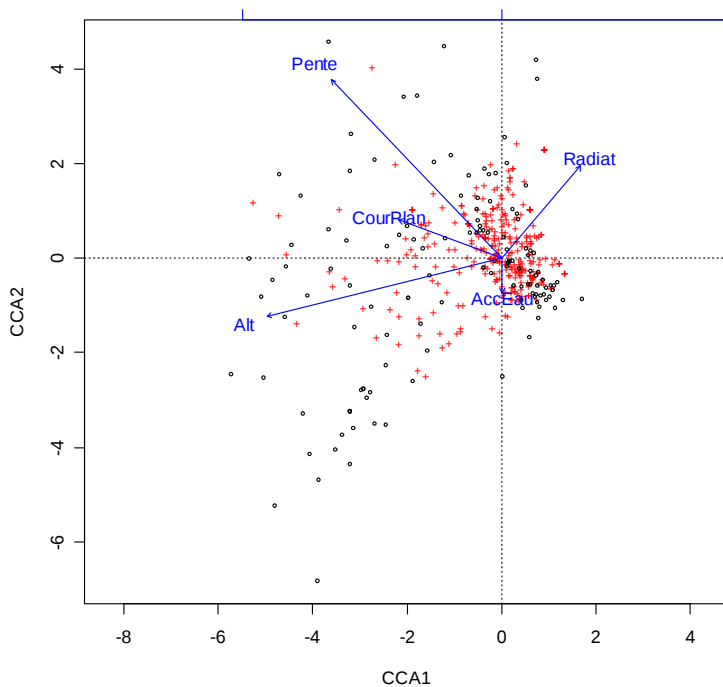
On constate que toutes les variables explicatives conservées sont importantes. L'axe 1 est surtout expliqué par la pente (associée à l'altitude) et la courbure plan ; l'axe 2 est quant à lui expliqué par l'accumulation d'eau alors que l'axe 3 donne de l'importance aux radiations.

Ces trois premiers axes sont expliqués par respectivement 33.6 %, 25.7 % et 17.3 % de la variance.

Sur les axes 1 et 2, ces variables semblent être très explicatives pour un nombre restreint de relevés, ou du moins pour des relevés qui sont en marge de la

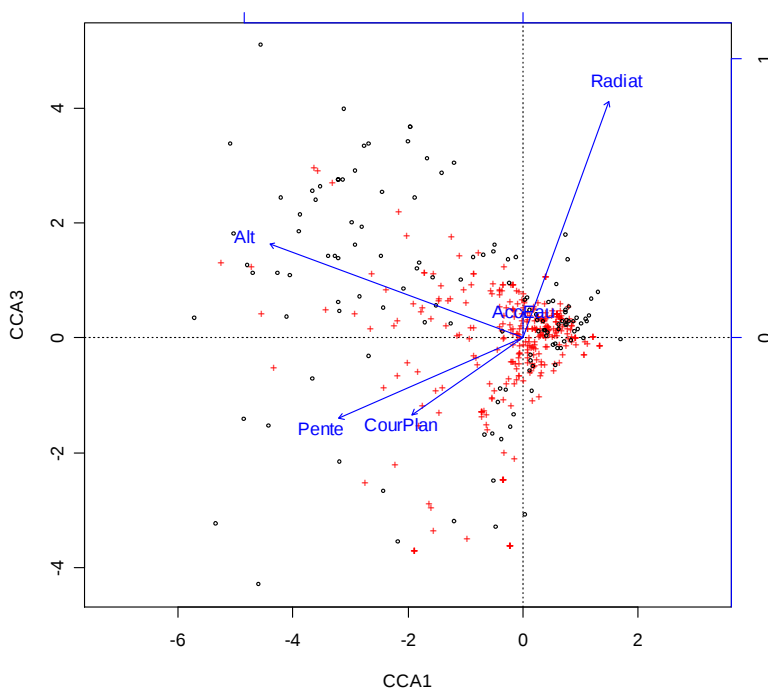
grande masse des relevés situés dans le nuage central. La répartition des relevés est meilleure selon les axes 1 et 3.

5.4 Analyse canonique des correspondances



Ce type d'analyse donne la possibilité de tenir compte simultanément des espèces et des données environnementales. On peut ainsi les mettre en comparaison les unes aux autres et définir l'importance de chaque variable écologique sur la base des espèces (et non plus des relevés). Ce type d'analyse implique une ordination sous contrainte à savoir que les relevés sont arrangés dans un espace défini par des axes eux-mêmes issus de la combinaison linéaire des variables écologiques, auxquels sont corrélés les axes des espèces.

Figures 5.8 et 5.9: Analyses canoniques des correspondances.



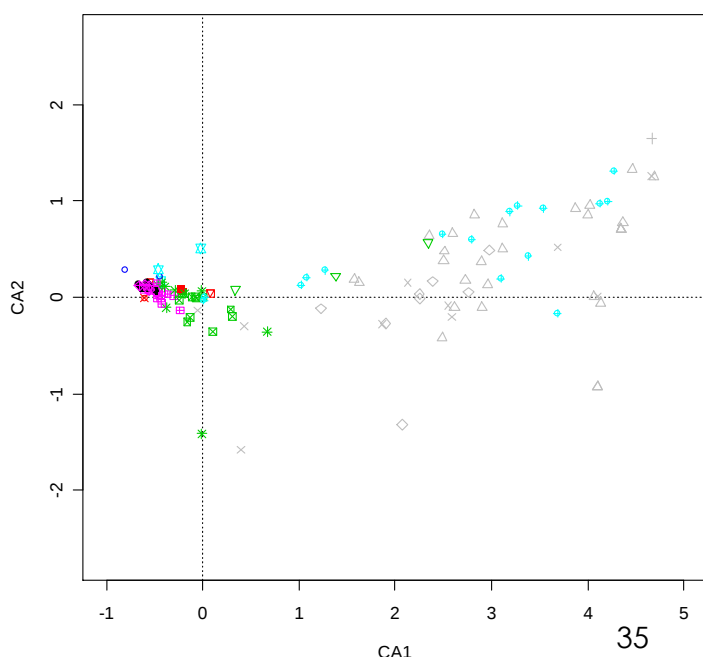
Parmi les variables écologiques des graphiques de l'ACC présentés aux figures 5.8 et 5.9, ce sont l'altitude, la pente et la radiation qui sont les plus marquées. Toutes trois expliquent respectivement les axes 1 à 3. La courbure plan accompagne l'altitude en tant que variable explicative de l'axe 1. L'accumulation d'eau ne joue qu'un rôle très mineur.

5.5 Nouvelle ACF avec les milieux (selon Delarze et al.) et leur groupement phytosociologique :

Suite aux analyses statistiques (ACF, ACP, ACC) déjà réalisées et ayant défini le nombre de groupements phytosociologiques ainsi que l'importance des différentes variables écologiques, il est utile de réaliser une seconde fois les mêmes analyses en ayant converti chaque relevé en l'un des milieux définis par Delarze et al. (1998). Les graphiques présentent dès lors un symbole par alliance et une couleur par « grand » type de milieu (tableau 5.10).

Code	CodeSymbol	Couleur	CodeCouleur	Milieu	type Milieu
2.2.2	1	blue	4	Caricion fuscae	Bas-Marais
3.3.1.2	2	gray	8	Thlaspion rotundifolii	Eboulis/parois
3.3.1.3	3	gray	8	Drabion hoppeanae	Eboulis/parois
3.3.1.4	4	gray	8	Petasion paradoxo	Eboulis/parois
3.4.1.2	5	gray	8	Potentillion	Eboulis/parois
4.1.2	6	green	3	Drabo-Seslerion	Pelouse/lapiez
4.3.1	7	green	3	Seslerion	Pelouse/lapiez
4.3.3	8	green	3	Caricion ferrugineae	Pelouse/lapiez
4.3.5	9	yellow	6	Nardion	Pâturage maigre
4.4.1	10	cyan	5	Arabidion caeruleae	Combe à neige
4.4.2	11	cyan	5	Salicion herbaceae	Combe à neige
4.5.4	12	magenta	6	Poion alpinae	Pâturage gras
5.2.4	13	red	2	Adenostylion	Landes
5.4.5	14	red	2	Rhodododendro-Vaccinon	Landes
5.4.6	15	red	2	Loiseleurio-Vaccinon	Landes
7.1.7	16	black	1	Rumicion alpini	Reposoir à bétail

Tableau 5.10 : Tableau des couleurs utilisées pour l'ensemble des milieux figurant dans la seconde AFC représentée en figure 5.11.



L'AFC de la figure 5.11 permet d'observer le conditionnement de l'axe 1 (valeur de variance : 57 %) par les éboulis/parois et les combes à neige. La zone proche de l'origine étant confuse, il est nécessaire de recentrer sur cette partie du graphique afin de mieux interpréter la signification des axes (figure 5.12).

Figure 5.11 : Graphique de la seconde AFC présentant les différents milieux (selon Delarze et al, 1998) attachés aux relevés.

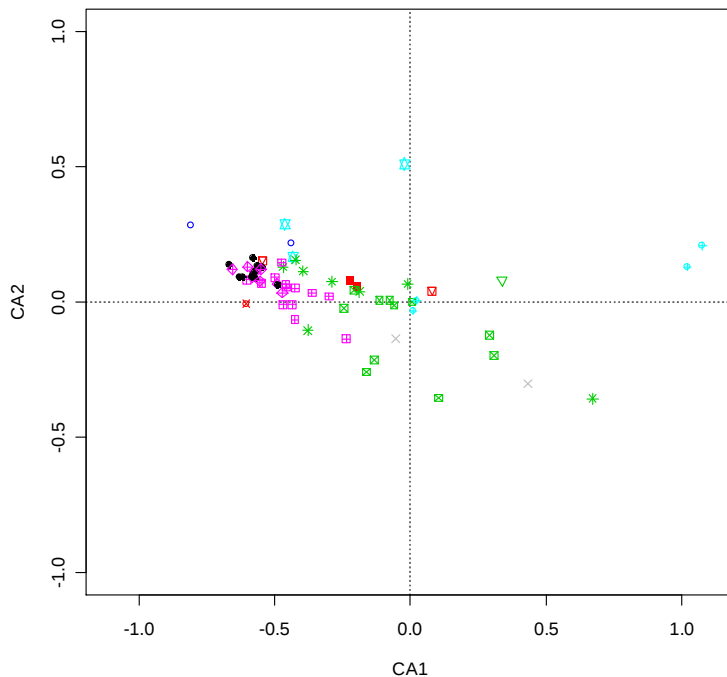


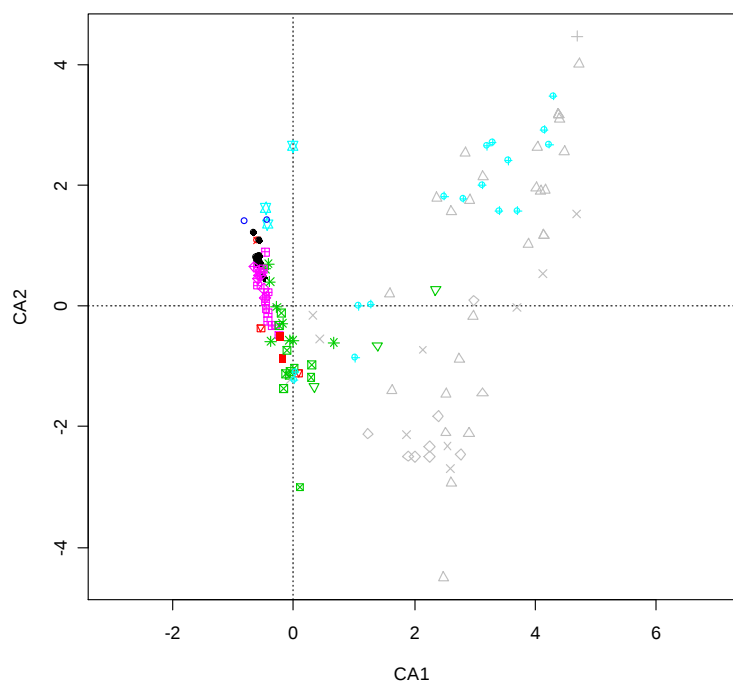
Figure 5.12 : Graphique de la seconde AFC recentré sur le nuage central pour permettre une meilleure interprétation.

La figure 5.13 qui en est le résultat démontre que l'axe 2 est principalement marqué par un effet Guttman.

Cet effet ne permet pas l'interprétation de l'explication de l'axe 2 puisque les deux extrémités de « la banane » augmentent en suivant cet axe. Il est dès lors préférable d'utiliser les axes 1 et 3 (leur variance respective est de 74% et de 49 %)

Il n'est cependant pas possible d'interpréter, à ce niveau d'analyse, la signification de l'axe 3. Cette dernière est par contre obtenue par l'intermédiaire de l'ACC.

Figure 5.13 : Graphique de la seconde AFC sans le relevé 538.



5.6 Nouvelle ACC avec les milieux (selon Delarze et al.) et leur groupement phytosociologique :

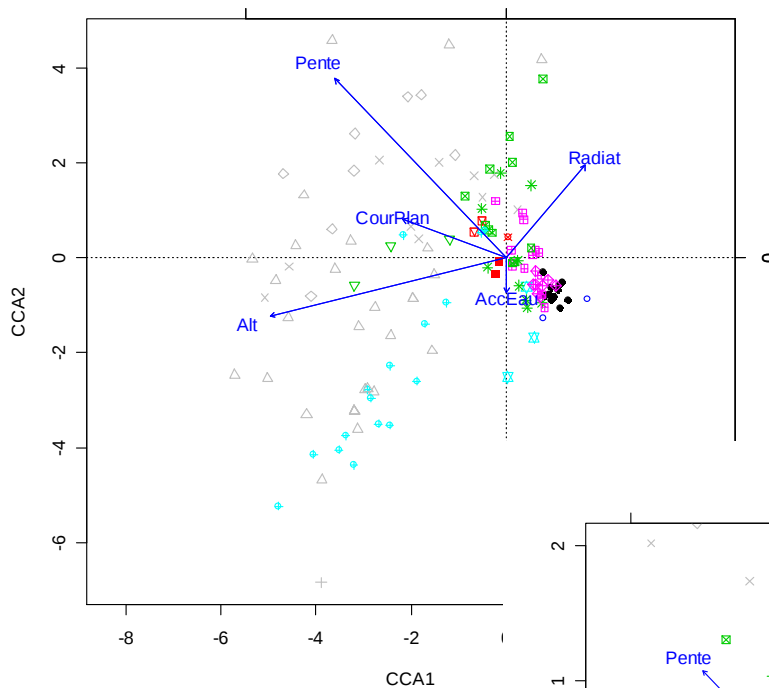


Figure 5.14 : Résultats de l'ACC reprenant l'ensemble des milieux (selon les axes 1 et 2).

Figure 5.15 : Résultats de l'ACC recentré sur le nuage principal permettant une meilleure vision.

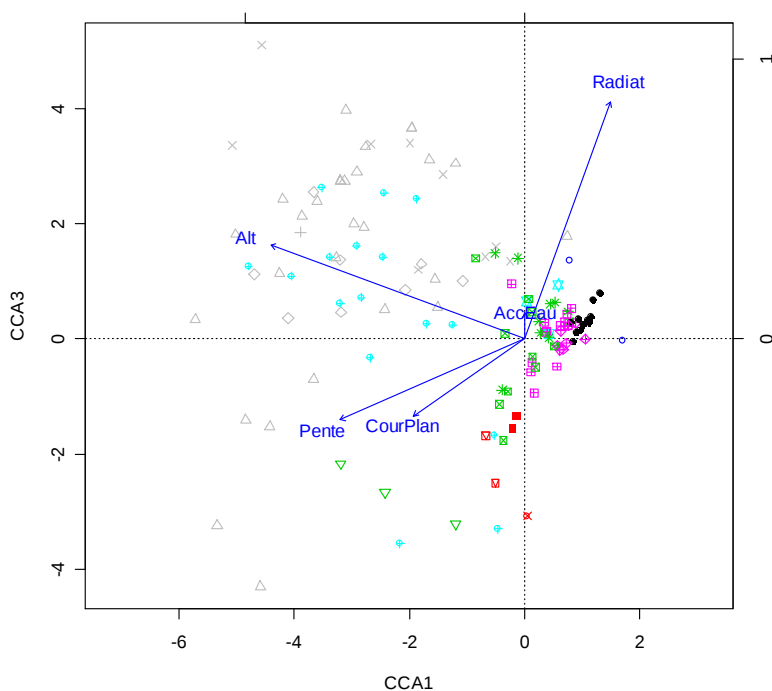
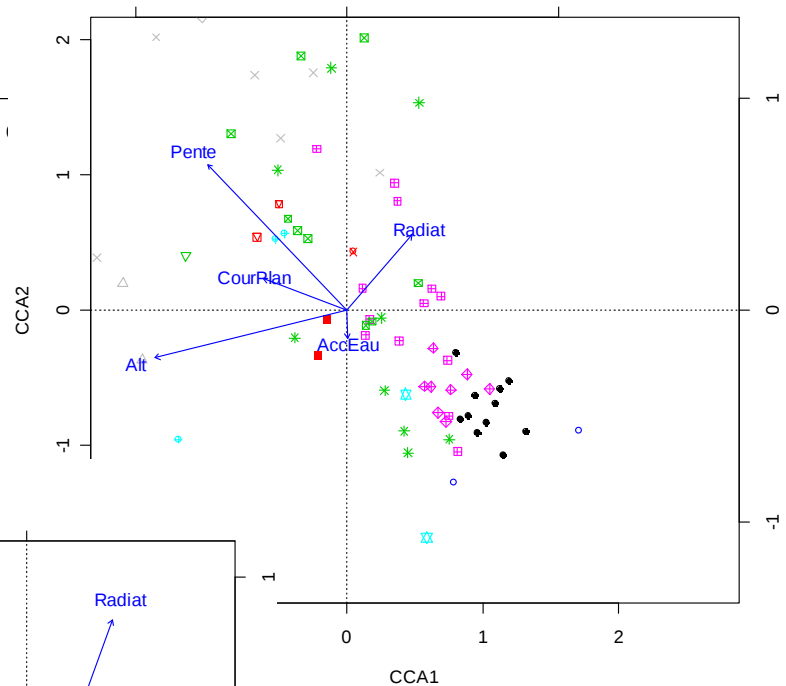


Figure 5.16 : Résultats de l'ACC reprenant l'ensemble des milieux (selon les axes 1 et 3).

La classification des relevés faite sur la base des milieux et de leur groupement est cohérente avec le résultat des trois graphiques de l'ACC. En effet, lorsque la pente augmente, en général parallèlement à l'altitude, on tend vers des milieux rocheux en gris (*Thlaspion rotundifolii* avec triangles, *Petasition paradoxi* avec des croix, *Potentillion* avec losanges). Par contre, si l'altitude augmente sans la pente, on tombe dans la zone définie par les combes à neige en turquoise (*Arabidion caeruleae* avec des ronds barrés, *Salicion herbaceae* avec des étoiles). Avec une pente marquée et de fortes radiations, on trouve le *Seslerion* (carré barrés), alors que si l'altitude augmente, c'est le *Drabo-Seslerion* (triangles renversés) qui apparaît, correspondant en réalité à un sol plus superficiel.

Les autres milieux sont regroupés au centre, dans des conditions moyennes :

- le *Caricion ferrugineae* (astérisques verts),
- le *Poion alpinae* (carrés barrés magenta),
- le *Nardion* (losanges barrés magenta)
- le *Rumicion alpini* (ronds noirs)
- les landes en rouge avec l'*Adenostylion* (petit carré barré), le *Rhododendron-Vaccinion* (carré avec v) et le *Loiseleurio-Vaccinion* (carrés pleins).
- Deux marais (ronds bleus) sont trop peu nombreux pour une bonne classification.

5.7 AFC tenant compte des indices de Landolt :

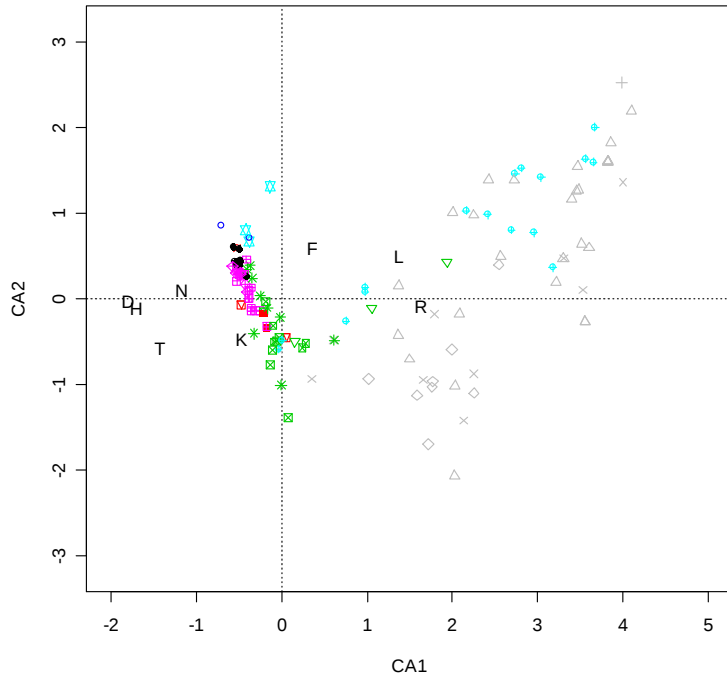
Chaque espèce ayant des préférences en terme de caractéristiques environnementales, il leur sera attribué un indice pour chacune de ces caractéristiques. On peut ensuite faire la moyenne de chaque indice en fonction des espèces que le relevé contient. Ces moyennes sont ensuite corrélées aux axes de l'analyse factorielle des correspondances. Le coefficient de corrélation est utilisé pour une représentation graphique.

Toutes les espèces n'ont pas forcément des indices attribués. Il se peut donc, et c'est le cas pour le relevé 522, que certains relevés n'aient pas d'indices car aucune des espèces les caractérisant n'en possède.

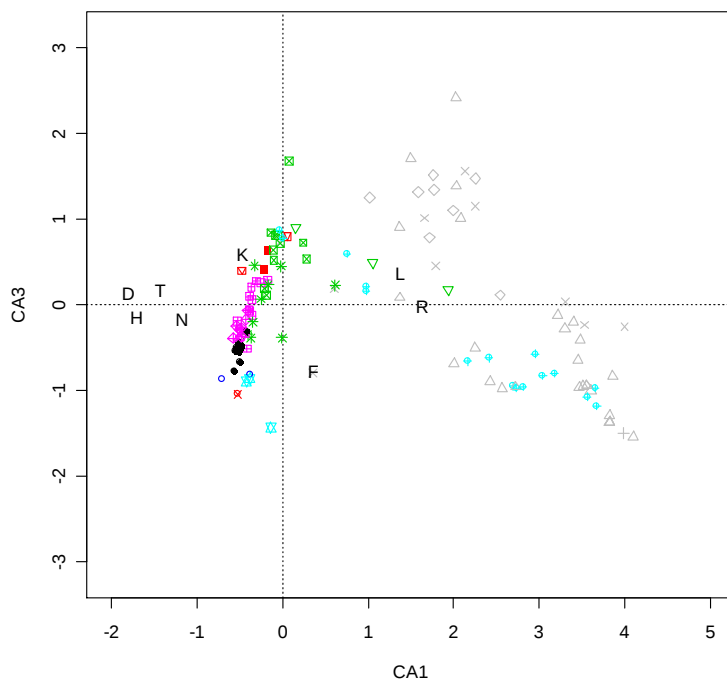
D	dispersité du sol (fin ou grossier)
F	humidité
H	teneur en humus
K	continentalité du climat
L	lumière au sol
N	contenu en azote du sol
R	pH du sol
T	température (impliquant l'altitude)

Tableau 5.17 : liste des indices environnementaux

Tous les indices moyens de chaque relevé sont corrélés aux axes de l'AFC, ce qui donne les résultats suivants :



Figures 5.18 et 5.19 : AFC tenant compte des indices de Landolt.



Ces graphiques confirment ce qui a été dit au sous-chapitre 5.5, figure 5.12 :

L'axe 1 comporte l'essentiel de la variance des indices liés au sol les mieux corrélés : un sol brut et grossier (D), avec moins d'humus (H), moins de nutriments (N) lorsque l'on se déplace vers les valeurs positives de l'axe 1.

De plus, les plantes situées dans la partie positive de l'axe 1 sont plus en contact avec la roche dans la mesure où les milieux concernés par cette partie du graphique représentent des éboulis et parois. Par rapport à la situation des indices, ces mêmes milieux indiquent des conditions plus basiques.

Il y a aussi plus de lumière dans les formations rocheuses à faible recouvrement (L). La corrélation négative de l'axe 1 avec T est vraisemblablement indirecte car les relevés les plus rocheux sont en moyenne plus élevés.

Les axes 2 et 3 sont légèrement corrélés avec l'humidité (F, positivement pour 2 et négativement pour 3).

Chapitre 6

Analyse statistique des relevés de végétation couplés aux données géochimiques

6.1 Introduction

Les précédentes analyses (AFC, ACP et ACC), après avoir porté sur les relevés, les espèces végétales et les milieux, peuvent désormais être réalisées en prenant en compte l'ensemble des données géochimiques.

Seuls les relevés situés sur des formations lithologiques pour lesquelles des analyses géochimiques existent sont pris en considération. La nappe de Morcles et la nappe d'Anzeinde sont les unités tectoniques qui ont fait l'objet des analyses géochimiques. La nappe de Morcles comportent cependant un nombre plus important de relevés et d'analyses géochimiques. Par conséquent, les corrélations possibles entre groupements phytosociologiques et données géochimiques en sont rendues plus nombreuses.

La liste des dits relevés se situe en annexe 4 et leur situation exacte par rapport aux formations géologiques en annexe 5. Un tableau résumant l'ensemble des corrélations faites entre groupements phytosociologiques et données géochimiques figure en annexe 2.

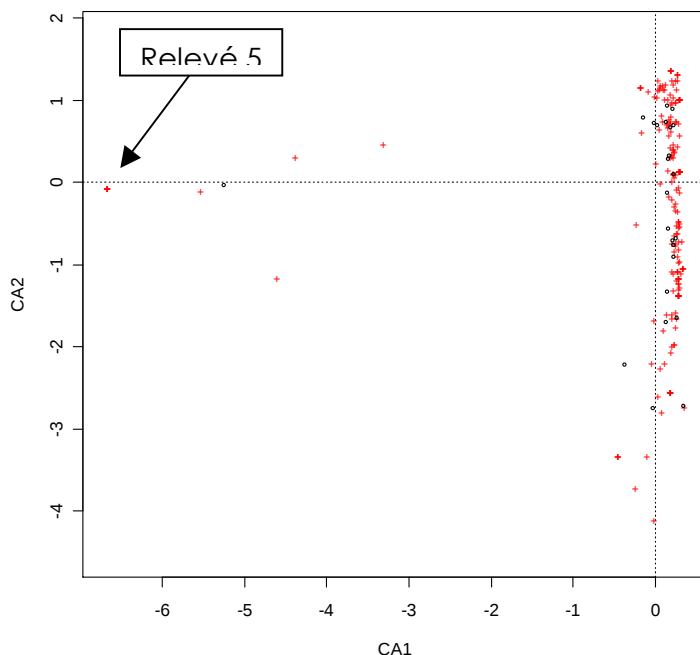


Figure 6.1 : AFC avec relevés pour lesquels existent des données géochimiques (axes 1 et 2).

6.2 Analyse factorielle des correspondances

L'AFC opérée sur la base des relevés concernés par les données géochimiques démontre un relevé extrême (figures 6.1 et 6.2). Dans ce cas, il s'agit du relevé 5 qui ressort distinctement dans des valeurs très négatives de

l'axe 1. Ce relevé qui correspond à une combe à neige est en effet dominée par deux espèces qui n'apparaissent que dans ce relevé à savoir *Carex foetida* et *Alchemilla pentaphyllea*.

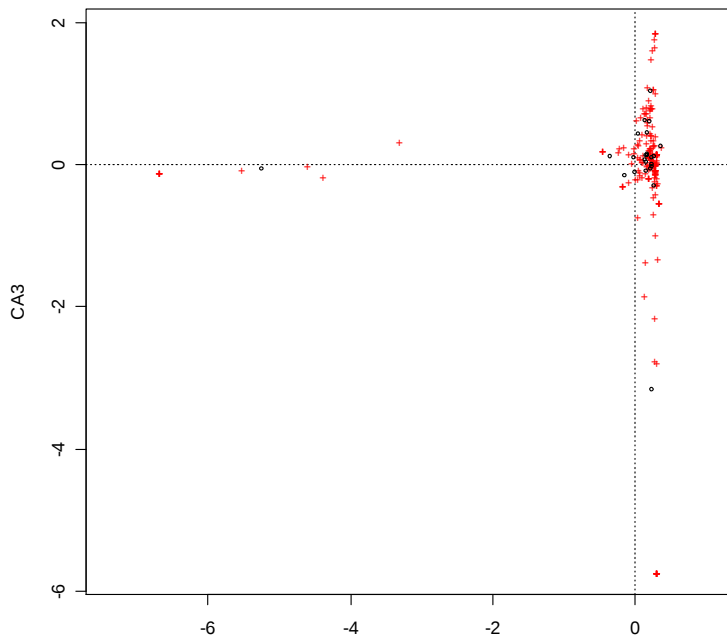


Figure 6.2 : AFC avec relevés pour lesquels existent des données géochimiques (axes 1 et 3).

L'axe 3 est marqué par le relevé 126, qui correspond à une lande dominée par le *Rhododendron ferrugineum* et *Juniperus communis* subsp. *nana*, également uniquement présents dans ce relevé. Etant donné le faible nombre de relevés avec données géochimiques à disposition, supprimer ces deux relevés risque de conduire à mettre en évidence d'autres relevés avec espèces isolées.

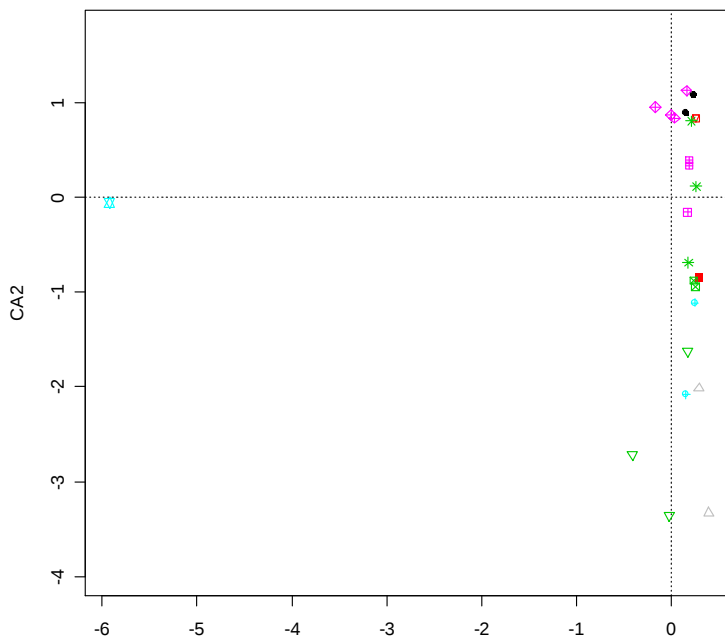
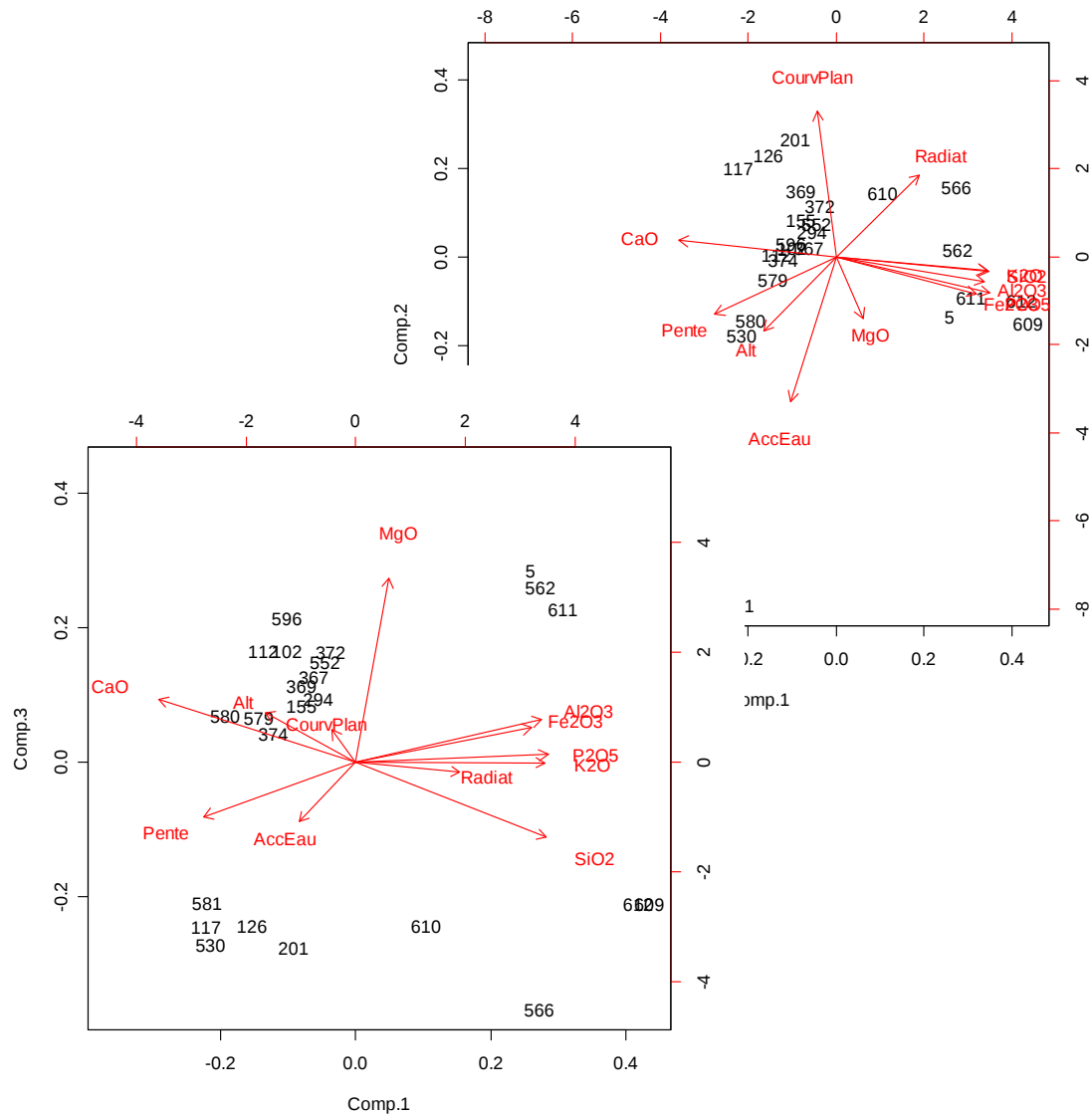


Figure 6.3 : AFC avec relevés convertis en milieux.

La liste des différents relevés et de leur milieu correspondant figure en annexe 4.

6.3 Analyse en composante principale :

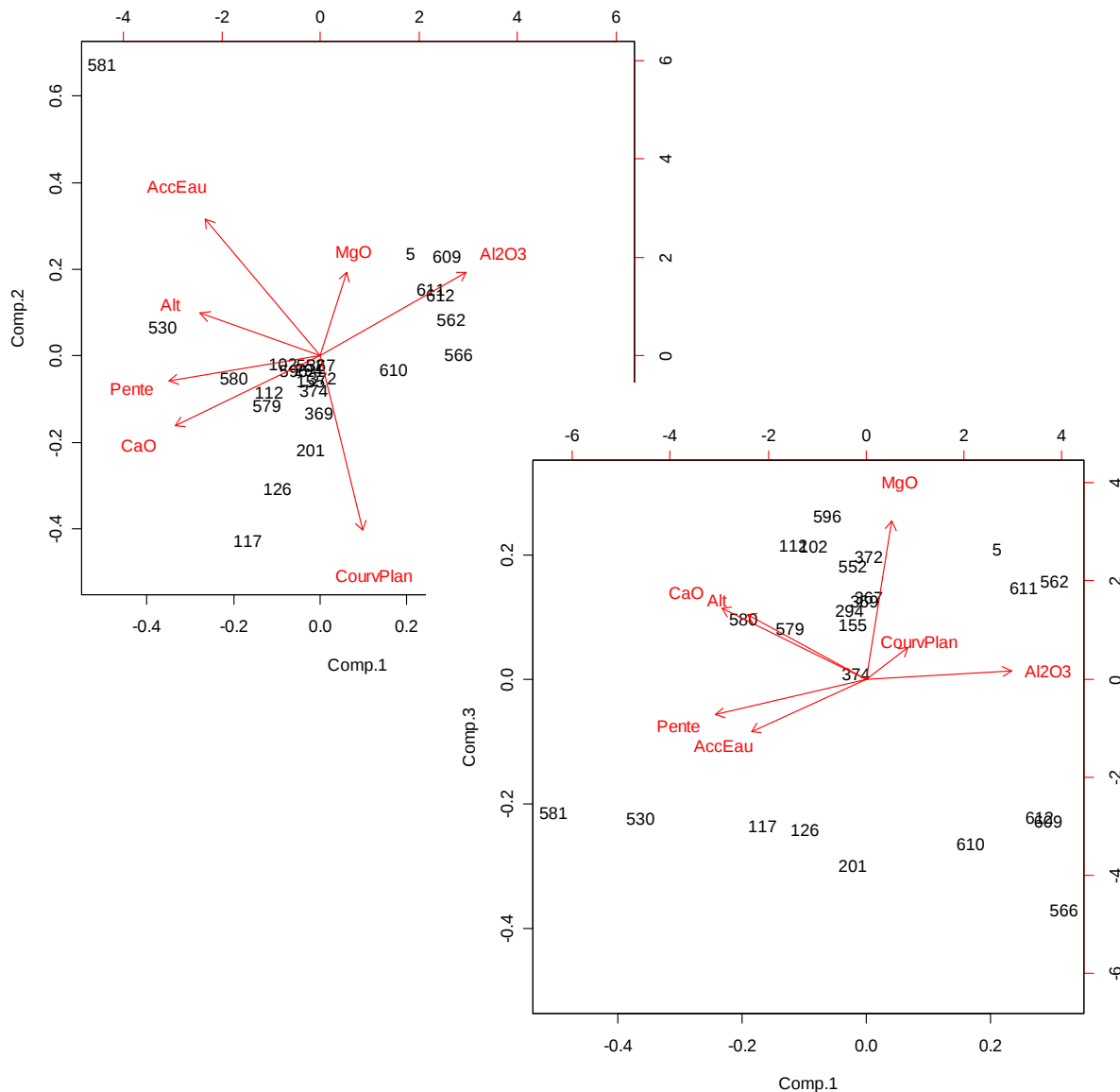


Figures 6.4 et 6.5 : Résultats de l'ACC représentant les relevés et leurs composantes géochimiques principaux. Présentation selon les axes 1 et 2 d'une part et selon les axes 1 et 3 d'autre part.

Les graphes de la nouvelle ACC opérée donne les résultats suivants :

- CaO est très fortement et négativement corrélé à SiO₂. On peut donc enlever SiO₂.
- MgO est le moins corrélé aux autres variables géochimiques
- Al₂O₃ est bien corrélé à Fe₂O₃, K₂O et P₂O₅. Il peut donc être gardé seul. De plus, Al₂O₃ varie le plus et est susceptible d'être toxique.
- La radiation est aussi très corrélée à la pente. Ceci est dû au fait qu'une majorité de pentes (ou presque) est exposée au nord. De ces deux variables écologiques, on garde la pente qui exprime une plus grande part de la variance.

Il est à noter que l'ensemble des valeurs de corrélations des variables environnementales sont visibles en annexe 6.



Figures 6.6 et 6.7 : Résultats de l'ACC après élimination des variables peu explicatives ou peu pertinentes. Présentation selon les axes 1 et 2 d'une part et selon les axes 1 et 3 d'autre part.

Sur la base des corrélations établies, il est nécessaire de faire une nouvelle ACP en éliminant certains oxydes de moindre importance qui ne forment pas des variables environnementales suffisamment pertinentes et qui n'apportent que peu d'éléments à l'explication du lien entre la roche et les espèces végétales.

L'accumulation d'eau (AccEau) a une grande part de la variance car un des relevés (581), pourtant séchard, a une valeur très élevée. Etant donné que AccEau est négativement corrélée à la variable courbure Plan, il s'agit de voir s'il faut l'éliminer de l'analyse. Pour ce faire, on procède à une analyse canonique des correspondances en incluant d'abord AccEau (figures 6.8 et 6.9) et ensuite en l'enlevant (figures 6.10 et 6.11).

6.4 Analyse canonique des correspondances :

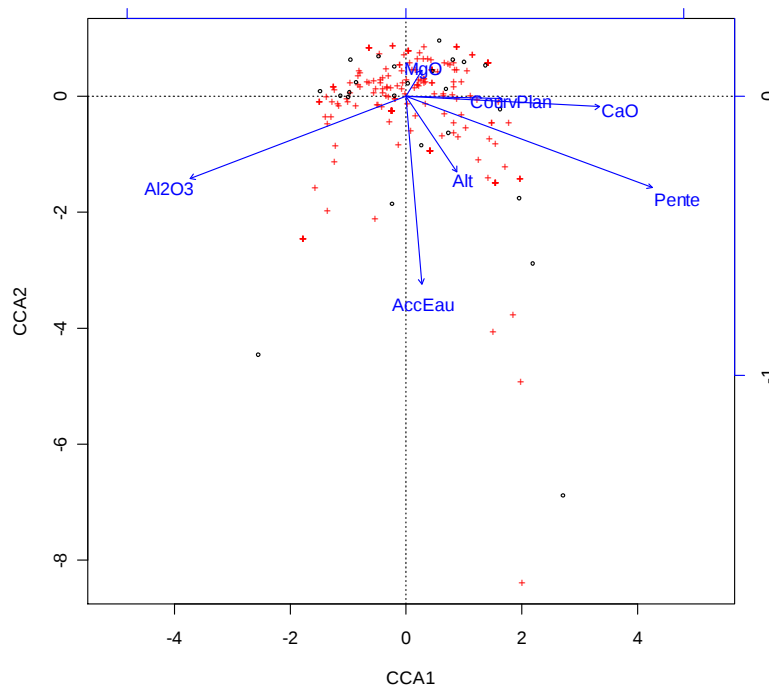
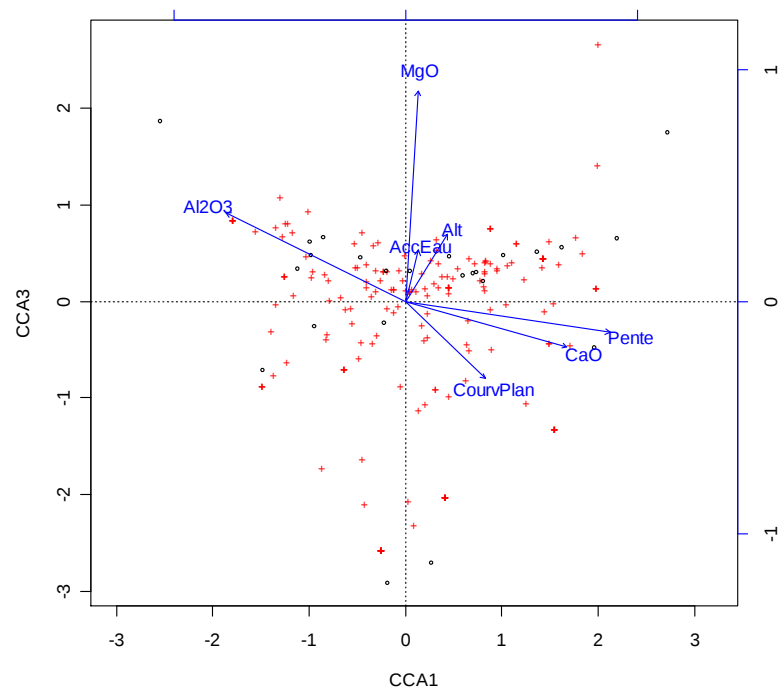


Figure 6.8 : ACC avec données géochimiques incluant la variable environnementale d'accumulation de l'eau (axes 1 et 2).

Figure 6.9 : ACC avec données géochimiques incluant la variable environnementale d'accumulation de l'eau (axes 1 et 3).



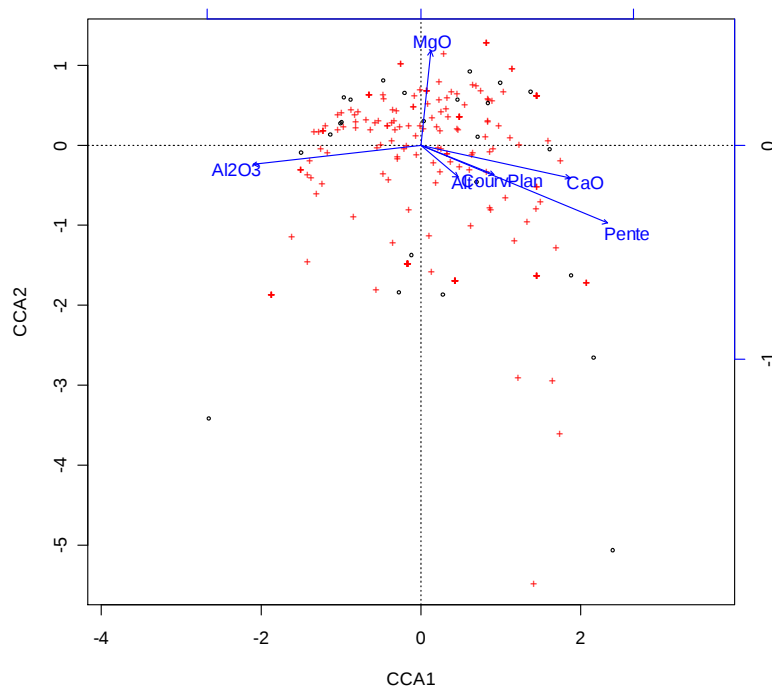
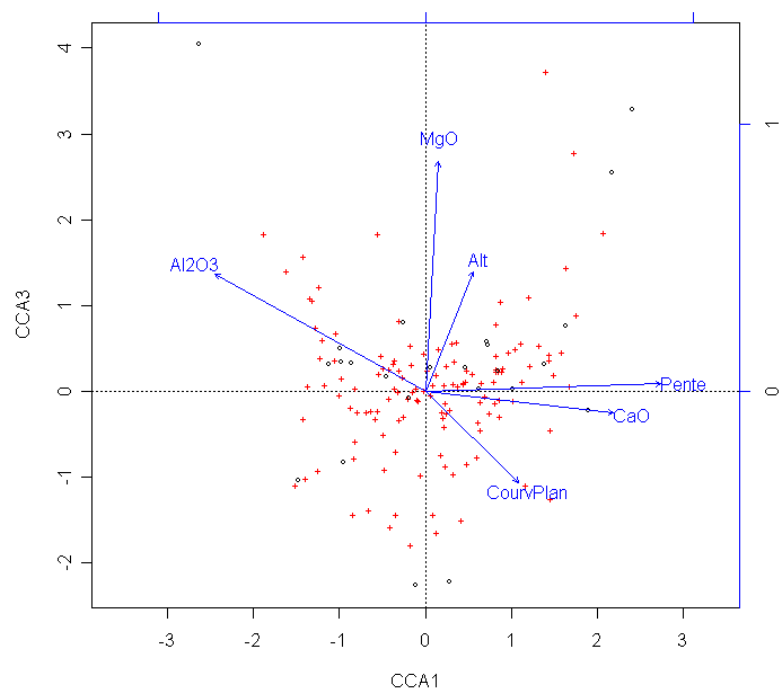


Figure 6.10 : ACC avec données géochimiques et sans la variable environnementale d'accumulation de l'eau (axes 1 et 2).

Figure 6.11 : ACC avec données géochimiques et sans la variable environnementale d'accumulation de l'eau (axes 1 et 3).



Les résultats de l'ACC, que ce soit avec ou sans AccEau, ne donne que peu de différence. Etant donné la présence de deux valeurs très élevées, et vraisemblablement aberrantes, qui semblent influencer AccEau, il est préférable de la supprimer. L'ACC finale se fera donc sans la variable AccEau et en remplaçant les relevés et leurs espèces par les milieux correspondants (figures 6.12 et 6.13).

Figure 6.12: ACC finale avec représentation des milieux et sans la prise en compte de la variable d'accumulation de l'eau (axes 1 et 2). Le tableau ci-dessous indique à quels relevés correspondent les milieux.

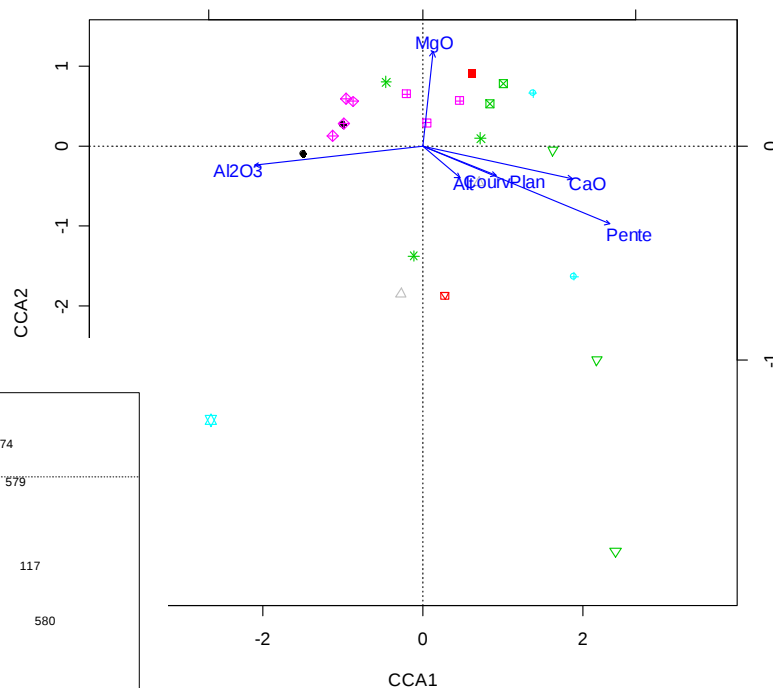
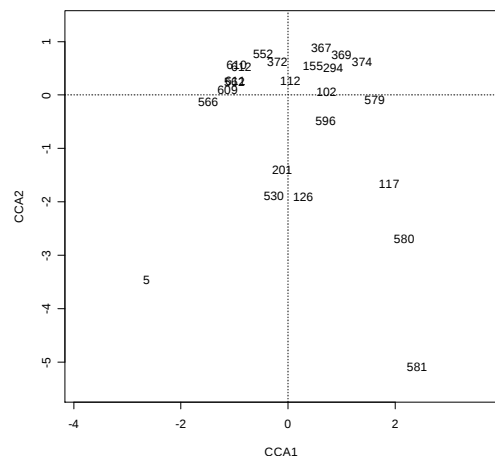
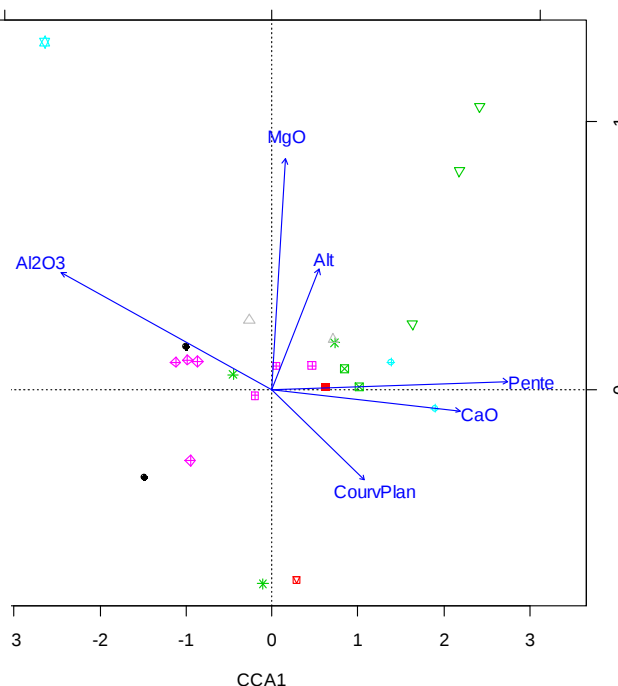
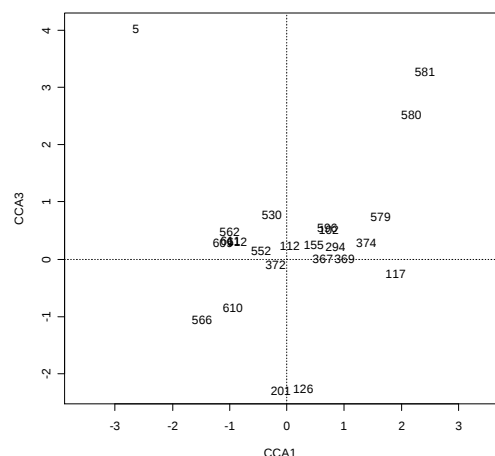


Figure 6.13: ACC finale avec représentation des milieux et sans la prise en compte de la variable d'accumulation de l'eau (axes 1 et 3). Le tableau ci-dessous indique à quels relevés correspondent les milieux.



La pente et les variables géochimiques représentée dans l'ACC finale expliquent bien la composition de la végétation. Deux groupes apparaissent clairement le long de l'axe 1 : à gauche les relevés correspondant aux milieux acides (*Nardion*) et à droite les relevés correspondant clairement aux milieux calcicoles (*Caricion*)

ferrugineae et *Seslerion* entre autres). Au centre du graphique, on retrouve des formations sur sols profonds cachant la nature de la roche calcaire. Certaines espèces végétales calcifuges s'y retrouvent tout de même mais la composition des groupements phytosociologiques ne se révèle pas très acidophile. L'altitude ainsi que la courbure plan ont peu de valeur. De plus, le MgO semble surtout expliquer l'axe 3 mais son influence est peu claire.

Pour voir quel est l'influence exact de CaO, on peut réaliser une nouvelle ACC en ne retenant que CaO comme variable géochimique.

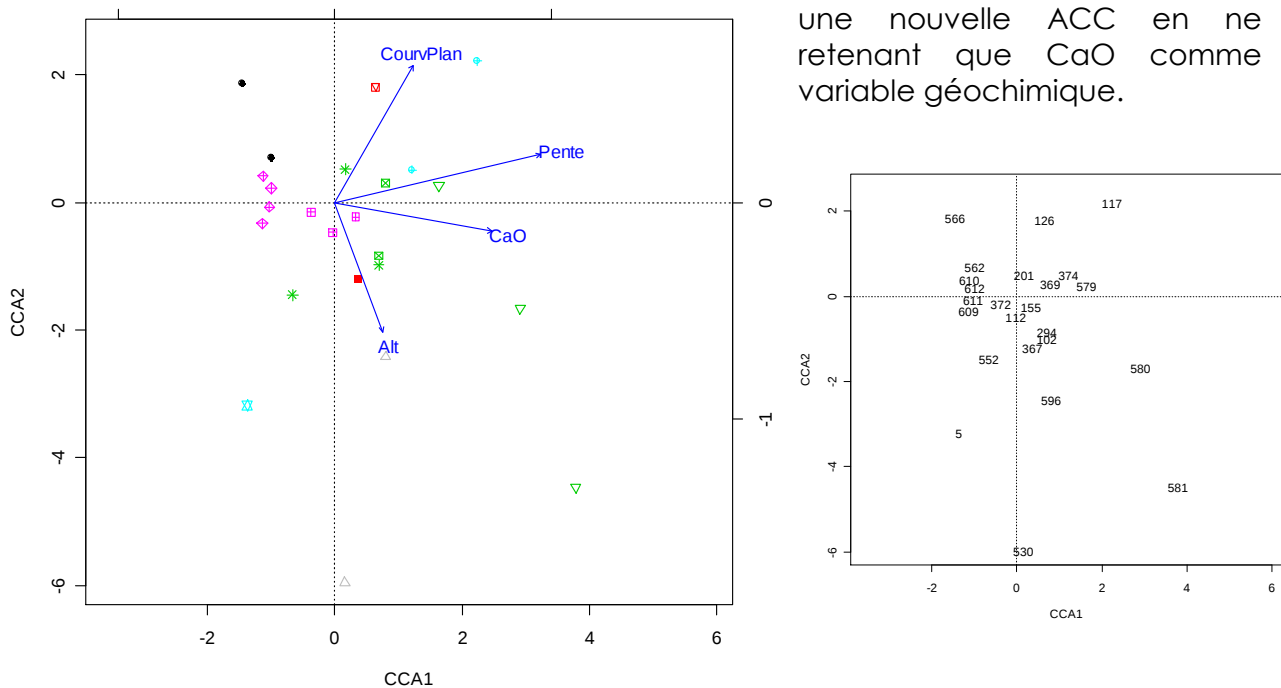


Figure 6.14 : ACC où le CaO est le seul oxyde pris en considération (axes 1 et 2).

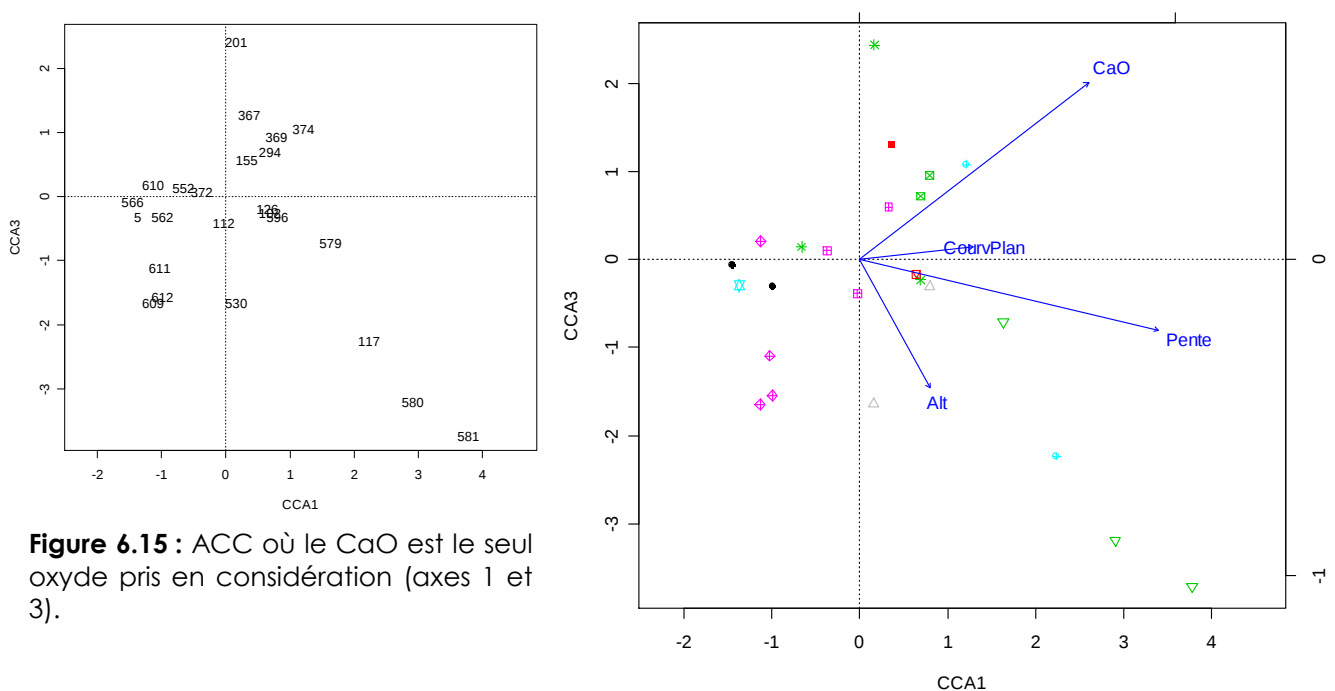


Figure 6.15 : ACC où le CaO est le seul oxyde pris en considération (axes 1 et 3).

Au même titre que l'ACC des figures 6.12 et 6.13, la pente et CaO, seule variable géochimique, expliquent toujours aussi bien la composition de la végétation. Les deux groupes que l'on distinguait préalablement selon l'axe 1 sont toujours bien visibles : à gauche, les relevés acides (*Nardion*) et à droite, les relevés clairement calcicoles (*Caricion ferrugineae* et *Seslerion* entre autres). Les résultats sont donc identiques.

Chapitre 7

Conclusion de l'étude

Les données à disposition (groupements phytosociologiques, données géochimiques), et leur traitement par analyse statistique, semblent mettre en évidence l'effet des roches sur la végétation, dans la mesure où l'on a une situation très contrastée entre des roches très calcaires et d'autres très siliceuses. Ce sont ainsi quatre grandes catégories de soubassement rocheux qui sont mises en évidence. Il s'agit des roches acides, roches carbonatées, roches intermédiaires et soubassements quaternaires. Par contre, l'analyse statistique n'a pas pu mettre en évidence de différences au sein des roches calcaires.

Végétation sur roche acide :

Dans l'annexe 2, les roches considérées comme capables de générer un sol acide, car contenant une proportion de plus de 10% de silice, développe, dans la grande majorité des cas, des alliances acidophiles (figurant en gras dans le tableau de l'annexe 2) telles que *Nardion*, *Salicion herbaceae* ou encore *Rhododendro-Vaccinion*.

Végétation sur roche carbonatée :

L'ensemble des relevés situés sur roches carbonatées laissent logiquement apparaître des groupements se développant sur sol neutre à alcalin, contenant par conséquent une proportion non négligeable d'ions Ca^{2+} ou Mg^{2+} .

L'ensemble des données géochimiques des formations calcaires montrent des différences géochimiques très faibles. Une analyse complémentaire sur la teneur en argile de ces formations pourraient fort probablement donner des indications supplémentaires sur la nature des roches riches en calcaire. Ceci d'autant plus que toutes les roches carbonatées ont montré, lors des analyses géochimiques, des pertes au feu conséquentes qui pourraient être synonyme de la présence marquée d'eau et par conséquent d'argile auquel elle serait liée.

Les alliances acidophiles que l'on retrouve sur des roches carbonatées, telles qu'observées dans les relevés 126 (*Loiseleurio-Vaccinion*) et 367, (*Rhododendro-Vaccinion*) doivent l'existence d'un sol acide au fait que le sol est probablement épais et sujet à un lessivage des carbonates qu'il contient. Ces deux relevés ont en effet moins de 1% de SiO_2 dans le premier

cas et 4% de SiO_2 dans le second cas. Ces proportions ne sont pas suffisantes pour acidifier le sol à partir de la roche-mère.

Végétation sur roche intermédiaire :

Les relevés effectués sur des roches ayant des proportions plus ou moins identiques de SiO_2 et de CaO , tels que les relevés 610 et 611, démontrent clairement l'existence d'alliances acidophiles sur des roches mixtes.

Seuls deux relevés sont situés sur une formation lithologique à composition intermédiaire, à savoir les marnes à foraminifères (niveau e_{6g}) de la nappe de Morcles, qui comprennent 17% de SiO_2 et 42% de CaO :

- le relevé 5 : représente une combe à neige (*Salicion herbaceae*) fortement influencée par la longueur de l'enneigement et présentant un sol rendu acide par les conditions qui lui sont imposées (décomposition lente des végétaux, grande humidité du sol et enrichissement de ce dernier en matériel fin).
- le relevé 562 : reposoir à bétail (*Rumicion alpini*) par définition influencé par une grande concentration de nutriments et démontre, si ce n'est un groupement acidophile, tout au moins une tendance à l'alliance acidophile, puisque ce relevé tend vers le *Nardion*.

Il faudrait donc d'autres relevés sur roches intermédiaires de manière à pouvoir réaliser une analyse suffisamment fine et y distinguer différentes tendances.

En plus des marnes à foraminifères (niveau e_{6g}), les flyschs de la Plaine Morte (f_p) composés d'une masse marno-gréseuse contenant des blocs de diverses tailles de calcaires pélagiques clairs, ainsi que les schistes gréseux noirs avec marnes glauconieuses (C_{5-7}) et le niveau des marnes gréseuses de la Couche à Cérithes (e_{5-6}) sont également au nombre des formations lithologiques à composition intermédiaire.

Le quaternaire :

La nature de cette formation reprend des dépôts très variés et comprend des éléments provenant essentiellement de lithologies locales mais différentes. Ces moraines et vallums morainiques locaux ne remanient pas les dépôts plus anciens liés aux moraines rhodaniennes que l'on ne retrouve pas au-dessus de 1600m. Ce glacière local ne contient donc pas d'éléments cristallins pouvant donner lieu à des sols acides. Dans notre cas, les relevés de groupement phytosociologique situés sur le quaternaire montre dans leur grande majorité des alliances se développant sur sol neutre à alcalin. Les quelques sites où des alliances acidophiles ont été répertoriées sont fort probablement liés au lessivage des sols souvent mieux constitués et plus épais.

De manière générale, plusieurs problèmes sont présents et rendent plus difficile l'interprétation des données récoltées :

- décarbonatation des sols profonds, où le lessivage de l'élément Ca^{2+} transforme le sol, l'acidifie et le rapproche des sols sur roches acides ;
- le nombre restreint de relevés situés sur des roches pour lesquelles des analyses géochimiques ont été réalisées ;

- le nombre restreint de relevés effectués sur des roches à composition intermédiaire tels que les relevés 5 et 562 ;
- l'importance des formations quaternaires dans la région, avec mélanges de matériaux et de roches de composition différente qui rendent les relevés non attribuables à une formation lithologique précise et par conséquent non utilisables.

Bibliographie

AESCHIMANN, D. & HEITZ, Ch., 1996 – *Index synonymique de la Flore Suisse et territoires limitrophes*, Centre du réseau Suisse de Floristique, Genève, 318 p.

ANATRA, Serge, 1986 – *Les facies pélagiques de l'Ultraschvétique entre Arve et Simme* – Travail de thèse N°884 de la Faculté des Sciences de Fribourg, 206 p.

BADOUX, H., 1971 - *Atlas géologique de la Suisse au 1 :25000*, feuille 58 Dent de Morcles. Notice explicative. Serv. Hydrol. Géol. Natl., Berne, 38 p.

BADOUX, H., 1973 – *Anzeinde et ses environs, aperçu géologique* – Mémoires de la Société vaudoise des Sciences naturelles, 93, Vol.15, Fasc.3, Lausanne, pp.125-138.

BADOUX, H. & GABUS J.H., 1991 – *Atlas géologique de la Suisse au 1 :25000*, feuille 88 Les Diablerets. Notice explicative. Serv. Hydrol. Géol. Natl., Berne, 63 p.

BÉNÉCRI, J.-P. (1973). *L'analyse des données. Vol. 2. L'analyse des correspondances*. Dunod, Paris, 632 pp.

BRAUN-BLANQUET J., 1964 – *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*, Springer, Wien, 865 p.

DELAMATTE M., CHAROLLAIS J., DECROUEZ D., CARON M., 1997 – *Les grès verts helvétiques (Aptien moyen – Albien supérieur) de Haute-Savoie, Valais et Vaud (Alpes occidentales Franco-suisse)* Analyse stratigraphique et inventaire paléontologique, N°23, Publication du Département de Géologie et Paléontologie, Genève, 400 p.

DELARZE R., GONSETH Y. & GALLAND P., 1998 – *Milieus naturels de Suisse*, Delachaux et Niestlé, Lausanne, 415 p.

DUCHAUFOR P., 1997 – *Abrégé de pédologie. Sol, végétation et environnement* – Enseignement des sciences de la Terre, 5^{ème} édition, Masson, Paris, 291 p.

GABUS, Jacques H., 1958 - *L'Ultraschvétique entre Derborence et Bex (Alpes Vaudoises)* – Matériaux pour la Carte Géologique Suisse, Commission Géologique Suisse, Editions géographiques, Berne, 45 p.

GOBAT J.-M., ARAGNO M., MATTHEY W., 2003 – *Le sol vivant* – Presses polytechniques et universitaires romandes, 2^{ème} édition, Lausanne, 568 p.

IHAKA R. & GENTLEMAN R., 1996 – *R: a language for data analysis and graphics*. Journal of Computational and Graphical Statistics 5, pp 299-314.

JEANBOURQUIN P., 1991 – *L'Ultrahelvétique de Derborence* – Bulletin Murithienne, 109, p65-95.

MARTINONI D., 2003 – *Végétation des milieux ouverts des Préalpes vaudoises* - Travail de diplôme, Université de Lausanne.

OZENDA P., 1994 – *Végétation du continent européen* – Delachaux et Niestlé, Lausanne, 271p.

OZENDA P., 1985 – *Végétation de la chaîne alpine (dans l'espace montagnard européen)* – Masson, Paris.

PIGUET, Benoît, 2000 - *L'Ultrahelvétique inférieur et les flyschs helvétiques à la base des Préalpes internes savoyardes (France) et valaisannes (Suisse)* – Terre et environnement, vol. 25, Ed. Institut Forel, Département de Minéralogie, Département de Géologie et Paléontologie, Genève 129 p.

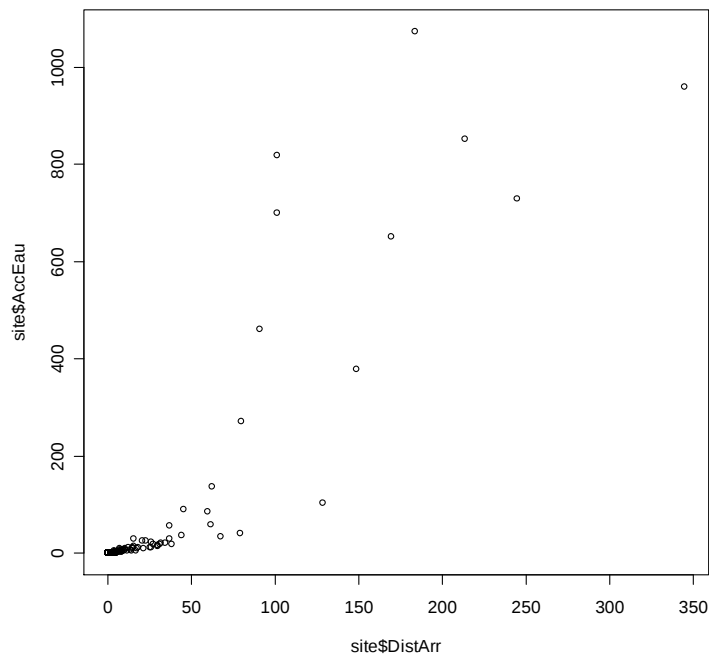
TER BRAAK, C. J. F. (1986). *Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis*. Ecology 67: pp.1167-1179.

TER BRAAK, C. J. F. (1987). *The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis*. Vegetatio 69: 69-77.

VITTOZ, P., RANDIN Ch. & GUIBAN A., 2006 – *Analyses de tableau de végétation. Utilisation de R*, Université de Lausanne, Institut d'Ecologie, 30 p.

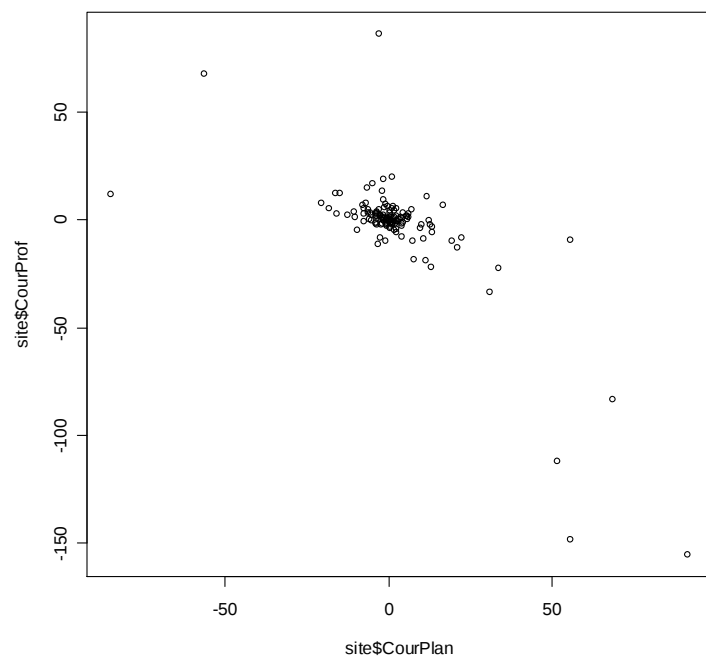
VITTOZ P. 1998 – *Flore et végétation du Parc jurassien vaudois : typologie, écologie et dynamique des milieux* - Thèse de doctorat, Université de Lausanne, 446 p.

Annexe 3 : Vérification de la corrélation de variables environnementales constatées en ACP.

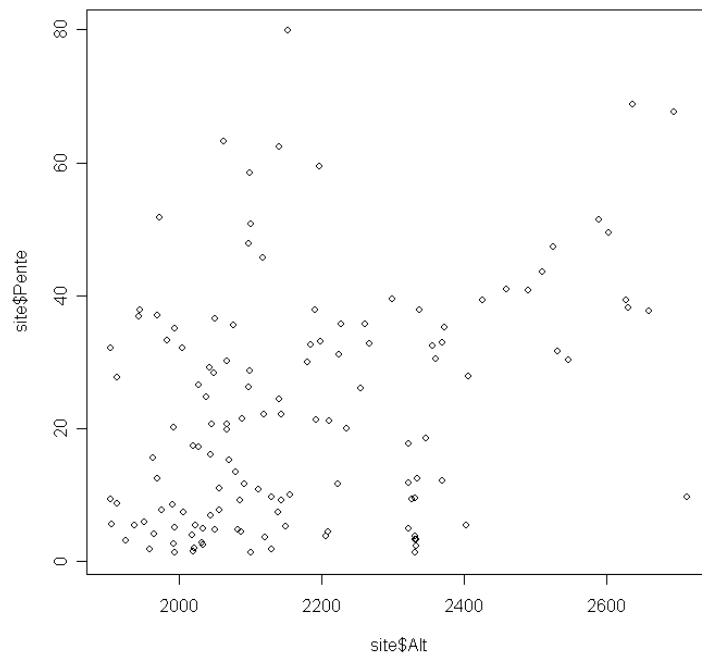


Vérification de la corrélation entre les variables écologiques distance à la crête et accumulation de l'eau.

Vérification de la corrélation entre les variables écologiques courbure plan et courbure profil.



Annexe 3 (suite) : Vérification de la corrélation de variables environnementales constatées en ACP.



Vérification de la
corrélation entre les
variables écologiques
pente et altitude.

Annexe 4 : Liste des différents relevés pour lesquels existent des données géochimiques et qui sont utilisés dans l'analyse statistique (ACF, ACC, ACP) du chapitre 6. Figure également le milieu qui correspond à chaque relevé.

Relevé	Code	Code	Symbol	Couleur	Code	Couleur	Milieu
5	4.4.2	11		cyan	5		Salicion herbaceae
102	4.3.3	8		green	3		Caricion ferrugineae
112	4.5.4	12		magenta	6		Poion alpinae
117	4.4.1	10		cyan	5		Arabidion caeruleae
126	5.4.5	14		red	2		Rhodododendro-Vaccinion
155	4.5.4	12		magenta	6		Poion alpinae
201	4.3.3	8		green	3		Caricion ferrugineae
294	4.3.1	7		green	3		Seslerion
367	5.4.6	15		red	2		Loiseleurio-Vaccinion
369	4.3.1	7		green	3		Seslerion
372	4.5.4	12		magenta	6		Poion alpinae
374	4.4.1	10		cyan	5		Arabidion caeruleae
530	3.3.1.2	2		gray	8		Thlaspion rotundifolii
552	4.3.3	8		green	3		Caricion ferrugineae
562	7.1.7	16		black	1		Rumicion alpini
566	7.1.7	16		black	1		Rumicion alpini
579	4.1.2	6		green	3		Drabo-Seslerion
580	4.1.2	6		green	3		Drabo-Seslerion
581	4.1.2	6		green	3		Drabo-Seslerion
596	3.3.1.2	3		gray	9		Thlaspion rotundifolii
609	4.3.5	9		yellow	6		Nardion
610	4.3.5	9		yellow	6		Nardion
611	4.3.5	9		yellow	6		Nardion
612	4.3.5	9		yellow	6		Nardion

Annexe 6 : Tableau des corrélations entre les variables environnementales initiales de l'ACC opérée avec les données géochimiques.

	Pente	AccEau	CourvPlan	Alt	Radiat	SiO2	CaO
Pente	1.00000000	0.40044270	-0.03885308	0.2659482	-0.8154802	-0.4659563	0.49784748
AccEau	0.40044270	1.00000000	-0.77520442	0.4124677	-0.3160879	-0.1522417	0.15960690
CourvPlan	-0.03885308	-0.77520442	1.00000000	-0.1667922	0.1042663	-0.1990420	0.19892471
Alt	0.26594820	0.41246766	-0.16679215	1.00000000	-0.2415617	-0.3765224	0.37311549
Radiat	-0.81548016	-0.31608792	0.10426627	-0.2415617	1.00000000	0.3311067	-0.33642319
SiO2	-0.46595633	-0.15224167	-0.19904203	-0.3765224	0.3311067	1.00000000	-0.99675911
CaO	0.49784748	0.15960690	0.19892471	0.3731155	-0.3364232	-0.9967591	1.00000000
MgO	-0.18016399	-0.01308350	-0.26652062	0.1023668	-0.1681136	-0.0908272	0.03674983
Al2O3	-0.54514385	-0.09672672	-0.09002389	-0.2811105	0.2669032	0.6224370	-0.67244626
Fe2O3	-0.45760250	-0.12786737	-0.13434383	-0.1188339	0.2029755	0.7021303	-0.74246296
K2O	-0.54143458	-0.10992364	-0.08462250	-0.3612516	0.3176486	0.7181133	-0.75265899
P2O5	-0.49122977	-0.14022373	-0.22890990	-0.2589536	0.2602570	0.8267806	-0.85293766

	MgO	Al2O3	Fe2O3	K2O	P2O5
Pente	-0.18016399	-0.54514385	-0.4576025	-0.5414346	-0.4912298
AccEau	-0.01308350	-0.09672672	-0.1278674	-0.1099236	-0.1402237
CourvPlan	-0.26652062	-0.09002389	-0.1343438	-0.0846225	-0.2289099
Alt	0.10236677	-0.28111050	-0.1188339	-0.3612516	-0.2589536
Radiat	-0.16811359	0.26690316	0.2029755	0.3176486	0.2602570
SiO2	-0.09082720	0.62243695	0.7021303	0.7181133	0.8267806
CaO	0.03674983	-0.67244626	-0.7424630	-0.7526590	-0.8529377
MgO	1.00000000	0.28288331	0.2708636	0.1177697	0.2567201
Al2O3	0.28288331	1.00000000	0.7471088	0.9556870	0.7406461
Fe2O3	0.27086362	0.74710881	1.0000000	0.6259292	0.7869638
K2O	0.11776968	0.95568695	0.6259292	1.0000000	0.7248895
P2O5	0.25672014	0.74064609	0.7869638	0.7248895	1.0000000

Master es sciences pour l'enseignement
Hiver 06-07

David Dubois

Master es sciences pour l'enseignement
Hiver 06-07

David Dubois

Master es sciences pour l'enseignement
Hiver 06-07

David Dubois

Master es sciences pour l'enseignement
Hiver 06-07

David Dubois

Master es sciences pour l'enseignement
Hiver 06-07

David Dubois

Master es sciences pour l'enseignement
Hiver 06-07

David Dubois

Master es sciences pour l'enseignement
Hiver 06-07

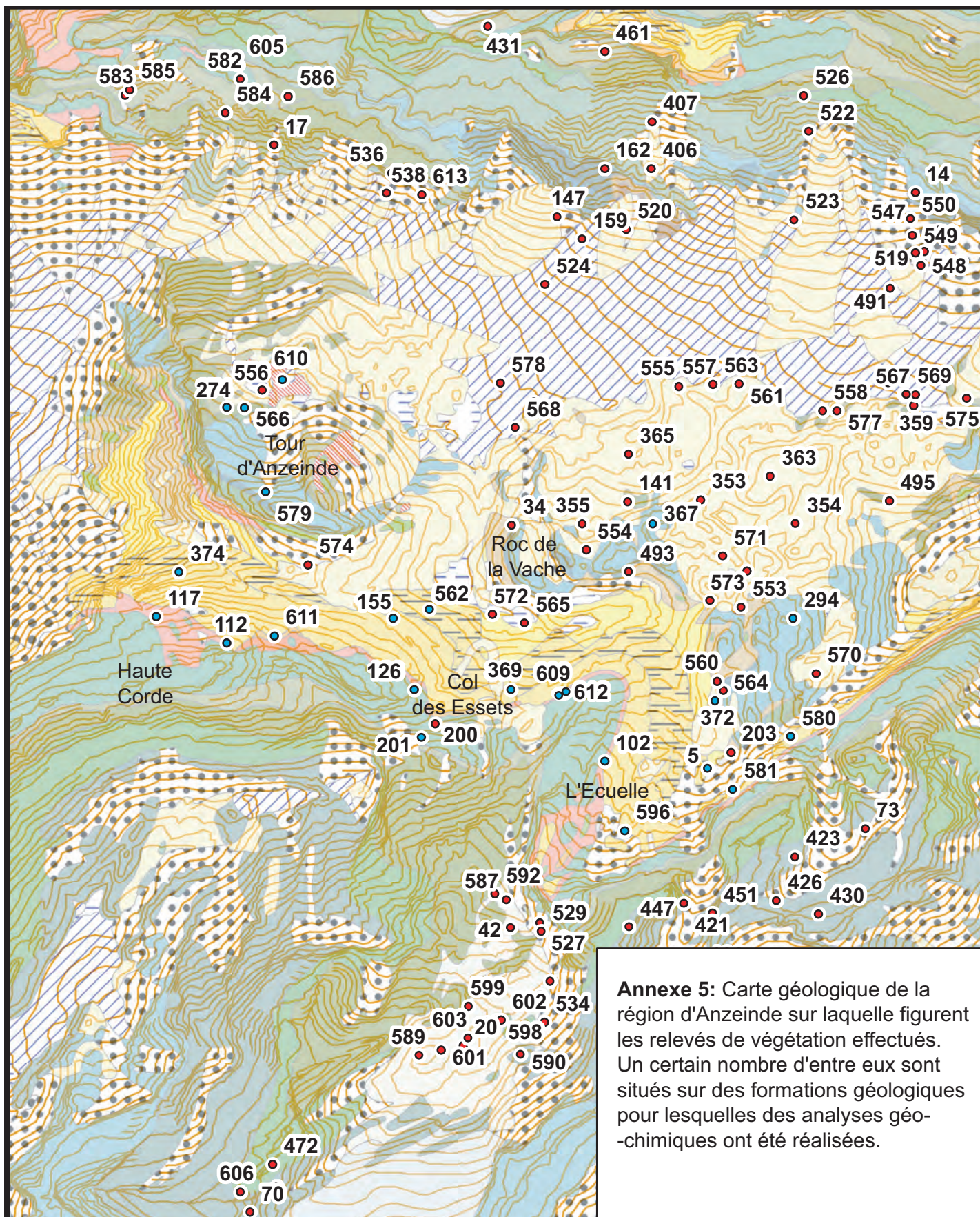
David Dubois

Master es sciences pour l'enseignement
Hiver 06-07

David Dubois

Master es sciences pour l'enseignement
Hiver 06-07

David Dubois



102 : Relevés pour lesquels des analyses géochimiques existent.

574 : Relevés pour lesquels aucune analyse géochimique n'existe.

Annexe 2: Corrélations entre groupements phytosociologiques et données géochimiques. Les groupements figurant en gras sont acidophiles.

Numéro du Relevé	Données géochimiques	Milieu selon Delarze et al. (1998)	Tendance vers autre milieu	Unité tectonique	Code_carte géologique	Nature du sousbassement	Echantillon correspondant	Géochimie SiO ₂ - wt%	Géochimie CaO- wt%	Géochimie MgO- wt%	Géochimie Al ₂ O ₃ - wt%	Géochimie Fe ₂ O ₃ - wt%	Géochimie K ₂ O- wt%	Géochimie P ₂ O ₅ - wt%
34		Adenostylin		Nappe d'Anzeinde	i5	carbonatée	/							
117	x	Arabidion caeruleae		Nappe de Morcles	c4-5	carbonatée	A1	0.43	56.17	0.22	0.12	0.12	0.00	0.01
374	x	Arabidion caeruleae		Nappe de Morcles	e6	carbonatée	A4	1.24	54.92	0.74	0.45	0.21	0.02	0.02
421		Arabidion caeruleae		Nappe de Morcles	c2k	carbonatée	/							
590		Arabidion caeruleae		Nappe de Morcles	i8-c2	carbonatée	/							
552	x	Caricion ferrugineae		Nappe d'Anzeinde	i6-8	carbonatée	TA1	4.18	52.00	0.72	0.36	0.36	0.02	0.03
102	x	Caricion ferrugineae	Poion alpinae	Nappe de Morcles	e6	carbonatée	A4	1.24	54.92	0.74	0.45	0.21	0.02	0.02
201	x	Caricion ferrugineae		Nappe de Morcles	c4-5	carbonatée	A1	0.43	56.17	0.22	0.12	0.12	0.00	0.01
108		Drabion hoppeanae		Nappe de Morcles	i8-c2	carbonatée	/							
579	x	Drabo-Seslerion		Nappe d'Anzeinde	i6-8	carbonatée	TA1	4.18	52.00	0.72	0.36	0.36	0.02	0.03
580	x	Drabo-Seslerion	Caricion firmae	Nappe de Morcles	e6	carbonatée	A4	1.24	54.92	0.74	0.45	0.21	0.02	0.02
581	x	Drabo-Seslerion		Nappe de Morcles	e6	carbonatée	A4	1.24	54.92	0.74	0.45	0.21	0.02	0.02
367	x	Loiseleurio-Vaccinon		Nappe d'Anzeinde	i6-8	carbonatée	TA1	4.18	52.00	0.72	0.36	0.36	0.02	0.03
423		Petasition paradoxii		Nappe de Morcles	i8-c2	carbonatée	/							
372	x	Poion alpinae	Seslerion	Nappe d'Anzeinde	i6-8	carbonatée	TA1	4.18	52.00	0.72	0.36	0.36	0.02	0.03
112	x	Poion alpinae	Nardion	Nappe de Morcles	e6	carbonatée	A4	1.24	54.92	0.74	0.45	0.21	0.02	0.02
155	x	Poion alpinae	Seslerion	Nappe de Morcles	e6	carbonatée	A4	1.24	54.92	0.74	0.45	0.21	0.02	0.02
70		Potentillion		Nappe de Morcles	i8-c2	carbonatée	/							
468		Potentillion		Nappe de Morcles	i8-c2	carbonatée	/							
607		Potentillion		Nappe de Morcles	i8-c2	carbonatée	/							
126	x	Rhododendro-Vaccinon		Nappe de Morcles	c4-5	carbonatée	A1	0.43	56.17	0.22	0.12	0.12	0.00	0.01
294	x	Seslerion		Nappe d'Anzeinde	i6-8	carbonatée	TA1	4.18	52.00	0.72	0.36	0.36	0.02	0.03
369	x	Seslerion		Nappe de Morcles	e6	carbonatée	A4	1.24	54.92	0.74	0.45	0.21	0.02	0.02
426		Thlaspion rotundifolii		Nappe de Morcles	i8-c2	carbonatée	/							
430		Thlaspion rotundifolii		Nappe de Morcles	i8-c2	carbonatée	/							
447		Thlaspion rotundifolii		Nappe de Morcles	i8-c2	carbonatée	/							
451		Thlaspion rotundifolii		Nappe de Morcles	i8-c2	carbonatée	/							
472		Thlaspion rotundifolii		Nappe de Morcles	c2k	carbonatée	/							
530	x	Thlaspion rotundifolii		Nappe de Morcles	c4-5	carbonatée	A1	0.43	56.17	0.22	0.12	0.12	0.00	0.01
596	x	Thlaspion rotundifolii		Nappe de Morcles	e6	carbonatée	A4	1.24	54.92	0.74	0.45	0.21	0.02	0.02
606		Thlaspion rotundifolii		Nappe de Morcles	i8-c2	carbonatée	/							
562	x	Rumicion alpini	Nardion	Nappe de Morcles	e6G	intermédiaire	B1A	16.90	42.08	0.84	4.21	1.49	0.62	0.07
5	x	Salicion herbaceae		Nappe de Morcles	e6G	intermédiaire	B1A	16.90	42.08	0.84	4.21	1.49	0.62	0.07
610	x	Nardion	Rhododendro-Vaccinon	Nappe d'Anzeinde	c5-7	intermédiaire	TA5	33.49	35.79	0.43	0.94	0.44	0.13	0.04
611	x	Nardion	Rhododendro-Vaccinon	Nappe de Morcles	e5-6	intermédiaire	B2A	41.54	27.33	0.81	3.22	3.73	0.34	0.05
493		Poion alpinae	Seslerion	Flysch de la Plaine-Morte	fp	intermédiaire à carbonatée	/							
203		Thlaspion rotundifolii		Flysch de la Plaine-Morte	fp	intermédiaire à carbonatée	/							
609	x	Nardion	Rhododendro-Vaccinon	Nappe d'Anzeinde	c6-8	silicatée	A3	97.39	0.52	0.10	0.68	0.29	0.06	0.15
612	x	Nardion		Nappe de Morcles	c6-8	silicatée	A3	97.39	0.52	0.10	0.68	0.29	0.06	0.15
566	x	Rumicion alpini		Nappe de Morcles	c3	silicatée	TA4	62.28	18.55	0.34	2.66	0.24	0.66	0.03
572		Rumicion alpini	Nardion	Nappe de Morcles	e6-o1	silicatée	/							
20		Arabidion caeruleae		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
42		Arabidion caeruleae		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
141		Nardion		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
147		Petasition paradoxii		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
200		Poion alpinae	Seslerion	Quaternaire	ql	quaternaire	/							
248		Seslerion		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
274		Poion alpinae	Nardion	Quaternaire	ql	quaternaire	/							
312		Poion alpinae	Nardion	Quaternaire	ql	quaternaire	/							
353		Poion alpinae	Nardion	Quaternaire	ql	quaternaire	/							
354		Rhododendro-Vaccinon		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
355		Salicion herbaceae	Rumicion alpini	Quaternaire	ql	quaternaire	/							
358		Seslerion		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
363		Poion alpinae	Nardion	Quaternaire	ql	quaternaire	/							
365		Nardion		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
370		Arabidion caeruleae		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
398		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
406		Poion alpinae	Seslerion	Quaternaire	ql	quaternaire	/							
432		Poion alpinae	Nardion	Quaternaire	ql	quaternaire	/							
495		Seslerion		Quaternaire	ql	quaternaire	/							

Annexe 2: Corrélations entre groupements phytosociologiques et données géochimiques. Les groupements figurant en gras sont acidophiles.

Numéro du Relevé	Données géochimiques	Milieu selon Delarze et al. (1998)	Tendance vers autre milieu	Unité tectonique	Code_carte géologique	Nature du sous-bassement	Echantillon correspondant	Géochimie SiO ₂ - wt%	Géochimie CaO - wt%	Géochimie MgO - wt%	Géochimie Al ₂ O ₃ - wt%	Géochimie Fe ₂ O ₃ - wt%	Géochimie K ₂ O - wt%	Géochimie P ₂ O ₅ - wt%
520		Caricion ferrugineae		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
525		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
528		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
532		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
554		Nardion		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
555		Caricion ferrugineae		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
560		Caricion ferrugineae		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
561		Seslerion	Elynion	Quaternaire	ql	quaternaire	/							
564		Caricion ferrugineae		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
570		Loiseleurio-Vaccinon	Elynion	Quaternaire	ql	quaternaire	/							
571		Nardion		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
573		Salicion herbaceae		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
575		Caricion ferrugineae	Elynion	Quaternaire	ql	quaternaire	/							
577		Poion alpinae		Quaternaire	ql	quaternaire	/							
587		Arabidion caeruleae		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
589		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
592		Arabidion caeruleae		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
594		Arabidion caeruleae		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
597		Arabidion caeruleae		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
598		Arabidion caeruleae		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
599		Arabidion caeruleae		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
600		Arabidion caeruleae		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
601		Arabidion caeruleae		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
602		Arabidion caeruleae		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
603		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	qr	quaternaire	/							
17		Seslerion		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
73		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
159		Petasition paradoxi		Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
359		Petasition paradoxi		Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
407		Petasition paradoxi		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
491		Petasition paradoxi		Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
518		Petasition paradoxi		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
519		Petasition paradoxi		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
522		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
523		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
524		Petasition paradoxi		Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
527		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
529		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
534		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
536		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
538		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
547		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
548		Caricion ferrugineae	Seslerion	Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
549		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
550		Thlaspion rotundifolii		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
551		Seslerion	Arabidion caeruleae	Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
553		Caricion fuscae		Quaternaire	ARM	Eboulis	/							
556		Caricion fuscae		Quaternaire	ARM	Eboulis	/							
557		Poion alpinae		Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
558		Rumicion alpini		Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
559		Seslerion		Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
563		Rumicion alpini		Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
565		Rumicion alpini	Nardion	Quaternaire	ARM	Eboulis	/							
567		Rumicion alpini		Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
568		Rumicion alpini	Nardion	Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
569		Rumicion alpini		Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
574		Rumicion alpini		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							
578		Rumicion alpini		Quaternaire	ARCa	Eboulis	/							
613		Seslerion		Quaternaire	ARCv	Eboulis	/							