



HAL
open science

Caractérisation et analyse intégrée des communautés et complexes de communautés végétales cantaliennes pour la gestion conservatoire de la biodiversité dans les habitats pastoraux montagnards et subalpins

Maxime Loos

► To cite this version:

Maxime Loos. Caractérisation et analyse intégrée des communautés et complexes de communautés végétales cantaliennes pour la gestion conservatoire de la biodiversité dans les habitats pastoraux montagnards et subalpins. Sciences de l'environnement. 2024. hal-04848326

HAL Id: hal-04848326

<https://ephe.hal.science/hal-04848326v1>

Submitted on 19 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



École Pratique
des Hautes Études



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES - PSL

Sciences de la Vie et de la Terre

MÉMOIRE

présenté par

Loos Maxime

pour l'obtention du Diplôme de l'École Pratique des Hautes Études - PSL

**Caractérisation et analyse intégrée des communautés et complexes de
communautés végétales cantaliennes pour la gestion conservatoire de la
biodiversité dans les habitats pastoraux montagnards et subalpins**

soutenu le 11/12/2024 devant le jury suivant :

Miaud Claude – **Président**

Thébaud Gilles – **Tuteurs scientifiques**

Hély Christelle – **Tutrice pédagogique**

Coq Sylvain – **Rapporteur**

Bremond Laurent – **Examineur**

Perret Jan – **Examineur**

Mémoire préparé sous la direction de :

Thébaud Gilles

Intitulé de la structure d'accueil : UniVegE - Herbiers universitaires CLF, Clermont-Ferrand

Directrice : Roux Camille

et de

Hély Christelle

Intitulé de la structure d'accueil EPHE-PSL : Institut des Sciences de l'Évolution, Montpellier

EPHE-PSL (Sciences de la Vie et de la Terre)

Groupe de Recherche et d'Enseignement Thématiques de l'EPHE-PSL : Dynamique
des environnements naturels et anthropisés (DENA)

Préambule

Dans toute sa solitude, le Cantal ferme, au sud, l'horizon de l'Auvergne ; bouleversé par les forces souterraines et les craquelures de l'écorce, il s'impose par ses formations volcaniques qui représentent l'un des plus beaux exemples en Europe avec ses 70 km de diamètre et ses 2 500 km² de surface.

Le Cantal ou la Haute-Auvergne ; c'est le territoire du feu qui sommeille, c'est celui des herbes toujours écourtées par un vent qui harcèle, c'est celui des eaux qui grignotent, qui s'incrument et découvrent. Le paysage dominant est fruste et rude avec des hauteurs plus impressionnantes par leur ambiance que par leur taille... Les horizons s'y bousculent et prennent un air d'alpestre que la nature s'empresse de confirmer. Le brouillard s'y complaît et, traître comme toujours, s'amuse à noyer les chemins. Seuls le Raisin d'Ours ou l'Anémone soufrée s'accrochent encore aux pentes et font partie des gagnants...

Le Cantal, c'est le monde des longues échines, à l'air sympathique un peu lourd, qui n'en finissent pas de monter vers d'autres bosses où enfin se dégagent les culots de lave. Là, tout là-haut, sur les ventres encore chauds, s'éparpillent les burons esseulés et s'étalent les vagues entaillées. Au-dessus des plateaux, les formes volcaniques hissent leur silhouette inquiétante tantôt à peine perceptible, tantôt énorme au gré des caprices de la terre, mais toujours présente. La Haute-Auvergne, c'est bien la vraie montagne, une montagne empilée avec chaleur aux temps passés et offrant au ciel un corps mutilé de cicatrices béantes taillées dans ses flancs, un corps d'où pointent encore quelques doigts figés germés d'une main souterraine...

Au pied de ses terres froides où brouillard et vent s'amusent aux dépens des habitants (et des botanistes surtout...), les vallées cisailent la chair volcanique et finissent par s'incruster jusqu'au squelette cristallin.

Le Cantal, c'est la dernière muraille avant le soleil, c'est là que tous les horizons se resserrent et s'exhaussent, c'est là que le ciel déverse sa moisson de pluie et fait surgir, des terres haletantes, la verte pelouse, le hêtre ombrageux et le genêt d'or. Le Cantal, c'est toujours le pays des burons aux lourds toits de lauzes, c'est le pays des salers et du bon fromage, mais c'est, avec ses volcans éteints où l'Auvergne se terre, orgueilleuse de son isolement, le passé qui se meurt...

C'est là le pays têtu de ses traditions, jaloux de sa physionomie qui n'en fait ni des Alpes ni des Pyrénées, jaloux de ses châteaux haut-perchés. C'est la preuve à peine refermée des forges souterraines, mais c'est aussi l'air pur, la grande solitude où, devant l'avenir, on bouche le « cantou » pour avoir moins froid, là où autrefois le feu ne s'éteignait pas... Ici, au Cantal, tout est encore hier...

C.Brion, extrait du bulletin de la SBCO de 1980.

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement Gilles Thébaud, tuteur scientifique et ancien directeur de UniVegE – Herbiers universitaires CLF, pour avoir accepté de porter et de conduire l'encadrement scientifique de ce projet de recherche. Pour sa pédagogie, sa bienveillance et sa confiance, pour n'avoir eu de cesse de me transmettre et de m'encourager, je lui suis infiniment reconnaissant.

Je remercie très vivement Camille Roux, directrice de UniVegE – Herbiers universitaires CLF et tutrice scientifique, pour avoir accepté de reprendre l'encadrement de ce projet de recherche après le départ en retraite de Gilles Thébaud. Ce mémoire n'aurait pu aboutir sans son soutien.

Ma profonde gratitude va également à Christelle Hély, directrice d'études à l'EPHE-PSL et tutrice pédagogique, pour avoir été toujours disponible et à l'écoute, pour son suivi, son implication dans ce projet de recherche et pour ses précieux conseils tout au long de ces quatre années.

Je transmets mes sincères remerciements à Sylvain Coq, Maître de conférences au CEFE, pour m'avoir fait l'honneur de rapporter ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Laurent Bremond, Maître de conférences à l'EPHE et président du jury ainsi que Jan Perret, attaché d'enseignement et de recherche à l'EPHE examinateur, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail.

Je suis très reconnaissant envers les experts Véronique Genevois, Alexandre Poiraud et Arthur Ancrenaz, respectivement pédologue et géomorphologues, pour leurs enseignements et pour m'avoir permis d'utiliser de nombreuses figures qu'ils ont produites ; ma reconnaissance va également à Jean-Jacques Lazare et Benoit Renaux, phytosociologues, pour le partage de leurs connaissances.

J'exprime ma redevance à l'égard de Michèle Monpeysson, François Marquet et Nicolas Lolive pour m'avoir fait l'amitié de relire ce mémoire, ainsi que Mehdi Issertes pour sa maîtrise informatique et Christian Houba pour la relecture constructive de l'abstract.

Je tiens également à rendre hommage à Rolland Carbiener pour m'avoir inspiré et fait découvrir à travers ses nombreuses publications, et notamment sa thèse de 1966, l'importance cruciale des conditions abiotiques dans les distributions des végétations montagnardes. Ses travaux pionniers sur les Vosges, entre le climat et la végétation orophile, ont profondément marqué mon approche méthodologique et m'ont incité à explorer les effets du topoclimat sur la distribution des végétations montagnardes.

A ma compagne Adélice, sans qui rien n'aurait été possible, du fond du cœur Merci !

Enfin, je ne peux oublier toutes les personnes, enseignants, botanistes, phytosociologues, documentaristes, géologues, photographes qui un jour m'ont aidé, transmis une partie leurs connaissances ou encouragé, je vous suis très reconnaissant.

J'espère que ce mémoire saura vous faire honneur.

Table des matières

Préambule	2
Remerciements.....	3
Tables des figures	1
Lexique.....	5
Abstract.....	1
Introduction	1
Contexte.....	1
Problématique, objectifs et hypothèse de travail.....	2
Concept général de phytosociologie sigmatiste et de phytosociologie paysagère ou dynamico-caténale : Série et Géosérie	3
La série de végétation	4
La géosérie de végétation.....	7
I. Contexte régional : les monts du Cantal.....	8
1.1 Localisation, reliefs et statuts juridiques de protection	8
1.2 Géologie et géomorphologie	9
1.2.1 De la chaîne hercynienne au plus grand volcan d'Europe.....	9
1.2.2 Les roches.....	9
1.2.3 Les glaciations	10
1.2.4 Les reliefs hérités et actuels	10
1.3 Hydrographie	13
1.4 Climat allochtone	14
1.4.1 Les précipitations.....	14
1.4.2 Les températures.....	14
1.4.3 L'insolation	15
1.4.4 La neige	16
1.4.5 Le vent général	17
1.4.6 Le givre.....	18
1.5 Pédologie.....	18
1.5.1 Les Andosols.....	19
1.5.2 L'humus.....	20
1.5.3 Notion d'acidité du sol et phénomène de sélection végétale	20
1.6 Effets versants.....	21
1.6.1 Adret et ubac.....	21
1.6.2 La gravité, ou le transport de matière d'amont en aval.....	22
1.7 Les vents spécifiques	22
1.7.1 L'effet de crête	22
1.7.2 Les vents locaux : les brises.....	23
1.8 L'altitude.....	24
1.9 Etages de végétations.....	25
1.9.1 Le déterminisme.....	25

1.9.2 Les limites altitudinales.....	25
1.9.3 Limites entre l'asylvatisme naturel et anthropique.....	26
1.10 Histoire humaine.....	26
1.10.1 Pré-révolution agricole.....	26
1.10.2 Post-révolution agricole.....	27
1.10.3 La révolution touristique.....	27
1.10.4 Quelles conséquences sur l'aire étudiée.....	28
1.11 Théorie des fractales.....	29
1.12 Synthèse biogéographique des monts du Cantal.....	29
1.13 Conclusion.....	30
II. Matériels et méthodes.....	31
2.1 Phase préliminaire.....	31
2.1.1 Etat de l'art.....	31
2.1.2 Réalisation d'une pré-typologie phytosociologique de la zone d'étude.....	31
2.1.3 Plan d'échantillonnage.....	31
2.2 Phase de terrain : collecte et saisie des relevés.....	32
2.2.1 Relevés phytosociologiques.....	32
2.2.2 Saisie des relevés.....	32
2.3 Phase d'analyse.....	33
2.3.1 Analyse par classification ascendante hiérarchique (CAH).....	33
2.3.2 Tableaux différentiels diagonalisés pour la caractérisation des relevés phytosociologiques et diagnostics syntaxinomiques.....	33
2.3.3 Analyses d'ordination des variables écologiques et identification des facteurs discriminants.....	34
2.3.4 Analyses synécologiques basées sur les indices écologiques.....	34
2.4 Résultats et essai de typologie phytosociologique, synphytosociologique et géosymphytosociologique provisoire pour les monts du Cantal.....	35
2.5 Les limites de l'étude.....	35
III. Résultats et interprétations permettant la caractérisation des communautés végétales mésophiles des monts du Cantal.....	35
3.1 Fourrés à genêt purgatif du Massif central occidental volcanique (Cantal ; monts Dore et Cézallier).....	36
3.1.1 Jeu de données et échantillonnage.....	36
3.1.2 Résultats analytiques.....	37
3.2. Les formations orophiles herbacées de lisières, ravins et trouées forestières du Massif central volcanique.....	48
3.2.1 Jeu de données et échantillonnage.....	49
3.2.2 Résultats analytiques.....	49
3.3 Les pelouses et prairies d'altitude.....	63
3.3.1 Les pelouses oligotrophes.....	63
3.3.2 Les prairies montagnardes mésophiles, mésotrophes à eutrophes.....	68
3.3.3 Végétations fortement anthropisées et perturbées.....	69
3.4 Les végétations à hautes herbes et mégaphorbaies.....	71
3.4.1 Les mégaphorbaies orophiles.....	74

3.4.2 Les hautes formations graminéennes orophiles.....	76
3.5 Les Landes.....	78
3.5.1 Les landes montagnardes à subalpines, en dynamique vers la hêtraie	78
3.5.2 Les landes subalpines climaciques.....	79
3.6 Les fourrés ou manteaux arbustifs	80
3.6.1. Les fourrés montagnards secondaires	81
3.6.2 Les fourrés subalpins primaires.....	82
3.7 Les forêts montagnardes	83
3.7.1 Les hêtraies-sapinières sur sols peu acides	84
3.7.2 Les hêtraies-sapinières sur sols acides.....	86
3.7.3 Les hêtraies de lisières supérieures de l'étage montagnard	87
3.8 Conclusion phytogéographique	87
IV. Esquisse de schémas dynamiques et spatiaux des végétations mésophiles des monts de Cantal : phytosociologie paysagère ou dynamico-caténale - Série et Géosérie.....	88
4.1 Typologie provisoire des séries des monts du Cantal.....	88
4.1.1 Séries montagnardes	89
4.1.2 Séries subalpines	90
4.2 Typologie provisoire des géoséries des monts du Cantal	91
4.2.1 Géoséries montagnardes	92
4.2.2 Géoséries subalpines	93
4.3 Conclusion phyto-paysagère.....	94
V. Discussion générale	94
Conclusion générale.....	95
Bibliographie	97
Annexe 1 : Relief des monts du cantal : en marron clair, gris et blanc le secteur d'étude. (source modèle numérique de terrain Hearth Explorer)	
Annexe 2 : Délimitations de l'aire du « site Natura 2000 massif cantalien » (zone spéciale de conservation FR 8301055). Carte d'après Rural Concept (2020)	
Annexe 3 : Carte géologique simplifiée du stratovolcan du Cantal. La coupe illustre les principaux faciès qui affleurent dans la partie centrale de l'édifice volcanique (trait coupe est-ouest) indiqué sur la carte. D'après Nehlig <i>et al.</i> , 2001	
Annexe 4 : Cartes météorologique : Précipitations et températures moyennes de janvier à décembre (période 1981-2010), territoire d'étude défini en rouge	
Annexe 5 : Barrière orographique et versant d'abri	
Annexe 6 : Référentiel Régional Pédologique du Cantal étude n° 30150	
Annexe 7 : Propriétés spécifiques des sols volcaniques: Comparaison avec des sols se développant sur des matériaux cristallins et cristallophylliens (gneiss ou granite). D'après Poster, Genevois V. et al. 2023b	
Annexe 8 : Cartographie des combes à neige sur les monts du Cantal l'hiver 1978 – Chronologie du déneigement (d'après Valadas, 1984)	
Annexe 9 : Evolution du couvert forestier entre 1954 et 2022 sur le secteur de la vallée de la haute Santoire à Lavigerie -Cantal	
Annexe 10 : Tableaux de contingence	
Annexe 11 : Principaux niveaux hiérarchiques des unités syntaxinomiques la classification phytosociologique	

Annexe 12 : Tableau synoptique I : les genêtères purgatives des montagnes ouest volcanique et classification synsystématique des communautés.

Tableau synoptique

Classification synsystématique

Annexe 13 : Tableau synoptique II : les formations orophiles herbacées de lisières, ravins et trouées forestières du Massif central volcanique et classification synsystématique des communautés.

Tableau synoptique

Classification synsystématique

Annexe 14 : Tableau synoptique III et tableau d'occurrence par massif des associations et sous-associations des groupements à hautes herbes du Massif central, d'après Loos & Thébaud (2024)

Tableau d'occurrence des différentes communautés végétales

Tableau synoptique des différentes communautés végétales

Annexe 15 : Tableau d'association du *Betonico-Patzkeetum* (Seytre 2006) M.Loos in Loos et Thébaud 2023, d'après Loos & Thébaud 2023. La nomenclature utilisée est celle de Taxref V7

Tables des figures

Figure 1 : Organisation des différentes étapes intellectuelles relevant de l'étude phytosociologique sigmatiste (d'après B de Foucault 1986b).....	3
Figure 2 : Concept de série de végétation : exemple de la série du chêne vert (d'après Rivas-Martínez 2007)	4
Figure 3 : Les propriétés émergentes des holons du tapis végétal (selon Koestler, 1967) trouvent un écho dans la complexité du langage écrit (en bleu). D'après Lazare (2019).	4
Figure 4 : Typologie des unités du phytosociologie dynamico-caténale (Rivas-Martinez, 2005). D'après Lazare (2009).....	4
Figure 5 : Graphe illustrant la dynamique des systèmes, en général analysés par des systèmes d'équations différentielles (surface de Riemann-Hugoniot). Les axes représentent en Z : la stabilité (ex : pourcentage d'espèces climaciques), en X : les facteurs de stress, et en Y les perturbations (avalanche, tempête...). Flèche 1 : Transition entre deux parties de la fronce ne peut se faire de manière continue (intervention d'espèces post-pionnières caractérisant des stades transitoires instables. Flèche 2 : Transition discontinue et catastrophique (quasi-absence de stades transitoires). Adapté d'après Decocq (2005).	6
Figure 6 : Représentations des quatre trajectoires élémentaires de la dynamique sériale, ou types de série. La trajectoire dynamique est fléchée en gris sur la surface de réponse et le plan de contrôle. Adapté d'après Decocq (2005).	6
Figure 7 : Profil des différentes catégories de séries de végétation : édaphoxérophile, climatophile, temporhygrophile et édaphohygrophile. D'après Chalumeau & Bioret (2013).....	7
Figure 8 : Localisation des monts du Cantal. D'après (https://www.globe-trotting.com/post/monts-du-cantal-france).....	8
Figure 9 : Structure exagérément simplifiée du stratovolcan Cantal. Les portions gauche et droite correspondent aux planètes périphériques entourant le volcan, respectivement de Trizac et de Malbo, alors que le milieu correspond à sa zone centrale centrée sur le Puy Griou (1690 m).....	9
Figure 10 : Les deux dernières glaciations dans les monts du Cantal. (A) Limites des glaciations rissiennes (en rouge) et würmienne (en bleu), adapté d'après Etlicher & De Goer (1988). (B) Reconstitution de la géométrie des paléoglaciers lors de la dernière période glaciaire (Würm) pour la face sud des monts du Cantal. Profil longitudinal des vallées de la Cère et de l'Alagnon, adapté d'après Ancrenaz (2023). 10	10
Figure 11 : Impact de l'action des glaciers sur le relief, d'après De Greef & Schools (2008).	11
Figure 12 : Morphologie glaciaire. (A) Vallées glaciaires cantaliennes d'après De Goer (1996) <i>in</i> Nehlig (2007). (B) Cirques glaciaires et niches de nivations dans deux vallées de l'ouest des monts du Cantal (Cère et Jordanne) ajusté d'après Van Dorsser (1982) <i>in</i> Nehlig (2007). Modifiée. (C) Amphithéâtre glaciaire de l'Impradine et horn du Puy Mary, Cantal (Crédit photo : François Marquet). (D) Croissant de névé sur le versant oriental du Peyre-Arse, adapté de Veyret-Mekdjian <i>et al.</i> (1988).	11
Figure 13 : Morphologies actuelles rencontrées sur les monts du Cantal : (A) pipkrakes ou aiguilles de glace, d'après (http://morphoglaciare.free.fr/) <i>in</i> https://geomorphologie-montagne.ch/) ; (B) loupe de solifluxion sous la Brèche de Rolland ; (C) schéma d'un escalier de solifluxion nival vu de coupe « sol en guirlande » avec ses bourrelets et replats, d'après Carbiener (1966a) ; (D) même phénomène vu de face, d'après Carbiener (1966a) ; (E) pelouse écorchée sous le Puy de Chavaroche ; (F) Champs de thufurs au sommet de la Sagne de Porc.	12
Figure 14 : Influence de la durée d'enneigement dans une "combe à neige" sur la répartition des communautés végétales en coupe transversale (A) et en vue du dessus (B), d'après Luquet (1926)	13
Figure 15 : Synthèse des précipitations sur les monts du Cantal : (A) Diagramme ombrothermique des précipitations et températures minimales et maximales au Plomb du Cantal (1985-2015), Source : Meteoblue (https://www.meteoblue.com/); (B) Répartition des cumuls annuels des précipitations sur le Cantal, d'après Poiraud <i>in</i> Genevois, <i>et al.</i> , (2022) ; (C) Schéma simplifié de l'effet de Foehn, d'après Météo France.	14
Figure 16 : Synthèse de la distribution des températures sur le Cantal : (A) Cartographie des températures moyennes annuelles (1981-2010), d'après A. Poiraud <i>in</i> Genevois <i>et al.</i> , (2022) ;(B) Diagramme mensuel des températures au Plomb du Cantal (1985-2015), d'après Meteoblue (https://www.meteoblue.com/).....	15

Figure 17 : Synthèse de l'insolation sur les monts du Cantal : (A) Diagramme mensuel de l'insolation au Plomb du Cantal (1985-2015), Source : Meteoblue (https://www.meteoblue.com/) et (B) Cartographie de l'insolation (KWh/m ² par an) sur le Cantal, d'après A. Poiraud <i>in</i> Genevois <i>et al.</i> , (2022).....	16
Figure 18 : Enneigement sur les monts du Cantal. A: Le Puy Mary. B: Le Puy de Chavaroche depuis le sommet du Puy Mary.	16
Figure 19 : Synthèse de l'enneigement sur les monts du Cantal : (A) Diagramme mensuel du nombre de jours de précipitations au Plomb du Cantal (1985-2015), le trait noir représentant les jours de neige. Source : Meteoblue (https://www.meteoblue.com/). (B) Cartographie de la durée d'enneigement sur le Cantal, d'après A. Poiraud <i>in</i> Genevois <i>et al.</i> , (2022).	17
Figure 20 : Synthèse des vents. (A) Rose des vents au Plomb du Cantal (1985-2015). Modèle météorologique global NEMS à une résolution d'environ 30 km. Source : Meteoblue. (B) Diagramme mensuel du nombre de jours de vent et leurs vitesses au Plomb du Cantal (1985-2015),.....	17
Figure 21 : Le givre et ses effets. (A) un matin d'hiver au télésiège du refuge du Lioran (Crédit Photo : Thomas. Sarraille) ; (B) et (C) : Sommet du Puy Mary (Crédit Photo : Hervé Bessenay) ; (D) Hêtre pris dans une gangue de glace (Crédit Photo : Hervé Bessenay).	18
Figure 22 : Sols volcaniques du Cantal. Les profils de sols présentés (A) sont utilisés pour une identification sur le terrain (A) et les répartitions spatiales des sondages (B) des sols volcaniques du Cantal d'après Genevois <i>et al.</i> , (2023b).	19
Figure 23 : Histogramme des fréquences de types d'humus dans les forêts des monts du Cantal-Cézallier, d'après l'Inventaire national forestier (IFN 2006).....	20
Figure 24 : Adret et ubac dans les monts du Cantal :(A) Considération classique des versants ; (B) le Puy Mary début mai où l'effet de versant à une grande importance sur la durée du manteau neigeux et pour les végétations avec : à gauche, la face nord encore bien enneigée ; (C) effet saisonnier, l'hiver <i>versus</i> (D) effet saisonnier, l'été.	21
Figure 25 : Répartition schématique entre deux associations 1 et 2 en fonction des flux de matières symbolisés par des flèches rouges, adapté d'après Luquet (1926).	22
Figure 26 : L'effet de crête: A : Rocher de Vassivière en janvier. Les vents dominants d'ouest balayent la neige sur les crêtes dévoilant la callune et pour former des plaques à vent sur les versants est à l'abri. B : Sagne de Porc en mai. Congères formées par l'effet chasse-neige en versant d'abris.....	22
Figure 27 : Effet de crête, adapté de Carbiener (1966b).....	23
Figure 28 : Type de circulation atmosphérique estivale nocturne par situation anticyclonique d'air calme, adapté de Carbiener (1966b).	24
Figure 29 : Synthèse des effets de l'altitude sur l'environnement montagnard.	24
Figure 30 : Illustration schématique des étages de végétation pour le Cantal.....	25
Figure 31 : Limite naturelle des fourrés à Sorbier et bouleau (1650 m), marquant le passage à l'étage subalpin supérieur. Le port en girouette « krummholz » témoigne de la direction (ouest-est) et de la puissance des vents qui s'abattent ici.....	26
Figure 32 : Interventions humaines historiques. A: Traite à l'estive dans une fumade. B : Mise en place de la fumade. C : exploitation traditionnelle du Sapin. A, B et C, crédit : cartes postales, archives départementales du Cantal. D : L'un des nombreux burons en ruine, témoin d'un passé fromagé révolu.....	26
Figure 33 : L'impact touristique en un siècle au Plomb du Cantal. A : estive du plomb du Cantal. Crédit : archives départementales du Cantal. B : En 2011 .au Plomb du Cantal. Crédit photo : Jmp48 <i>in</i> https://commons.wikimedia.org/	28
Figure 34 : Théorie des fractales : évolution des limites entre communautés végétales en fonction du degré de perception considéré. Adapté d'après De Foucault (1986b).....	29
Figure 35 : Influences biogéographiques sur les monts du Cantal. PM : massif du Puy Mary. PC massif du Plomb du Cantal. Les flèches représentent la canalisation des courants aériens par les vallées glaciaires. Les cercles correspondent aux lieux cités en figure 34.....	29
Figure 36 : Délimitation schématique des compartiments biogéographiques.	30
Figure 37 : Esquisse biogéographique du Massif central d'après Thébaud & Roux, 2018. 1 zone d'influence océanique sur substrat cristallin ; 2 zone d'influence océanique sur substrat volcanique ; 3 zone d'influence océanique atténuée sur substrat cristallin ; 4 zone interne subcontinentale sur substrat cristallin ; 5 zone interne subcontinentale sur substrat volcanique ; 6 zone d'influence méditerranéenne atténuée, sur substrat cristallin ; 7 zone d'influence méditerranéenne accentuée sur substrat cristallin ; 8 zone d'influence méditerranéenne sur substrat calcaire.	30

- Figure 38 : Extrait du tableau JUICE diagonalisé des communautés de lisières (155x251) volontairement réduit pour donner une vue d'ensemble de la dispersion relevés/espèces et des unités syntaxinomiques séparées par des traits verticaux. 34
- Figure 39 : Haut : dendrogramme issu de l'analyse de classification Twinspan modifiée (MTC - Roleček *et al.*, 2009) portant sur 123 relevés et 175 espèces (analyse en présence-absence ; indice de similarité = inertie totale. A et B représentent les branches, alors que les clusters, numérotés de 1 à 6 en bas du schéma, représentent les syntaxons. Bas : Tableau JUICE diagonalisé volontairement réduit pour donner une vue d'ensemble de la dispersion relevés/espèces après diagonalisation du tableau JUICE, issu de la même analyse numérique. Les traits verticaux séparent les différents clusters identifiés en syntaxons. 1, *Sinene-Cytisetum laserpitietosum*. ; 2, *Silene-Cytisetum typicum* ; 3, *Teucrio-Cytisetum typicum*; 4, *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Calluna vulgaris*; 5, *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Avenella flexuosa* ; 6, *Teucrio-Cytisetum senecietosum*. 38
- Figure 40 : Analyse d'ordination globale des communautés de l'alliance du *Cytision oromediterranei* des montagnes ouest volcaniques du Massif central réalisée sur 123 relevés et 175 taxons, en présence-absence. Haut : Analyses factorielles en DCA, présentant la projection sur le plan factoriel des points relevés selon les axes 1 et 2 (valeurs propres respectivement 0.416 et 0.312). Bas : Analyse canonique des correspondances (CCA), projection sur le plan factoriel des points relevés selon les axes 1 et 2 (valeurs propres respectivement 0.322 et 0.222) ; principales variables écologiques représentées sous forme de flèches vectorielles ; relevés regroupés par associations végétales : 1. *Sinene-Cytisetum laserpitietosum* ; 2. *Silene-Cytisetum typicum* ; 3. *Teucrio-Cytisetum typicum* ; 4. *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Calluna vulgaris* ; 5. *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Avenella flexuosa* ; 6. *Teucrio-Cytisetum senecietosum*. 39
- Figure 41 : Diagramme de répartition des expositions de 101 relevés par cluster. La surface des points est proportionnelle à la fréquence des données. 1. *Sinene-Cytisetum laserpitietosum* ; 2. *Silene-Cytisetum typicum* ; 3. *Teucrio-Cytisetum typicum* ; 4. *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Calluna vulgaris* ; 5. *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Avenella flexuosa* ; 6. *Teucrio-Cytisetum senecietosum*. 40
- Figure 42 : Valeurs des coefficients écologiques ((EIVE) 1.0. (de Dengler *et al.* 2023)) par cluster. Les n° de cluster sont les mêmes que ceux de la figure 46. 41
- Figure 43 : Synthèse des altitudes et pentes par cluster portant sur 123 relevés. Les n° de cluster sont les mêmes que ceux de la figure 46. 41
- Figure 44 : genêtiers purgatives cantaliennes. A : *Silene-Cytisetum typicum*, 1295 m (485ML - Malbo). B : *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Calluna*, 1339 m (130ML - Saint-Paul-de-Salers) C : *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Avenella*, 1426 m (451ML - Le Falgoux). Rel. 451ML. D : *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. typique, primaire sur tablier de blocs périglaciaire camouflé, 1680 m (428ML - Lavigerie). 43
- Figure 45 : Dynamique subalpine des genêtiers purgatives : A & B genêtier séculaire au Col de combe Nègre, entre 1500 m et 1580 m d'altitude (non de Col de Rombière comme cité sur la carte postale) (A) Carte postale de la fin 19^e-début 20^e siècle (Archives départementales du Cantal) ; (B) même zone photographiée en 2024 montrant une mosaïque composée de formations primaires sur arêtes et tables rocheuses et de formations secondaires de conquête de l'estive ; (C) et (D) Même localité, dynamique landicole à myrtille et ligneuse à sorbiers ; (E) idem face sud du Puy de Bataillouse, 1550-1650 m d'altitude; (F) lande à Myrtille phagocytant les genêtiers sénescents dans le cirque de la Jordanne, 1450-1500 m. d'altitude..... 47
- Figure 46 : Schéma d'affinités dynamiques synthétique des genêtiers purgatives ouest volcanique. 48
- Figure 47 : Les lisières. (A) Influence de la lumière sur les communautés d'ourlet. Les pointillés délimitent l'emprise de l'ombre projetée. +++ : héliophile ; ++ : héliocline ; + hémihéliophile ; - : hémisciaphile ; -- : sciacline ; --- : sciaphile. (B) Répartition spatiale entre lisières internes et externes, d'après Bignon (1986)..... 49
- Figure 48 : Haut : dendrogramme issu de la seconde analyse Modified Twinspan (MTC, Roleček *et al.* 2009) portant sur 154 relevés et 251 espèces (analyse en abondance pondérée ; indice de similarité = inertie totale. 1. *Poo-Euphorbietum* ; 2. *Prenantho-Avenelletum* ; 3. *Doronico-Calamagrostietum* ; 4. *Holco-Pteridetum* ; 5. Groupement à Brachydode ; 6. *Agrostio-Lactuocetum* ; 7. *Lactuoc-Epilobietum* ; 8. *Saxifrago-Petasitetum* 50
- Figure 49 : Analyses factorielles globales en DCA réalisées sur 154 relevés et 251 espèces, en abondance. Les valeurs propres des axes 1 et 2 sont respectivement 0.790 et 0.510. Les n° de végétations, sont les mêmes que ceux de la figure 47..... 51

Figure 50 : Analyse canonique des correspondances (CCA) globale des communautés de Lisières réalisées sur 154 relevés et 251 espèces, en abondance pondérée. Les valeurs propres des axes 1 et 2 sont respectivement 0.725 et 0.403. Les n° de végétations, sont les mêmes que ceux de la figure 47.	52
Figure 51 : Synthèse des expositions par association portant sur 154 relevés renseignés. Les n° de végétations, sont les mêmes que ceux de la figure 47.	52
Figure 52 : Synthèse des pentes par association portant sur 154 relevés renseignés. Les n° de végétations, sont les mêmes que ceux de la figure 47.	52
Figure 53 : Valeurs des coefficients écologiques ((EIVE) 1.0. (de Dengler <i>et al.</i> 2023)) par cluster. Les n° de végétations, sont les mêmes que ceux de la figure 47.	53
Figure 54 : Lisières cantaliennes. A : <i>Poo-Euphorbietum hypericetosum</i> prov. (621ML – Le Falgoux (15)). B : <i>Saxifrago-Petasitetum luzuletosum</i> prov. var. à <i>Lunaria</i> (609ML – Mandailles (15)).	55
Figure 55 : Lisières cantaliennes. A : <i>Doronico-Calamagrostietum</i> prov. (340ML - Lavigerie (15)). B : <i>Lactuco-Epilobietum</i> var. hygrophile (629ML – Laveissière (15)). C : <i>Holco-Pteridetum poetosum chaixii</i> prov. (366ML - Lavigerie (15)).	57
Figure 56 : Association à Saxifrage à feuilles rondes et Pétasite blanc. A : <i>Saxifrago-Petasitetum chrysosplenetosum</i> prov. primaire de ravin très encaissé (600ML - Récusset (15)). B : Idem <i>typicum</i> prov. secondaire de talus (360ML – Laveissière (15)). C : Idem. secondaire, ancien chablis aérohygrophile (642ML – St-Jacques-des-Blats (15)).	61
Figure 57 : En haut : Dendrogramme issu de l'analyse MTC portant sur 572 relevés et 336 espèces (analyse en présence-absence ; indice de similarité = inertie totale ; espèces présentes 2 fois ou moins soustraites à l'analyse). Les numéros de cluster figurent en bas du schéma. Les numéros en italique sont ceux des différentes associations individualisées. Les associations non présentes dans le Cantal sont soulignées.	72
Figure 58 : Analyses factorielles globales en DCA réalisées sur 568 relevés et 336 taxons, en présence-absence, présentant la projection sur le plan factoriel des points relevés selon les trois premiers axes (valeurs propres des axes 1, 2 et 3 respectivement 0.633, 0.252 et 0.216). Les associations non présentes dans le Cantal sont soulignées.	73
Figure 59 : Valeurs des coefficients écologiques (Ellenberg <i>et al.</i> 1991 ou à défaut Julve 2017) par association. 1 <i>Crepido-Adenostyletum</i> ; 2 <i>Arabidopsio-Adenostyletum</i> ; 3 <i>Doronico-Campanuletum</i> ; 4 <i>Salici-Luzuletum</i> ; 5 <i>Imperatorio-Adenostyletum</i> ; 6 <i>Senecioni cacaliastri-Athyrietum</i> ; 7 <i>Veratro-Luzuletum</i> ; 8 <i>Pediculari-Geraniatum</i> ; 9 <i>Luzulo-Calamagrostietum</i> ; 10 <i>Heracleo-Calamagrostietum</i> ; 11 <i>Calamagrostietum arundinaceae</i> ; 12 <i>Senecioni-Calamagrostietum</i> ; 13 groupement à <i>Libanotis pyrenaica</i> ; 14 <i>Arnico-Patzkeetum</i> ; 15 <i>Betonico-Patzkeetum</i> ; 16 <i>Leucanthemo-Patzkeetum</i> ; 17 <i>Bupleuro-Festucetum</i> ; 18 <i>Tulipo-Patzkeetum</i>	74
Figure 60 : Organisation schématique des différentes <i>catena</i> théoriques pour les monts du Cantal. Les étages montagnard et subalpin partagent tous deux les huit catégories, à savoir : A : Zone occidonto-septentrionale d'ubac ; B : Zone oriento-septentrionale d'ubac ; C : Zone occidonto-septentrionale d'adret ; D : Zone oriento-septentrionale d'adret ; E : Zone occidonto-méridionale d'ubac ; F : Zone oriento-méridionale d'ubac ; G : Zone occidonto-méridionale d'adret ; H : Zone oriento-méridionale d'adret. Les sommets et les zones de crêtes, figurés par l'intersection des lignes au sein du cercle jaune sur ce schéma, constituent une <i>catena</i> distincte.	92

Tableau I : Ventilation du nombre de relevés analysés par région	37
Tableau II : Occurrence des différentes communautés végétales par massif. 1. <i>Sinene-Cytisetum</i> : 1.1 <i>laserpitietosum</i> et 1.2 <i>typicum</i> ; 2. <i>Teucrio-Cytisetum</i> : 2.1 <i>typicum</i> et 2.2 <i>senecietosum cacaliastri</i> . ..	45
Tableau III : Ventilation du nombre de relevés analysés par région pour les formations de lisières	49
Tableau IV : Occurrence des différentes communautés végétales par massif	62
Tableau V : Correspondance entre les syntaxons et les clusters ; pp signifie <i>pro parte</i>	63

Lexique

*= définition reportée ici en début de lexique.

Allophane : un minéral amorphe ou cryptocristallin, c'est-à-dire que sa structure interne n'est pas parfaitement ordonnée comme celle d'un minéral cristallisé. Il est composé d'aluminosilicates hydratés, c'est-à-dire d'un assemblage d'atomes de silicium, d'aluminium, d'oxygène et d'hydrogène. L'allophane a une grande capacité d'adsorption, c'est-à-dire qu'il peut retenir à sa surface de nombreuses substances, comme l'eau, les cations (ions chargés positivement) et les molécules organiques. Cette propriété en fait un minéral important pour la rétention des nutriments dans les sols.

Amphitolérant : Une large tolérance écologique.

Association végétale : Unité conceptuelle de base de la classification phytosociologique. Selon la définition du code international de nomenclature de 1910, « Une association végétale est un groupement végétal de composition floristique déterminée, présentant une physionomie uniforme et croissant dans des conditions stationnelle également uniformes. L'association est l'unité fondamentale de la synécologie ». En 1928, Josias Braun-Blanquet précise : « l'association végétale est un groupement végétal plus ou moins stable et en équilibre avec le milieu ambiant, caractérisé par une composition floristique déterminée, dans laquelle certains éléments exclusifs ou à peu près, les espèces caractéristiques, révèlent par leur présence une écologie particulière et autonome. Le suffixe porté par l'association végétale est « *-etum* ».

Bilan hydrique : Bilan des entrées et les sorties d'eau dans un système donné (sol) sur un an. Le bilan hydrique peut être représenté par l'équation suivante : Précipitations = Évapotranspiration potentielle + Ruissellement + Infiltration.

Brèche volcanique : Roche sédimentaire clastique polygénique, formée par la consolidation de fragments anguleux de roches volcaniques de tailles hétérogènes (millimétrique à décimétrique), de minéraux et de verres volcaniques, cimentés par une matrice fine. Ces fragments, issus de la fragmentation explosive de matériaux magmatiques lors d'éruptions volcaniques ou de de l'effondrement cataclysmique d'un pan du volcan sous la forme d'avalanche de débris. Les éléments des brèches volcaniques sont généralement de nature variée et de taille hétérogène.

CAH : complexe argilo-humique. Il s'agit d'une association entre les colloïdes de matière organique (humus) et la matière inorganique (argiles minéralogiques), tous deux chargés négativement, et des ions minéraux chargés positivement (cations). Ces ions lient l'humus et l'argile entre eux pour former des agrégats. Ce complexe adsorbant a la propriété de retenir des cations présents dans le sol (Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , H^+ , Na^+ , NH_4^+ , etc.). La capacité d'échange cationique correspond à la somme des cations que le sol peut échanger, ce qui représente un facteur essentiel de la fertilité des sols en fournissant les sels minéraux essentiels aux plantes

Calamagrostidaie : Formation végétale, structurée et dominée par des espèces de plantes appartenant au genre *Calamagrostis* (*Poaceae*), ici *Calamagrostis arundinacea*.

Callunaie-genistaie : Formation végétale structurée et dominée par la callune et le genêt.

Catena : Unité géomorphologique et bioclimatique de taille variable, comportant une ou plusieurs séries de végétation.

Caténaire : faisant référence à une *catena*.

CEC : Capacité d'échange cationique, est la quantité de cations que peut fixer le sol sur son complexe adsorbant à un pH donné. La CEC est utilisée comme mesure de la fertilité d'un sol en indiquant la capacité de rétention des éléments nutritifs d'un sol donné.

Chionophile : Qui aime la neige. Ces plantes sont adaptées à vivre dans les zones enneigées, souvent en haute montagne.

-cline : Exprime une légère préférence, une tendance. Ex. : acidocline, qui tend vers l'acidité ; hygrocline, qui tend à être humide.

Cluster : En statistique, désigne un groupe d'objets (individus, données, relevé phytosociologique etc.) qui présentent des caractéristiques similaires. Ces objets sont regroupés ensemble en fonction de leur proximité par rapport à un certain critère, souvent une mesure de distance ou de similarité.

Colloïde : Grosses molécules organiques associées en micelles chargées électronégativement que l'on rencontre dans les sols où elles participent au complexe adsorbant avec les pseudocolloïdes argileux dotés des mêmes propriétés.

Colluvion : dépôt sédimentaire meuble, constitué de fragments de roche et sédiments de différentes tailles, qui s'accumule au pied d'un versant sous l'effet de la gravité.

Communauté végétale : Ensemble plus ou moins homogène et structuré de plantes appartenant à une aire et un milieu déterminé.

Cryo-anémophile : Résistant au froid et au vent.

Cryophile : Qui aime le froid.

Cryptogame : Végétal sans fleur ni graine (mousses, lichens).

Curtaséries : Série de végétations tronquées caractérisées par au moins deux stades dynamiques et dont le stade mature, non forestier, est bloqué en raison de perturbations majeures régulières telles que les avalanches et les inondations fluviales.

Dryade : Qualification des espèces sédentaires et structurantes des forêts matures notamment des arbres forestiers à longue durée de vie se comportant en essences d'ombre dans leur jeunesse. C'est le cas du Hêtre ou du sapin.

Dynamique régressive : Evolution de la végétation par une succession de communautés (ou stades) l'éloignant progressivement de l'état d'équilibre avec le sol et le climat locaux. Le stade ultime de cette évolution correspond en général à des végétations thérophytiques ouverte, voire à une dénudation par érosion consécutive de la roche-mère.

Édaphoxérophile : Qui aime les sols secs. Ce terme souligne l'adaptation à la sécheresse liée aux caractéristiques du sol.

Espèce épharmonique : espèce vivante qui a développé des caractéristiques biologiques spécifiques lui permettant de s'adapter de manière optimale à son environnement. Ces adaptations peuvent concerner la morphologie (la forme), la physiologie (le fonctionnement interne), le comportement ou le cycle de vie de l'organisme.

Espèce polycorme : S'applique à un végétal donnant naissance à de nombreuses pousses qui drageonnes.

Eutrophe : Riche en nutriments. Contraire d'oligotrophe, un milieu eutrophe est caractérisé par une forte concentration en éléments nutritifs.

Fractale : Objet mathématique qui présente une structure similaire à toutes les échelles. C'est un objet géométrique « infiniment morcelé » dont des détails sont observables à une échelle arbitrairement choisie. L'assemblage du couvert végétal est de nature fractale.

Fourré : Végétation arbustive dense pouvant être primaire ou secondaires suivant les conditions de milieu. Les fourrés peuvent être considérés comme des manteaux ou des prémanteaux.

Géosynrelevé : En géosymphytosociologie ce terme qualifie un complexe de végétation correspondant à un individu de géosérie (relevé). C'est la liste quantifiée, prise sur le terrain, des séries de végétation ou des groupements végétaux présents dans une caténa*.

Horn : En géologie, un horn est une crête rocheuse pyramidale ou en forme de pic, souvent formée par l'érosion glaciaire de trois ou plusieurs cirques. Il résulte de l'action combinée de l'érosion glaciaire et de la gravité.

Hygrophile : Qui aime l'humidité.

Imogolite : minéral argileux tubulaire, c'est-à-dire qu'il présente une structure en forme de tube creux. Il est également composé d'aluminosilicates hydratés. Sa structure est plus ordonnée que celle de l'allophane, mais elle reste complexe. Elle se compose d'un cylindre central de silicium entouré d'une couche d'aluminium. L'imogolite a également une grande capacité d'adsorption, mais sa structure tubulaire lui confère des propriétés spécifiques.

Lixiviation : processus par lequel des substances solubles sont extraites d'un matériau solide par un liquide qui le traverse.

Landine : Lande basse des étages subalpin et alpin soumise à des conditions topoclimatiques sévères.

Manteau : Au sens préforestier, le manteau correspond aux structures végétales essentiellement arbustives, plus ou moins étroites et linéaires, continue ou non, bordant en lisière les forêts. Spatialement, le manteau se situe entre l'ourlet et la forêt.

Mésophile : Qui aime les conditions moyennes, ni trop chaudes ni trop froides, ni trop sèches, ni trop humides.

Mésophorbaie : Il s'agit d'une phytocénose dense de taille moyenne ($\leq 1\text{m}$) développée sur sols humides et riches. Elle est composée d'un mélange de phorbes et de graminoides auxquelles peuvent s'ajouter de bas *Salix*.

Mésotrophe : De richesse moyenne en nutriments. Un milieu mésotrophe se situe entre un milieu oligotrophe et un milieu eutrophe.

Minorisérie : Série de végétations caractérisées par au moins deux stades dynamiques et dont le stade mature, non forestier, est bloqué en raison de fortes contraintes écologiques et permanentes (stress essentiellement du à des contraintes édaphiques et climatiques).

Moder : Type d'humus intermédiaire entre le Mor et le Mull. Le C/N oscille entre 15 et 25 et le pH est inférieur à 5. Le taux de saturation du CAH est souvent faible. Il existe de nombreuses variétés de moders définies par des variations de pH et de saturation.

Mor : Humus brut à décomposition très lente des débris organiques qui ont tendance à s'accumuler et la minéralisation est très lente. Le C/N est élevé (de 20 à 45) et le pH très bas, de 5 à 3,5. Le Mor s'observe de préférence en climat froid et /ou sur des sols siliceux naturellement acides, en présence d'une végétation qui favorise cette acidité telle que les résineux ou les landes. La dégradation ne se fait principalement plus que par les champignons. Il existe de nombreuses variétés de Mors définie par des variations de pH et de saturation. La terre de bruyère en est un exemple.

Mull : Type d'humus forestier, formé dans de bonnes conditions de température, de richesse et du substrat et d'humidité. Il est très incorporé à la partie minérale du sol (CAH). La composition des débris organiques étant rapide, la litière est très mince. Le pH est de 5.5 à 6.5 et le C/N de 10 à 15. La minéralisation est rapide et l'activité microbologique (verre de terre, pourriture blanche) intense en fait un humus très fertile. Il existe de nombreuses variétés de mulls définie par des variations de pH et de saturation.

Nardaie : Pelouse dominée par le nard raide (*Nardus stricta*), silicicole, acidiphile, et surtout développée en montagne, mais plus rare à plus basse altitude.

Oligotrophe : Pauvre en nutriments. Un milieu oligotrophe est caractérisé par une faible concentration en éléments nutritifs essentiels à la vie, comme l'azote et le phosphore.

Ombrée : Terme d'origine pyrénéenne synonyme d'ubac. Inverse : Soulane

Orocantalien.e : Fait référence au synsystème ou aux végétations du massif cantalien (système montagnard).

Orophile : Qualifie flore et végétation localisées en haute montagne.

Orophyte : Plante des hautes altitudes (étage subalpin à alpin).

Ourlet : En géobotanique, frange ou linéaire de végétation, herbacée à frutescente, développée dans les lisières forestières, ou certaines clairières, au-devant des manteaux. Les communautés végétales de ces interfaces, milieux ouverts, milieux fermés (forestier), sont très nombreuses et diversifiées.

Paraclimax : état d'équilibre d'une communauté végétale qui a été modifié par l'activité humaine.

Paucispécifique : Peu riche en espèces. Une communauté paucispécifique est composée d'un petit nombre d'espèces différentes.

Permasérie : Série de végétation à un seul stade mature constituant une communauté vivace permanente, peu stratifiée, au sein d'une *tessella* caractérisée par de fortes contraintes écologiques. Les espèces vivaces de la communauté assurent son autorégénération.

Planèze : Une planèze est une formation géomorphologique triangulaire caractéristique des plateaux volcaniques du Cantal à faible déclivité formé par l'accumulation de coulées de lave basaltique sur des brèches d'avalanche de débris de nature principalement trachyandésitique. Les bords sont souvent marqués par des falaises ou des escarpements, formés par l'érosion des vallées glaciaires environnantes qui rayonnent depuis le cœur du Volcan Cantal. Elle constitue un élément majeur d'un paysage qui contraste avec les reliefs plus accidentés de la zone centrale des monts du Cantal.

Podzolisation : Processus de formation des sols qui se produit dans des environnements frais et humides, généralement sous des forêts de conifères. Celui-ci est caractérisé par un lessivage intense des éléments minéraux (fer, aluminium) et de la matière organique depuis les horizons supérieurs du sol vers les horizons inférieurs.

Prémanteau : Formation arbustive secondaire, précédant le manteau forestier à proprement parler, souvent dominée par les espèces de la tribu des génistéés tel que les genêts. Son rôle est à la fois protecteur des essences forestières et préforestières, et physiologique d'enrichissement du sol, grâce à la fixation symbiotique

de l'azote, permet un meilleur développement architectural des arbres à venir. Cependant, nombre de ronciers se positionnent aussi en prémanteau.

Prodrome : Ouvrage préalable à une publication plus définitive, plus complète. En phytosociologie, il existe plusieurs prodromes synsystématiques (classification des groupements végétaux).

Psychrophile : Synonyme de cryophile.

Race : En phytosociologie, unité synsystématique non reconnue et inférieure à la sous-association (infra-syntaxon) caractérisant une distribution géographique précise ou à des exigences écologiques distinctes.

Scories : Fragments de lave projetés dans l'air lors d'une éruption volcanique et refroidis rapidement. Elles présentent une structure alvéolaire due aux gaz emprisonnés lors du refroidissement.

Séries de végétations : Unité conceptuelle dynamique regroupant des communautés végétales, susceptible de se trouver dans des tessellas* similaires et s'inscrivant dans une même potentialité de végétation dont le stade final correspond à la tête de série. Elle inclut les communautés primaires et de substitution.

Sigmataxons : Synonyme de sigmasyntaxon. Le terme désigne l'ensemble des unités abstraites de tous les niveaux symphytosociologiques quel que soit leur rang.

Symphytosociologiques : Branche de la phytosociologie qui vise à étudier les complexes de communautés végétales reliées entre elles par un même processus de succession.

Synrelevé : Relevé d'une synassociation, ou d'une sigmassociation, c'est-à-dire la liste inventaire des groupements végétaux (sous-association, association, alliance...) présents dans la surface relevée auxquels on attribue un coefficient de couverture spatiale.

Synsystème : Système phytosociologique formé de l'ensemble hiérarchisé des groupements végétaux d'un territoire, une région... en classes (-etea), ordre (-etalia), alliance (-ion), association (-etum), et éventuellement en sous-unités de chacun de ces rangs.

Syntaxon : Unité de classification phytosociologique. Groupement végétal déterminé, de rang quelconque dans la classification phytosociologique.

Synusie : Groupement végétal élémentaire caractérisé par des espèces végétales étroitement associées, souvent liées à des conditions écologiques particulières au sein d'une seule strate de végétation.

Taxon : Élément de classification systématique des organismes, de n'importe quel rang hiérarchique (sous-espèces, espèce, tribu, genre, sous-famille, famille, ordre, classe, embranchement...).

Tessella : Unité spatiale de surface variable, homogène écologiquement, s'inscrivant dans une unique potentialité de végétation. Une *tessella* est assimilable à un compartiment écologique.

Tessellaire : Faisant référence à une *tessella*.

Typicum : Epithète latine désignant une sous-association (parfois une variété) typique, c'est-à-dire ne comportant pas d'espèce différentielle particulière. Le type nomenclatural de cette sous-association est celui de l'association.

Typique : Qualifie une sous-association, une variété « *typicum* ».

Tills : Les tills sont des dépôts sédimentaires non triés, hétérogènes et déposés directement par un glacier en mouvement. Ils contiennent une grande variété de matériaux, allant des argiles aux gros blocs rocheux, et sont souvent caractérisés par une matrice fine et des stries glaciaires.

Variété : En phytosociologie, unité synsystématique non reconnue et inférieur à la sous-association (infra-syntaxon) caractérisée par un lot d'espèces végétales distinct sans pour autant avoir une signification géographique particulière (différent de race). Une variété peut éventuellement être subdivisée en forme.

Vaccinaie : Formation végétale dominée par les myrtilles et airelles (genre *Vaccinium*), souvent sur des sols acides et pauvres.

Xérophile : Qui aime la sécheresse. Ces organismes sont adaptés à vivre dans des environnements arides ou semi-arides, où l'eau est rare.

Zonale : S'applique aux végétations et aux sols dont l'évolution ont été influencées en priorité par le climat, à l'intérieur des grandes zones climatiques de la planète.

Abstract

Cantal (French central highlands) is the largest volcanic massif in Europe. Despite its regional significance in terms of both size and altitude, surprisingly few phytosociological studies were performed in the area so far. Surveys concerned only parts of it and some of them were conducted one hundred years ago or earlier. In most cases, these reports consist in comparisons with equivalent associations in neighboring regions. Consequently, Cantal plant formations are poorly known.

The present work aims at providing an in-depth study. Extensive sampling was carried out, reflecting all environmental conditions occurring in the massif. Although not all statistical analyses could be completed, our data significantly improve the understanding has focused on tall herb and megaphorbia vegetation of broom scrublands and forest edge formations. Applying a rigorous scientifically recognized methodology, different plant communities were identified by statistical analyses and correlated with ecological factors. Results provided here improve our knowledge of plant formations in regards to taxonomic, ecological, dynamic, and chorological features in Cantal as well as neighboring massifs.

In the frame of a global study of the mesophilic remaining vegetation of the Cantal mountains, a tentative phytosociological classification is proposed, integrating our data analyses, empirical experience, and existing literature data sets. It also encompasses agro-pastoral vegetation such as grasslands and meadows, as well as scrublands and montane forests. With the analytical limitations established, it is now feasible to comprehend vegetation at the massif level. Hence, a part of this work is dedicated to preliminary outlining vegetation series and geoseries, paving the way for more comprehensive investigations.

This work significantly improves our knowledge of plant formations in “monts du Cantal”. Presented results, even partial, open up new perspectives for the environmental understanding and management in the region.

Keywords : Cantal, vegetation, phytosociology, mountain, statistical analyses, classification.

Introduction

Contexte

Le Massif central actuel correspond au contour d'un massif hercynien beaucoup plus ancien et aujourd'hui presque totalement érodé que l'on qualifie de pénéplaine (Widmer, 2015). Il abrite en son sein un complexe de massifs montagneux hétéroclite d'âges et d'origines diverses (Widmer, 2015) notamment du fait de fortes différenciations climatiques (Estienne, 1956), géologiques, (Autran & Peterlongo, 1980), altitudinale et au niveau des végétations (Thébaud & Roux, 2018). Sur le plan biogéographique ces convexités paysagères relèvent des étages montagnards et pour certaines d'étages subalpins (Ozenda, 1985) et elles montrent une grande diversité spatio-temporelle (Thébaud *et al.*, 1992, Schaminée & Hennekens, 1993 ; Ozenda, 1985 & 2002). Dans cet ensemble, les monts du Cantal forment un massif d'origine volcanique. Au fil des âges, l'érosion a remanié ce glorieux stratovolcan cantalien pour n'en laisser que la colonne vertébrale. Les glaces quaternaires ont notamment fortement contribué à lui donner sa géomorphologie qu'on lui connaît actuellement avec ses vallées en auge prenant leurs origines dans les nombreux cirques situés au cœur du massif, secteur des hauts sommets (Nehlig *et al.*, 2001).

Cette histoire géologique explique notre terrain d'étude. Celui-ci forme l'une des plus vastes étendues montagnardes et subalpines actuelles du Massif central français au sein d'une zone d'influence océanique sur substrat volcanique (Thébaud & Roux, 2018). L'usage de ces hautes terres a historiquement été majoritairement pastoral, mais connaît depuis quelques années un intérêt touristique certain, que ce soit en saison hivernale ou estivale. Cette utilisation anthropique de l'espace n'est pas sans conséquence sur le couvert végétal. Certaines dégradations sont d'ailleurs visibles (surpâturage, terrassement, érosion des sols...). Ainsi la logique voudrait que pour bien gérer les espaces naturels, il soit nécessaire de le connaître au mieux en amont. Toutefois, malgré son importance, la montagne cantalienne n'a fait l'objet que de peu d'études de ses végétations comparé aux trois principaux massifs Puydinois voisins (Monts Dore, Chaîne des Puys et Forez) (Luquet, 1926 ; Lemée G. & Carbiener R., 1956 ; Cusset & Lachapelle, 1963 ; Lachapelle & Cusset, 1964 ; Cusset, 1964 ; Loiseau & Merle, 1981 ; Thébaud, 1983 & 1988 ; Schaminée *et al.*, 1992a ; Schaminée *et al.*, 1992b ; Schaminée *et al.*, 1993. Thébaud *et al.*, 1992 ; Thébaud & Etlicher, 1997 ; Michalet & Philippe, 1994 ; Michalet & Philippe, 1996 ; Coquillard, 1993 ; Coquillard *et al.*, 1994 ; Roux, 2017). En effet, seules les publications déjà anciennes de Braun-Blanquet en 1926 puis celles de Quézel & Rioux (1948, 1950a, 1950b et 1954) ont tenté de comprendre et d'expliquer les végétations orophiles* cantaliennes. L'une des explications de cet écart important d'intérêt scientifique est sans aucun doute la position centrale de Clermont-Ferrand et de son université vis-à-vis des massifs Puydinois comparé à la position relativement excentrée du Cantal. C'est pourquoi, l'étude des végétations des sommets cantaliens paraît aujourd'hui indispensable au titre de l'amélioration des connaissances.

C'est dans le but de remédier au manque d'intérêt apporté au massif cantalien que ce projet de recherche, réalisé dans le cadre du diplôme de l'EPHE, s'est porté en ciblant l'étude phytosociologique du Cantal. Cette étude vise en effet la caractérisation et l'analyse intégrée des communautés et complexes de communautés végétales* cantaliennes dans les habitats montagnards et subalpins afin de mieux les comprendre et les préserver. La phytosociologie étant une « morpho-physique » au sens de B. de Foucault (1984, 1986a), elle tire de l'observation de la végétation des connaissances sur les conditions a priori cachées du milieu. L'ambition est d'étudier les végétations mésophiles entre 1250 m et 1855 m d'altitude en prenant en compte les spécificités écologiques propres à ce massif afin d'en définir les complexes de végétations dans une approche phytosociologique dynamique et paysagère (Géhu, 1979b ; Theurillat, 1992 ; Rivas-Martinez, 2005 ; Lazare, 2009 et 2018 ; Roux, 2017 et Bioret *et al.*, 2019) adaptée à de futures approches conservatoires et cartographiques.

Autrement dit, l'objectif était simple : voir et comprendre en quoi et comment les végétations des monts du Cantal diffèrent de celles des monts Dore voisins, et dans quelle mesure. Afin de mener à bien ce travail, le nombre de relevés nécessaires avait été estimé entre 800 et 1000 sur l'ensemble du massif, mais au total 1300 relevés ont été réunis. Ce nombre comprend les prospections de terrain réalisées dans le cadre de la préparation de ce diplôme EPHE, mais aussi des relevés issus de la littérature et des relevés non publiés réalisés par des membres du laboratoire UniVegE. Pour caractériser au mieux les communautés végétales cantaliennes, les relevés cantaliens et ceux provenant des massifs voisins ont été analysés ensemble et comparés entre eux à

l'aide de méthodes d'analyses numériques de classifications et d'ordinations afin de rechercher un maximum d'informations convergentes. Les communautés correspondant à une association végétale existante leur ont été rattachées, les inédites étant décrites à titre provisoire. Un catalogue des végétations des monts du Cantal a été créé et commenté floristiquement et écologiquement sur la base des résultats d'analyses, mais aussi des experts interrogés. Ce catalogue sert de base à l'établissement d'un pré-référentiel synphytosociologique, dynamique et paysager.

Initiée en 2019 juste avant le contexte particulier de la pandémie de Covid-19 et des confinements, cette recherche a été menée grâce à l'encadrement du laboratoire UniVegE de l'Université d'Auvergne, avec le soutien du programme IHMAGES. Bien que l'ambition initiale fût d'établir un catalogue exhaustif de la végétation cantalienne, certaines contraintes ont limité les analyses à certaines formations végétales spécifiques seulement. L'étude s'est ainsi concentrée sur l'analyse détaillée des formations de genêts purgatifs et des celles des lisières, ces deux formations n'ayant jamais fait l'objet d'étude dans le Cantal. Parallèlement, une synthèse régionale publiée sur les groupements à hautes herbes (Loos & Thébaud 2024) a contribué de manière significative à valoriser une partie de l'échantillonnage réalisé dans le cadre de la préparation de ce diplôme SVT. L'étude des dynamiques de végétation, initialement prévue dans le projet de recherche, n'a malheureusement pas pu être menée à bien. En effet, elle nécessite, préalablement à la réalisation de synrélevés* et de géosynrélevés*, l'élaboration d'un référentiel syntaxinomique complet de l'ensemble des associations végétales présentes. La totalité de ces dernières n'ayant pas pu faire l'objet d'une analyse approfondie, la typologie présentée au chapitre III ne peut constituer une base solide pour une étude rigoureuse des séries et géoséries de végétation. Cette dernière est donc reportée à une date ultérieure.

Problématique, objectifs et hypothèse de travail

Les végétations des monts du Cantal n'ont pour l'heure que peu été étudiées en dehors de travaux anciens (Braun-Blanquet, 1926 ; Quézel & Rioux 1948, 1950a, 1950b, 1954) et seuls des rapports d'études (PNRVA, 1998 ; Seytre, 2006 ; BIOME, 2006) font référence à des communautés végétales. Celles-ci ont en effet jusqu'ici été considérées comme quasi-équivalentes à celles que l'on retrouve dans les monts Dore voisins. Toutefois, malgré une réelle proximité géographique, géologique, climatique et floristique, les deux massifs ne sont pas totalement identiques et plusieurs indices laissent supposer qu'il existe aussi des différences sur le plan de leurs végétations. En effet, les monts Dore sont constitués de beaucoup de matériaux très acides, comme par exemple les nappes de ponces alors que le Cantal est davantage basaltique avec ses planèzes* périphériques (Dardon, géologue comm. pers. ; Nehlig *et al.*, 2001). De plus, les monts Dore sont situés plus au nord et semblent connaître des épisodes hivernaux plus intenses avec des congères également plus tardives que dans le Cantal (Serres, 2018).

Enfin, la flore est également un bon indice ! Le Cantal abrite plus d'espèces orophiles* d'affinités sud-européenne et pyrénéenne que les monts Dore qui, à l'inverse, hébergent davantage d'espèces boréo-alpines (Antonetti *et al.*, 2006). Par exemple, le caractère méridional du Cantal semble favoriser des communautés sud-européennes absentes des monts Dore comme l'association à Pulsatille vernale et Genêt poilu (*Pulsatilla vernalis-Cytisietum decumbentis* Quézel & Rioux 1954), le groupement à raisin d'ours (*Arctostaphylos uva-ursi*), alors que des communautés plus chionophiles* ou cryophiles* semblent manquer ou être plus rares, comme par exemple les associations *Carici vaginatae-Callunetum vulgaris* et *Plantagini alpinae-Agrostietum rupestris* de Michalet & Philippe (1996). Par conséquent, ce projet de recherche a posé comme hypothèse à tester que les formations végétales des monts du Cantal diffèrent au moins en partie de celle des monts Dore voisins, de par la position plus méridionale du Cantal (effets climatique et taxonomique) et par une répartition quelque peu différente des substrats géologiques entre les deux massifs.

Concrètement, ce projet de recherche vise à caractériser phytosociologiquement les communautés végétales réparties entre les étages montagnard moyen et subalpin des monts du Cantal. De les intégrer au sein de complexes au sein de séries dynamiques et de systèmes géomorphologiques. Cependant, l'ampleur de la tâche a nécessité de se focaliser sur les milieux dominants, excluant les milieux spécialisés dont l'étude aurait été trop chronophage, tels que les milieux humides, les tourbières ou encore les milieux rocheux, nécessitant par ailleurs de s'intéresser aux cryptogames non vasculaires demandant des compétences spécifiques. De même, certaines végétations annuelles et rudérales plus ponctuelles ont été mises de côté pour se concentrer sur les végétations herbacées pérennes, ainsi que sur les stades arbustifs et arborescents. L'effort devait aussi être porté principalement sur les habitats pastoraux.

Concept général de phytosociologie sigmatiste et de phytosociologie paysagère ou dynamico-caténale : Série et Géosérie

La phytosociologie sigmatiste née au début du 20e siècle (Géhu, 2006) est une discipline scientifique à la croisée de la botanique et de l'écologie qui étudie la composition, la structure et la distribution des associations végétales* dans le but de relier l'observation de la végétation à la compréhension des processus écologiques sous-jacents, considérant la végétation comme un indicateur environnemental (de Foucault, 1984) (Fig. 1).

Le paysage végétal résulte quant 'à lui de la combinaison spatiale en structures emboîtées de divers éléments de végétation (Fig. 2) formant une mosaïque révélant une organisation fractale* (Mandelbrot, 1975 ; de Foucault, 1986b), qu'elle soit d'origine naturelle ou anthropique (Rivas-Martínez, 1976 ; Tüxen, 1979). L'association végétale, en tant qu'intégrateur des conditions climatiques et physiques de son milieu de vie (de Foucault, 1984) (Fig. 1), fait de l'étude détaillée du paysage un pont entre la géographie physique et la phytocoenologie (Delbosc *et al.*, 2018). La phytosociologie dynamique (symphytosociologie), quant à elle, vise à déterminer les évolutions successionnelles qui existent entre les associations végétales, des plus pionnières aux climaciques, au sein d'une *tessella*, c'est-à-dire unité spatiale ou enveloppe écologique homogène (Géhu, 1986, 1988). Elle s'appuie sur un concept fondamental : la végétation potentielle naturelle (VPN) (Lazare, 2018), c'est-à-dire la végétation qui se développerait naturellement dans un lieu donné en l'absence de perturbation anthropique. Il s'agit donc d'une végétation d'équilibre climacique avec le sol et le climat (Tüxen, 1956). Chytrý (1998) introduit la notion de végétation potentielle de remplacement (VPR) qui intègre les impacts humains sur les végétations. Ces différents stades dynamiques caractérisent «la série de végétation». La phytosociologie paysagère ou caténale (géosymphytosociologie), permet d'analyser les complexes de végétation à différentes échelles (Géhu, 2006) (Fig. 2) ; c'est le concept de géosérie dont l'enveloppe géomorphologique homogène (topographie, exposition, roche-mère, altitude...) correspond à une *catena* (Bioret *et al.*, 2019).

Ainsi, la phytosociologie dynamico-caténale offre une approche spatio-temporelle et écologiquement intégrative de la complexité des phytocoenoses, depuis l'association végétale jusqu'à la série et la géosérie de végétation (Delbosc *et al.*, 2018). Pour illustrer cette complexité, on peut comparer le tapis végétal au langage écrit : chaque mot, phrase et texte constitue un niveau d'organisation plus élevé, avec des propriétés émergentes propres (Lazare, 2019) (Fig. 3).

La symphytosociologie et la géosymphytosociologie ont chacune une typologie distincte des unités (Fig. 4) qui permet de les identifier indépendamment.

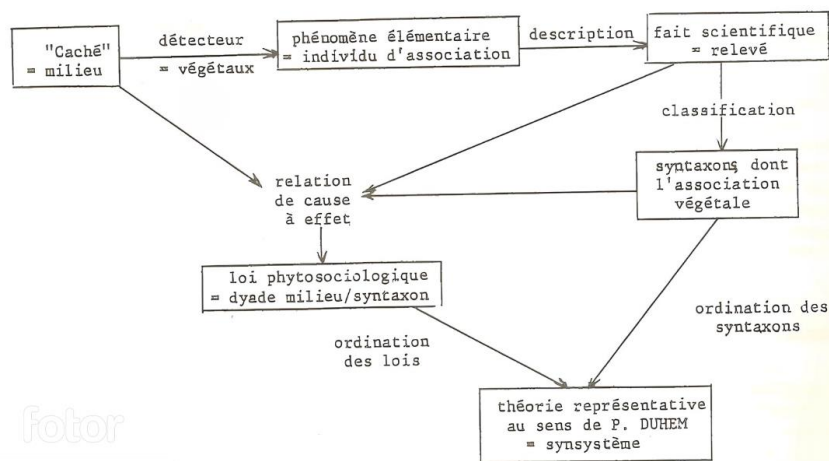


Figure 1 : Organisation des différentes étapes intellectuelles relevant de l'étude phytosociologique sigmatiste (d'après B de Foucault 1986b)

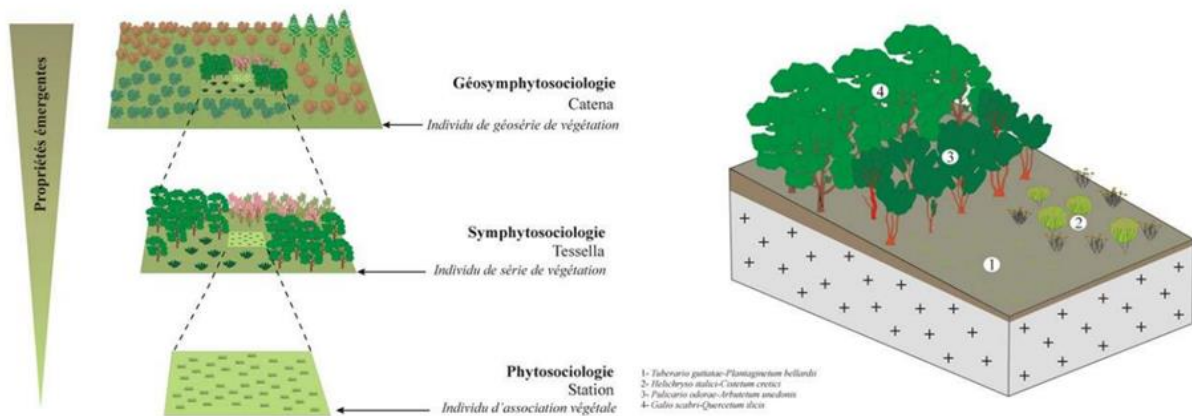


Figure 2 : Concept de série de végétation : exemple de la série du chêne vert (d'après Rivas-Martínez 2007)

Végétation			Langage écrit
PE	Elément concret	Discipline d'étude	Concept
	Domaine chorologique	biogéographie	unité biogéographique
	Individu de géosérie	géosymphytosociologie	geosigmataxon
	Individu de série	symphytosociologie	sigmataxon
	Individu d'association	phytosociologie (syntaxinomie)	syntaxon
	Synusie végétale	approche synusiale	synon
	Individu végétal	systématique (taxinomie)	taxon
			chapitre du livre
			paragraphe
			phrase
			mot
			syllabe
			lettre

Figure 3 : Les propriétés émergentes des holons du tapis végétal (selon Koestler, 1967) trouvent un écho dans la complexité du langage écrit (en bleu). D'après Lazare (2019).

VEGETATIONS		SYMPHYTOSOCIOLOGIE	GEOSYMPHYTOSOCIOLOGIE
C L I M A T O P H I L E S	E D A P H I L E S	Série <i>Sigmatum</i>	Géosérie <i>Geosigmatum</i>
		Permasérie <i>Permasigmatum</i> (ex <i>Microsigmatum</i>)	Géopermasérie <i>Geopermasigmatum</i>

Figure 4 : Typologie des unités du phytosociologie dynamico-caténale (Rivas-Martínez, 2005). D'après Lazare (2009).

La série de végétation

La série de végétation est une unité conceptuelle dynamique regroupant des associations végétales susceptibles de se trouver dans des *tessella* similaires et présentant une potentialité végétale identique dont l'étape finale correspond au sommet de la série. La série de végétation est synonyme de synassociation ou de sigmetum et constitue l'unité élémentaire de la symphytosociologie. La série comprend des communautés

primaires ainsi que des communautés de substitution. La potentialité est évaluée à une échelle temporelle courte : le sommet de la série correspond à la végétation potentielle naturelle. Le sommet de la série est caractérisé par un syntaxon élémentaire validé nomenclaturalement : association ou subassociation. (Bioret *et al.*, 2019).

Deux niveaux de description sont énoncés dans l'identification sériale. Par exemple : permasérie édaphoxérophile du *Leucanthemo delarbrei-Patzkeetum paniculatae permasigmetum*.

- Le premier (permasérie) faisant référence à la trajectoire dynamique intrinsèque de la série, c'est le type de la série ; dans l'exemple : aucune car elle est naturellement permanente et limitée à une seule association.
- Le second (édaphoxérophile) faisant référence au profil écologique de la *tessella* (degré d'humidité ou d'acidité), c'est la catégorie ; dans l'exemple : le milieu est sec.

Bioret *et al.* (2019) proposent des définitions consensuelles pour qualifier les séries :

- Séries climatophiles (zonales*) : Séries végétales liées au mésoclimat (ou au topoclimat dans certains cas) et se développant dans des conditions pédologiques moyennes (mésophiles). Au sein du même mésoclimat, différentes séries climatophiles peuvent se produire.
- Séries topoaérophiles : Séries végétales liées à des conditions atmosphériques particulières, en situation de pente et de confinement.
- Séries édaphophiles : Séries végétales fortement influencées par des contraintes édaphiques.
- Séries édaphoxérophiles : Séries végétales, généralement azonales, développées sur des sols superficiels xériques (lithosols, arénosols).
- Séries temporohygrophiles (ou temporihygrophiles) : Séries végétales, généralement azonales, influencées par des sols temporairement engorgés : sols inondés ou sols humides pendant une partie significative de l'année (sols alternativement engorgés).
- Séries édaphohygrophiles : Séries végétales, généralement azonales, liées à des environnements hydromorphes : lacs, rivières, marais, prés-salés, tourbières.
- Holosérie : série complète, caractérisée par au moins deux stades dynamiques pérennes, dont l'étape mature est la forêt
- Permaséries : Séries présentant un seul stade pérenne permanent au sein d'une tesselle, caractérisées par de fortes contraintes écologiques. La régénération du syntaxon peut inclure un stade pionnier thérophytique.
- Curtaséries : Séries tronquées, caractérisées par au moins deux stades pérennes dynamiques, dont le stade mature, en raison de contraintes écologiques, est non forestier. Cependant, Lazare (2018) a distingué les curtaséries, dont la dynamique est régulièrement soumise à des perturbations majeures telles que les avalanches et les inondations fluviales (perturbation), et les minoriséries pour les végétations dont la dynamique est bloquée en raison de contraintes écologiques permanentes (stress essentiellement du à des contraintes édaphiques et climatiques).
- Sigmafaciès : (faciès de séries) : expression physiologique répétitive de la série, caractérisée par une combinaison particulière de syntaxes

Les deux notions distinctes de minorisérie et curtasérie sont particulièrement bien adaptées au système montagnard, elles seront donc employées.

Les types de séries ou trajectoires sériales

Les séries de végétations présentent des trajectoires internes hétérogènes suivant les contraintes environnementales de leurs *tessella*. Le modèle de la fronce (surface de Riemann-Hugoniot) (Fig. 5 et 6) permet de visualiser en 3D comment les changements environnementaux (stress, perturbations) affectent la répartition et l'évolution des différents types de *tessella*. Ces modèles permettent de mieux comprendre les discontinuités écologiques qui apparaissent dans ces zones et leur impact sur la dynamique végétale.

Ainsi, on obtient pour les blocs :

- 2.a une permasérie
- 2.b une minorisérie

- 2.d une holosérie
- 2.f une curtasérie

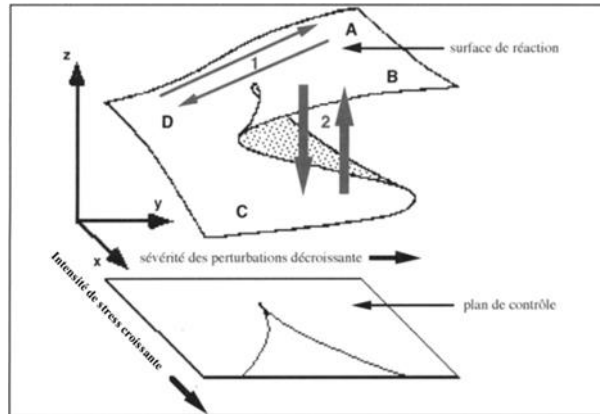


Figure 5 : Graphe illustrant la dynamique des systèmes, en général analysés par des systèmes d'équations différentielles (surface de Riemann-Hugoniot). Les axes représentent en Z : la stabilité (ex : pourcentage d'espèces climaciques), en X : les facteurs de stress, et en Y les perturbations (avalanche, tempête...). Flèche 1 : Transition entre deux parties de la fronce ne peut se faire de manière continue (intervention d'espèces post-pionnières caractérisant des stades transitoires instables). Flèche 2 : Transition discontinue et catastrophique (quasi-absence de stades transitoires). Adapté d'après Decocq (2005).

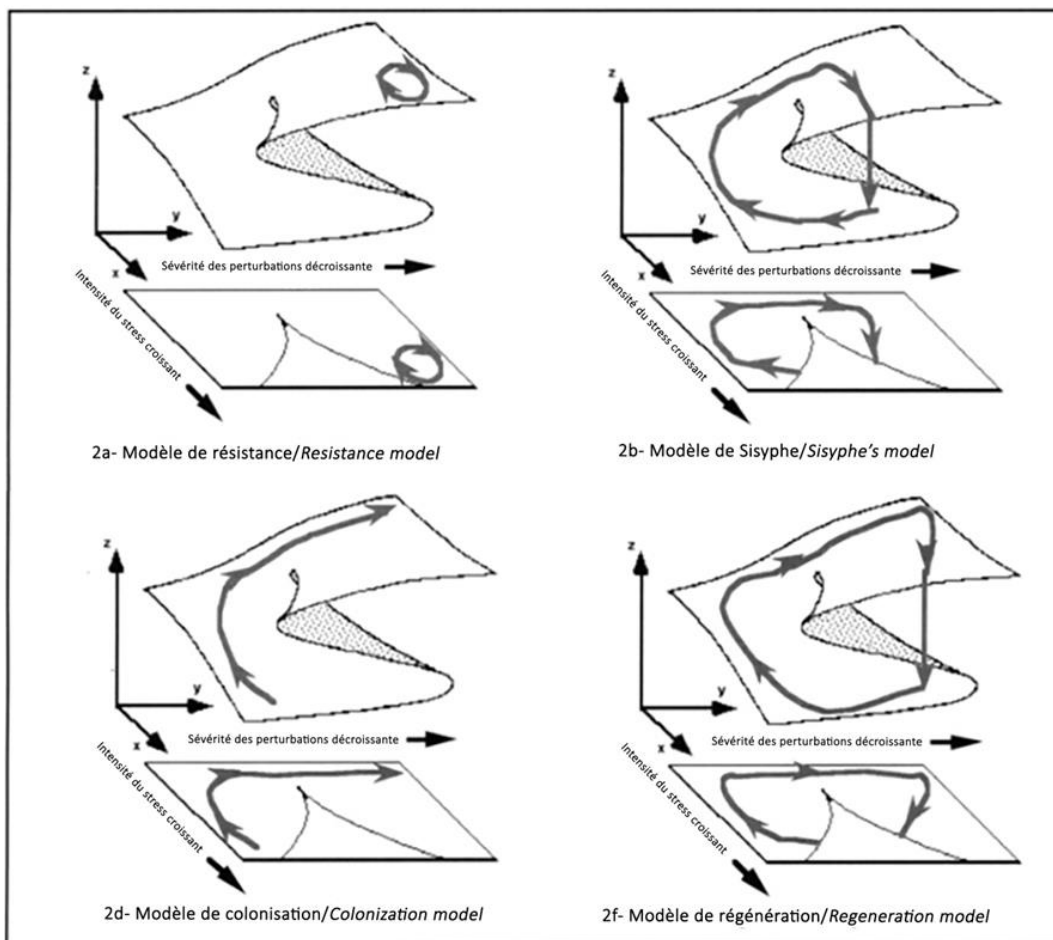


Figure 6 : Représentations des quatre trajectoires élémentaires de la dynamique sériale, ou types de série. La trajectoire dynamique est fléchée en gris sur la surface de réponse et le plan de contrôle. Adapté d'après Decocq (2005).

Les catégories sériales ou profils sériaux

Les conditions écologiques peuvent être différentes d'une *tessella* à l'autre suivant leurs profils topostationnels. (Fig : 7)

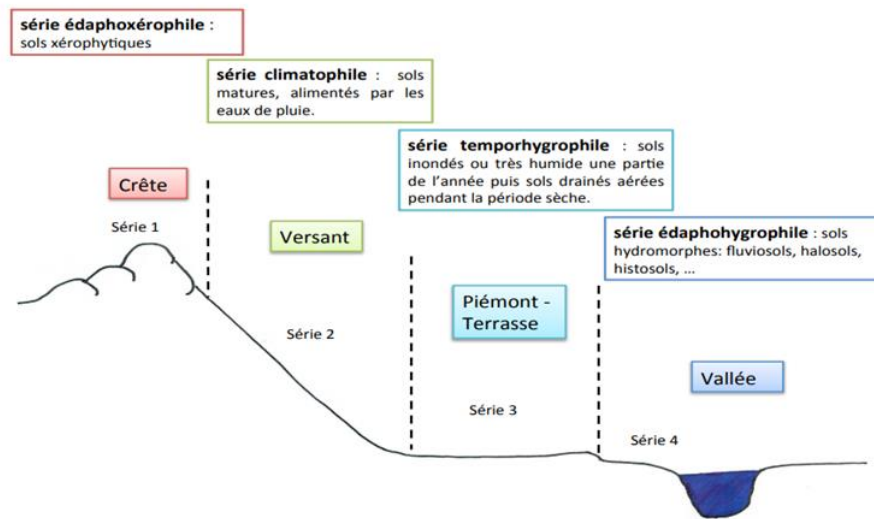


Figure 7 : Profil des différentes catégories de séries de végétation : édaphoxérophile, climatophile, temporhygrophile et édaphohygrophile. D'après Chalumeau & Bioret (2013).

La géosérie de végétation

La géosérie de végétation est l'unité caténale conceptuelle regroupant différents sigmataxons* dont les *tessella* constituent une unité géomorphologique et bioclimatique homogène. La géosérie est synonyme de géoassociation ou de géosigmetum et constitue l'unité élémentaire de la géosymphytosociologie. (Bioret *et al.*, 2019).

Les deux niveaux de description sont énoncés dans l'identification géosériale et sont les mêmes que pour les séries, la catégorie, ou profil, et le type.

Les termes suivants définissent les différentes unités conceptuelles géosériales, d'après Bioret *et al.* (2019) :

- Géopermasérie : Unité caténale conceptuelle regroupant plusieurs permaséries au sein d'une entité géomorphologique et bioclimatique. La géopermasérie est synonyme de *geopermasigmetum*.
- Géocurtasérie : Unité caténale conceptuelle regroupant plusieurs curtaséries au sein d'une entité géomorphologique et bioclimatique. La géocurtasérie est synonyme de *geocurtasigmetum*.
- Géominorisérie : Unité caténale conceptuelle regroupant plusieurs minorisérie au sein d'une entité géomorphologique et bioclimatique. La géominorisérie est synonyme de *geminorisigmetum*
- Géosigmafaciès : (faciès des géoséries) : expression physiologique répétitive des géoséries, caractérisée par une combinaison particulière de syntaxes.

I. Contexte régional : les monts du Cantal

1.1 Localisation, reliefs et statuts juridiques de protection

Les monts du Cantal sont une unité géographique structurée par son relief montagnard (Annexe 1), localisée au cœur du département du Cantal situé dans l'actuelle région Auvergne-Rhône-Alpes (Fig. 8). Les monts du Cantal sont une montagne solitaire de 2500 km², presque circulaire, soit l'équivalent de l'île de la Réunion. Ils forment ainsi l'une des plus vastes étendues montagnardes et subalpines actuelles du Massif central français. Le point culminant est le Plomb du Cantal (1855 m).

Le relief des monts du Cantal peut être synthétisé en deux zones distinctes (Nehlig *et al.*, 2001) :

- Une zone centrale montagneuse au relief hérissé de Puys (sommets coniques) dont les versants sont souvent accusés avec de fortes pentes. Cette zone de 15 km de diamètre est centrée sur le Puy Griou (1690 m) et comprend les plus hauts sommets reliés entre eux par un réseau de crêtes d'où prennent naissance les différentes vallées glaciaires
- Une zone périphérique dite de planèze, correspondant à de vastes plateaux à faible déclivité, profondément entaillés par les vallées glaciaires.

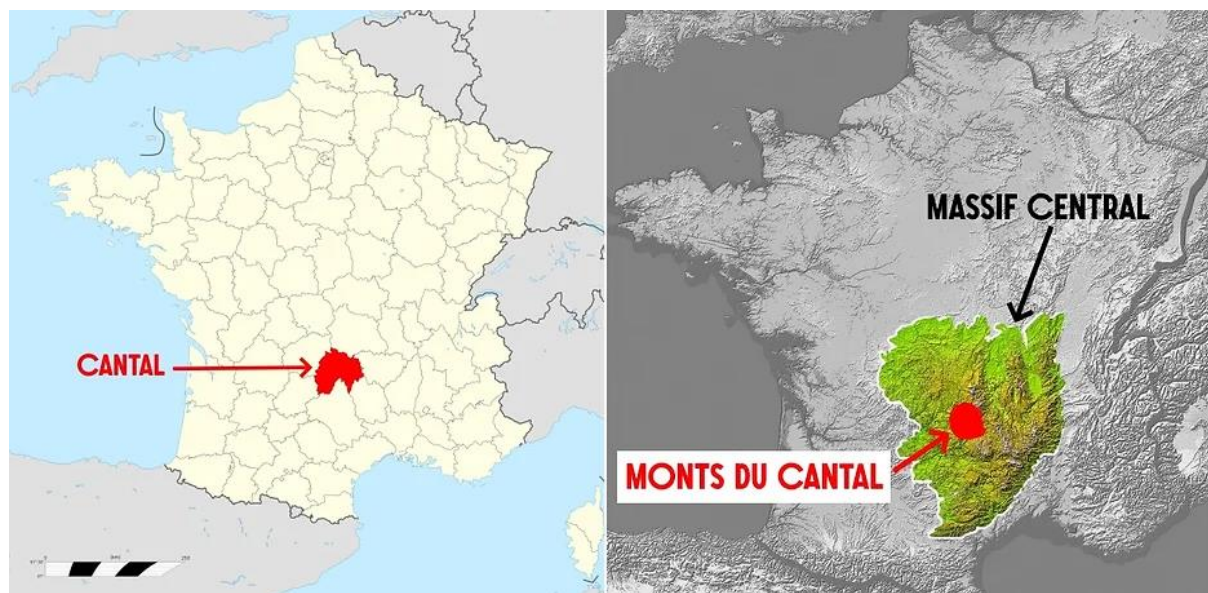


Figure 8 : Localisation des monts du Cantal. D'après (<https://www.globe-trotting.com/post/monts-du-cantal-france>).

La reconnaissance du patrimoine naturel exceptionnel des monts du Cantal s'est faite progressivement. Un premier classement intervient en 1965, au titre de la loi de 1930 visant à réorganiser la protection des monuments naturels ou non. En 1977, le massif est intégré au Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne, soulignant ainsi l'importance de préserver et valoriser cet environnement d'exception. Cette dynamique de protection se poursuit en 2012 avec l'obtention du label « Grand Site de France » pour la partie septentrionale du massif centrée sur le Puy Mary. Parallèlement, le cirque de Récusset, à Saint-Paul-de-Salers, est distingué comme Espace Naturel Sensible (ENS). (<https://www.puymary.fr/>).

Enfin, en 2015, la richesse naturelle de ce secteur est reconnue au niveau européen. Depuis, une vaste partie du territoire d'étude, située en crête sommitale principalement asylvatique de l'étage subalpin, bénéficie d'une protection soumise aux dispositions de la directive européenne 92/43/CEE au titre du réseau Natura 2000. Ce site « Massif Cantalien » (FR 8301055) est classé en zone spéciale de conservation (ZSC) (<https://www.legifrance.gouv.fr/>). Ce site Natura 2000, délimité en annexe 2, s'étendant sur 6114 hectares, englobe les crêtes et sommets autour du Puy Mary et du Plomb du Cantal à l'exception de la station du Lioran (Rurale Concept, 2020).

1.2 Géologie et géomorphologie

1.2.1 De la chaîne hercynienne au plus grand volcan d'Europe

L'histoire naturelle des monts du Cantal et leur genèse est longue et complexe. Il existe une confusion entre le « Massif central », racine émergée et actuel vestige de l'immense chaîne de montagnes hercynienne qui sépara la Pangée en deux il y a près de 300 Millions d'années (Ma), et le chapelet de massifs volcaniques qui surmonte cette racine. En réalité, les monts du Cantal sont une montagne sur une autre montagne, puisque le volcanisme s'est surimposé à la vieille montagne hercynienne. (Widmer, 2015)

L'origine du volcanisme cantalien provient de la surrection des Alpes. Les plissements tectoniques ont aminci la croûte terrestre à l'emplacement du Massif central. Ce phénomène a d'ailleurs contribué à le surélever. Cet amincissement a permis des remontées magmatiques (Widmer, 2015), favorisées par l'activation de jeux de failles anciennes (période hercynienne) et récentes (période alpine) (Nelhig *et al.*, 2003) et faisant naître les volcans du Massif central dont le Cantal.

Celui-ci fut actif pendant plus de 10 Ma (-13 à -2 Ma) pour devenir le plus grand strato-volcan d'Europe dont la hauteur supposée dépassait les 3000 m lors de son apogée. (Nelhig *et al.*, 2001) (Annexe 2). L'image du Mont Fuji au Japon peut être invoquée à titre d'illustration. Toutefois, plusieurs effondrements cataclysmiques dus à l'instabilité de sa structure, puis l'érosion, lui ont conféré l'allure que l'on lui connaît aujourd'hui (Nelhig *et al.*, 2001). (Annexe 3).

Une image exagérément simpliste de la structure du strato-volcan, mais particulièrement explicite est celle d'un gâteau de type « Forêt noire » dont la génoise serait de la brèche trachyandésitique, le nappage inférieur et supérieur, du basalte *sensu lato* et où les cerises du centre représentent les hauts sommets constitués de roches plutôt acides (Trachyte, Phonolite et Trachyandésite). Le tout sur un plateau formé par le socle cristallin hercynien (Fig. 9 et annexe 3 pour plus de détails).

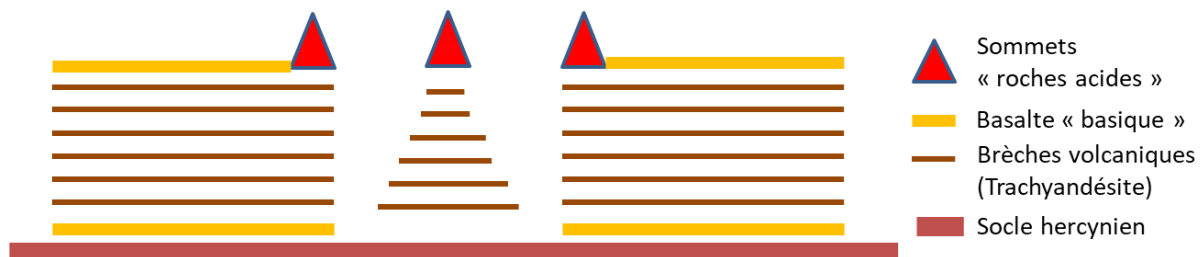


Figure 9 : Structure exagérément simplifiée du stratovolcan Cantal. Les portions gauche et droite correspondent aux planèzes périphériques entourant le volcan, respectivement de Trizac et de Malbo, alors que le milieu correspond à sa zone centrale centrée sur le Puy Griou (1690 m).

1.2.2 Les roches

La diversité pétrographique que l'on retrouve dans les monts du Cantal est logiquement volcanique, car d'origine magmatique (Annexe 3). Il s'agit de roches siliceuses que l'on peut diviser en deux séries distinctes (Nelhig *et al.*, 2001) :

- Une série hyper-alkaline, sous-saturée en silice et proportionnellement plus riche en alcalins (sodium et potassium) ; les feldspaths y sont en partie remplacés par des feldspathoïdes. Les représentants les plus fréquents dans le massif du Cantal sont la Basanite et la Phonolite.
- Une série alcaline, saturée en silice et ne contenant que des feldspaths. Il s'agit des roches les plus abondantes sur notre terrain d'étude (Nelhig *et al.*, 2001). On y retrouve entre autres, le Basalte, la Trachyandésite et le Trachyte.

Néanmoins, il existe dans l'une et l'autre de ces séries, des roches dites « basiques » et « acides ». Cette notion est importante, puisqu'elle ne fait non pas référence au « pH » de la roche, mais à son taux de silice. Ainsi, le Basalte et la Basanite sont considérés comme des roches volcaniques basiques, donc pauvres en silice, alors que la Phonolite ou le Trachyte sont des roches très siliceuses, « acides ».

Cette caractéristique est d'une grande importance structurelle, puisque la silice agit comme un épaisseur de lave, la rendant visqueuse. C'est pourquoi, les roches basiques ont une tendance à être effusives et couvrir de vastes étendues. Ce sont les roches qui recouvrent les plateaux d'altitude appelés Planèzes*, que l'on retrouve notamment en zone périphérique (§ 1.2.1). A l'inverse, les laves acides, pâteuses, créent des volcans en forme

de dôme ou de « pain de sucre » qui caractérisent les sommets de la zone centrale. Le Puy Mary ou le Puy Griou en sont de magnifiques exemples. Le long du gradient entre les deux pôles basique et acide, la Trachyandésite, avec sa concentration en silice intermédiaire, est la roche la plus abondante du volcan Cantal, présente de la zone centrale à la périphérie et constituant la principale composante des brèches* volcaniques cantaliennes (Nehlig *et al.*, 2001) (Annexe 3).

Cette différence de composition minéralogique influe directement sur la végétation. Les roches « acides » ont tendance à abriter une flore plus strictement silicicole, alors que les roches « basiques » sont floristiquement plus riches et accueillent un couvert végétal plus « neutrophile ».

1.2.3 Les glaciations

Tout comme les Alpes et les Pyrénées, le Massif central n'a pas échappé aux grandes périodes glaciaires quaternaires. Pour le Cantal, deux peuvent être évoquées avec certitude ; la glaciation dite « Rissienne » puis la dernière, « Würmienne » (Veyret-Mekdjian *et al.*, 1988) (respectivement de -300 milles ans (ma) à -100 ma et de -80 ma à -10 ma (Géhu, 2006)). La première a laissé des vestiges les plus éloignés du centre du massif ; il est donc supposé qu'elle fût la plus importante des deux. (Fig. 10.A)

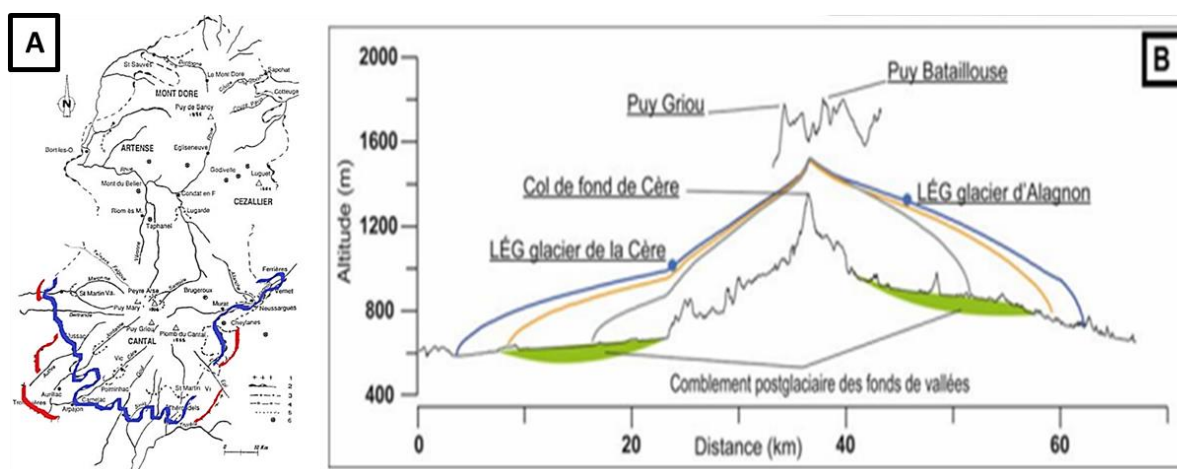


Figure 10 : Les deux dernières glaciations dans les monts du Cantal. (A) Limites des glaciations rissiennes (en rouge) et würmienne (en bleu), adapté d'après Etlicher & De Goer (1988). (B) Reconstitution de la géométrie des paléoglaciers lors de la dernière période glaciaire (Würm) pour la face sud des monts du Cantal. Profil longitudinal des vallées de la Cère et de l'Alagnon, adapté de Ancrenaz (2023).

Cependant des études très récentes (Ancrenaz, 2023) réalisées à partir de reconstructions 3D ont permis d'établir pour la partie sud des monts du Cantal, lors de la période Würmienne, une épaisseur de 350 à plus de 400 m de glace dans les vallées, et de 100 à 200 m sur les plateaux, formant ainsi une immense étendue glacée (icefield) (Fig. 10.B). De plus, ces épaisseurs ne submergeant pas tous les reliefs, de nombreux points hauts sont restés émergés tel un archipel et correspondent aux nunataks. Ainsi, ces deux grands épisodes glaciaires ont laissé d'importantes traces dans le relief cantalien (§1.2.4).

1.2.4 Les reliefs hérités et actuels

La topographie est aussi l'héritage de l'histoire de ces montagnes. Certaines formes sont anciennes voire très anciennes, d'autres sont encore actives. La géomorphologie et ses modelés influent et/ou s'inscrivent dans la génétique des végétations. La topographie n'est donc pas à négliger.

L'essentiel des informations qui vont suivre proviennent de Valadas (1984), les autres références seront indiquées dans le texte.

Ainsi, les « Planèzes » périphériques et l'implantation des différents sommets de la zone centrale sont liées au volcanisme ancien (§ 1.2.1) et l'érosion a ensuite participé à l'usure des Puys et au creusement des vallées.

Les glaciers sont les principaux responsables des modelés du paysage montagnard cantalien. De vastes langues glaciaires ont entaillé la roche pour former de grandes vallées en auges (aussi décrites en « U », voir Fig. 11 et 12.A). Ces dernières s'étalent en rayonnant depuis le cœur du massif, où elles prennent naissance au sein de cirques glaciaires nichés aux pieds des hauts sommets. Plus modestes que ces amphithéâtres, de nombreuses niches de nivations (Fig. 12.B) prennent appui sur les crêtes pour former des glaciers secondaires et souvent

suspendus, venant alimenter la langue principale. Si la glace agit comme un bulldozer, c'est davantage l'effet répété du gel et du dégel qui fait office de dynamite ! Ce phénomène est appelé « cryoptubation » ou « gélifraction » et est particulièrement efficace en milieu périglaciaire, brisant la roche, et créant d'innombrables pierriers. Ainsi, les cirques, hautes crêtes et pointements libres de glace ont subi une très forte érosion mécanique. Le Puy Mary et son horn* en est un exemple particulièrement bien illustré (Fig. 12.C), tout comme de Puy Griou et son gigantesque tablier de blocs. Au tardiglaciaire, la glace se retira progressivement, les vallées se comblèrent d'une grande quantité de dépôts fluvioglaciers (plus de 45 m d'épaisseur à Velzic (Nehlig, 2007)), formant ainsi d'importants aquifères aux plafonds très plats caractéristiques. Les derniers névés nichés au pied des corniches d'altitudes ont par endroits formé des protalus remparts ou « croissants de névé ». (Fig. 12.D) De très beaux exemples se trouvent autour du sommet du Peyre-Arse. De nombreux dépôts tels que les tills* morainiques et autres moraines de retrait, se retrouvent encore sur le massif et témoignent de cet âge révolu. A la fin de la dernière glaciation, la fonte des glaces libéra d'importantes quantités d'eau entaillant les flancs de la montagne d'une multitude de chenaux. A leurs pieds s'étalent des cônes de déjection qui sont leurs résidus de transports. Enfin, il y eut certains éboulements post-glaciaires importants dus à une décompression des flancs accompagnée d'une surhydratation post-nivale. Certains stigmates sont toujours visibles comme à Lavigerie dans la vallée de l'Impradine.

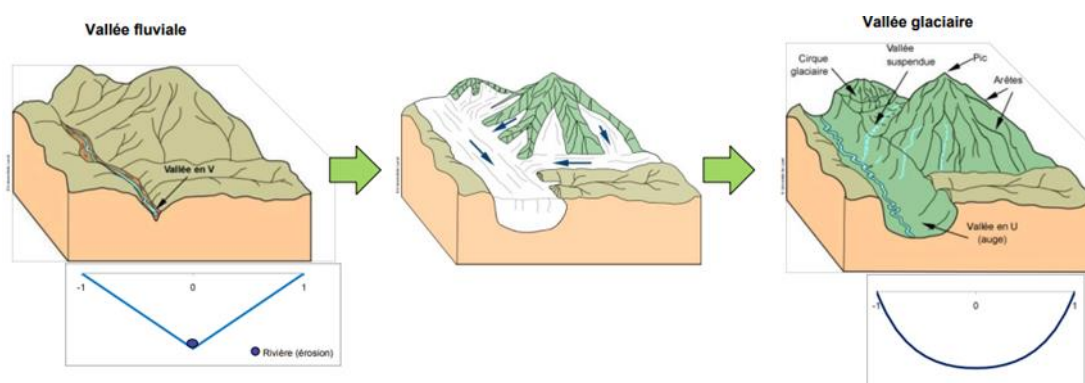


Figure 11 : Impact de l'action des glaciers sur le relief, d'après De Greef & Schools (2008).

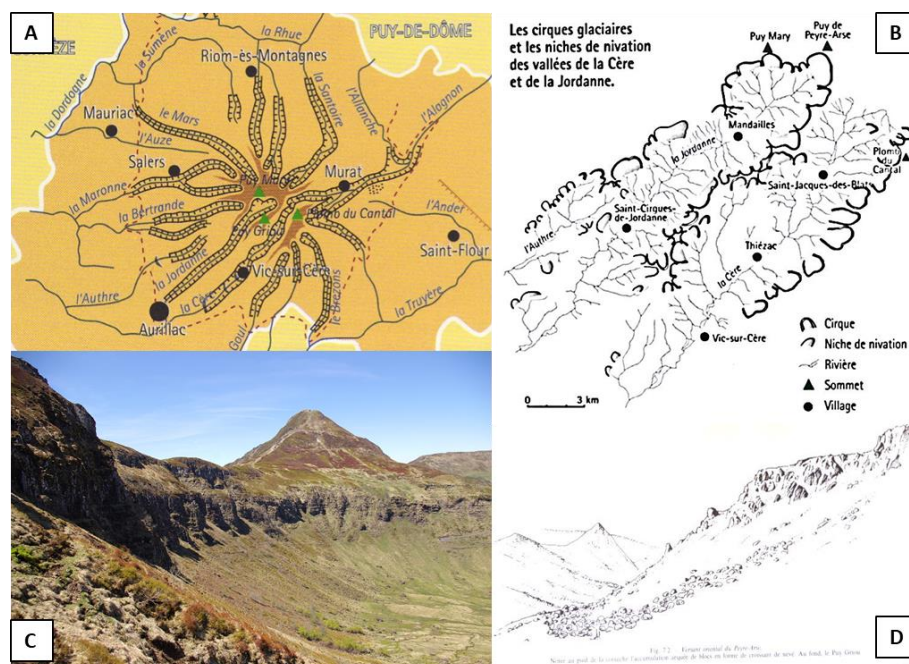


Figure 12 : Morphologie glaciaire. (A) Vallées glaciaires cantaliennes d'après De Goer (1996) in Nehlig (2007). (B) Cirques glaciaires et niches de nivations dans deux vallées de l'ouest des monts du Cantal (Cère et Jordanne) ajusté d'après Van Dorsser (1982) in Nehlig (2007). Modifiée. (C) Amphithéâtre glaciaire de l'Impradine et horn du Puy Mary, Cantal (Crédit photo : François Marquet). (D) Croissant de névé sur le versant oriental du Peyre-Arse, adapté de Veyret-Mekdjian *et al.* (1988).

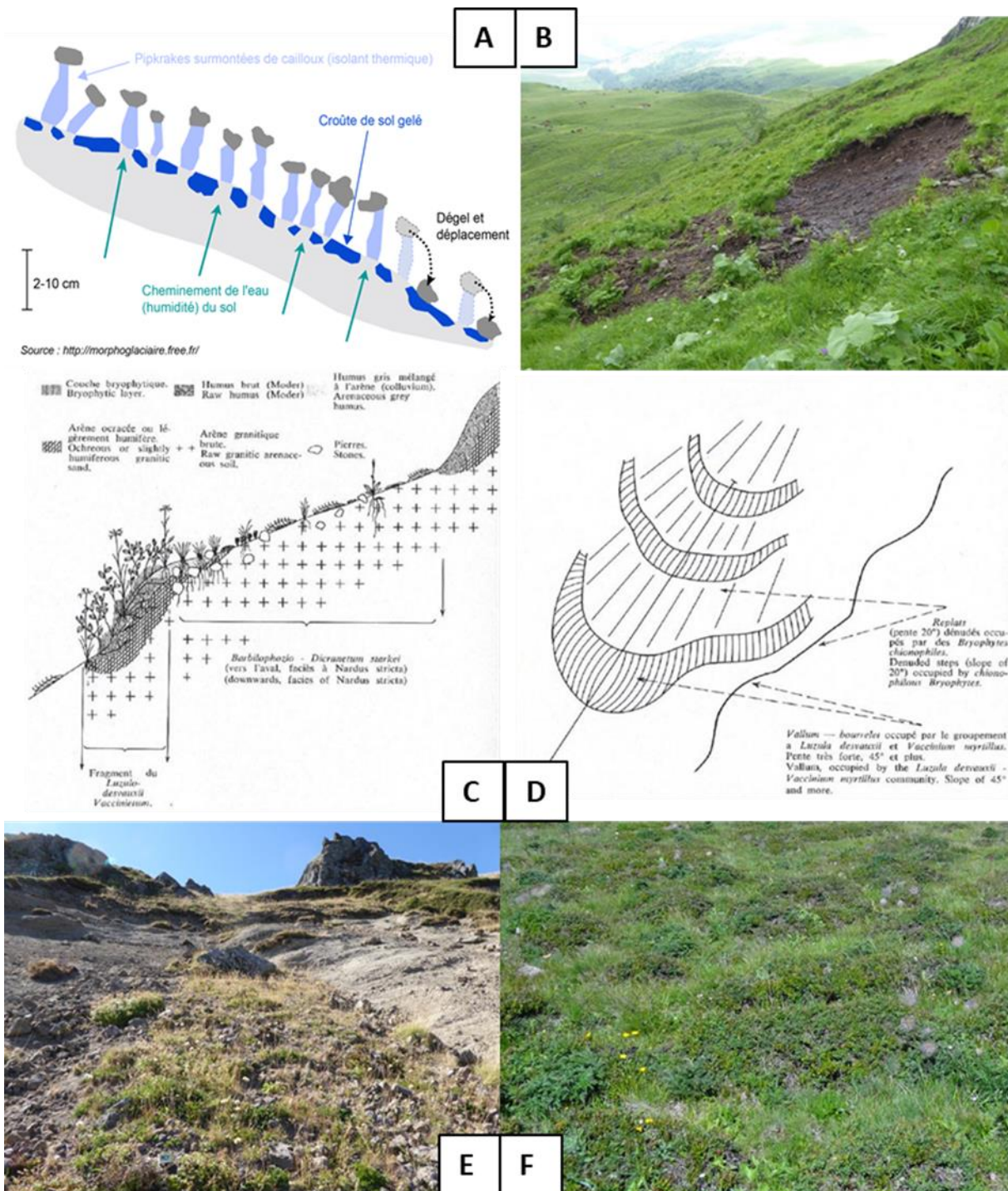
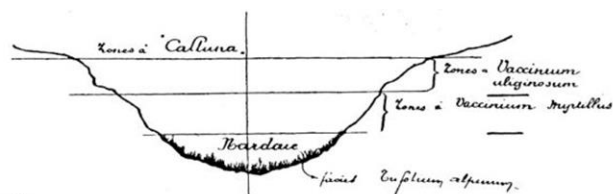


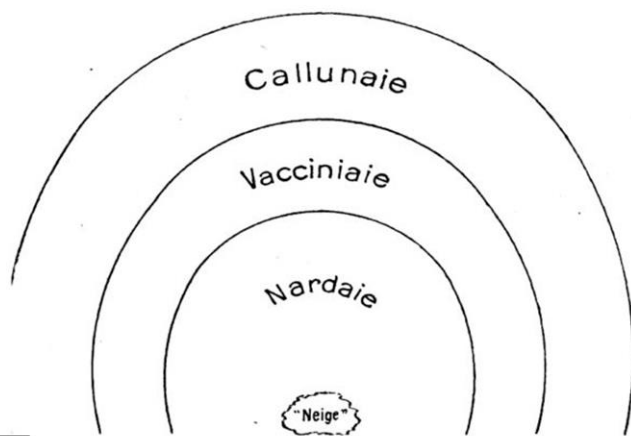
Figure 13 : Morphologies actuelles rencontrées sur les monts du Cantal : (A) piprakes ou aiguilles de glace, d'après (<http://morphoglaciare.free.fr/> in <https://geomorphologie-montagne.ch/>) ; (B) loupe de solifluxion sous la Brèche de Rolland ; (C) schéma d'un escalier de solifluxion nival vu de coupe « sol en guirlande » avec ses bourrelets et replats, d'après Carbiener (1966a) ; (D) même phénomène vu de face, d'après Carbiener (1966a) ; (E) pelouse écorchée sous le Puy de Chavaroché ; (F) Champs de thufurs au sommet de la Sagne de Porc.

Néanmoins, aujourd'hui encore, le relief évolue. Ainsi, même si elle est moins efficace qu'à l'époque, la gélifraction continue d'attaquer les corniches, notamment aux ombrées*. La solifluxion ou « creeping » est aussi un phénomène répandu qui se caractérise par un déplacement des particules du sol vers l'aval. En toute logique, plus la pente est importante, plus la solifluxion sera rapide. Plusieurs événements, parfois concomitants, peuvent en être à l'origine. L'alternance de gel-dégel via les « pipraks » (Fig. 13.A) est particulièrement efficace sur les terres sans protection végétale (Valadas, 2004) : une déchirure se forme alors dans le sol puis s'accroît jusqu'à former de véritables gradins. Les faces exposées au midi et/ou à la déflation y sont particulièrement sensibles puisque moins bien protégées que les autres en période de forte gelée, la couche neigeuse y étant

souvent déficitaire (§ 1.6.1 & 1.7.1). Ces secteurs sont particulièrement favorables aux formations végétales composées de fétuques paniculées (*Patzkea paniculata*) et fétuques d'Auvergne (*Festuca arvernensis*). La trop forte imbibition du sol en période de fonte nivale contribue également à la solifluxion (Fig. 13.B). Les exemples les plus manifestes se situent sur les zones de congères tardives comme par exemple au Vallon de Chambeuil. La liquéfaction du sol provoque un déplacement aval générant une formation de bourrelets appelés « guirlandes » avec ses marches et ses contres marches (Fig. 13.C et D). Quelquefois, c'est le poids de la neige qui contribue à faire littéralement craquer le tapis végétal, parfois même jusqu'à la roche. L'ouverture d'une cicatrice favorise l'action répétée du gel, du vent et du ruissellement, la pelouse s'écorche alors de plus en plus jusqu'à disparition de la couverture herbagée. Cette dynamique ne pourra s'endiguer tant que le phénomène sera entretenu (Fig. 13.E). Cette manifestation est plus fréquente en face sud et ouest. D'autre part, certaines concavités agissent comme des pièges à neige, ces niches de nivation, appelées aussi « combes à neige », ont la particularité de s'agrandir, la neige accentuant la dépression par un phénomène d'hydrolyse de la roche, conséquence de la suralimentation nivale et de la fusion du manteau neigeux. Ces milieux sont des refuges pour toute une flore chionophile* caractéristique des hautes altitudes (Fig. 14). Les ruisseaux et les sources quant à eux empruntent le réseau de talwegs et contribuent à l'érosion torrentielle des versants. La zone d'ablation amont contraste avec



A Fig. 1. — Coupe de combe à *Nardus stricta* au-dessus de Chaudefour (1520 mètres. — Exposition Nord).



B Fig. 2. — Hémicycle à *Nardus stricta*. Pentes S.-E. de la Perdrix (1750 mètres).

Figure 14 : Influence de la durée d'enneigement dans une "combe à neige" sur la répartition des communautés végétales en coupe transversale (A) et en vue du dessus (B), d'après Luquet (1926)

les cônes de déjection que l'on rencontre en aval à la faveur d'un adoucissement topographique. Ces parties créent chacune des conditions favorables à une certaine phytocénose. Une curiosité morphologique est celle des thufurs ou « buttes de cryoturbation » (Fig. 13.F). Celles-ci forment des champs de buttes surmontées de landes où les sillons sont naturellement constitués de pelouse. Leur origine est due à un climat particulièrement froid et périglaciaire. L'exposition aux vents violents empêchant la couche protectrice de neige de s'installer durablement, la glace fait ensuite « exploser » le sol pour former ces buttes (Carbiener, 1964). Ces thufurs sont des témoins directs des conditions sévères qui s'abattent sur les sommets. De très beaux exemples se trouvent au sommet de la Sagne de Porc, des Puy de Prat-de-bouc et de Grandval.

Enfin, remarquons que de nombreuses sources sourdent selon une même courbe de niveau, se superposant même parfois. Cette étrangeté est due à une hétérogénéité géologique, l'eau circulant dans une couche perméable ayant tendance à ressortir à l'interface d'une autre qui l'est moins. Ainsi, l'observation de ces sources dans le paysage est une aide précieuse à la cartographie géologique, et inversement, la carte géologique peut être d'une grande aide aux botanistes cherchant les sources !

1.3 Hydrographie

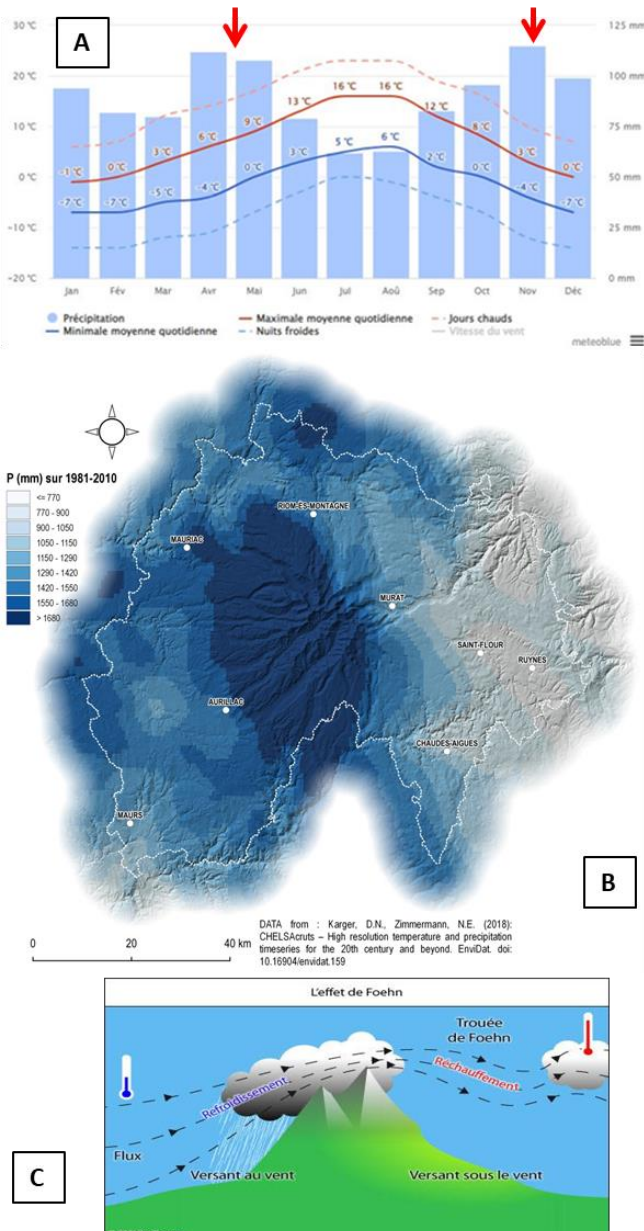
Considérés comme un « château d'eau » les monts du Cantal sont à l'origine de nombreuses rivières empruntant les vallées glaciaires qui rayonnent dans toutes les directions. Deux grands bassins versants sont concernés, celui de la Loire et celui de la Garonne. Ainsi, solitaire à l'est, l'Alagnon rejoint l'Allier puis la Loire. Dans le quart sud-ouest, la Jordanne, la Cère et le Goul se mêlent au Lot, alors que de l'ouest au nord les rivières

Doire, Bertrande, Aspre, Maronne, Mars, Sumène, Petite-Rhue et Santoire s'enjoignent à la Dordogne. Ces dernières rivières sont toutes affluents de la Garonne.

1.4 Climat allochtone

Allochtone... voici un terme peu commun pour parler du climat. Pourtant, celui-ci définit un climat dont les masses d'air sont étrangères au milieu local, ce qui est tout à fait approprié pour caractériser le climat des monts du Cantal. En effet, ici, ce sont les flux océaniques qui dominent et cette particularité unit les montagnes de l'arc hercynien (Ozenda, 1985). Carbiener (1966b) en fit une démonstration remarquable pour les Vosges.

1.4.1 Les précipitations



Le régime hydrique est de type océanique, c'est-à-dire que les précipitations sont relativement importantes et homogènes toute l'année avec toutefois deux maxima, l'un au printemps, l'autre à l'automne (flèches rouges, Fig. 15.A) et un relatif déficit estival. Ainsi, comme l'illustre la figure 15.B, il existe une très forte inégalité de répartition des pluies dont les conséquences sont majeures pour la répartition des végétations. L'ouest exposé au vent est très arrosé alors que l'est sous le vent semble « sec ». Ceci est dû à l'effet de Foehn (Fig. 19.C) où les masses d'air hydratées océaniques viennent frapper la façade ouest des montagnes. Elles s'y déchargent d'une grande partie de leurs eaux par refroidissement adiabatique puis, partiellement asséchées, elles dévalent le versant opposé, induisant le réchauffement adiabatique et donc accentuant l'impression de chaleur et de sécheresse.

Dès lors, la partie occidentale au vent est bien arrosée avec des précipitations allant de 1000 à 2000 mm/an au cœur du massif, alors que la partie orientale du département, sous le vent, est protégée par les hauts reliefs et ne reçoit que 800 mm/an au maximum (Nehlig *et al.* 2001) (Fig. 15.B ; annexe 4 & 5).

Des précipitations occultes viennent également s'ajouter sous forme de brouillard régulier. Ce dernier enveloppe de manière longue et régulière les reliefs, principalement à l'ouest (§1.4.3).

En conclusion, on observe à l'est un glissement vers un climat autochtone à régime subcontinental. Luquet dès 1926, étudiant les végétations des monts Dore, signalait ce phénomène pour notre territoire.

1.4.2 Les températures

Les monts du Cantal ont un climat montagnard froid avec une température moyenne annuelle $\leq 7^{\circ}\text{C}$ (en bleu ; Fig. 16.A) et où les gelées sont possibles 8 à 10 mois par an contre seulement quatre dépassant 25°C (Fig. 16.B). Même au cœur de l'été, les moyennes quotidiennes sont comprises entre 5 et 16°C (Fig. 15.A). Les relevés provenant des

Figure 15 : Synthèse des précipitations sur les monts du Cantal : (A) Diagramme ombrothermique des précipitations et températures minimales et maximales au Plomb du Cantal (1985-2015). Source : Meteoblue (<https://www.meteoblue.com/>); (B) Répartition des cumuls annuels des précipitations sur le Cantal, d'après Poiraud in Genevois, et al., (2022) ; (C) Schéma simplifié de l'effet de Foehn, d'après Météo France.

stations météorologiques périphériques au territoire d'étude montrent une plus grande amplitude thermique annuelle à l'est, confirmant une relative influence continentale (Annexe 4). De plus, les mesures 1961-2010 montrent une hausse moyenne annuelle de 0,2°C par décennie sur les monts d'Auvergne, l'augmentation des températures étant plus marquée en été et au printemps (Serre, 2018).

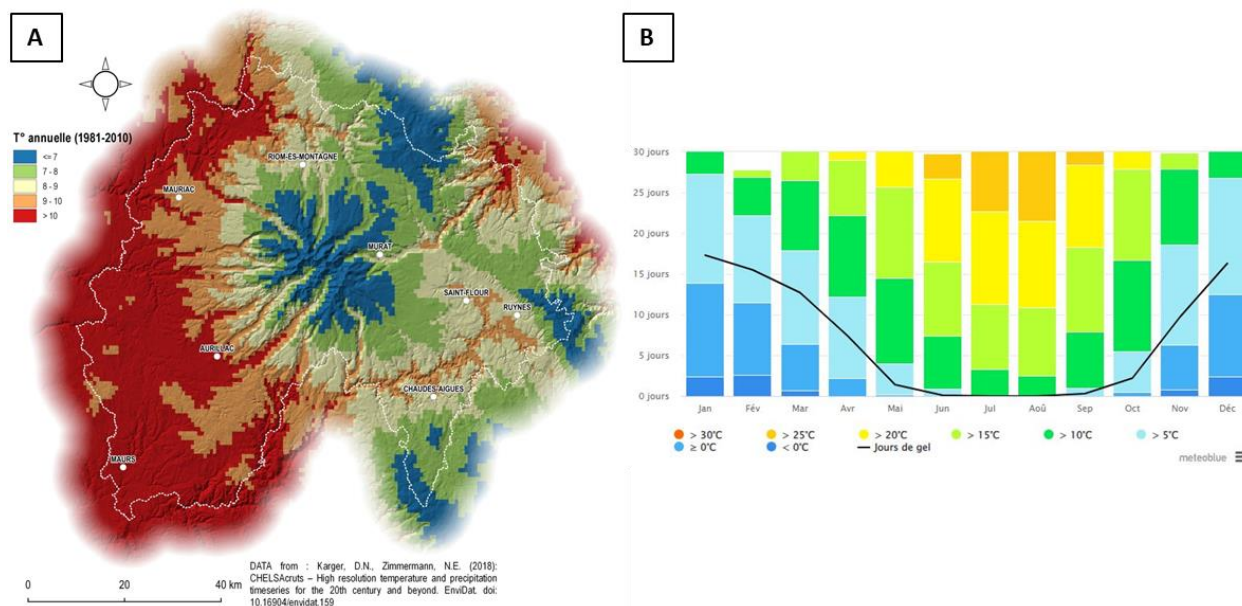


Figure 16 : Synthèse de la distribution des températures sur le Cantal : (A) Cartographie des températures moyennes annuelles (1981-2010), d'après A. Poiraud in Genevois et al., (2022) ;(B) Diagramme mensuel des températures au Plomb du Cantal (1985-2015), d'après Meteoblue (<https://www.meteoblue.com/>).

1.4.3 L'insolation

L'insolation correspond à l'énergie solaire, c'est-à-dire la quantité de radiation exprimée en kW/m² qui arrive en chaque point de la surface terrestre. L'insolation comprend à la fois les infra-rouges (chaleur) ; l'énergie lumineuse (lumen) et les UV. Cette source d'énergie est vitale pour les êtres photosynthétiques et une sélection naturelle s'opère en fonction de sa puissance. Il s'agit donc d'un critère d'importance dans la compréhension de la répartition du tapis végétal.

Globalement, les monts du Cantal subissent une forte nébulosité et les jours de plein soleil sont peu nombreux. (Fig. 17.A). Très isolante, la couche nuageuse via « l'effet de couette » module le rayonnement solaire diurne ainsi que celui terrestre survenant la nuit (§1.7.2) (Thillet & Schueller, 2009). Par ailleurs, les rayons du soleil n'arrosent pas les versants de manière homogène, ceux exposés au midi (adret) étant les mieux fournis alors que les pentes nord (ubac) sont plus défavorisées (Fig. 17.B). Notons que la pente régule également l'insolation des versants en fonction de leur degré d'inclinaison (Reynaud-Beauverie, 1936), l'optimum se situant à 90° vis-à-vis de l'incidence solaire. La capacité d'échauffement et de refroidissement sont également très liées à la nature du substrat. Si les roches ou le sol nu (§1.5.1) y sont très sensibles, le couvert végétal ou la présence d'humidité induisent un effet tampon (Thillet & Schueller, 2009). Ainsi, le secteur nord du massif, situé autour du Puy Mary est peu irradié (≤ 1500 kWh/m², en bleu sur la figure 17.A). La raison en est sans doute l'orientation ainsi que la topographie particulièrement encaissée. Le cirque d'Eylac au pied du Puy Mary est d'ailleurs le secteur le plus longuement enneigé du département, observation déjà consignée par Valadas (1984).

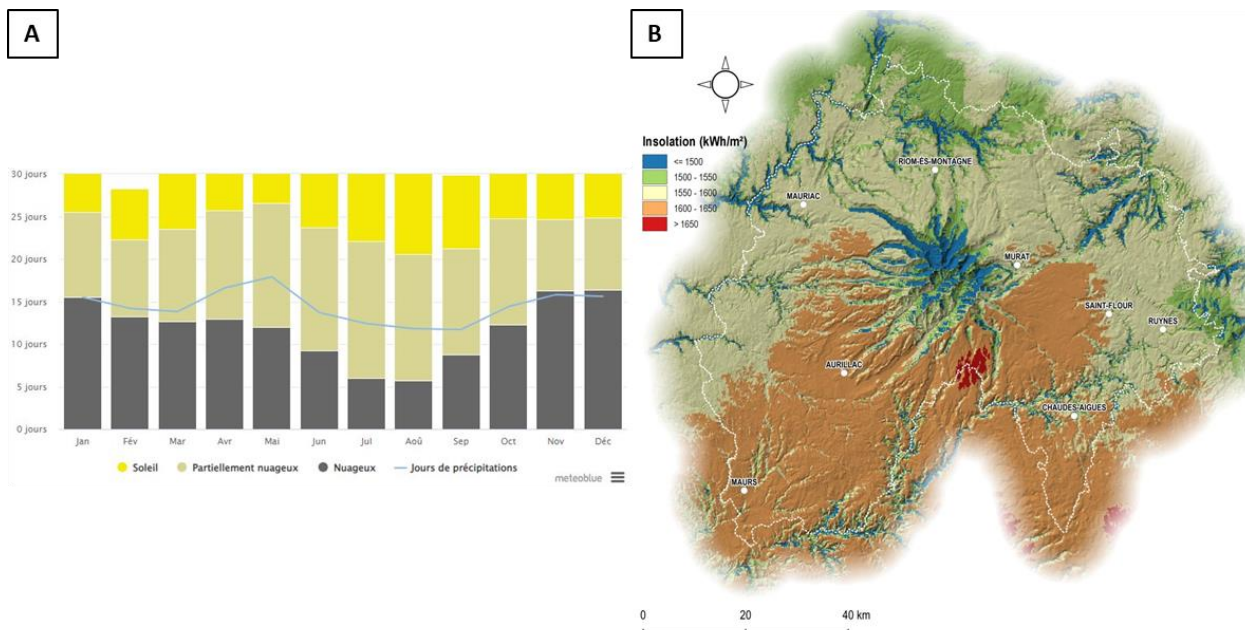


Figure 17 : Synthèse de l'insolation sur les monts du Cantal : (A) Diagramme mensuel de l'insolation au Plomb du Cantal (1985-2015), Source : Meteoblue (<https://www.meteoblue.com/>) et (B) Cartographie de l'insolation (KWh/m² par an) sur le Cantal, d'après A. Poiraud in Genevois *et al.*, (2022).

1.4.4 La neige

Le manteau neigeux offre aux végétations une protection hivernale contre le gel et les vents, mais apporte aussi une hydratation longue et conséquente au printemps (Fig. 18). La neige peut-être aussi source de destruction et de rajeunissement de l'écosystème en cas d'avalanche. Les précipitations neigeuses s'étalent sur une période de sept mois entre mi-octobre et mi-mai (Fig. 19.A). La zone optimale se trouve sur les crêtes et sommets élevés du centre du massif (Fig. 19.B). Malgré cela, Serre (2018) a montré que depuis quelques années, s'initie une diminution générale des journées d'enneigement ainsi que de la quantité des chutes de neige. Les secteurs situés en dessous de 1500 m sont les plus touchés par ce changement. Le caractère océanique provoque également une importante variabilité interannuelle et mensuelle des précipitations neigeuses.

D'autre part, la fraîcheur hivernale est accentuée sur la partie orientale du massif en raison d'une tendance plus continentale du climat (Serre, 2018) (§ 1.4.2).



Figure 18 : Enneigement sur les monts du Cantal. A: Le Puy Mary. B: Le Puy de Chavaroché depuis le sommet du Puy Mary.

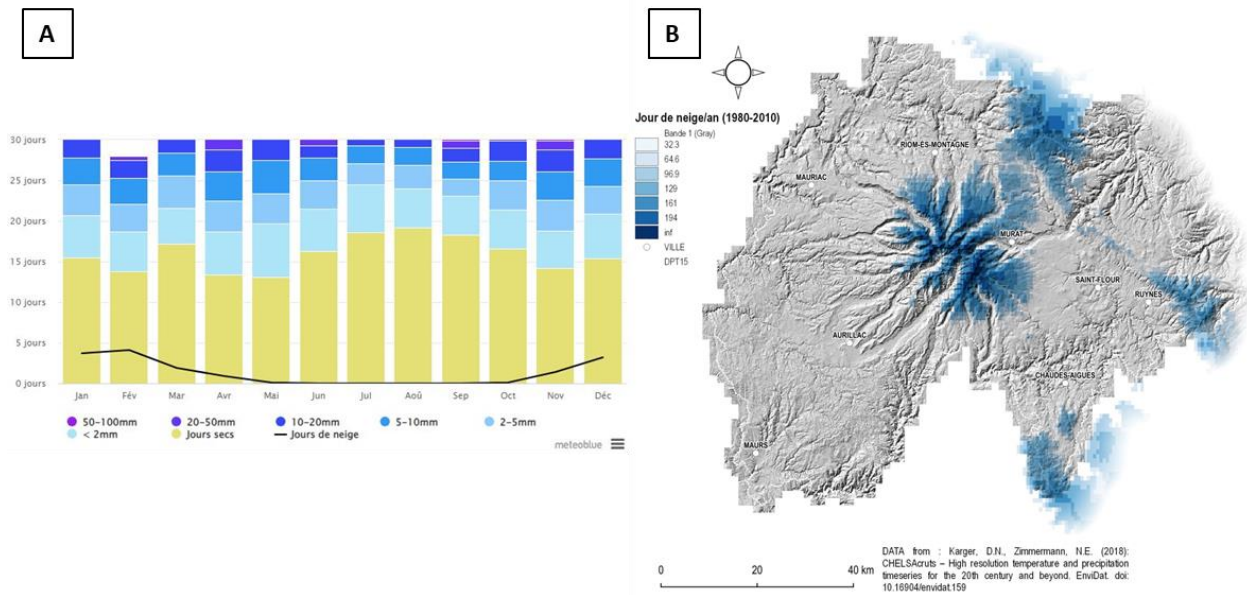


Figure 19 : Synthèse de l'enneigement sur les monts du Cantal : (A) Diagramme mensuel du nombre de jours de précipitations au Plomb du Cantal (1985-2015), le trait noir représentant les jours de neige. Source : Meteoblue (<https://www.meteoblue.com/>). (B) Cartographie de la durée d'enneigement sur le Cantal, d'après A. Poiraud *in* Genevois *et al.*, (2022).

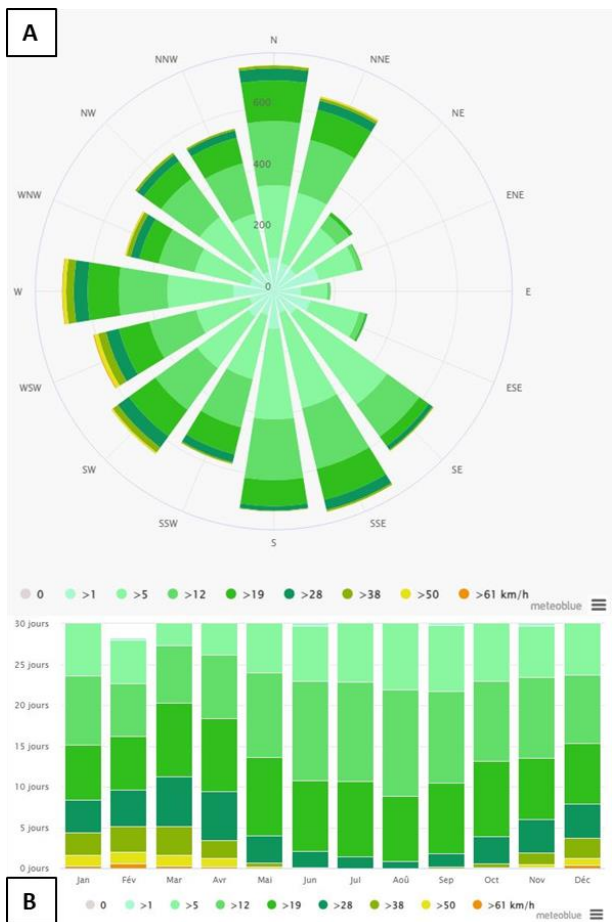


Figure 20 : Synthèse des vents. (A) Rose des vents au Plomb du Cantal (1985-2015). Modèle météorologique global NEMS à une résolution d'environ 30 km. Source : Meteoblue. (B) Diagramme mensuel du nombre de jours de vent et leurs vitesses au Plomb du Cantal (1985-2015),

1.4.5 Le vent général

Un climat allochtone est synonyme de vent, parfois même de vent très violent (Carbiener, 1966b). En toute logique c'est la face océanique dite « au vent » qui subit le plus de harcèlement, que ce soit en termes de durée ou d'intensité. (Fig. 20.A). Les flux provenant du sud et du nord ne sont toutefois pas en reste. Seule la zone dite « d'abri » à l'est, est relativement épargnée. Ce sont les mois d'hiver, de décembre à mars qui concentrent les vitesses maximales (Fig. 20.B). Des mesures prises grâce aux anémomètres des télésièges de la station de ski du Lioran témoignent de cette agressivité. Il est fréquent en hiver que les rafales dépassent les 70km/h et surpassent parfois les 144km/h (mesure maximale possible de cet instrument) (obs. pers.). Toutefois, il existe une saisonnalité des directions. Une synthèse réalisée à partir des données moyennes annuelles sur la période 1980-2016 pour les villes d'Aurillac, Mauriac, Murat et Saint-Flour, entourant les monts du Cantal, fournit un complément d'analyse intéressant. (Modèle MERRA-2 et échantillonnées sur une grille de 50 km dont les figures non fournies sont visionnables sur : <https://fr.weatherspark.com/>). Il en ressort en effet que les flux d'ouest et de nord sont constants toute l'année avec plus de 20% des enregistrements chacun ; mais qu'aussi, de février à avril ce sont les vents du nord qui dominent, de mai à mi-septembre ceux d'ouest et que de mi-septembre à janvier ce sont ceux du sud. Ces derniers sont en comparaison de plus faible intensité (Fig. 20.A).

Rappelons que la déflation est un agent morphogénique important sur les secteurs plus ou moins à nu (Valadas, 1984 ; 2004) (§1.2.4 & 1.7.1).

1.4.6 Le givre

Le climat froid et humide crée un givre important en hiver, particulièrement sur les hauts reliefs (Fig. 21), qui décuple l'effet agressif du vent. Les cristaux de glace, abrasifs et transportés à vive allure viennent frictionner les surfaces qu'ils rencontrent et finissent par s'agglutiner du côté au vent jusqu'à former de véritables blocs, ce phénomène pouvant être une contrainte très forte pour des plantes qui végètent, tels les grands ligneux qui y sont très sensibles. Si le givre les pétrifie et les enrobe (Fig. 21.D), leur surcharge est telle qu'une simple rafale peut les briser. La prise en compte de ce phénomène, somme toute fréquent, est essentielle pour la compréhension de l'asylvatisme de l'étage subalpin cantalien et plus largement du Massif central (§1.9).



Figure 21 : Le givre et ses effets. (A) un matin d'hiver au télésiège du refuge du Lioran (Crédit Photo : Thomas. Sarraille) ; (B) et (C) : Sommet du Puy Mary (Crédit Photo : Hervé Bessenay) ; (D) Hêtre pris dans une gangue de glace (Crédit Photo : Hervé Bessenay).

1.5 Pédologie

Le sol est le fruit conjoint de la dégradation de la roche mère (formant un horizon structural) sous l'effet des conditions climatiques locales et de l'activité biologique, et d'un horizon organique issu des déchets de la biocénose. Sa formation nommée pédogénèse, a la particularité de croître à la fois en profondeur et en épaisseur. A l'échelle des montagnes volcaniques du Cantal, ce sont les Andosols qui dominent. Pour avoir une

vision plus complète des mosaïques de sols, les différents types sont présentés ci-après par unité de pédopaysage du Cantal de notre zone d'étude (Genevois *et al.*, 2023a) ainsi qu'en Annexe 6.

1.5.1 Les Andosols

La décomposition de roches volcaniques sous climat froid et humide et sans période de sécheresse importante forme des sols particuliers que l'on nomme Andosols, du japonais « sol noir ». Leur très grande richesse en matière organique les rend très sombres. Ils ont pour caractéristique de former, en plus des argiles, des composés amorphes appelés « allophanes* », des imogolites* ou des complexes « aluminium-matière organique » (Hétier 1975). Dans notre secteur d'étude ces sols sont acides (Fig. 22.A) avec une très grande capacité de rétention d'eau (Baize & Girard, 2008 ; Genevois *et al.*, 2023b), à savoir jusqu'à 50cl/Kg de sol sec pour les Aluandosols (Genevois *et al.*, 2023b). Par contre, ils sont très sensibles à l'érosion ainsi qu'à la dessiccation ; ce qui peut être difficilement réversible si le taux de déshydratation est trop important (Legrand *et al.*, 2007 ; Baize & Girard, 2008). Notons que la couleur sombre de ces sols volcaniques favorise l'absorption calorifique solaire (Reynaud-Beauverie, 1936) puis le rayonnement du sol accentue le caractère thermophile dans les secteurs de sol nu (§1.2.4)

Il est observé trois types d'Andosols sous nos climats :

- les Silandosols, déterminés par un bilan hydrique* compris entre 600 et 1100 mm/an, sont moyennement à peu acides et ont une Capacité d'Echange Cationique (CEC*) comprise entre 5 et 27 cmol/Kg (Annexe 7). Ils semblent avoir leur optimum à l'étage montagnard de la périphérie sud et ouest du volcan (Fig. 22.B).

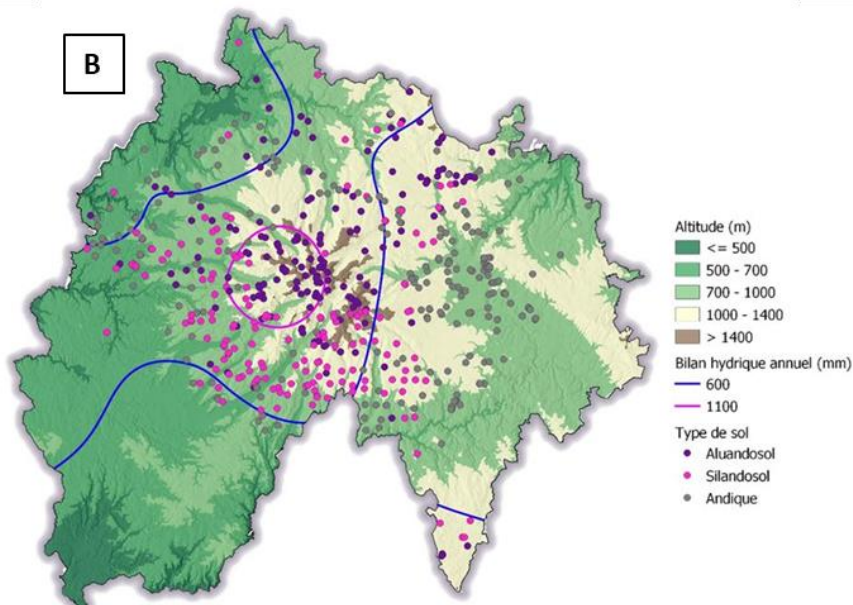
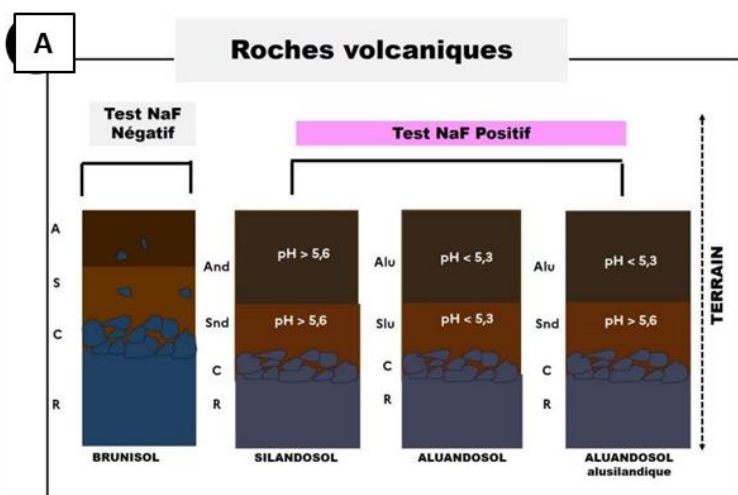


Figure 22 : Sols volcaniques du Cantal. Les profils de sols présentés (A) sont utilisés pour une identification sur le terrain (A) et les répartitions spatiales des sondages (B) des sols volcaniques du Cantal d'après Genevois *et al.*, (2023b).

- les Aluandosols, les plus acides, sont favorisés par d'importantes précipitations (bilans hydriques >1100 mm/an). Ils ont la particularité d'avoir une forte toxicité aluminique potentielle. Coquillard (1993) avait déjà fait état de ce phénomène pour les sols du Sancy. Leur CEC est plutôt faible (6 à 13 cmol/Kg). Ce sont les sols dominants sur la zone d'étude (Annexe 6) et ils sont quasi-exclusifs à l'étage subalpin où ils sont à leur optimum (Fig. 22.B).

- Les Aluandosol-alusilandiques sont une superposition du second type sur le premier (Fig. 22.A). Ce sol hybride semble assez répandu en montagne (V. Genevois comm. pers.) ; (Genevois *et al.*, 2023b).

Il est probable que les

basaltes engendrent des sols moins acides que les autres roches volcaniques. Ces roches seraient donc dans une certaine mesure plus favorable à la formation de Silandosols (V. Genevois comm. pers. ; étude à poursuivre)

En fonction de l'épaisseur du sol, on peut leur attribuer une dénomination de RankoAndosol (<30 cm) ou Colluvio-Alu ou Sil Andosol quand ils sont très profonds (généralement >50 cm) et enrichis de colluvions. Les RankoAluandosols sont l'équivalent volcanique des sols cryptopodzoliques, anciennement mentionnés dans le Sancy (Coquillard *et al.* 1994) (V. Genevois comm. pers.). Notons que les versants d'abris (bilan hydrique inférieur à 600 mm/an) (Genevois *et al.*, 2023b) voient apparaître des sols bruns andiques (Brunisol) sans aluminium échangeable et peu d'allophanes (Test NAF négatif) (Baize & Girard, 2008).

1.5.2 L'humus

Dans le secteur Monts du Cantal-Cézallier, sachant que ce dernier massif est presque « chauve », l'inventaire forestier départemental de 2004 (Inventaire forestier national, 2006) fait état des types d'humus dans les forêts (Fig. 23). Les mull*, dysmull (mull à minéralisation ralentie) et moder* y sont les trois formes dominantes. Notons qu'il peut exister une forte variation spatiale des types d'humus dans un même ensemble forestier en fonction des conditions microclimatiques (couvert, climat) (Baize & Jabiol, 2011). Duchaufour (1950), explique qu'en climat tempéré à tendance atlantique l'humus du pédoclimax forestier est un humus doux de type mull. Toutefois, dans sa synthèse sur l'archéologie forestière, Renaux (2016) souligne l'interdépendance entre l'humus, les organismes du sol et la maturité des massifs forestiers. Ainsi, au cours du cycle sylvigénétique, l'accumulation de litière entraîne une évolution de l'humus : d'un stade jeune (amphimull, dysmull) vers un stade mature (dysmoder, moder).

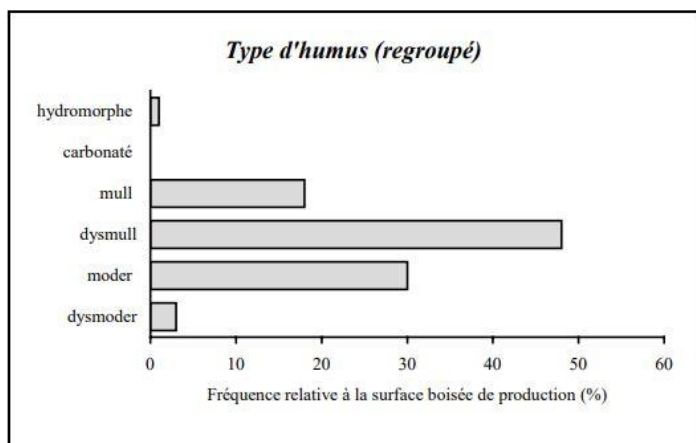


Figure 23 : Histogramme des fréquences de types d'humus dans les forêts des monts du Cantal-Cézallier, d'après l'Inventaire national forestier (IFN 2006).

Cette évolution, qui s'étale sur plusieurs décennies, témoigne d'une décomposition de plus en plus lente et incomplète de la matière organique. Enfin, les landes et autres genêtiers ou fougères aigle produisent une litière importante. Cette litière, comme celle des boisements, joue un rôle primordial dans l'écosystème au niveau des cycles biogéochimiques et donc sur la composition végétale (Baize & Jabiol, 2011). Notons que pour les types d'humus moder et mor*, si l'acidité limite l'activité biologique, il existe

des possibilités d'intoxication aluminique Al^{3+} et de blocage du phosphore (Baize & Jabiol, 2011) ; Coquillard (1993) a d'ailleurs mis en avant ce phénomène dans les monts Dore.

1.5.3 Notion d'acidité du sol et phénomène de sélection végétale

La réaction acido-basique du sol exerce un rôle primordial dans la répartition végétale. Comme l'a très bien expliqué Lemée (1978), l'état électro-ionique s'exprime en « pH », ce qui traduit la concentration en ions H^+ libres dans le milieu. Plus celle-ci est élevée, plus le sol est dit « acide » ; c'est-à-dire avec un pH bas. Les ions H^+ ont la capacité de se fixer en priorité sur le complexe agrilo-humique (CAH^*) au détriment des autres composés chimiques. Concrètement, cela entraîne une baisse de la CEC or, plus cette dernière est grande plus le pH du sol est tamponné. Lorsque le pH devient inférieur à 4, des pathologies apparaissent. Notons aussi que l'aluminium, libéré de façon importante dans les Aluandosols (§1.5.1), a la capacité d'accroître l'acidité. A trop forte concentration, cet ion Al^{3+} devient toxique voire sélectif pour certaines plantes. Ce phénomène a été invoqué pour différencier les espèces calcicoles et calcifuges. Les premières auraient une croissance inhibée alors que les secondes seraient tolérantes. La même théorie, inverse cependant, est citée pour l'ion Ca^{2+} , qui lui aussi est toxique pour une partie de la flore qualifiée de calcifuge. De ce fait, les plantes et donc les formations végétales qu'elles constituent sont, selon le gradient d'acidité, considérées comme acidiphiles, neutrophiles ou basiphiles (calcicoles sur calcaire), certaines plantes étant même considérées amphitolérantes*. Compte tenu de son substrat, le territoire d'étude héberge surtout des végétations acidiphiles au sens large. Dans le cas de sol à plusieurs horizons aux pH distincts (Aluandosol-alusilandiques), il peut y avoir en fonction de la capacité d'absorption des plantes (profondeur d'enracinement), une combinaison d'espèces d'affinités édaphiques différentes.

Une interrogation persiste quant à l'existence de certains contingents d'espèces reconnus comme basiphiles dans certaines communautés des monts du Cantal sur des sols très peu développés (ex : *Buplero-Festucetum* ; §3.4.2). Une piste d'explication pourrait être la présence dans la roche mère de minéraux de feldspaths plagioclases ayant une teneur importante en CaO. Ces plagioclases sont facilement altérés et leurs composés lessivés. Les Ca²⁺ libérés suffisent-ils à l'installation de cette flore ? Il ne faut pas non plus négliger la présence d'éléments traces. La question reste en suspens.

1.6 Effets versants

1.6.1 Adret et ubac

Les dénominations d'adret et d'ubac, classiquement utilisées pour caractériser les versants des massifs montagneux ne sont pas véritablement appropriés en Auvergne. En effet, on désigne par adret, les versants chauds et ensoleillés orientés au sud. A l'inverse les versants plus froids et ombragés du nord sont dénommés ubac (Géhu, 2006) (Fig. 24.A). Le versant ouest est généralement rattaché aux adrets alors que le versant est aux ubacs. Or, ce découpage ne convient pas au massif du Cantal, ce qui rejoint le point de vue de Michalet & Philippe (*in Coquillard et al.*, 1994) pour le massif des monts Dore voisin. En effet, si la question ne se pose pas pour les versants nord et sud, il est nécessaire de caractériser les influences subies par les versants ouest et est et leurs saisonnalités (Fig. 24 C et D). Les flux océaniques importants provoquent sur les versants au vent de l'ouest à la fois un apport hydrique abondant sous forme de précipitations et de nébulosité. Ces caractéristiques semblent davantage correspondre à l'ubac. Toutefois, l'effet vent couplé aux radiations solaires importantes de cette exposition entraîne une fonte précoce de la neige (Fig. 24.B). Cela conforterait donc plutôt un rattachement des versants ouest à l'adret (Michalet & Philippe (*in Coquillard et al.*, 1994). Concernant les versants est, les accumulations importantes de neige dues au déplacement de matière par l'action éolienne (plaques à vent) venant de l'ouest (§1.7.1, Fig. 27) ainsi que les faibles apports calorifiques du soleil hivernal permettent à ce versant de rester longtemps enneigé. La majorité des congères tardives se trouve ainsi à l'est, nord-est et non au nord (Annexe 8). Par contre, sous le soleil estival à l'abri du vent, les températures ressenties sur ces mêmes versants est peuvent y être aussi élevées qu'au sud. C'est pourquoi les espèces thermophiles ne sont pas rares sur les versants est et sud-est. L'effet de « climat d'abri » y induit un caractère plus thermoxérophile qu'à l'ouest ; d'où la présence plus fréquente d'espèces électives aux adrets (Michalet & Philippe (*in Coquillard et al.*, 1994). Cette ambivalence est importante dans le caractère isolé des montagnes du Massif central, où tous les versants sont singuliers et influencent la répartition des végétations. Il est possible de modéliser schématiquement les variables climatiques en fonction de l'exposition comme suit : i) Les versants ouest sont humides et frais, ii) les versants est sont chauds et secs, mais longuement enneigés (surtout dans leur moitié nord), iii) les versants sud sont ensoleillés, chauds et assez secs, rapidement dénudés de neige, iv) les versants nord sont froids, enneigés et ombragés. Il existe évidemment un gradient entre ces quatre points cardinaux.

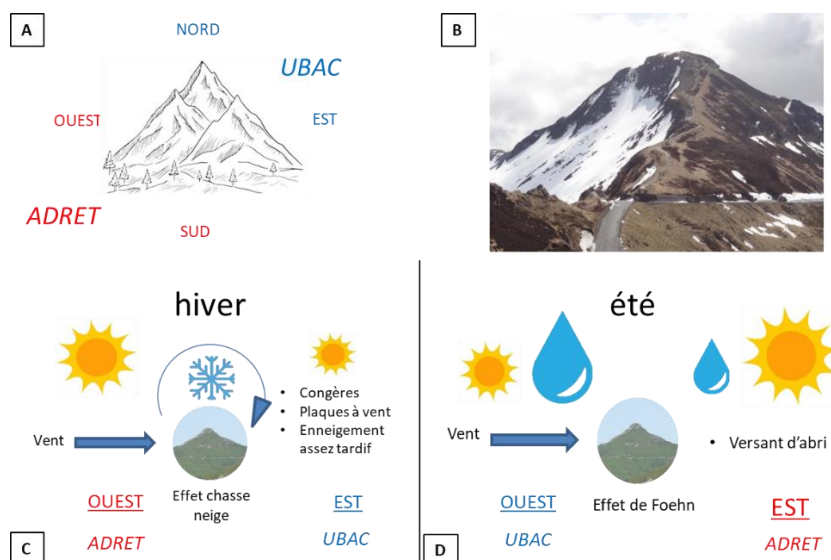


Figure 24 : Adret et ubac dans les monts du Cantal : (A) Considération classique des versants ; (B) le Puy Mary début mai où l'effet de versant à une grande importance sur la durée du manteau neigeux et pour les végétations avec : à gauche, la face nord encore bien enneigée ; (C) effet saisonnier, l'hiver versus (D) effet saisonnier, l'été.

1.6.2 La gravité, ou le transport de matière d'amont en aval

La montagne se caractérise avant tout par son relief, sa dénivellation et donc ses pentes. Les conséquences d'une telle topographie conditionnent les répartitions des végétations puisqu'elle entraîne par déplacements gravitaires une hétérogénéité dans la répartition des flux de matières mobiles (fragments de roches, sol, eau, neige, nutriments « trophie ») (Derruau, 1988 ; Valadas, 2004). Ce phénomène dit de « colluvionnement » ou de « domination » (Valadas, 2004) est un déplacement suivi d'accumulation des matériaux d'amont en aval de matière par instabilité gravitaire (Géhu, 2006). Factuellement, les convexités sont le siège d'une émigration de flux, érodant et rajeunissant sa surface ; les sols y sont comparativement moins épais, moins riches, mais plus secs et plus proches des conditions chimiques de la roche mère. A l'inverse, les zones aval et en situation de concavité sont des réceptacles de matière où le sol s'épaissit, s'hydrate et s'enrichit d'éléments minéraux et donc de nutriments. L'épaisseur du sol joue un effet tampon vis-à-vis des conditions chimiques de la roche sous-jacente (Reynaud-Beauverie, 1936 ; Lemée, 1978). Entre ces deux extrêmes, les conditions sont dites moyennes « méso » (Géhu, 2006). Somme toute, il existe tout un gradient entre ces trois pôles.

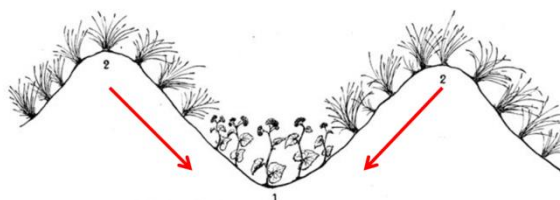


Fig. 3. — Représentation schématique de la répartition sur les pentes Nord

Figure 25 : Répartition schématique entre deux associations 1 et 2 en fonction des flux de matières symbolisés par des flèches rouges, adapté d'après Luquet (1926).

1.7 Les vents spécifiques

1.7.1 L'effet de crête

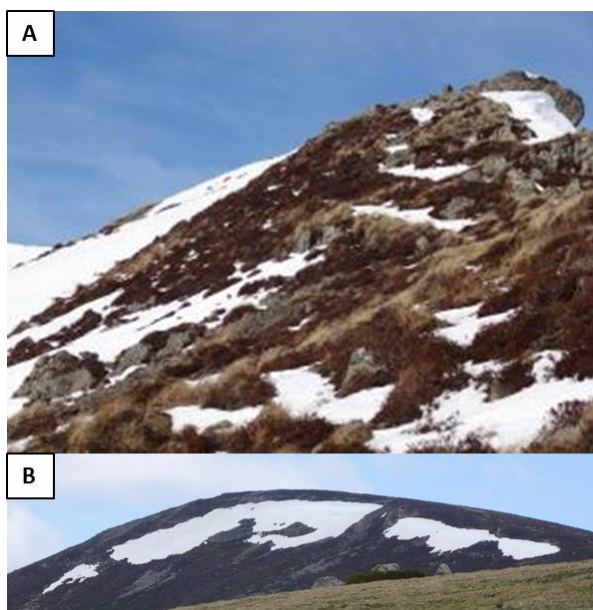


Figure 26 : L'effet de crête: A : Rocher de Vassivière en janvier. Les vents dominants d'ouest balayant la neige sur les crêtes dévoilant la callune et pour former des plaques à vent sur les versants est à l'abri. B : Sagne de Porc en mai. Congères formées par l'effet chasse-neige en versant d'abris

refroidit, provoquant une pression supplémentaire sur le milieu qui peut conduire à une érosion notable (déflation), particulièrement sur les zones d'ensellement où l'accélération du vent est maximale. Kuhnholz-Lordat (1926) et Boisse de Black & Marty (1924), ont fait état de ce phénomène dans les montagnes cantaliennes. De beaux exemples se situent sur la crête autour du Plomb du Cantal ou au Puy de Grandval.

A l'inverse, un « coin d'air mort », situé sous les flux arrivants, préserve la couche de neige et apporte une étonnante chaleur estivale. Ces aires ne sont pas toujours aisées à repérer, surtout à distance. Un marqueur

A l'approche des crêtes et autres sommets, les masses d'air qui empruntent les vallées glaciaires se pressurisent, accélèrent et gagnent ainsi en vitesse (Carbiener, 1966b ; Thillet & Schueller, 2009). C'est ce qu'on appelle l'effet de crête ou « effet venturi » Thillet & Schueller, 2009 (Fig. 27). Celui-ci se traduit de plusieurs manières. En hiver d'une part, il crée un effet chasse-neige des versants au vent vers ceux d'abris (Pavillard, 1935 ; Reynaud-Beauverie, 1936 ; Carbiener, 1966b). Ce transfert de matières appauvrit l'un et enrichit l'autre et est à l'origine des « plaques à vent » et autres congères très communes sur les faces est du massif (Fig. 26.B). Exceptionnellement, elles peuvent se former au sud (ex : Sagne de Porc). Ces dernières peuvent atteindre une épaisseur considérable de plusieurs mètres encore en mai si la zone de prélèvement est suffisamment étendue (obs. pers.). Cette inégalité du couvert neigeux provoque une

inégalité de la ressource en eau : le versant au vent verra l'eau ruisseler l'hiver sur un sol gelé et une percolation réduite au printemps du fait de l'ablation de tout ou partie de son manteau blanc. La lande à callune, espèce chionophobe, est fréquente sur ces zones de prélèvement (Fig. 26.A). De plus, le vent assèche et

assez évident est le genêt purgatif quand il forme des manteaux* sur des versants où l'on ne l'attend pas. Dans ce cas de figure, le climat apparaît comme subalpin (Carbiener, 1966b). Cet auteur a observé dans les Vosges qu'à proximité des cols, les lignes de flux contournent les sommets et provoquent localement une élévation de la limite forestière. Ce phénomène pourrait expliquer l'existence d'une limite curieusement élevée sur les monts du Cantal, aux alentours de 1600 m en versant nord-ouest, ouest dans le ravin de la Gouyère ou du Peyre Ourse près du Lioran. Tout aussi surprenant, cette limite est surmontée par une grande étendue de calamagrostidaie, cette formation végétale étant elle-même dominée près des crêtes par une festucaie paniculée. Ces végétations thermophiles n'ont logiquement pas leur place à une telle exposition. Or, une observation personnelle effectuée un jour de grand vent de nord (axe de la vallée nord-est sud-ouest) rendit compte que la zone était complètement protégée du vent, il y faisait même chaud ! Aussi, les vents d'ouest y sont moins bloqués par le relief que ceux d'est et de sud. En conclusion, le relief crée de nombreux microclimats, certains abrités du vent, d'autres au contraire exposés à des vents encore plus forts.

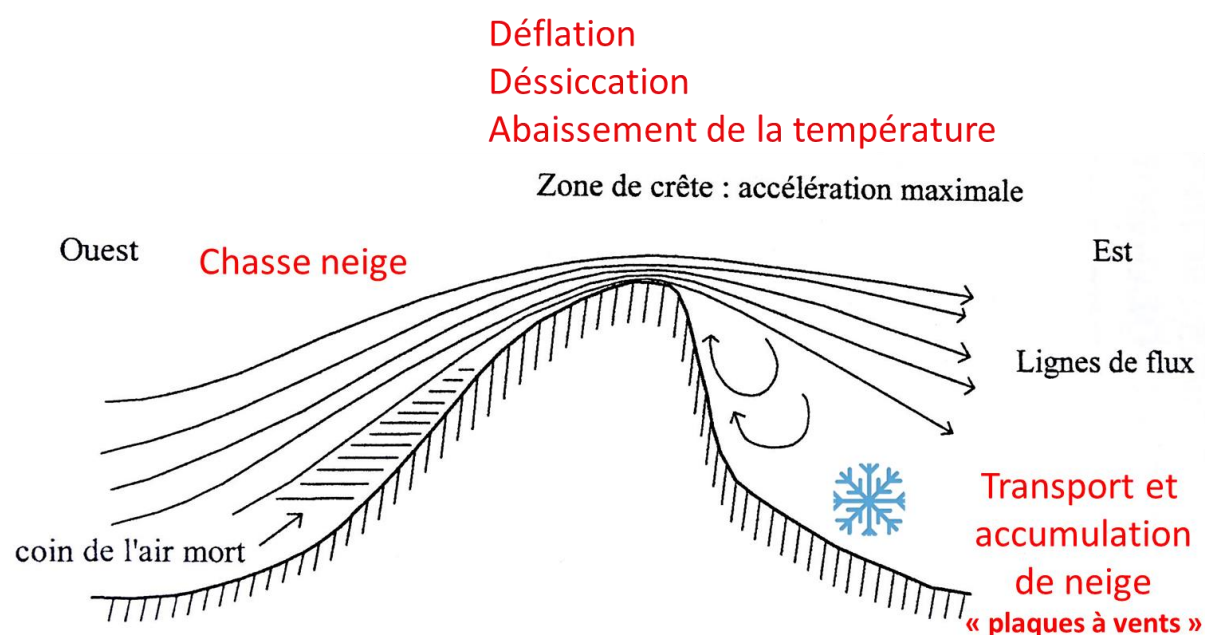


Figure 27 : Effet de crête, adapté de Carbiener (1966b).

1.7.2 Les vents locaux : les brises

La brise est différente du vent, puisqu'elle naît, non pas d'une différence de pression atmosphérique, mais d'une différence de température. C'est le cycle des rayonnements solaires diurne et terrestre nocturne qui est le moteur du déplacement des nappes d'air locales. Dès lors, les brises sont très sensibles aux nuages et leur « effet de couette » (§1.4.3) (Thillet & Schueller, 2009). De fait, elles ne sont aucunement issues du régime climatique allochtone, mais sont des « vents » autochtones bien connus des parapentistes régionaux (S. Gaillard comm. pers.). De vitesse modérée, 15-20km/h, elles prennent place communément lors de situations anticycloniques, effectuant un brassage de grande ampleur sur l'ensemble du relief (Thillet & Schueller, 2009).

1.7.2.1. Les brises de vallées ou brises montantes

Dès que le soleil rayonne à l'est, l'air s'échauffe, devient plus léger et remonte la pente. Cette brise dite « de pente ascendante » crée un appel d'air, ce qui provoque un courant ascendant humide depuis les fonds de vallées. On parle de « brise de vallée » ou de « vent de vallée ». Ce vent croît en intensité jusqu'au milieu d'après-midi pour décroître ensuite. La présence de cumulus fixes à l'aplomb des crêtes est la signature de ces mouvements connectifs d'aspiration (Thillet & Schueller, 2009).

1.7.2.2 Les vents de montagnes ou brises descendantes

Le soir lorsque les faces passent à l'ombre, à commencer par celles situées au nord, le phénomène s'inverse, c'est la « brise de montagne » ou « vent de montagne » (Fig. 28). L'air se rafraîchit, s'alourdit, il glisse

en une nappe de quelques mètres d'épaisseur sur les flancs jusque dans les fonds de vallées ou toutes autres concavités où il forme des « lacs » d'air froid. On assiste alors à une inversion de température souvent matérialisée par un brouillard, voire du gel. (Thillet & Schueller, 2009).

Il est fréquent, notamment l'hiver, d'observer de grandes inversions de température sous forme de « mers » de nuages remplissant les vallées et où seules les hauteurs émergent, tel un archipel.

De plus, l'anticyclone produit sur les hauteurs un rayonnement intense du sol, accentuant la rudesse du microclimat d'altitude. Ce phénomène peut conduire jusqu'à des gelées blanches estivales, somme toute plus fréquentes il y a encore quelques décennies (C. Perrier & F. Marquet comm. pers.).

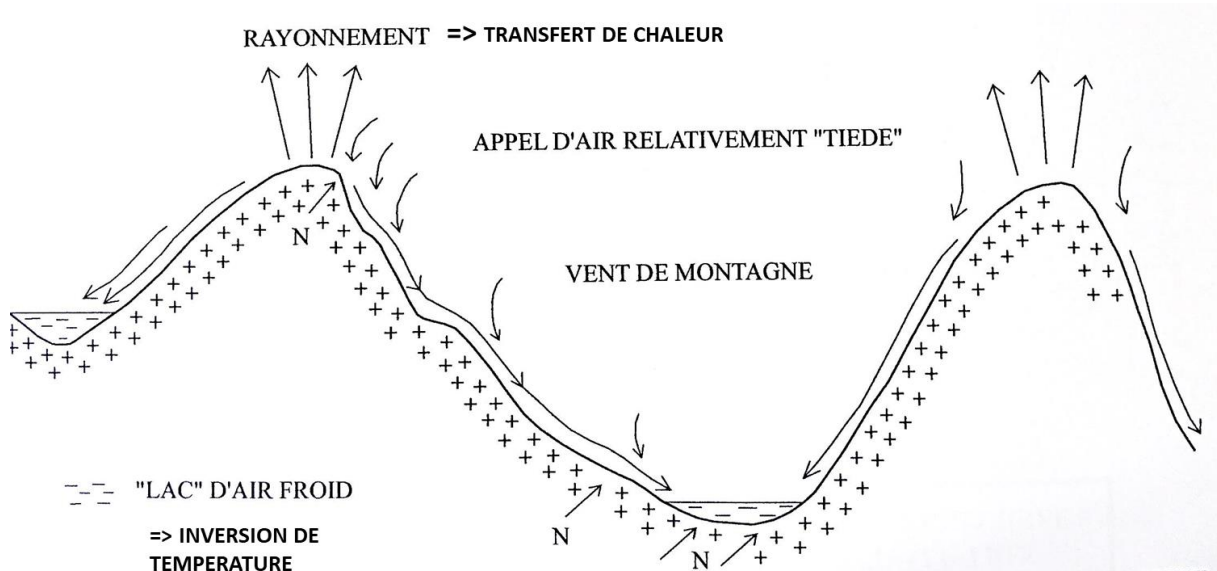


Figure 28 : Type de circulation atmosphérique estivale nocturne par situation anticyclonique d'air calme, adapté de Carbiener (1966b).

1.7.2.3 Brise de torrent

Les sources et torrents montagnards, plus frais que l'air qui les entoure, le refroidissent à son contact. Il en résulte un flux aérien descendant frais et chargé d'humidité. Ce dernier a tendance à se condenser, produisant des volutes de brouillard le long des talwegs par temps froid et/ou trop humide. Il s'agit d'un grand pourvoyeur régulier de précipitation occulte à proximité. Ce microclimat réduit les écarts thermiques (effet tampon) et l'évapotranspiration (Lemée, 1978). En somme, c'est un facteur essentiel de la compréhension des végétations affines des ruisseaux (fontinales et certains ourlets* et mégaphorbaies).

1.8 L'altitude

Les effets de l'altitude sont multiples et ont des conséquences concrètes sur l'environnement montagnard (Ozenda, 2002 ; Valadas, 2004). Dès lors, plus on s'élève, plus le rayonnement solaire (UV)

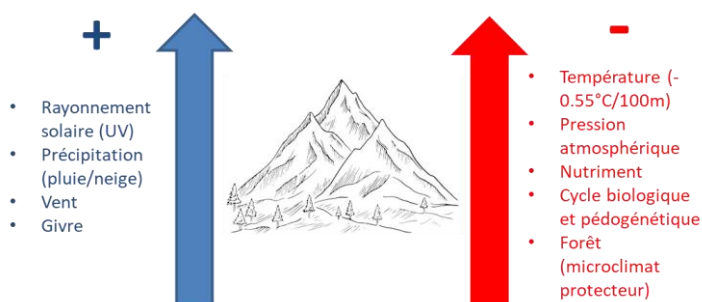


Figure 29 : Synthèse des effets de l'altitude sur l'environnement montagnard.

s'intensifie, tout comme la vitesse des vents ou les précipitations, qu'elles soient sous forme de pluie, de givre ou de neige. L'accroissement de la percolation favorise le lessivage des sols. *A contrario*, la pression atmosphérique diminue, entraînant une baisse de la température moyenne de 0,55°C/100 m (Ozenda, 2002). Ces conditions de vie rude ralentissent et réduisent la période d'activité phytocénotique (croissance végétale et interactions intra- et interspécifiques notamment faibles) et celle des micro-organismes souterrains. La minéralisation

s'estompe, la litière s'accumule. Les sols deviennent peu épais et peu évolués ; la pédogénèse s'étiolé au profit de la morphogénèse (Valadas 2004). Enfin, le couvert forestier s'éclaircit puis disparaît, privant la biocénose d'un microclimat protecteur (Reynaud-Beauverie, 1936) (Fig. 29)

1.9 Etages de végétations

1.9.1 Le déterminisme

Les étages de végétation sont définis par l'ensemble des communautés végétales présentes dans une zone bioclimatique déterminée (Géhu, 2006). Ils sont intimement liés aux mésoclimats locaux, à l'altitude et ses effets. (§1.8). Le contexte thermodynamique est donc important pour en fixer les limites (Géhu, 2006), spécialement ses effets sur la période d'activité végétale (PAV) ($\geq 7^{\circ}\text{C}$) (Rivaz-Martinez *et al.*, 1984, *in* Géhu, 2006).

1.9.2 Les limites altitudinales

Le modèle d'étagement de la végétation adopté ici est celui d'Ozenda (1985, 2002) qui définit dans son système alpin généralisé aux montagnes périphériques dont l'arc hercynien, les étages comme des « ensembles phytocénotiques structurés » intégrant des séries de végétation spécifiques pour les altitudes supérieures de l'Europe tempérée. Ainsi dans le Cantal (Fig. 30) et plus largement dans le Massif central (Thébaud & Roux, 2018), jusqu'à 800 m d'altitude c'est l'étage du Chêne ou étage collinéen, dont la PAV s'étale sur 10 à 12 mois. Au-dessus s'étale l'étage du Hêtre ou étage montagnard avec une PAV de 7 à 10 mois. Au sein de cet étage on observe une subdivision morphologique du hêtre porteuse d'informations sur les conditions locales. Ainsi, plus on s'élève, plus les troncs se courbent sous la pression neigeuse, annonçant l'étage montagnard

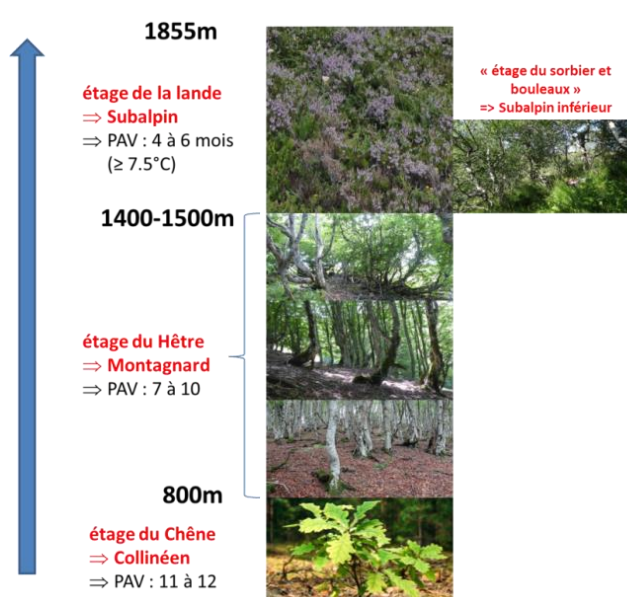


Figure 30 : Illustration schématique des étages de végétation pour le Cantal.

supérieur, jusqu'à la limite supérieure de la dryade* où les arbres sont petits, couchés ou tordus sous l'effet combiné de la neige, du vent et du givre (§1.4.4 à 1.4.6). Il s'agit de la zone dite « de combat », la « Kampfzone » des auteurs germaniques, où les essences forestières s'espacent, deviennent tortueuses, buissonnantes avant de disparaître (limite des forêts ou « timberline »). A ce stade, aux alentours de 1450 m, l'espace devient asylvatique (sans forêt) et subalpin. Ici la PAV est réduite de 4 à 6 mois au mieux. Pourtant, on constate la présence d'arbustes formant de clairs fourrés* discontinus jusqu'à environ 1650 m. On peut parler d'étage à fourrés primaires de sorbiers et bouleaux. Cette formation ligneuse est un marqueur physiognomique de l'étage subalpin inférieur. Plus haut les conditions deviennent trop rudes pour leur assurer une vie pérenne (Fig. 31). Bien que la lande soit répandue dans tout l'étage subalpin, ce qui en fait un marqueur concret et caractéristique (Braun-Blanquet, 1926), c'est à l'étage subalpin supérieur qu'elle domine de façon exclusive. Toutefois, plusieurs observations effectuées dans le cadre de ce présent mémoire attestent de l'existence de végétations de pelouses d'étage alpin sur les sommets et crêtes les plus exposés aux rudes conditions climatiques (§3.3) délimitant un embryon d'étage alpin.



Figure 31 : Limite naturelle des fourrés à Sorbier et bouleau (1650 m), marquant le passage à l'étage subalpin supérieur. Le port en girouette « krummholz » témoigne de la direction (ouest-est) et de la puissance des vents qui s'abattent ici.

1.9.3 Limites entre l'asylvatisme naturel et anthropique

L'originalité des monts d'Auvergne réside dans le caractère herbacé ou buissonnant de l'espace subalpin étant donné qu'il n'héberge aucune espèce arborée autochtone comme dans les Alpes ou les Pyrénées (épicéa, mélèze, pin à crochet, pin mugo) (Braun-Blanquet 1923 ; Ozenda, 1985 ; Antonetti *et al.*, 2006, Thébaud & Roux, 2018). Il est fréquent dans le Cantal d'observer une limite forestière franche à des altitudes un peu en dessous de la limite naturelle de la forêt. Dans ce cas, la limite des bois est en effet artificiellement baissée par le pastoralisme afin de gagner de la surface en estive (§1.9).

1.10 Histoire humaine

1.10.1 Pré-révolution agricole

L'élevage dans les montagnes du Cantal est historique. Au moyen-âge déjà, il devait être multiple, bovins et ovins (en transhumance depuis le Quercy) se partageant l'estive (Simon-Coste, 1988 ; Fel, 1984). Pour gagner en herbage, l'élevage a largement favorisé le déboisement des hauteurs, abaissant la limite forestière. Boule et Farges (1898) relatent la vie agricole traditionnelle de ces montagnes au 19^e siècle. Les hautes terres étaient consacrées aux prairies et aux pâturages, car les conditions y étaient bien trop rudes pour les cultures. En montagne, les longs hivers (4 à 5 mois de neige) obligeaient les paysans à utiliser ces terres

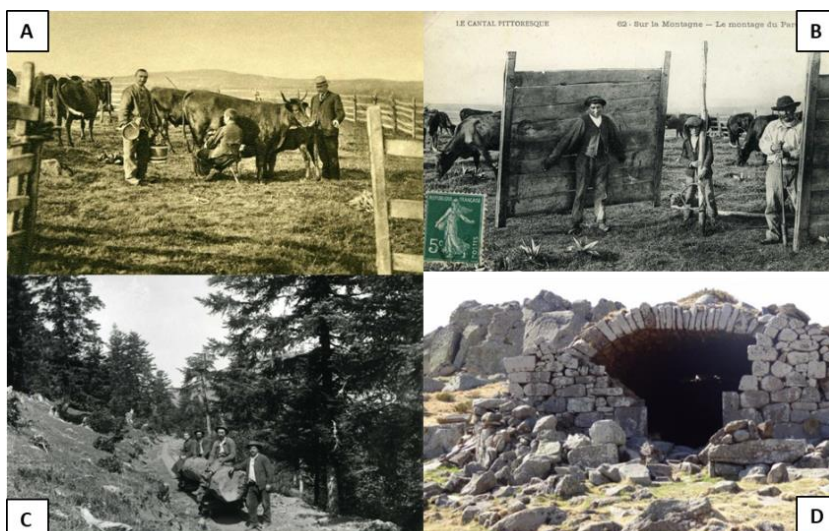


Figure 32 : Interventions humaines historiques. A : Traite à l'estive dans une fumade. B : Mise en place de la fumade. C : exploitation traditionnelle du Sapin. A, B et C, crédit : cartes postales, archives départementales du Cantal. D : L'un des nombreux burons en ruine, témoin d'un passé fromagère révolu.

comme estives ou « montagnes ». C'est pourquoi les fermes étaient installées dans les vallées à proximité des prairies de fauche pour que le foin puisse être stocké en grange et nourrir les bêtes lors de la morte-saison. Au printemps c'est la « montade », c'est-à-dire, la montée aux estives où les troupeaux restaient du 20 mai au 15 octobre. Les estives étaient centrées autour d'un buron, habitation estivale en pierre où était fabriqué le

fromage. Le jour, les vaches parcouraient la montagne. Soir et matin, le troupeau était parqué dans des enclos mobiles faits de claies en bois (Fig. 32), cette technique paysanne appelée « fumade » consistant à amender ces vastes espaces peu productifs. A l'aube des années 1960, la crise de la surproduction a provoqué la fin de cette vie pastorale et le schéma agricole des montagnes du Cantal s'est progressivement spécialisé vers l'élevage allaitant.

Les monts du Cantal ont toujours été une réserve précieuse de bois pour le département, que ce soit en bois d'œuvre ou de chauffage et la région a, en ce sens, reçu une attention particulière des autorités (Martres, 1961). Malgré cela, au début du 19^e siècle, la surexploitation a conduit à un important morcellement des sylves cantaliennes, seules les forêts royales de Murat et celle du Bois-Mary, les forêts de l'abbaye de Féniers, les forêts seigneuriales du Lioran, de Brezons, et du Fau ayant pu jouir d'une certaine préservation (Buffault, 1923 & 1924). Pour endiguer le défrichement, le pouvoir central a procédé à plusieurs campagnes de reboisement (Martres, 1961). Traditionnellement en Auvergne, le précieux Sapin, réservé aux constructions, était surtout présent dans les bois nobiliaires ou ecclésiastiques (Renaux *et al.*, 2015) et dans les zones proches des axes de communications ; alors que le hêtre, pour le bois de chauffage, était relégué aux secteurs plus ingrats (Luquet, 1926). La grande capacité de rejet (cépée) faisait du hêtre une formidable ressource de bois s'il était traité en taillis ; ce que ne permet pas le sapin. Les bois avaient aussi un usage agropastoral lorsqu'ils étaient utilisés pour le pacage des bestiaux (Luquet, 1926 ; Martres, 1961). Cette pratique longtemps en usage a fortement impacté la régénération du sous-bois.

Renaux (2016) souligne que l'analyse pédologique, en étudiant les propriétés physico-chimiques des sols, permet de mettre en évidence des traces d'anciennes activités agricoles ou domestiques, même au sein d'écosystèmes forestiers apparemment naturels. Ces perturbations se manifestent par des altérations pédogénétiques caractéristiques : horizons perturbés, augmentation du pH, enrichissement en phosphore assimilable, en azote total et en isotope stable 15N, ainsi qu'une diminution du carbone organique et une modification du rapport C/N. Ces différences perdurent des siècles voire des millénaires, et peuvent donc en théorie permettre de différencier forêts anciennes et récentes.

Enfin, les campagnes cantaliennes qui comptaient 258 594 habitants en 1831 (<http://splaf.free.fr/>) se sont progressivement vidées à partir de la moitié du 19^e siècle ; les émigrants allant chercher du travail en ville (Bordessoule, 2001).

1.10.2 Post-révolution agricole

L'élevage bovin est depuis longtemps largement majoritaire dans les monts du Cantal, où la « montagne à lait » traditionnelle s'est transformée dans la seconde moitié du 20^e siècle en « montagne à graisse », laissant s'éteindre la pratique du gardiennage des troupeaux avec ses parcours et ses « fumades ». Une part significative des terres appartient désormais à de grandes coopératives de transhumants venus de plaines plus ou moins proches (Fel, 1984 ; Bordessoule, 2001). Les estives les moins accessibles et les secteurs les moins productifs ont été abandonnés ou ont été reboisés. Les prairies de fauche sont toujours majoritairement situées dans les vallées. L'exploitation forestière se poursuit actuellement, que ce soit de manière traditionnelle, c'est-à-dire « jardinée » pour les bois d'œuvre et de chauffage ou de manière plus industrielle. Les progrès de la technique ayant accompagné l'apparition de « coupes à blanc », notamment sur les secteurs enrésinés (Col de Légal, Puy de l'Usclade, les Roches) laissent des stigmates durables dans le paysage.

1.10.3 La révolution touristique

Avec l'avènement du tourisme de masse, le Cantal a misé sur ses atouts naturels et notamment sa montagne ! Les activités de pleine nature se sont multipliées. En premier lieu la pratique du ski, ainsi que la randonnée pédestre, le VTT ou encore le parapente. Le Puy Mary, labellisé Grand Site de France, est visité par 500 000 visiteurs chaque été (<https://www.grandsitedefrance.com/>). Pour accueillir ce flux, croissant, de nombreux aménagements ont été réalisés, spécialement à la station de sport d'hiver du Lioran (Fig. 33)

1.10.4 Quelles conséquences sur l'aire étudiée

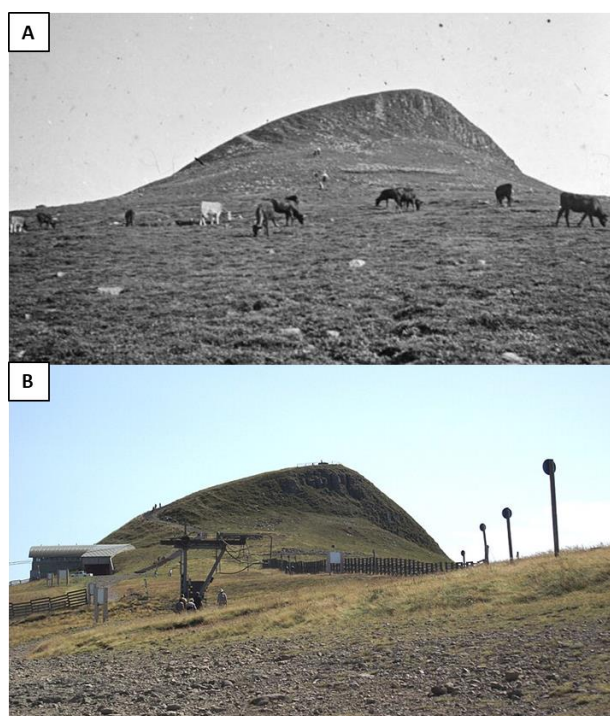


Figure 33 : L'impact touristique en un siècle au Plomb du Cantal. A : estive du plomb du Cantal. Crédit : archives départementales du Cantal. B : En 2011 au Plomb du Cantal. Crédit photo : Jmp48 in <https://commons.wikimedia.org/>

L'exode rural a provoqué une renaturalisation des terres abandonnées, livrées à nouveau à leurs dynamiques naturelles (Luquet, 1926). (Annexe 9)

Dans leur carte écologique du Massif du Sancy, Coquillard *et al.*, (1994) ont réalisé une synthèse à partir d'analyses multivariées entre pratiques agricoles et impacts sur les végétations. Ils montrent que seul le système traditionnel permet un maintien des végétations sans évolution, les autres systèmes d'utilisation des terres modifiant l'écosystème avec deux dynamiques opposées sur le même territoire. Pour résumer, il y a :

- les exploitations qui intensifient leurs pratiques afin de gagner en production, mais qui tendent à homogénéiser leurs parcelles vers des herbages de type prairie ou pelouse.

- les exploitations dont les pressions sont inadaptées et dont les terres se dégradent vers un fourré ou une lande quand la charge pastorale y est faible, ou vers des pelouses pauvres de type nardaie* quand la charge pastorale est trop importante. L'intensification est souvent inversement proportionnelle à l'altitude. Toutefois, la capacité de charge optimale en termes de taille de troupeau est souvent délicate à trouver.

Contrairement aux variables environnementales relativement stables dans le temps, celles dues à l'agriculture sont très fluctuantes et dépendent de l'exploitant. Le choix de valoriser plus ou moins l'herbage est fonction de ses contraintes d'exploitation (financière, technique, perspective), mais aussi des caractéristiques du milieu naturel qu'il exploite (Coquillard *et al.*, 1994).

Ainsi, à la vision de ces résultats et des tendances agricoles sur les monts du Cantal rapportées par Fel (1984) et Bordessoule (2001), on peut s'interroger sur les effets de la disparition des méthodes d'élevages traditionnels et des petites exploitations au profit d'un système plus intensif en double troupeau avec une part de plus en plus importante du cheptel provenant de transhumants. Les estives ont-elles tendance à s'homogénéiser sur les secteurs facilement accessibles ? Cela aurait pour conséquence d'accentuer le contraste entre « belles » zones d'estives et zones plus accidentées, moins appétentes pour le bétail. Ce phénomène est déjà visible sur les vastes estives extensives aux reliefs hétérogènes. On peut y distinguer trois faciès : i) les zones surpâturées souvent situées autour de la pierre à sel, d'un point d'eau ou d'un replat ; ii) les secteurs à la pression pastorale équilibrée et iii) les secteurs les moins exploités et en voie de fermeture voire déjà complètement fermés par les ligneux. L'exploitation autour des fermes reste quant à elle plutôt intensive pour la production de foin et d'herbages laitiers.

Bien que la pression pastorale soit moindre qu'aux siècles passés, à de nombreux endroits la forêt n'a pas regagné sa limite naturelle pour autant. Le type d'exploitation ancestral entre le hêtre et le sapin se reconnaît encore de nos jours, l'un ou l'autre étant favorisé et donnant ainsi à la forêt un sylvo-faciès particulier. Signalons toutefois que le sapin est particulièrement à son aise dans les cirques brumeux et frais du centre de massif (Luquet, 1926). De plus, les coupes à blanc provoquent d'importantes perturbations et modifications stationnelles, parfois irréversibles (Lemée, 1978).

La surfréquentation touristique sur certains sommets provoque une érosion importante dont l'impact sur le milieu naturel et sa flore est indéniable. Ces dégradations nécessitent des aménagements pour endiguer le phénomène et canaliser les randonneurs. De tels exemples sont visibles au Puy Mary, Puy de Chavaroche, Puy Griou ou le Peyre-Arse. Certaines zones de départ des parapentes, régulièrement piétinées, sont également sujettes à une érosion accélérée. Le phénomène ne peut plus s'arrêter naturellement et s'auto-entretient. Cet

impact, quand il n'est pas endigué par un aménagement approprié, peut avoir des conséquences irréversibles sur le sol et les végétations. Les aménagements de la station du Lioran sous la forme de constructions, de terrassement de pistes de ski et VTT, de canalisation des réseaux hydrographiques, de retenues d'eau artificielles ont également eu un impact non négligeable sur le paysage montagnard et ses végétations tels que la mobilisation et la modification de la distribution naturelle de neige. Par contre, la cueillette (myrtilles, fleurs, etc) ne semble pas être à ce jour un facteur de risque important dans la distribution naturelle de la végétation.

1.11 Théorie des fractales

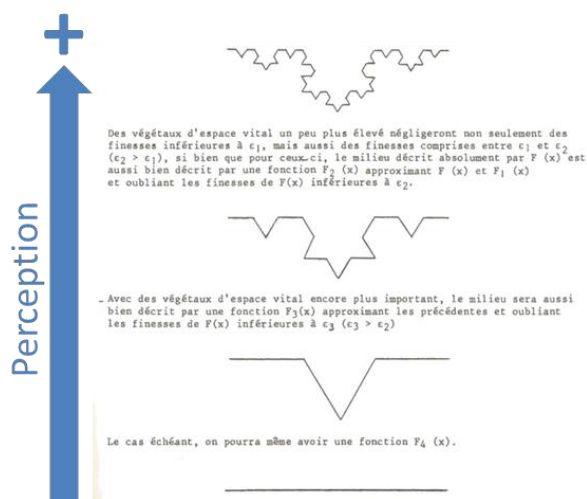


Figure 34 : Théorie des fractales : évolution des limites entre communautés végétales en fonction du degré de perception considéré. Adapté d'après De Foucault (1986b)

De Foucault (1986b) a exposé la théorie des fractales appliquée aux végétations. Succinctement résumée, l'assemblage du couvert végétal étant de nature fractale, les limites entre communautés évoluent en fonction du degré de précision auquel on les considère (Fig. 34). Cette prise en compte est importante sur le terrain où l'œil doit être attentif à bien délimiter les compartiments écologiques au risque d'associer des végétations hétérogènes, voire mal interpréter les liens entre elles. Par exemple, à l'étage subalpin du cirque de la vallée de la haute Santoire, on peut contempler une formation presque homogène et continue de fourré à sorbier. Or, dans le détail, les convexités sont évitées par l'arbuste, remplacé par une communauté de lande. Il ne s'agit ici non pas d'un faciès, mais bel et bien d'un changement de compartimentation écologique. De même, on observe des remontées d'arbustes dans les concavités des chenaux tardiglaciaires. Aussi, il serait artificiel de considérer les étages de végétations (§1.9) comme une

ligne climatique franche à une altitude donnée séparant les communautés végétales, la frontière pouvant être plus ou moins élevée et sinueuse en fonction des conditions parfois très locales.

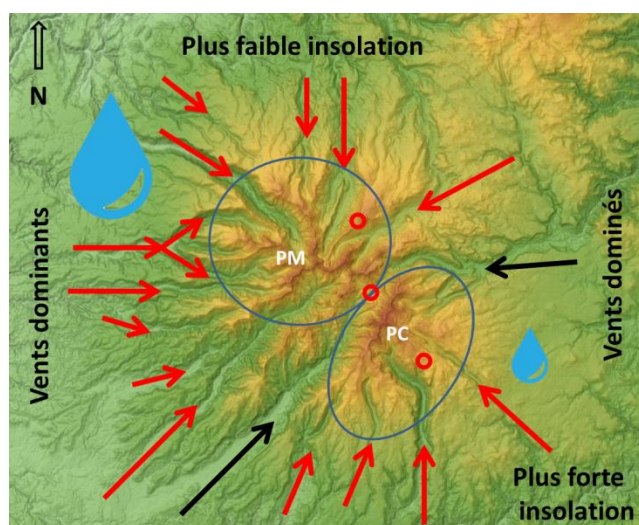


Figure 35 : Influences biogéographiques sur les monts du Cantal. PM : massif du Puy Mary. PC massif du Plomb du Cantal. Les flèches représentent la canalisation des courants aériens par les vallées glaciaires. Les cercles correspondent aux lieux cités en figure 34.

1.12 Synthèse biogéographique des monts du Cantal

A partir des éléments énoncés, si l'on prend en compte les facteurs hydriques, anémométriques, d'insolation et de topographie des vallées glaciaires, il est possible, d'après une étude de carte (Fig. 35), de définir quatre zones biogéographiques pour les monts du Cantal schématiquement représentées par la figure 36.

- A : Septentrionale occidentale
- B : Septentrionale orientale
- C : Méridionale occidentale
- D : Méridionale orientale

Ici les frontières naturelles nord-sud sont représentées par les vallées de la Cère et de

l'Alagnon (Fig. 35 : flèches noires). Celles passant par le col de la Grifoul, le Lioran et le Puy de Niermont cadrent le gradient de continentalité.

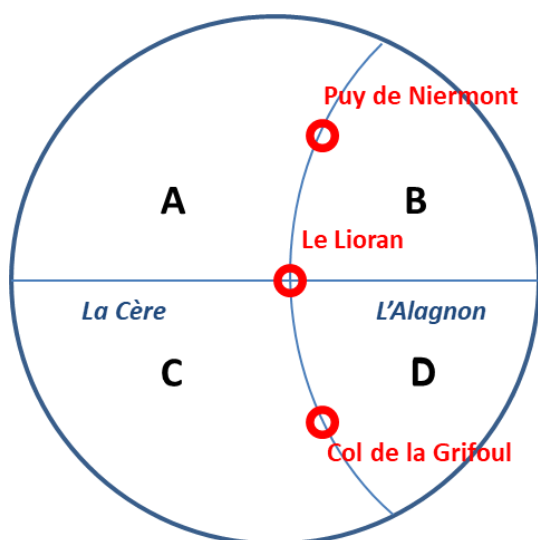


Figure 36 : Délimitation schématique des compartiments biogéographiques.

Si les secteurs septentrionaux et méridionaux sont depuis longtemps identifiés sous les noms respectifs de « massif du Puy Mary » et « massif du Plomb » ; à cause d'un contingent d'espèces végétales propre à chacun (Antonetti *et al.*, 2006), il est ici proposé d'y rajouter une délimitation supplémentaire.

L'explication climatique de la scission des deux massifs pré-identifiés était indirectement dévoilée par l'autochorologie de certaines plantes. Le silène cilié (*Silene ciliata*) ou la pulsatile de printemps (*Pulsatilla vernalis*) révèlent le caractère plus méridional du massif du Plomb. Par contre, la césure importante entre versant dominant et versant dominé en termes de vents n'a pas fait l'objet d'attention particulière, malgré de véritables différences phytocénotiques ! A l'est, les fourrés de genévrier (*Juniperus communis*) en sont, en autres, des témoins marquants.

Cette compartimentation servira de base pour d'ultérieurs travaux, notamment pour l'étude des géoséries de végétations.

1.13 Conclusion

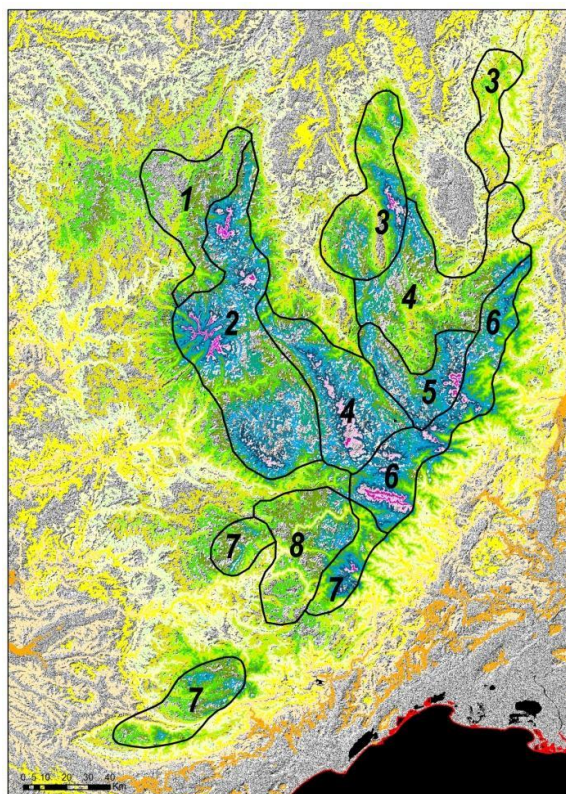


Figure 37 : Esquisse biogéographique du Massif central d'après Thébaud & Roux, 2018. 1 zone d'influence océanique sur substrat cristallin ; 2 zone d'influence océanique sur substrat volcanique ; 3 zone d'influence océanique atténuée sur substrat cristallin ; 4 zone interne subcontinentale sur substrat cristallin ; 5 zone interne subcontinentale sur substrat volcanique ; 6 zone d'influence méditerranéenne atténuée, sur substrat cristallin ; 7 zone d'influence méditerranéenne accentuée sur substrat cristallin ; 8 zone d'influence méditerranéenne sur substrat calcaire.

Le massif du Cantal, modeste par son ampleur et son altitude étonne par son climat bipolaire, à la fois océanique et subcontinental. La violence des conditions de vent et de givre sur les hauteurs lui offre un caractère plus « alpestre » que dans les Alpes à altitude égale ; comme en témoignent leurs différentes limites respectives pour l'étage subalpin (Ozenda 1985 ; Villaret *et al.*, 2019).

Ces faits sont conformes aux interprétations faites par Thébaud & Roux (2018) dans leur étude sur les végétations orophiles du Massif central. A cette échelle, le Cantal s'intègre dans la « zone d'influence océanique sur substrat volcanique » (Fig. 37), grande aire où le volcan Cantal et les monts Dore, surmontés par la chaîne des Puys, sont reliés par le haut plateau volcanique du Cézaillier, tous quatre formant la muraille occidentale du Massif central, prolongée au sud par le plateau de l'Aubrac. Ce mémoire a entre autres pour objectif une analyse plus fine des différences entre les monts du Cantal et les monts Dore, en soulignant notamment l'influence plus forte des climats méridionaux sur la distribution de la végétation dans le massif cantalien (Loos & Thébaud, 2024).

L'ensemble du spectre d'influence topo-climatique vu dans ce chapitre dégage deux tendances sur le tapis végétal et sa répartition. D'une part, les conditions générales moyennes sur le massif correspondant au mésotopoclimat engendrent des végétations dites « mésoclimatiques ». Celles-ci et leurs stades dynamiques

régressifs*, sont favorisés et dominant spatialement. D'autre part, tout autre assemblage supportera des conditions de microtopoclimat responsables d'une mosaïque de végétations dites « spécialisées » correspondant à d'autant de climax stationnels. Aussi, si les facteurs climatiques et édaphiques conditionnent la génétique générale des végétations des monts du Cantal, ce sont davantage les facteurs orographiques (pente, altitude et exposition) qui influenceront sur leur distribution.

II. Matériels et méthodes

Dans le but de cadrer et d'optimiser l'efficacité de l'étude, un programme pluriannuel a été adopté. Les différentes étapes de recherche ont été compartimentées et priorisées chronologiquement en plusieurs phases, chacune préparant la suivante.

2.1 Phase préliminaire

La première étape a consisté à appréhender le territoire d'étude, sa structure, son histoire ; à saisir et à anticiper les végétations et leurs syngénétiques¹ potentiellement présentes. La seconde étape fut d'établir un plan d'action d'inventaire réaliste et efficace pour balayer l'ensemble du vaste territoire à couvrir avec pour objectif l'exhaustivité des végétations recherchées.

2.1.1 Etat de l'art

Un premier travail de recherche bibliographique a été réalisé afin de recueillir des éléments nécessaires à la compréhension et à la réalisation de l'étude. Cette recherche a été axée autour des points suivants : travaux phytosociologiques antérieurs sur le massif du Cantal et autres massifs similaires, travaux traitants du milieu physique cantalien (géologie, géomorphologie, climatologie) et de l'usage qui en est fait (agriculture, tourisme).

2.1.2 Réalisation d'une pré-typologie phytosociologique de la zone d'étude

A partir des recherches antérieures et de l'analyse bibliographique réalisée, une pré-typologie des végétations et un synsystème* incorporant les taxons* caractéristiques pour chaque niveau hiérarchique ont été réalisés et basé principalement sur les prodromes des végétations de France (PVF1 et PVF2) modifiés et le guide d'identification des végétations du nord du Massif central de Thébaud *et al.*, (2014a). Cette étape est indispensable pour anticiper la phase de terrain et les différentes formations végétales susceptibles d'être rencontrées. En outre, cela réduit les risques d'incompréhension du milieu rencontré et de réaliser un relevé hétérogène, car mal délimité en amont.

2.1.3 Plan d'échantillonnage

Compte tenu de l'étendue du territoire d'étude (§1.1), un plan d'échantillonnage pluriannuel a été élaboré afin d'optimiser les prospections estivales.

Tout d'abord, l'année 2020 a été consacrée à la partie ouest du massif, entre 1250 et 1850 m d'altitude. Ces altitudes comprennent l'étage montagnard moyen, l'étage montagnard supérieur, l'étage subalpin inférieur et l'étage subalpin supérieur. S'en suivit en 2021, l'échantillonnage de la partie est. Les échantillonnages en 2022 et 2023 furent plus spécifiquement réservés aux végétations nécessitant un effort accru de relevés à l'échelle du massif, afin d'obtenir un matériel suffisant pour analyser les communautés (genêtère purgative, accrus forestiers, ourlets [non compris dans le projet initial], pelouses d'enclaves alpines). Afin d'organiser les prospections, des tableaux de contingences (Annexe 10) ont été réalisés, leurs objectifs étant de mettre en évidence les zones de recherche pour la réalisation des relevés phytosociologiques. Les zones sont définies selon plusieurs critères tels que l'altitude, le type de roche et sa nature et l'exposition. A partir de ce canevas, des cartes de végétations (Dubias *et al.*, 1968), géologiques (Nehlig *et al.*, 2001) et topographiques, ainsi que de photographies aériennes récentes et anciennes, des secteurs de prospection ont été priorisés. Les journées de

¹ Préfixe syn- : signifie « ensemble ». Relatif aux communautés végétales et à l'application phytosociologique.

terrain ont ensuite été ordonnées de façon à maximiser les visites de ces secteurs pour obtenir une répartition équilibrée des relevés sur le territoire.

Durant les hivers 2020-2024, plusieurs sorties ont été effectuées dans le massif afin de prendre des photographies (§1.4.4) et mieux comprendre l'impact de cette saison sur les végétations. Cela permit aussi d'identifier des secteurs potentiellement intéressants comme par exemple les croupes ventées dépourvues de neige, les zones de forte accumulation neigeuse, les couloirs d'avalanche, ou encore les zones d'effets de versant avec fonte précoce (§1.7 & 1.6). D'autres prospections ont été réalisées durant les printemps 2020 à 2022 afin de localiser les secteurs de congères tardives (§1.7).

L'ambition initiale d'une modélisation de la répartition des paramètres écologiques sur le territoire permettant une compartimentation spatiale préalable aux prospections en partenariat avec le laboratoire ISTHME (Université Jean Monnet de Saint-Etienne) n'a malheureusement pas pu aboutir.

2.2 Phase de terrain : collecte et saisie des relevés

2.2.1 Relevés phytosociologiques

L'analyse des communautés végétales est basée sur des relevés phytosociologiques intégrant les plantes vasculaires. Les relevés ont été effectués selon la méthode "sigmatiste" de Braun-Blanquet (1932, 1964) et suivant les mises au point et descriptions ultérieures de Guinochet (1973), Géhu & Rivas-Martinez (1981), de Foucault (1986a) et Géhu (2006). Il s'agit de réaliser, selon le plan d'échantillonnage établi précédemment, des relevés phytosociologiques de structure homogène au sein de compartiments également homogènes sur les plans écologiques et stationnels (altitude, exposition, substrat, pente) et pour lesquels ces dernières seront mesurées directement. La profondeur de sol meuble a aussi été mesurée à l'aide d'une canne de pédologie. Chaque relevé doit être réalisé sur une surface suffisante pour permettre le recensement complet des espèces caractéristiques et présentes selon la règle de l'aire minimale². La surface des relevés de forêts fut ainsi d'environ 400 m², celle des fourrés de 100 m², celle des pelouses et prairies de 20 à 25 m² et les pelouses sous très fortes contraintes environnementales, souvent sur de faibles surfaces, furent échantillonnées sur des surfaces de 1 m² à 4 m². Le référentiel taxonomique utilisé pour les noms des espèces végétales est Taxref V16 (Gargominy *et al.*, 2022), compatible avec le logiciel de base de données phytosociologiques TURBOVEG[®] (Hennekens & Schaminée, 2001) utilisé dans le cadre de cette étude.

Au total, 607 relevés phytosociologiques sur l'ensemble de l'aire d'étude ont été réalisés durant ces quatre années, chacun ayant été géoréférencé par GPS puis reporté sur carte IGN (1/25000).

Enfin, dans les situations particulièrement intéressantes de mosaïque de végétations ou lorsque les conditions topographiques étaient bien exprimées et discriminantes pour la végétation, un schéma visuel de la toposéquence fut réalisé sur le terrain. L'étude d'ouvrages qui traitent de géomorphologie (Veyret-Mekdjian *et al.*, 1988 ; Derruau, 1988 ; Valadas, 1984 & 2004) a été un atout dans la lecture du paysage afin de décrypter certaines morphologies pouvant avoir une influence particulière sur la végétation (lentilles et bourrelets de solifluction, croissant de névé, cône d'effondrement, dépôt morainique ...) (§1.2.4).

2.2.2 Saisie des relevés

Les relevés ont été saisis dans TURBOVEG[®] (Hennekens & Schaminée 2001), sous une version adaptée aux standards français et à notre méthodologie, disponible à UniVegE.

Parallèlement, des relevés non publiés fournis par leurs auteurs et d'autres issus de la littérature ont été intégrés à la base de données. Il peut s'agir de relevés provenant du Cantal : en particulier 396 relevés récents réalisés par G. Thébaud issus de la BD d'UniVegE ou d'autres montagnes du Massif central conformément à notre approche comparative inter-massifs. Certains documents consultés n'ont malheureusement pas pu être utilisés, car les données n'étaient pas exploitables (problèmes méthodologiques le plus souvent).

Les principaux travaux saisis sont ceux de Braun (1915), Uehlinger (1926), Braun-Blanquet (1926 ; 1953), Lémée (1953), Quézel & Rioux (1954), Bignon (1986), Daguet (1987), Coquillard (1993), Petetin (2002), Seytre (2006), Hérault & Choynet (2006), Reimringer & Choynet (2007), Choynet & Mulot (2007), Barthet (2018) et Le Hénaff *et al.* (2021a et b).

² Celle-ci est inspirée de la littérature et de l'observation sur le terrain.

Il est important de signaler que les tableaux de relevés d'un certain nombre de publications phytosociologiques telles que Luquet (1926), Billy (1997 ; 2000 ; 2002) et Michalet & Philippe (1994 ; 1996) avaient été précédemment rentrés dans TURBOVEG® par l'équipe d'UniVegE.

2.3 Phase d'analyse

Les relevés ont été analysés à l'aide du logiciel JUICE (Tichý 2002) afin de caractériser les communautés et de calculer différents indices et indicateurs, notamment les moyennes par relevés des indices écologiques de comparaison Frequence-Positive Fidelity Index (FPFI) 1.0 (de Dengler *et al.*, 2023). Les espèces bryophytes ont été supprimées, car trop peu d'auteurs les ont prises en compte et elles sont faiblement représentées dans ces végétations à la strate herbacée souvent exubérante. En vue du traitement numérique et afin d'améliorer l'homogénéité du jeu de données et d'éviter les biais dus à des niveaux d'identification différents selon les auteurs, des regroupements d'espèces et sous-espèces ou variétés, en particulier au sein de genres difficiles, ont été réalisés. Ces derniers seront spécifiés dans les parties correspondantes.

2.3.1 Analyse par classification ascendante hiérarchique (CAH)

L'étape initiale d'analyses de classification a été réalisée avec Twinspan (Hill 1979) pour un premier tri puis avec une classification Twinspan modifiée (modified Twinspan classification –MTC, Roleček *et al.*, 2009). Le principe est d'obtenir une répartition des relevés sous forme d'un dendrogramme hiérarchisé en fonction du degré de similarité. La version modifiée de classification de Twinspan combine l'algorithme TWINSpan classique (étape initiale) avec une analyse de l'hétérogénéité des clusters* avant chaque division. Cela permet de ne diviser que les clusters les plus hétérogènes à chaque étape, évitant ainsi les divisions non fondées de clusters homogènes. Cette seconde étape permet également une classification avec un nombre quelconque de clusters terminaux (Roleček *et al.*, 2009). Ces deux types d'analyses de classification sont fondés sur une analyse factorielle des correspondances qui sépare groupes de relevés et groupes d'espèces. Les analyses de classification ont été testées soit en présence-absence soit pondérées par les indices d'abondance des espèces suivant la qualité des résultats obtenus. La méthode retenue est signifiée dans les parties correspondantes. L'indice de similarité utilisé est toujours « l'inertie totale ». Une fois l'analyse définitive obtenue, chaque cluster est ensuite analysé et interprété floristiquement et écologiquement afin de le rattacher à une unité syntaxinomique (Annexe 11). Ainsi, chaque cluster correspond à groupe statistique qui équivaut à un syntaxon du point de vue phytosociologique ; association, sous-association ou parfois variante.

2.3.2 Tableaux différentiels diagonalisés pour la caractérisation des relevés phytosociologiques et diagnostics syntaxinomiques.

Suite aux résultats de la CAH, les relevés dont la composition est intermédiaire entre deux clusters sont affectés manuellement à dire d'expert à l'un plutôt qu'à l'autre. Les clusters dont la composition floristique paraîtra originale feront l'objet d'une description. Les relevés hétérogènes ou ne correspondant pas aux végétations étudiées sont écartés de la suite de l'analyse. Le résultat, sous forme de relevés et espèces ordonnées et diagonalisées dans le tableur de JUICE (Fig. 38) selon la clustérisation obtenue, est la base constitutive pour la caractérisation des différentes associations végétales, sous-associations et variantes. Cette méthode statistique rigoureuse appliquée à la phytosociologie a été mise au point et peaufinée sur différents types de milieux dès les années 2010 par l'équipe des herbiers universitaires de Clermont-Ferrand devenus UniVegE (Roux & Thébaud, 2010 ; Thébaud *et al.*, 2014b entre autres) jusqu'aux synthèses régionales récentes (Thébaud *et al.* 2021 ; Roux & Brocard 2023 ; Loos & Thébaud 2024). Bouzillé (2014) a théorisé une méthode similaire. Les résultats définitifs sont exprimés au sein d'un tableau synoptique où les lignes sont regroupées par groupes de taxons différentiels (GTD), assimilables aux groupes socio-écologiques de Duvigneaud (1946) et où les colonnes correspondent aux différentes associations ou leurs sous-unités. Les tableaux généraux de tous les relevés, ordonnés et diagonalisés, issus de JUICE, ne sont malheureusement pas disponibles en annexe, car trop volumineux.

Enfin, les groupes d'espèces diagnostiques de ces communautés ont été, dans la mesure du possible, caractérisés au moyen du coefficient Phi (Chytrý *et al.*, 2002). Cet indice calcule la fidélité des espèces dans un groupe de relevés. Concrètement, le coefficient Phi examine et compare la concentration des occurrences des espèces dans les unités de végétation par rapport aux fréquences attendues dans le cadre d'une distribution aléatoire. L'avantage du coefficient Phi est qu'il est indépendant du nombre de relevés dans l'ensemble du jeu de données. Il est donc peu affecté par la taille de l'unité de végétation. C'est pourquoi il est particulièrement utile pour comparer les valeurs de fidélité des espèces entre des ensembles de données et des unités de végétation de tailles différentes (Chytrý *et al.*, 2002). Cette méthode permet d'écarter une certaine subjectivité liée au « dire d'expert ».

Enfin, les taxons caractéristiques ou différentiels des associations végétales ont été sélectionnés et décrits en combinant les informations issues de la bibliographie, l'interprétation scientifique des tableaux et des analyses du coefficient Phi, ce dernier étant donné entre parenthèses à côté de chaque taxon dans la description de la composition floristique des associations qu'ils caractérisent.

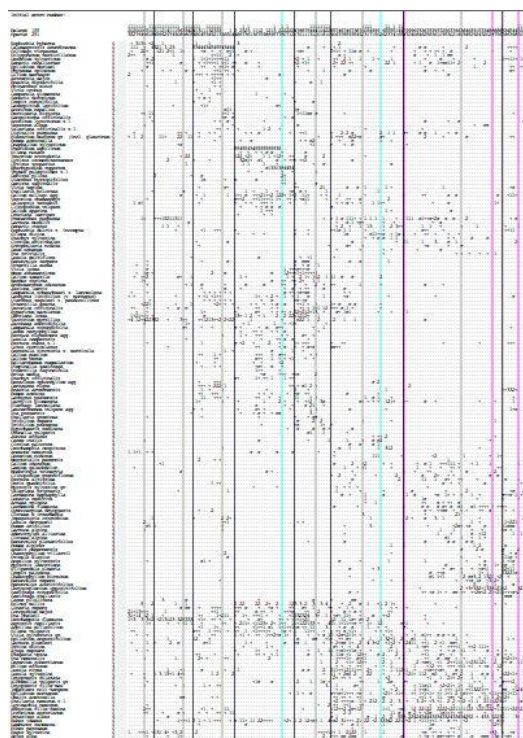


Figure 38 : Extrait du tableau JUICE diagonalisé des communautés de lisières (155x251) volontairement réduit pour donner une vue d'ensemble de la dispersion relevés/espèces et des unités syntaxinomiques séparées par des traits verticaux.

2.3.3 Analyses d'ordination des variables écologiques et identification des facteurs discriminants

Les analyses de classification ont ensuite été complétées au moyen du logiciel MVSP (Kovach, version 3.22 2014) par des analyses d'ordinations, de type « detrended correspondance analysis » (DCA, Hill & Gauch, 1980) et analyses canoniques (CCA Ter Braak, 1986). La première est une méthode proche de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) néanmoins améliorée afin de corriger l'effet « fer à cheval », qui apparaît quand espèces et relevés sont présentés dans le plan formé par les deux premiers axes (Bouxin, 2016). La seconde est une analyse « sous contrainte » ; c'est-à-dire que les coordonnées des relevés sont contraintes au moyen d'une régression multiple, d'être en combinaison avec les variables écologiques (Bouxin, 2016) ; par l'intermédiaire des valeurs des indices bioindicateurs des taxons (de Dengler *et al.*, 2023). Cette méthode a l'avantage de permettre de bien visualiser la correspondance sous forme de flèches vectorisées entre variables écologiques et relevés en amplifiant les différences. Elle présente toutefois l'inconvénient d'être circulaire, car les valeurs FPMI (de Dengler *et al.*, 2023) sont dépendantes des espèces.

Ces deux analyses, souvent utilisées en phytosociologie, ont permis d'améliorer le positionnement de certains relevés et de mettre en évidence les relations et correspondances entre variables écologiques, taxons et associations végétales.

2.3.4 Analyses synécologiques basées sur les indices écologiques

Ensuite, et afin de caractériser au mieux synécologiquement les communautés, les moyennes par relevé des indices FPMI (de Dengler *et al.*, 2023), des pentes et des altitudes ont été calculées pour chaque cluster. Ces derniers n'ont pas été pondérés par les coefficients d'abondance des espèces qui auraient eu tendance à surreprésenter les plus abondantes au détriment du prisme floristico-écologique de l'ensemble du cortège. De plus, dans le but d'évaluer si les associations végétales étudiées présentent des différences significatives en matière d'indices, une ANOVA non paramétrique (test de Kruskal-Wallis) a été réalisée pour chaque coefficient écologique, dans la mesure où la taille des échantillons représentant les associations était hétérogène, possiblement inférieure à 30, et de distributions souvent non normales. Dans le cas où l'ANOVA a détecté l'existence d'une différence significative (au risque alpha de 5 %), un test de comparaisons multiples ou test de Nemenyi (Sachs, 1997) avec une méthode de distribution de Tukey (méthode par défaut) a été réalisé afin

d'identifier parmi toutes les paires possibles celles présentant une différence significative (et donc avec une p-value <0,05).

Nous avons donc adopté la position de Chytrý *et al.* (2009) de considérer les indices écologiques comme des variables quantitatives afin de pouvoir effectuer nos tests de comparaison.

2.4 Résultats et essai de typologie phytosociologique, synphytosociologique et géosymphytosociologique provisoire pour les monts du Cantal

Les différentes communautés étudiées sont présentées et décrites dans leur cadre syntaxinomique. La nomenclature syntaxinomique respecte le code international de nomenclature phytosociologique (ICPN, Theurillat *et al.*, 2021). Parmi les travaux de synthèse consultés figurent le PVF1 (Bardat *et al.*, 2004), le PVF2 (de Foucault 2012 & 2016, de Foucault & Corriol, 2013 ; de Foucault *et al.*, 2014), et l'EuroVegChecklist (Mucina *et al.*, 2016). Ce dernier référentiel a été choisi comme classification de référence (sauf mentions contraires) dans un souci de cohérence et d'harmonisation à l'échelle européenne.

Pour les communautés végétales rencontrées et dont les relevés n'ont malheureusement pas pu être analysés, un essai de typologie a été fait à partir de l'état de l'art et de l'expérience accumulée durant ces quatre années d'inventaires et d'observations. Cette approche quelque peu empirique permet de valoriser l'important effort d'échantillonnage réalisé dans le cadre de cette étude avec plus de 600 relevés.

Une typologie phytosociologique provisoire pour les monts du Cantal est ainsi proposée en partie III. De plus, afin d'initier une approche phytosociologique dynamico-caténale de l'aire d'étude et de respecter au mieux les engagements initiaux pris dans le cadre de ce mémoire, une esquisse des principales séries dynamiques « tessellaires* » et géoséries « caténares* » sont abordées en partie IV.

2.5 Les limites de l'étude

Le présent travail s'astreint à la compréhension des végétations « mésophiles* » montagnardes et subalpines des monts du Cantal. A ce titre, les formations de basses vallées et celles à déterminisme hygrophile* (sources, tourbières...) ou xérophile* (falaise, tables rocheuses et rochers...) ont volontairement été exclues. De plus, au sein du compartiment étudié, seules les communautés d'ourlets*, de fourré à genêt purgatif et les pelouses d'enclaves d'étage alpin ont pu être analysées dans le temps imparti. Les résultats de ces dernières pelouses ne sont pas exposés pour des raisons expliquées ci-après. Les estives et les massifs forestiers et arbustifs seront, quant à eux, étudiés ultérieurement. Les communautés à hautes herbes ont fait l'objet d'une publication indépendante à l'échelle du Massif central (Loos & Thébaud, 2024). Les communautés herbacées d'estive, pourtant centrales dans le projet initial, n'ont pas pu faire l'objet d'analyse. En cela, les associations non analysées, séries et géoséries présentées en fin de mémoire (§III & IV) sont à considérer comme provisoires dans l'attente d'études complémentaires. De même, toutes les associations présentement décrites le sont à titre provisoire ! Une analyse comparative plus générale à l'échelle du Massif central est nécessaire pour valider leurs indépendances synfloristiques, synécologiques et synchorologiques.

III. Résultats et interprétations permettant la caractérisation des communautés végétales mésophiles des monts du Cantal

Les végétations orophiles mésophiles du Cantal sont traitées par type de milieux (herbage, fourré, forêt...). Les hautes herbes et mégaphorbaies, genétières purgatives et formations d'ourlets ont ici seules fait l'objet d'analyses. Pour les autres formations, leur présentation succincte consiste en une compilation bibliographique des données existantes et d'observations personnelles permettant par la suite une reconstitution partielle et provisoire des séries présentes. De plus, les communautés végétales sont caractérisées par association (ou groupement) en termes de physionomie, écologie, chorologie et composition floristique, ainsi que leur éventuelle dynamique connue ou supposée.

3.1 Fourrés à genêt purgatif du Massif central occidental volcanique (Cantal ; monts Dore et Cézallier).

Cette analyse porte sur les formations denses à Genêt purgatif (*Cytisus oromediterraneus* Rivas Mart., T.E.Díaz, Fern.Prieto, Loidi & Peñas, 1984), dites « fourrés » ou « prémanteaux * » (en condition secondaire) des montagnes occidentales du Massif central : monts du Cantal, monts Dore et Cézallier. Ce sont des végétations orophiles acidiphiles et thermophiles à optimum xérophile d'influence atlantico-méditerranéenne. Ces travaux font suite à ceux d'Arnaud *et al.*, (1983) de Lozère et ceux de Luquet (1926), Coquillard (1993) et Billy (1997) des montagnes puydômoises.

Les fourrés à genêt purgatif se développent en adret aux dépens des estives ou sur des croupes rocheuses. Peu digeste, ce buisson est refusé par le bétail ce qui conduit, lorsque la pression pastorale est insuffisante, à constituer des ensembles plus ou moins vastes. Pour contrer ce phénomène, certains éleveurs pratiquent régulièrement l'écobuage ou « brulis ». Le port bas et dense de cette espèce lui permet de supporter le rude climat hivernal (givre, avalanches), tout comme les dures conditions thermo-hydriques estivales d'adret. L'importante litière que produit le genêt étouffe la concurrence interspécifique et lui fournit une forme d'humus acide pouvant aller jusqu'au mor, apportant une certaine réserve hydrique grâce à sa capacité de rétention d'eau (météorique, fusion). Le genêt est ultradominant et le cortège herbacé y est peu diversifié et généralement peu recouvrant.

Au sein de la classification phytosociologique ces végétations appartiennent à la classe des *Cytisetea scopario-striati* Rivas-Martinez 1975 et à l'alliance du *Cytision oromediterranei* Tüxen in Tüxen & Oberdorfer 1958.

Cette analyse s'appuie sur la méthodologie présentée en partie II (Matériels et méthodes). Aussi, afin d'améliorer l'homogénéité du jeu de données et d'éviter les biais dus à des niveaux d'identification différents selon les auteurs, nous avons procédé à des regroupements de taxons ou d'infrataxons. Il en est ainsi pour les genres *Alchemilla*, *Festuca*, ou *Leucanthemum*.

Deux associations sont différenciées : le *Silene vulgaris-Cytisetum oromediterranei* (Billy 1997 ex Thébaud, C.Roux, Bernard et Delcoigne 2014) *stat. nov. prov.* qui est ici provisoirement décrit, et le *Teucrio scorodoniae-Cytisetum oromediterranei* Coquillard 1993 *nom mut. nov. hoc loco* dont le nom est ici muté pour convenir aux usages actuels de la nomenclature phytosociologique (ICPN, Theurillat *et al.*, 2021). Deux sous-associations nouvelles et plusieurs variantes sont également proposées.

Ce travail pourra être valorisé dans le cadre de politiques de gestions conservatoires, notamment européenne pour l'habitat d'intérêt cité 5120-1.

3.1.1 Jeu de données et échantillonnage

L'étude prend uniquement en considération les formations orophiles denses physionomiquement et matures. Ainsi, les individus d'associations dégradées ou trop ouvertes et non optimales n'ont pas été pris en compte puisqu'ils correspondent davantage à des formations et étapes dynamiques transitoires d'ourlets qu'à de véritables genêtiers purgatives.

Au total, 145 relevés ont été analysés dont 71 inédits réalisés dans les monts du Cantal pour ce mémoire, région du plateau central jusqu'alors non pourvue en matériel suffisant pour une classification fiable (Tab. I). Les autres relevés sont issus de la littérature (Coquillard 1993 ; Quézel & Rioux 1954, Billy 1997). Les relevés aberrants ou extrêmement pauvres de cinq espèces ou moins ont été retirés. Au final, 123 relevés ont été retenus pour la classification. Ceux figurant dans Le Hénaff *et al.* (2021a) provenant de la RNR Chastreix-Sancy, étant incomplets, n'ont malheureusement pas pu être intégrés à cette étude ; cependant nous ne manquons pas de données sur les monts Dore. De même, nous n'avons pu prendre en compte les relevés synusiaux* de B. de Foucault (1987) de l'Aubrac. Les deux relevés de Doche (1982) du même massif, découverts trop tardivement, n'ont pu également être intégrés. Néanmoins, ce dernier auteur cite les cytisiaies purgatives comme étant toujours de faibles superficies et localisées au sommet des buttes.

Les fourrés montagnards de l'est Cantal à *Juniperus communis* et *Cytisus oromeditaraneus* souvent accompagnés de *Rosa* pl.sp., n'ont pas été intégrés à cette analyse. Ils sont considérés comme appartenant au *Roso glaucae-Juniperetum communis*. Attention, le genévrier peut quelquefois apparaître dans les véritables genêtiers.

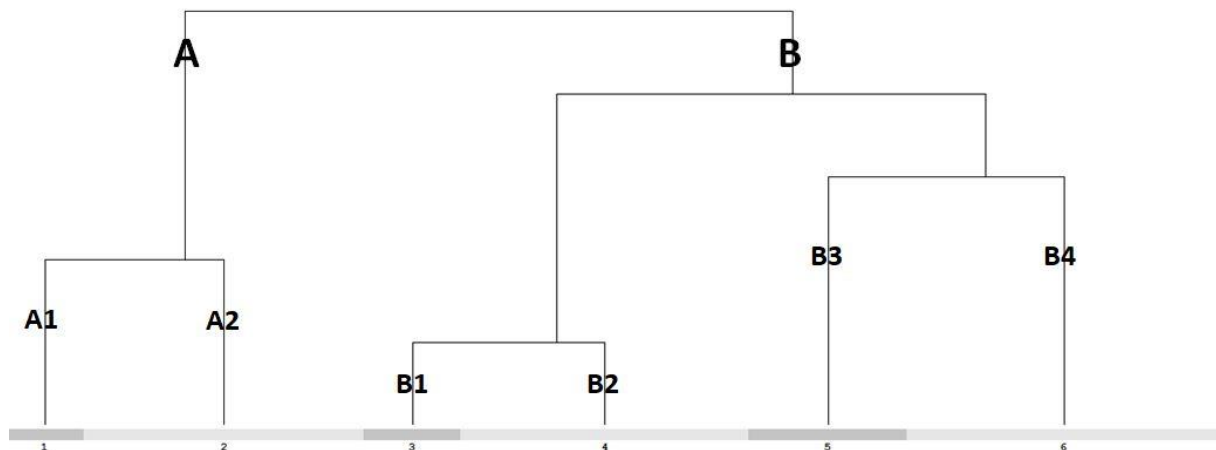
Tableau I : Ventilation du nombre de relevés analysés par région

Cantal	monts Dore	Cézallier
72	71	2

3.1.2 Résultats analytiques

3.1.2.1 Résultats de l'analyse de classification

L'analyse de classification Twinspan modifiée (MTC - Roleček *et al.*, 2009) a permis de différencier six clusters répartis en deux ensembles principaux (Fig. 39). Ces résultats constituent la base de l'individualisation des associations végétales et de leurs sous-unités avec lesquelles les clusters obtenus sont mis en correspondance. L'ensemble représenté par la branche A correspond à une association secondaire et pionnière (*Selino vulgaris-Cytisetum oromediteranei* Billy 1997 ex Thébaud, C.Roux, Bernard et Delcoigne 2014 *stat. nov. prov.*) liée au pastoralisme extensif de l'étage montagnard. Cet ensemble est relativement riche en espèces reliques. Le cluster A.1 (*Silene-Cytisetum laserpitietosum* Billy 1997 ex Thébaud, C.Roux, Bernard et Delcoigne 2014 *comb. nov. prov.*) comprend les prémanteaux orophiles mésophiles acidiclins héliothermophiles et/ou xéroclinophiles en dynamique vers la hêtraie et différenciés par l'abondance d'espèces de lisières supérieures (*Calamagrostion*) et d'ourlets. Le cluster A.2 (*Silene-Cytisetum typicum**) quant à lui représente les prémanteaux jeunes colonisant les estives à pression pastorale déficitaire. L'ensemble représenté par la branche B cadre le *Teucrio-Cytisetum* Coquillard 1993 ex Thébaud *et al.*, 2014, formation primaire ou non, principalement dense, mature, spécifiquement pauvre. Le cluster B.1 se rapporte au *Teucrio-Cytisetum typicum*, genêtiers matures et/ou de stations rocheuses squelettiques et sèches (corniches, blocs...), alors que le B.2 (*Teucrio-Cytisetum senecietosum cacaliastri* var. à *Calluna vulgaris*) rend compte des genêtiers plus évolués, sénescents ou dégradés, sur des sols plus ou moins épais et souvent proches de la lisière supérieure. Cette variante pourrait correspondre à un stade d'abandon et de maturation de A.1 à l'étage montagnard supérieur. Enfin, les formations B.3 et B.4 (*Teucrio-Cytisetum senecietosum cacaliastri subass. nov. prov.*) illustrent les stations les plus alticoles et principalement subalpines. Le cluster B.4, (var. typique*) hygroclinophile et/ou aérohygrophile se différencie par une plus grande richesse en espèces des mégaphorbaies subalpines.



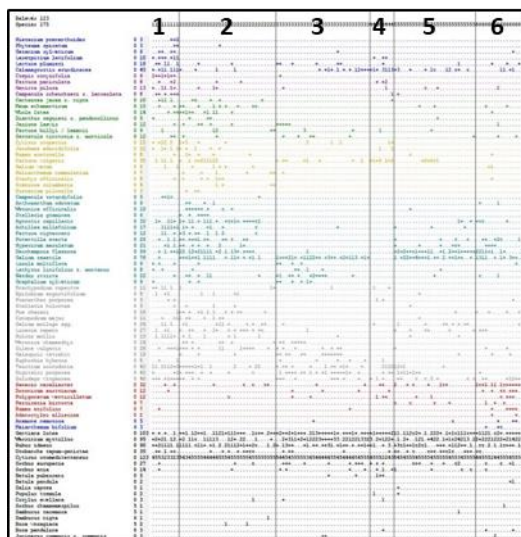


Figure 39 : Haut : dendrogramme issu de l'analyse de classification Twinspan modifiée (MTC - Roleček et al., 2009) portant sur 123 relevés et 175 espèces (analyse en présence-absence ; indice de similarité = inertie totale. A et B représentent les branches, alors que les clusters, numérotés de 1 à 6 en bas du schéma, représentent les syntaxons. Bas : Tableau JUICE diagonalisé volontairement réduit pour donner une vue d'ensemble de la dispersion relevés/espèces après diagonalisation du tableau JUICE, issu de la même analyse numérique. Les traits verticaux séparent les différents clusters identifiés en syntaxons. 1, *Silene-Cytisetum laserpitietosum*.; 2, *Silene-Cytisetum typicum* ; 3, *Teucrio-Cytisetum typicum*; 4, *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Calluna vulgaris*; 5, *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Avenella flexuosa* ; 6, *Teucrio-Cytisetum senecietosum*.

3.1.2.2 Résultats des analyses factorielles d'ordination ; correspondance entre communautés et variables écologiques

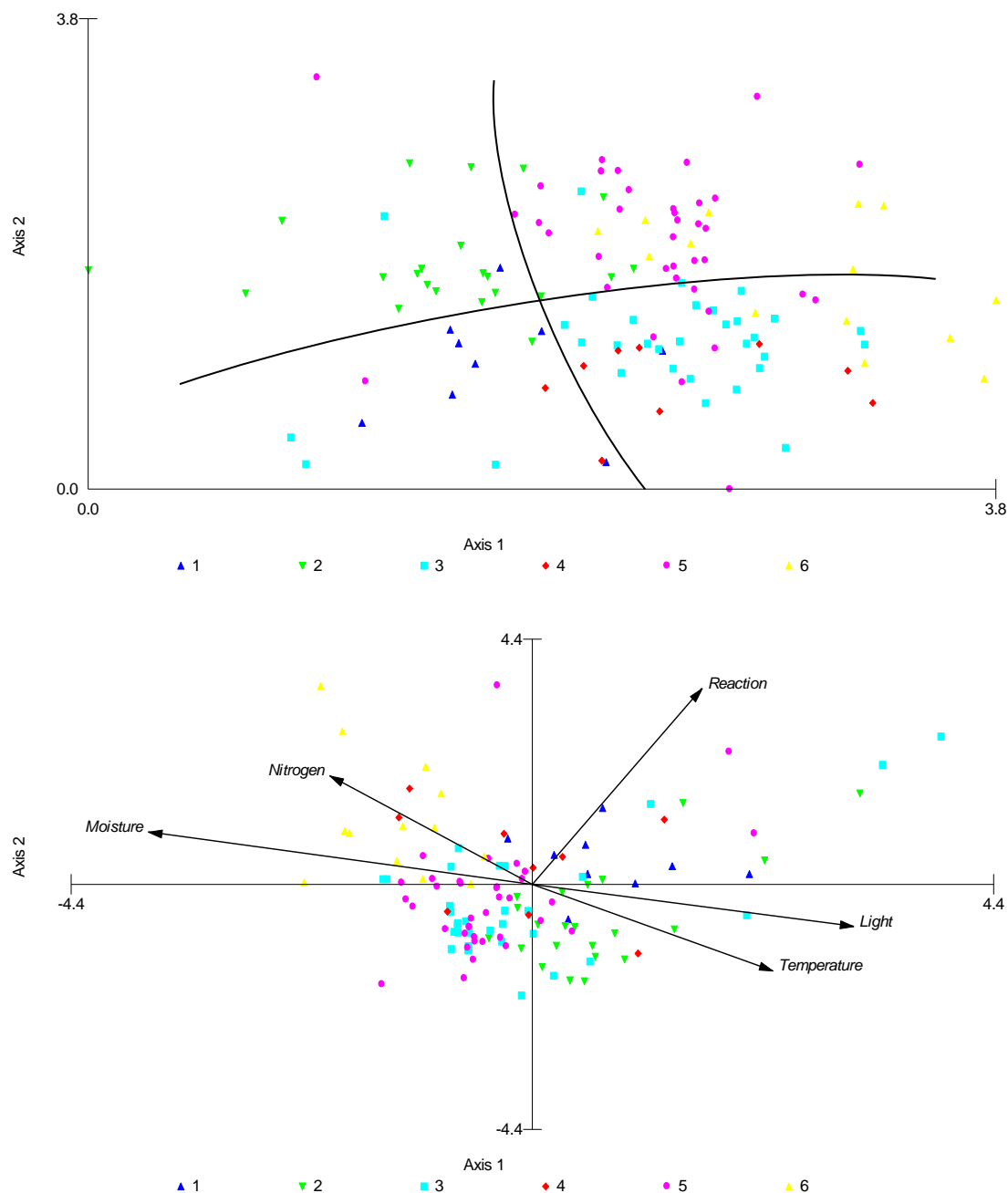
Une première analyse globale d'ordination de type DCA (123 relevés et 175 espèces) a été réalisée (Fig. 40, Haut). Les valeurs propres des axes 1 et 2 sont respectivement 0.416 et 0.312. Cette exploration montre une nette distinction le long du premier axe entre les clusters A et B selon un gradient d'altitude : les espèces (variables non figurées) subalpines des mégaphorbaies présentes en B s'opposent à celles plus amphitolérantes, notamment d'estive. On observe, sur l'axe 2, une autre scission entre infra-syntaxons. Les clusters 1, 3 et 4 se regroupent dans les pôles inférieurs riches en espèces de lisière, d'ourlet et de lande, montrant ainsi une certaine proximité physique ou dynamique avec l'écotone forestier. Le pôle supérieur est, à l'inverse, plus riche en espèces de milieux extrasylvatiques ou de dynamique pionnière et concentre les clusters 2, 5. Le cluster 6 est intermédiaire du fait de sa richesse en espèces des mégaphorbaies.

Une seconde analyse globale en CCA a été effectuée sur les mêmes données (Fig. 40, Bas). Les valeurs propres des axes 1, 2 et 3 sont respectivement de 0.322, 0.222 et 0.203. L'axe 1 est très nettement discriminé par la lumière, la température et l'humidité et dans une moindre mesure la trophie (azote). L'axe 2 rend compte de la réaction acido-basique du substrat. L'axe 3 n'apporte guère d'informations supplémentaires si ce n'est le positionnement de certains relevés au sein des groupements, et ne sera pas présenté ici.

Notons que ces formations sont globalement pauvres en espèces, chacune d'elles porte donc un poids important dans la cartographie factorielle. Cela explique le relatif éparpillement des relevés des différents groupements et pourquoi quelques relevés peuvent paraître excentrés du barycentre de leur cluster alors qu'ils s'intègrent parfaitement dans le tableau phytosociologique.

La figure montre nettement une scission entre les syntaxons des associations A (clusters 1 et 2) et B (clusters 3 à 6), hormis pour le cluster 2 qui est central et plus compliqué à interpréter en l'état. Le vecteur de lumière rend compte du degré d'ouverture du couvert, regroupant les formations du *Silene-Cytisetum* dans sa partie positive avec de nombreuses espèces reliques de pelouses et de lisières. Idem pour le vecteur de température qui révèle son caractère moins alticole. Le cluster 1 se cantonne au pôle peu acide et relativement chaud et physionomiquement ouvert, alors que le cluster 2 semble davantage acide, thermophile et pionnier. A l'inverse, les formations du *Teucrio-Cytisetum* se distinguent par une plus grande humidité due à la prise d'altitude. Le vecteur trophique (Nitrogen) semble ici refléter une importante litière qui a tendance à s'accumuler abondamment dans les formations denses. Rappelons que le genêt purgatif est une fabacée capable

par symbiose (nodosités) de fixer l'azote atmosphérique. Aussi, il faut interpréter certains facteurs dans leur ensemble pour comprendre leurs influences réelles. Ainsi, l'importante litière associée à un mésoclimat montagnard d'adret (fonte rapide de la neige) sur un substrat plus ou moins rocheux enrobé dans de la matière fine organo-minérale favorise une réserve utile en eau et en nutriments favorable aux espèces de mégaphorbaie, c'est pourquoi le cluster 6 semble le plus lié au pôle humide et riche. Les clusters 3, 4 et 5 sont assez peu individualisés sur la représentation cartographique de CCA.



Vector scalina: 4.09

Figure 40 : Analyse d'ordination globale des communautés de l'alliance du *Cytisium oromediterranei* des montagnes ouest volcaniques du Massif central réalisée sur 123 relevés et 175 taxons, en présence-absence. Haut : Analyses factorielles en DCA, présentant la projection sur le plan factoriel des points relevés selon les axes 1 et 2 (valeurs propres respectivement 0.416 et 0.312). Bas : Analyse canonique des correspondances (CCA), projection sur le plan factoriel des points relevés selon les axes 1 et 2 (valeurs propres respectivement 0.322 et 0.222) ; principales variables écologiques représentées sous forme de flèches vectorielles ; relevés regroupés par associations végétales : 1. *Silene-Cytisetum laserpitiosum* ; 2. *Silene-Cytisetum typicum* ; 3. *Teucro-Cytisetum typicum* ; 4. *Teucro-Cytisetum senecietosum* var. à *Calluna vulgaris* ; 5. *Teucro-Cytisetum senecietosum* var. à *Avenella flexuosa* ; 6. *Teucro-Cytisetum senecietosum*.

3.1.2.3 Comparaison des communautés par l'analyse des variables

De manière générale, les formations à genêt purgatif se cantonnent aux adrets compris entre le quart sud-est à sud-ouest (65% des relevés). Les deux sous-associations du *Silene-Cytisetum* le sont presque exclusivement, alors que le *Teucrio-Cytisetum* semble plus ubiquiste. Ainsi, le *Teucrio-Cytisetum typicum* (3) peut s'étendre jusqu'à l'ubac et domine à l'est. On observe aussi que les genêtières purgatives s'orientent préférentiellement sur les versants d'abris à l'est, thermoxérophiles, plutôt que sur les versants ouest plus arrosés et venteux. Rappelons que le phénomène de « coin d'air mort » (§1.7.1) crée un microclimat plus thermophile qui semble à l'origine de certaines genêtières d'exposition à priori défavorable (ouest, nord). (Fig. 41)

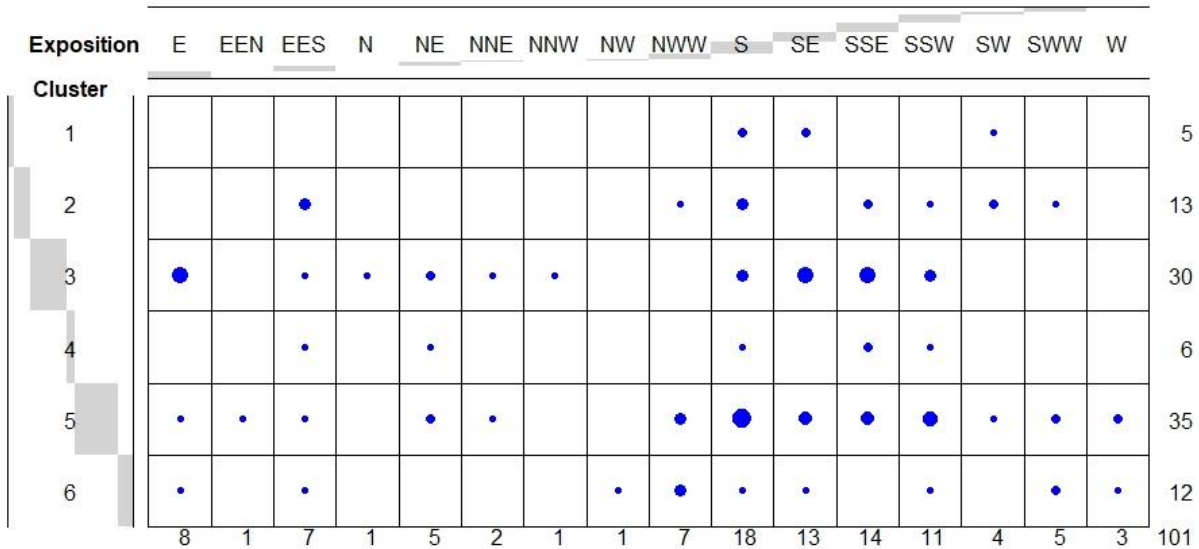


Figure 41 : Diagramme de répartition des expositions de 101 relevés par cluster. La surface des points est proportionnelle à la fréquence des données. 1. *Silene-Cytisetum laserpitietosum* ; 2. *Silene-Cytisetum typicum* ; 3. *Teucrio-Cytisetum typicum* ; 4. *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Calluna vulgaris* ; 5. *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Avenella flexuosa* ; 6. *Teucrio-Cytisetum senecietosum*.

L'analyse comparative met en évidence une disparité dans le pouvoir explicatif des variables écologiques (Fig. 42 & 43) vis-à-vis de la caractérisation synécologique des clusters. Ainsi, les variables les plus discriminantes pour la répartition des genêtières sont : la température, l'humidité et surtout l'altitude. La pente ne semble aucunement influencer la distribution des différents groupements.

Les tests de comparaison (ANOVA ; risque alpha de 5%) effectués montrent pour les variables de température et d'humidité que les clusters 1, 2 et 5 sont significativement plus chauds et secs que le 6. Aussi, le test détecte une différence entre le cluster 2 qui est plus sec que 3.

Pour les altitudes la figure 43 montre une nette scission entre les clusters 1, 2 et 3 d'une part et 4, 5 et 6 de l'autre. Le test réagit significativement, prouvant que les clusters montagnards 2 et 3 sont moins alticoles que les 4, 5 et 6 qui accèdent au subalpin inférieur. L'absence de différence significative entre les clusters 1, 5 et 6 s'explique par un relevé « outlier » (1530 m) du premier cluster. Somme toute, les tests statistiques confirment l'interprétation visuelle montrant une franche opposition entre les groupes strictement montagnards et les autres plus alticoles. De plus, les tests affirment que les conditions pour le cluster 6 sont plus froides, humides et eutrophes que pour l'ensemble des autres formations. D'autre part, les calculs attestent que le cluster 3 est plus acidiphile que les clusters 1 et 6. Notons que les clusters 3 et 5 subissent en moyenne les modalités les plus acides. Enfin, la variable lumière (light) semble mettre en évidence un gradient de fermeture progressif, bien que non significatif, au sein de la branche B, c'est-à-dire entre les clusters 3, 4, 5 et 6.

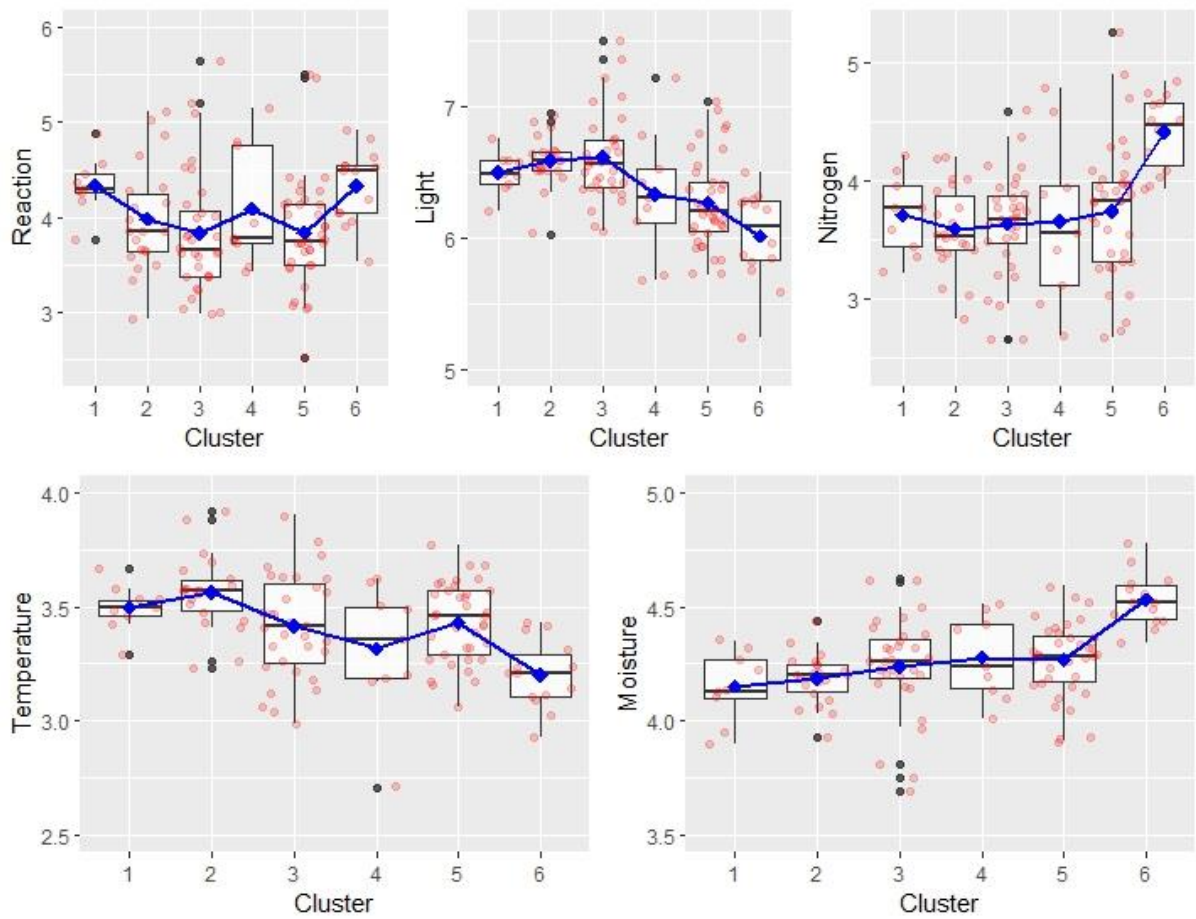


Figure 42 : Valeurs des coefficients écologiques ((EIVE) 1.0. (de Dengler et al. 2023)) par cluster. Les n° de cluster sont les mêmes que ceux de la figure 46.

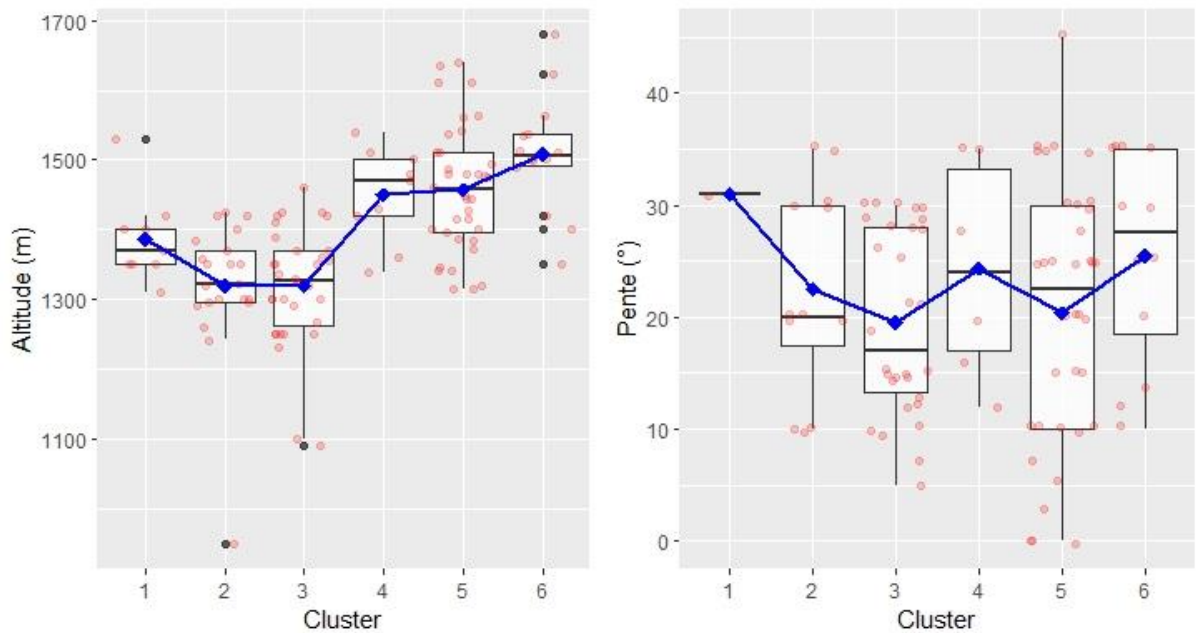


Figure 43 : Synthèse des altitudes et pentes par cluster portant sur 123 relevés. Les n° de cluster sont les mêmes que ceux de la figure 46.

3.1.2.4 Résultats phytosociologiques

Ces communautés relèvent de la classe des *Cytisetea scopario-striati* Rivas-Martinez 1975 rassemblant des fourrés à genêt ouest-méditerranéens et de l'alliance méditerranéo-montagnarde du *Cytisium oromediterranei* Tüxen in Tüxen & Oberdorfer 1958. Le tableau synoptique des associations et sous-associations est disponible en annexe 12 ainsi que la classification synsystématique des communautés. Le Tableau II rend compte de l'occurrence des syntaxons par massif.

Les genêtères secondaires pionnières et riches de l'étage montagnard (Branche A) :

1. Association à *Silene enflée* et *Genêt purgatif* : *Silene vulgaris-Cytisetum oromediterranei* (Billy ex Thébaud, C.Roux, Bernard et Delcoigne 2014) *ass. nov. et stat. nov. prov. hoc loco.* [= *Teucrio scorodoniae-Cytisetum purgantis galletosum saxatilis* Billy ex Thébaud, C.Roux, Bernard & Delcoigne 2014. *Holotypus* : relevé F74, p. 256 (Thébaud *et al.*, 2014). Clusters 1 et 2. Matériel : 31 relevés.

Cette communauté montagnarde forme les prémanteaux secondaires recolonisant les estives sous-paturées en voie de maturation ; de fait elle est encore relativement riche en taxons herbacés. Le genêt étant un refus pour le bétail cette association peut rester stable tant que l'entretien s'opère. Toutefois, une déprise pastorale conduit à terme aux syntaxons plus matures et paucispécifiques du *Teucrio-Cytisetum*. Le *Silene-Cytisetum* est généralement moyennement dense, avec une litière non abondante, ce qui permet le maintien d'un corpus non négligeable d'herbacées relictuelles de la pelouse extérieure, de lande ou des pionnières des lisières alentours. Le substrat est un Andosol plus ou moins profond pouvant avoir quelques blocs, mais n'en est jamais exclusivement constitué. Bien qu'il s'agisse de formations transitoires, en dynamique, celle-ci peut être drastiquement ralentie par l'action du bétail, qui en défonçant régulièrement le couvert crée un rajeunissement du milieu. De même, la compétition entre le genêt et les phanérophytes pionniers (*Sorbus*, *Betula*, *Rosa*...) est limitée ; les conditions internes (ombre, litière) devant inhiber les capacités germinatives. Doche (1982) signale la présence de la callune dans les genêtères comme un indice d'évolution régressive. Deux sous-associations sont très nettement individualisées.

Cortège signalétique : *Silene vulgaris* (32.6), *Linaria repens* (25.1), *Holcus mollis* (39.0), *Festuca nigrescens/microphylla* (44.5), *Agrostis capillaris* (57.0), *Viola lutea* (45.3), *Meum athamanticum* (39.0), *Achillea millefolium* (44.6), *Conopodium majus* (41.8), *Cytisium oromediterraneus*. Le reste du cortège est constitué de taxons d'ourlets et de lisières acidiphiles (surtout *Melampyro-Holcetea* et *Epilobietea*) : *Digitalis purpurea*, *Epilobium angustifolium*, *Teucrium scorodonia*, *Holcus mollis* et des taxons pelousaires acidiphiles montagnards des *Nardetea* ou des *Genisito pilosae-Callunetea* comme *Hypericum maculatum*, *Poa chaixii*, *Potentilla erecta*, *Gentiana lutea*, *Galium saxatile*, *Avenella flexuosa* et *Vaccinium myrtillus*.

1.1 *laserpitietosum latifolii* (Billy 1997 ex Thébaud, C.Roux, Bernard et Delcoigne 2014) *comb. nov. prov. hoc loco* (9 relevés ; cluster 1) [= *Teucrio scorodoniae-Cytisetum purgantis laserpitietosum latifolii* Billy ex Thébaud, C. Roux, Bernard et Delcoigne 2014]. *Lectotypes* : relevé 823 du tableau XII (Billy, 1997).

Cette sous-association thermophile et xérocline est la plus riche et la mieux caractérisée. Les conditions y sont mésiques, mésotrophes et peu acides, principalement sur des sols profonds dus aux concavités du relief (Billy, 1997) et toujours en adret. Il s'agit d'un stade de maturation peu avancé qui se développe dans le contexte d'un pâturage extensif ou d'abandon pastoral récent (après brûlis ?). Les altitudes relevées correspondent assez étroitement à celle de la lisière supérieure forestière, celle-ci exerce-t-elle une influence de domination sur le cortège ? Cette sous-association n'a été observée que dans la partie septentrionale et de moindre altitude du massif des monts Dore, montagnes de la croix Morand et de l'Aiguiller. Elle serait à chercher dans le Cantal. Elle se différencie par l'abondance ou l'optimum d'espèces de lisière orophiles héliothermophiles du *Calamagrostion arundinaceae* Luquet 1926 comme *Calamagrostis arundinaceae* (27.4), *Laserpitium latifolium* (68.2), *Hieracium prenanthoides* (54.2), *Lactuca plumieri* (36.6) *Geranium sylvaticum* (49.7), et xéroclines du *Galio-Patzkeion* Foucault 2016, comme *Crepis conizyfolia* (91.3), *Jacobaea adonidifolia* (46.5), *Campanula scheuchzeri s. lanceolata* (69.9) et d'autres taxons pelousaires ou prairiaux comme *Centaurea nigra* (42.3), *Phyteuma spicatum* (38.5), *Brachypodium rupestre* (50.1), *Campanula rotundifolia* (60.4) ou de lisière forestière *Epilobium angustifolium* (37.9), *Holcus mollis* (56.2). *Galium saxatile* y est quasi absent.

1.2 *typicum* (22 relevés ; cluster 2) (Fig. 44.A). Il s'agit de la formation la plus représentée spatialement. Elle est largement répandue dans les estives des monts Dore et du Cantal. Elle correspond à des expositions et des pentes plus variées, moins exclusivement méridionales que dans la précédente. Ce syntaxon traduit un stade de colonisation des estives dans un contexte de pâturage extensif. Il se développe au détriment des herbages ou éventuellement des landes. Les taxons de pelouses et d'ourlets trouvent ici leurs fréquences les plus importantes, favorisées par une colonisation relativement récente : *Helianthemum nummularium* (20.6), *Betonica officinalis* (26.6), *Veronica officinalis* (57.9), *Stellaria graminea* (48.8), *Poa chaixii* (40.4), *Nardus stricta*

(10.6), *Galium saxatile* (19.7). Une strate arbustive claire arrive parfois à percer : *Rosa vosgesiaca* (27.7), *Sorbus*. Deux variantes se singularisent. L'une à *Nardus stricta* et *Calluna vulgaris*, enrichie en taxons pelousaire et landicole ; incluant une forme thermo-acidiphile à *Jacobea adonidifolia* et une forme typique, l'autre variante plus évoluée à *Orobanche rapum-genisate* où les pelousaires et les landicoles se raréfient (callune, myrtille).

Commentaire : Donner un statut d'association à un groupement secondaire que l'on peut considérer comme une étape transitoire fugace pourrait être discuté. Or, il n'en est rien : i) ces genêtères sont relativement stables et leur dynamique est bloquée par le pâturage extensif (critère de stabilité) et ii), elles sont très répandues dans les estives de la zone étudiée (critère de répétitivité). Billy (1997) regroupait ces deux syntaxons avec l'association suivante. Or nos résultats statistiques (Fig. 41) montrent qu'elles s'en différencient très nettement et ne peuvent lui être incorporées. Cette association peut être considérée comme le synvicariant nordique de la sous-association *epilobietosum angustifolii* du *Plantagini holostei-Cytisetum oromediterranei* (Arnaud *et al.* 1983), communauté secondaire dépendant des pratiques pastorales. Il existe un unique relevé de Doche (1982) (rel. 44, tab III p.41) réalisé à 1200 m sur l'Aubrac qui semble pouvoir se rattacher à la sous-association *typicum*.

Le *Sileno-Cytisetum* montre une réelle proximité avec les ourlets du *Laserpitio latifoli-Teucrienion scorodoniae* Royer 2015 (*Knaution dipsacifoliae* Julve ex Dengler et Boch 2008) notamment l'association *Centaureo nigrae-Vicietum orobi laserpitietosum latifolii* Billy ex Royer 2015 ou le groupement à Brachypode rupestre (§ 3.2) avec qui la sous-association *laserpitietosum* doit pouvoir être liée dynamiquement (étude à poursuivre).



Figure 44 : genêtères purgatives cantaliennes. A : *Silene-Cytisetum typicum*, 1295 m (485ML - Malbo). B : *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Calluna*, 1339 m (130ML - Saint-Paul-de-Salers) C : *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. à *Avenella*, 1426 m (451ML - Le Falgoux). Rel. 451ML. D : *Teucrio-Cytisetum senecietosum* var. typique, primaire sur tablier de blocs périglaciaire camouflé, 1680 m (428ML – Lavigerie).

Les genêtères pauvres et matures montagnardo-subalpines (Branche B) :

2. Association à Germandrée scorodaine et Genêt purgatif : *Teucrio scorodoniae-Cytisetum oromediterranei* Coquillard 1993 ex Thébaud, C.Roux, Bernard et Delcoigne 2014 *nom mut. nov. hoc loco* (art. 45) [= *Teucrio scorodoniae-Cytisetum purgantis* Coquillard 1993 ex Thébaud C. Roux Bernard et Delcoigne 2014]. *Holotypus* : relevé 284 (Coquillard, 1993). Clusters 3 à 6. Matériel : 92 relevés.

Il s'agit d'une association de genêtère paucispécifique relativement stable et en état avancé de maturation. Les genêts purgatifs inhibent le développement des espèces herbacées par concurrence pour la lumière et par

constitution d'une litière épaisse peu décomposée formant barrière pour leur germination. Elle peut correspondre en fonction du substrat soit à un groupement secondaire (abandon pastoral, mise en défens) soit à des groupements climaciques stationnels (blocs, corniches), notamment pour la sous-association alticole *senecietosum cacaliastris*. On la retrouve de l'étage montagnard jusqu'au subalpin inférieur, quelques fois même plus haut. Aussi, cette formation est le plus souvent dense et fermée. C'est pourquoi la strate herbacée y est généralement très pauvre ! C'est une caractéristique qui la différencie du *Silene-Cytisetum*.

Cortège signalétique : De caractère paucispécifique elle a peu de taxons différentiels par rapport à l'association précédente : *Cytisus oromediterraneus* (opt.), *Galium saxatile* (11.7), *Galeopsis tetrahit* (11.3), *Calamagrostis arundinaceae* (6.1), *Senecio cacaliaster* (31.3). *Vaccinium myrtillus* (19.2) est plus abondante que précédemment.

Deux sous-associations et plusieurs variantes ont été distinguées :

2.1 typicum (32 relevés ; cluster 3). Il s'agit de fourrés de l'étage montagnard moyen à supérieur des versants d'abris, nettement plus thermophiles et nitroclinophiles que l'autre sous-association *senecietosum cacaliastris*. Cette formation n'atteint pas l'étage subalpin. Bien que dans certains cas ce syntaxon fasse office de tête de minoriserie* édaphoxérophile en contexte squelettique (Coquillard, 1993), il ne faut pas exclure toutefois l'existence dans ce syntaxon de stades très pauvres correspondant à un état de maturation avancé post *Silene vulgaris-Cytisetum typicum*. Cette sous-association est présente à la fois dans les monts Dore et le Cantal. Le cortège se construit autour d'espèces des lisières des *Epilobietea* strictement montagnardes : *Galeopsis tetrahit* (32.1), *Gnaphalium sylvaticum* (22.2), *Digitalis purpurea* (14.5). Les taxons d'ourlets (*Melampyro-Holcetea*) et de pelouses (*Nardetea*) se sont considérablement raréfiés, notamment *Teucrium scorodonia* (6.1) et *Nardus stricta* (29.4). Notons la quasi-absence d'*Avenella flexuosa*.

Deux variantes se distinguent, peut-être trois : la première, à *Nardus stricta*, *Serratula tinctoria* et *Calluna vulgaris*. La seconde, avec le *Calamagrostis* où les pelousaires sont quasiment absentes, faisant transition vers la sous-association *senecietosum cacaliastris*. Enfin, sur la base de deux relevés, donc sous réserve d'un échantillonnage ultérieur plus conséquent, une troisième variante plus neutro-thermophile à *Scabiosa columbaria* et *Brachypodium rupestre* semble se dessiner sur les basaltes d'adret où les acidiphiles sont quasiment absentes.

2.2 senecietosum cacaliastris subass. nov. prov. hoc loco. Cette sous-association paucispécifique forme un groupe à optimum subalpin, qui ne peut être rattaché aux genêtiers riches du *Selino-Cytisetum* par des liens syngénétiques comme pour la sous-association *typicum*. Les espèces thermophiles *Cytisus scoparius*, *Digitalis purpurea* et *Teucrium scorodonia* en sont absentes. *Senecio cacaliaster* y est à son optimum et avec *Persicaria bistorta* (27.0) ils témoignent de la fraîcheur du climat. En contexte édapho-xérophile (croupe, blocs), le *senecietosum cacaliastris* représente le stade terminal d'une minoriserie. Après sénescence d'individus, d'autres genêts non soumis à la concurrence des phanérophytes s'implantent et recolonisent les plages d'herbacées, qui se sont constituées. En contexte mésophile d'estive, la myrtille peut parvenir à concurrencer physionomiquement le genêt lors du stade de sénescence (Col de Combe Nègre, Puy de Bataillouse, Cirque de la Jordanne, Puy de Peyre-Arse) (Fig. 45) : s'ensuit l'implantation plus ou moins éparse des sorbiers (*Aria edulis*, *Sorbus aucuparia*) (Col de Combe Nègre, Puy de Bataillouse, Puy de la Tourte) (§3.1.2.5).

Trois groupes de synécologie différente peuvent toutefois se différencier :

La variante 1, à *Calluna vulgaris* (9 relevés ; cluster 4) (Fig. 44.B) qui est la plus proche du *Sileno-Cytisetum laserpitietosum* qu'elle semble relayer en altitude (forme pionnière) ou être un état postérieur de maturation dans un contexte d'abandon pastoral très ancien. Cette formation originale au caractère thermocline est une végétation dense où, entre les pieds de genêts, le *Calamagrostis* faux-roseau, la fétuque paniculée et la callune peuvent prendre une grande place. Il faut souligner la quasi-absence de plantes pelousaires alors que les espèces d'ourlets se font encore voir ainsi que les rares phanérophytes capables de résister à cette altitude (sorbiers, Bouleaux). Le sol y est développé et les conditions sont mésophiles. Le couvert est relativement peu dense, du fait de la sénescence du genêt et/ou de l'action du bétail. Les ouvertures apportent de la lumière, la minéralisation de la litière s'enclenche, ce qui favorise l'apparition d'un sol riche. Il se peut qu'il s'agisse du stade de sénescence de la sous-association. Son cortège signalétique est : *Calamagrostis arundinaceae* (37.3), *Patzkea paniculata* (29.3), *Calluna vulgaris* (40.7), *Prenanthes purpurea* (21.7), *Polygonum verticillatum* (27.0). *Avenella flexuosa* et *Galium saxatile* sont totalement absentes ! Cette variante apparaît comme étant plus fréquente dans les monts Dore, puisque seulement deux relevés sur l'ensemble de notre échantillon proviennent du Cantal.

La variante 2, à *Avenella flexuosa* (37 relevés ; cluster 5) (Fig. 44.C) est une genêtier dense et pauvre des étages montagnard supérieur et subalpin inférieur des adrets cantaliens, que ce soit sur blocs rocheux partiellement ou totalement enfouis sous une litière épaisse, ou sur sol d'estive constitué. Floristiquement, elle se différencie

notamment par la fréquence élevée de *Avenella flexuosa* (29.1) et celle relativement faible des espèces de mégaphorbaie. *Galium mollugo* et *Linaria repens* font figurent d'espèces différentielles vis-à-vis des autres syntaxons du *senecietosum cacaliastri*. A noter qu'*Orobanche rapum-genistae* (22.6) semble y être à son optimum. Ainsi, trois formes se distinguent, l'une plus xérique à *Digitalis purpurea* et *Teucrium scorodonia* semblant relayer la sous-association *typicum* en altitude, une autre à callune, la plus pauvre et peut être liée à la sénescence de cette formation et enfin, la troisième, à *Hypericum maculatum*, qui est plus herbagère et semble être le maillon post-pionnier, mais où *Solidago virgaurea* se fait très rare.

La variante 3, type (14 relevés ; cluster 6) (Fig. 44.D) à caractère hygroclinophile et/ou aérohygrophile est la plus alticole (jusqu'à 1700m, Sagne de Porc, Plomb du Cantal, Peyre-Arse), on la retrouve sur les adrets de l'étage subalpin inférieur, préférentiellement sur les secteurs bénéficiant d'une eau de fusion assez importante au printemps (contre-bas de congères, suintement). Le climat supra-sylvatique apporte d'importantes précipitations directes ou indirectes (brouillard). Cette formation souvent très dense, voire impénétrable (>70%) repose généralement sur un sol d'estive ou supporté par de gros blocs enrobés de matières fines et recouverts d'une épaisse litière. Cela permet une bonne rétention hydrique et trophique. Ces conditions sélectionnent une flore spécialisée, principalement originaire des mégaphorbaies telles que *Senecio cacaliaster* (55.1), *Doronicum austriacum* (54.8), *Rumex arifolius* (52.9), *Adenostyles alliariae* (34.9), et des sciaphiles aérohygrophiles telles que *Anemone nemorosa* (24.5), *Maianthemum bifolium* (30.9). *Solidago virgaurea* y a une fréquence bien plus élevée que dans la variante précédente alors que l'orobanche du genêt est absente. *Rosa pendulina*, *Juniperus communis* (*communis* et *nana*) ou encore *Chamaemespilus alpina*, *Sorbus aucuparia*, et *Aria edulis* peuvent localement être présents. Parallèlement, on assiste à une raréfaction des espèces d'ourlets des *Melampyro-Holcetea*. Une forme à *Potentilla erecta* et *Avenella flexuosa* se distingue par un reliquat d'espèces pelousaires.

Commentaire : De cette association qui a été initialement décrite des monts Dore, et non de la chaîne des Puys, comme cité dans le Hénaff *et al.* 2021b (le genêt purgatif est absent de la chaîne des Puys), il existe un unique relevé de Doche (1982) (rel. 43, tab III p.41) réalisé à 1200 m d'altitude sur l'Aubrac et qui semble pouvoir se rattacher à la sous-association *typicum*. Enfin, au vu de ce relevé, il est vraisemblable que le groupement à *Sorbus aria* et *Cytisus purgans* décrit par de Foucault du même massif (1987, tab. 12), se rattache davantage au *Teucrio-Cytisetum typicum* qu'au *Plantagini-Cytisetum* ; contrairement à ce qui est suggéré dans le PVF2 (de Foucault *et al.* 2014). Un riche relevé de la variante à *Avenella* du *senecietosum cacaliastri*, réalisé par Quézel & Rioux (1954), pourrait correspondre à une forme pionnière des genêtiers subalpines sur estive synvicariant subalpin du *Silene-Cytisetum typicum*. D'autre part, un relevé (421ML) provenant de la face sud de la Sagne de porc (à 1660 m), non intégré à l'analyse, représente une genêtère primaire et ouverte (sénescence ?) sur blocs enrobés de litière, dont la composition correspond à celle de la variante à callune.

Plusieurs relevés d'ourlets ont été effectués dans les cordons herbacés encore libres sillonnant entre ces denses genêtiers. Ils révèlent la relation dynamique de celles-ci avec le *Poo chaixii-Euphorbietum hybernae hypericetosum maculati* subass. nov. prov décrit plus loin (§3.2). De plus, en contexte particulièrement thermophile et sur substrat peu acide de type basalte, la variante à callune est capable de coloniser les ourlets du groupement à *Brachypode rupestre* (Suc de Rond) (§ 3.2). Enfin, pour la sous-association typique, une certaine proximité physique avec les fougères aigle de l'étage montagnard moyen (*Holco mollis-Pteridum aquilini* Passarge 1994) (§3.2) a été constatée sans pour autant qu'un lien dynamique n'ait pu être formellement démontré (Les Chazes à Saint-Jaques-des-Blats) (étude à poursuivre).

Tableau II : Occurrence des différentes communautés végétales par massif. 1. *Sinene-Cytisetum* : 1.1 *laserpitietosum* et 1.2 *typicum* ; 2. *Teucrio-Cytisetum* : 2.1 *typicum* et 2.2 *senecietosum cacaliastri*.

n° association	1		2	
n° sous-association	1.1	1.2	2.1	2.2
Aubrac		?	?	
Cézalier		x	x	
monts Dore	X	X	X	x
monts du Cantal	?	X	x	X

3.1.2.5 Discussion et conclusion concernant les fourrés à genêt purgatif

Il est connu de longue date qu'il existe plusieurs déterminismes dans la syngénétique des formations à genêt purgatif d'Auvergne (Coquillard, 1993 ; Billy, 1997 ; Thébaud *et al.*, 2014a ; Thébaud & Roux 2018), jusqu'alors toutes rassemblées au sein du *Teucrio-Cytisetum*. Nos résultats nous conduisent à confirmer cette vision. Toutefois, l'organisation des genêtiers est complexe, car soumise à des influences multifactorielles. En

outre, une scission majeure s'opère entre les genêtiers strictement montagnards (*Silene-Cytisetum* et *Teucrio-Cytisetum typicum*) et celles dont l'optimum s'étale dans l'étage subalpin inférieur (*Teucrio-Cytisetum senecietosum*). Il serait trop simple de prendre ce critère isolément et de considérer les premières comme des formations secondaires et les secondes comme climaciques.

En effet, ce sont davantage les conditions de substrats qui influent sur l'aspect dynamique ; les sols squelettiques ou rocheux (corniche, blocs) engendrent des genêtiers pérennes ; les phanérophytes n'étant dans ces conditions pas suffisamment concurrentielles pour enclencher une dynamique progressive. Aussi, les nombreux tabliers de blocs subalpins d'origine périglaciaire, de nos jours camouflés sous une terre fine ou une litière épaisse, ne permettent ni l'implantation de la pelouse et encore moins celle du pâturage. Dans ces conditions, ces genêtiers primaires forment les têtes de minoriserie thermoxérophile, alors qu'un sol bien constitué d'estive sera plus favorable à la concurrence évolutive.

Notons que les formes primaires et secondaires peuvent se retrouver spatialement très proches et même être confondues dans un même ensemble comme par exemple dans le cirque de l'Alagnon. L'étude topographique est dans ce cas souvent nécessaire pour en définir les limites.

En condition secondaire, l'activité anthropozoogène provoque, selon la conduite du pâturage, une action d'émergence de la genêtier (abandon ou sous-exploitation pastorale), d'entretien (maintien de la pression pastorale) ou de dégradation (pression pastorale accrue).

Enfin, suivant le stade phénologique, la formation n'a pas la même traduction dynamico-écologique. En effet, le cortège floristique évolue parallèlement aux conditions internes d'une étape de maturation donnée. Ainsi en phase pionnière les reliquats d'estive résistent, alors que les formes matures, souvent très denses, sont paucispécifiques. En phase de sénescence le couvert s'ouvre en s'élevant, prenant même parfois un port « en corbeille ». Ici, ce sont les espèces de lisières qui y prennent place. Dans ce cas, la réalisation d'un relevé phytosociologique homogène est particulièrement délicate, puisque si le genêt est trop éclaté un véritable ourlet riche peut temporairement se constituer.

D'autre part, au fur et à mesure de l'évolution temporelle, on assiste généralement à une évolution spatiale. Les phases pionnières constituent des îlots plus ou moins proches au sein de l'estive. Puis plus la maturation s'opère plus ils se rejoignent pour former un ensemble plus ou moins vaste où, à terme, la genêtier finira par dépérir et s'ouvrir de l'intérieur.

Dès lors, soit la dynamique ligneuse s'engage en conditions secondaires, soit de jeunes plants de genêts peuvent venir cicatrifier la formation, l'entretenant indéfiniment. Plusieurs observations inédites provenant de l'étage subalpin cantalien montrent une curieuse dynamique de la myrtille formant une lande phagocytant les genêtiers sénescents du *Teucrio-Cytisetum senecietosum cacaliastri* variante à *Avenella flexuosa* en contexte pastoral non rocheux.

Celle-ci laisse supposer qu'à cet étage la genêtier peut être un préalable à la maturation de la lande à myrtille (*Genisto-Vaccinion*) sur adret. Cette espèce, qui supporte parfaitement l'ombre, y est compétitive et protégée du bétail. De plus, des sorbiers viennent ensuite piquer ces zones jusqu'à former de petits bosquets clairs (Fig. 45). Ces observations prouvent l'existence d'une dynamique à l'échelle séculaire vers le groupement à *Sorbus* (climax climacique du subalpin inférieur) variante à *Dactylis glomerata* (thermophile) ; reste à définir le rôle de la lande à myrtille dans celle-ci. Une approche dynamique pourrait être intéressante pour cerner dans quelle mesure la lande à myrtille puis les sorbiers prennent le pas sur la genêtier. En ce sens, la réalisation de Profils Socio-Écologiques Topostationnels (PSET, Thébaud *et al*, 2013) pourrait apporter des pistes de réponse intéressantes.

Cette même approche pourrait confirmer que le *Teucrio-Cytisetum typicum* peut éventuellement constituer un stade de maturation du *Selino-Cytisetum typicum* ; suivi par le *Teucrio-Cytisetum senecietosum* variante à *Calluna* qui pourrait être le stade de sénescence terminal de la formation. Certes, le recouvrement important des chaméphytes landicoles dans la variante à *Nardus* et *Calluna* du *Selino-Cytisetum typicum* laisserait à penser que la phase lande est antégenêtier, or de nombreuses observations tendent à montrer l'inverse (Fig. 45).

Aussi, il n'est pas impossible que la myrtille et la callune jouent un double rôle, dans la cicatrification et la maturation de la genêtier, puis dans sa phase de sénescence par jeu de concurrence interspécifique (étude à poursuivre).

Pourquoi n'y a-t-il pas pour le subalpin de stade pionnier synvicariant du *Silene-Cytisetum typicum*? En toute logique celui-ci doit exister en contexte secondaire, mais n'a pas fait l'objet de relevé. Son rattachement syntaxonomique au *senecietosum cacaliastri* ne serait que spéculation (étude à poursuivre). Aussi, compte tenu

des déterminismes du *Silene-Cytisetum laserpitietosum*, il est fort probable que celui-ci puisse être présent dans le Cantal.

Un schéma synthétique, issu de cette analyse, récapitule l'organisation des genêtiers purgatives de l'ouest volcanique (Fig. 46). Ainsi, nos résultats nous conduisent à confirmer les conclusions de Coquillard (1993) d'un *Cytisus oromediterraneus* à relative grande tolérance vis-à-vis du gradient d'humidité. Nos travaux nous incitent également fortement à adopter le point de vue de Billy (1997), sceptique quant au choix de Coquillard de choisir *Teucrium scorodonia* pour nommer son association (*Teucrio-Genistetum*). Cette espèce se révèle en effet être trop peu représentative de l'association et ne fait pas figure de différentielle vis-à-vis du nouveau *Silene-Cytisetum* ni même du *Plantagino-Cytisetum* d'Arnaud *et al.* (1983).

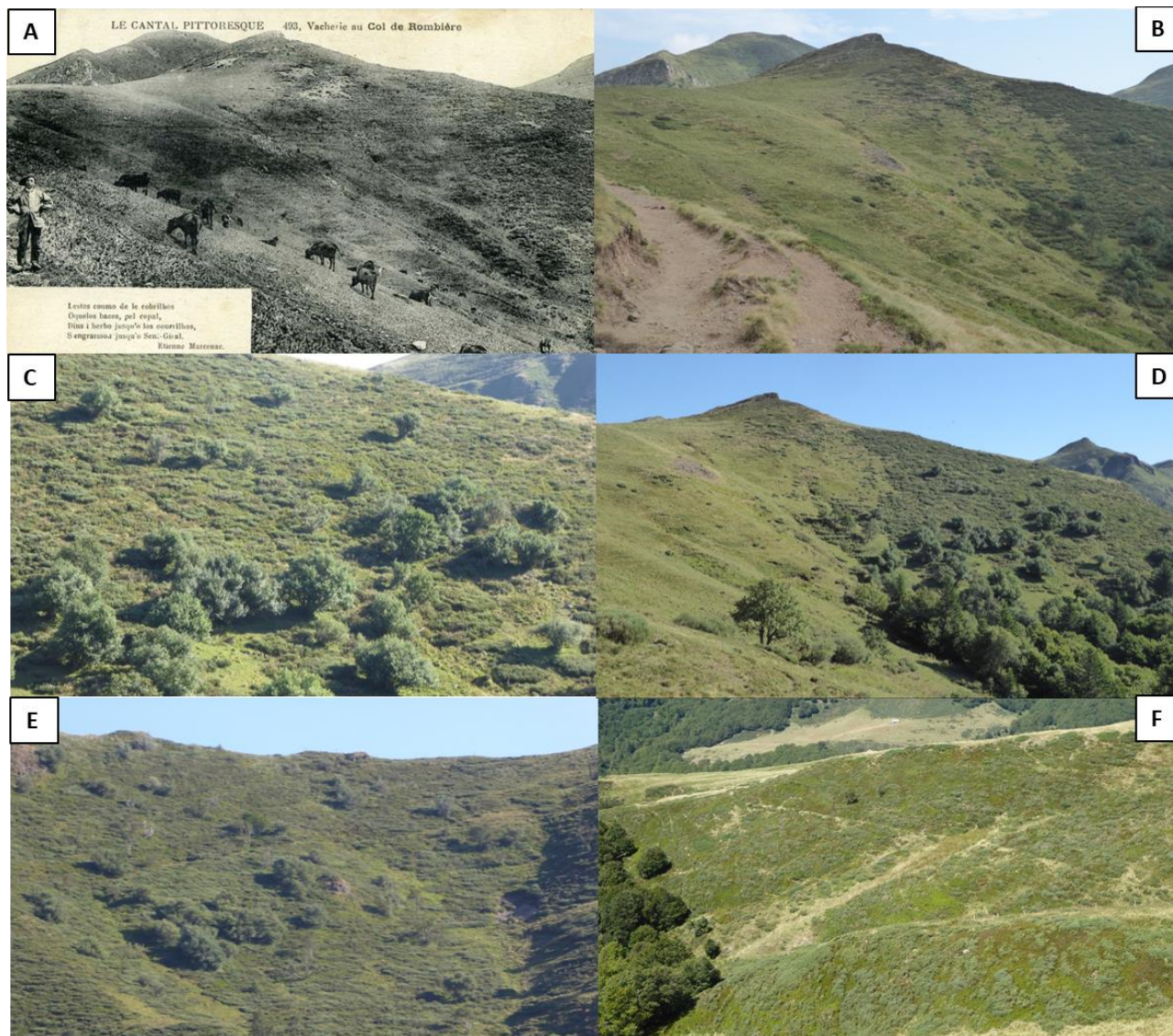


Figure 45 : Dynamique subalpine des genêtiers purgatives : A & B genêtier séculaire au Col de combe Nègre, entre 1500 m et 1580 m d'altitude (non de Col de Rombière comme cité sur la carte postale) (A) Carte postale de la fin 19^e-début 20^e siècle (Archives départementales du Cantal) ; (B) même zone photographiée en 2024 montrant une mosaïque composée de formations primaires sur arêtes et tables rocheuses et de formations secondaires de conquête de l'estive ; (C) et (D) Même localité, dynamique landicole à myrtille et ligneuse à sorbiers ; (E) idem face sud du Puy de Bataillouse, 1550-1650 m d'altitude ; (F) lande à Myrtille phagocytant les genêtiers sénescents dans le cirque de la Jordanne, 1450-1500 m. d'altitude

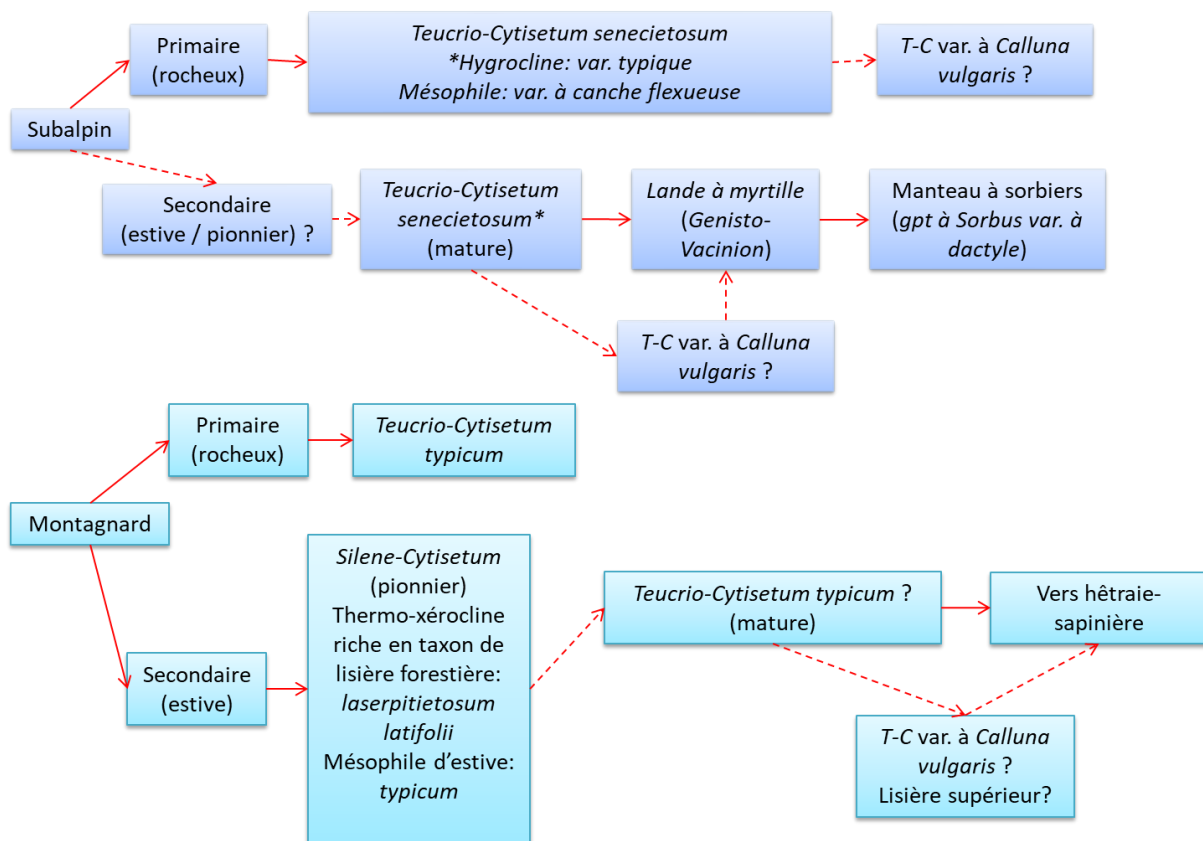


Figure 46 : Schéma d'affinités dynamiques synthétique des genêtiers purgatives ouest volcanique.

3.2. Les formations orophiles herbacées de lisières, ravins et trouées forestières du Massif central volcanique.

Cette analyse porte sur les formations de lisière communément appelées « ourlet » qui sont des franges herbeuses d'interface spatio-temporelle d'écotone* avec des formations ligneuses plus évoluées (prémanteau, manteau, forêt). Il s'agit donc de végétations fugitives de cicatrisation. On les retrouve dans des contextes variés : forestiers, sous forme de « cordon » plus ou moins large jusqu'à de véritables « nappes » en prairie sous-exploitée. Une variable écologique limitante particulièrement important dans la syngénétique et la répartition spatiale des groupements est la lumière (Fig. 47.A).

Les ourlets peuvent être qualifiés d'internes ou d'externes (Fig. 47.B). Les premiers sont incorporés aux boisements (clairière, bord de piste, laie, layon des ruisseaux...), sous protection d'un microclimat forestier plus frais et abrité. Le couvert procure une ombre et une hygrométrie plus élevée qu'à l'extérieur. Les ourlets externes quant à eux se retrouvent depuis les lisières forestières jusqu'en milieu franchement pastoral. En forêt, la concurrence pour la lumière sélectionne une flore spécialisée, majoritairement composée de dicotylédones à feuilles relativement larges et fines, alors qu'en contexte héliophile ce sont les graminées sociales (*Brachypode rupestre*, *Calamagrostis faux-roseau*, *Houlque molle*) ou la fougère aigle qui ont leur optimum de développement. En Basse-Auvergne ces formations ont été particulièrement bien étudiées par Bignon (1986) puis par Billy (1997).

Comme pour les fourrés à genêt purgatif, cette analyse s'appuie sur la méthodologie présentée en partie II (Matériels et méthodes). De la même façon, afin d'améliorer l'homogénéité du jeu de données et d'éviter les biais dus à des niveaux d'identification différents selon les auteurs, nous avons procédé à des regroupements de taxons ou d'infrataxons. Il en est ainsi pour les genres *Thymus*, *Viola*, *Hieracium*, *Festuca*, ou les espèces *Heracleum sphondylium*, *Valeriana officinalis*, *Aconitum lycoctonum* entre autres.

Au final, ce sont neuf associations réparties dans quatre classes phytosociologiques qui sont différenciées, dont quatre associations et quatre sous-associations provisoirement ici proposées.

Ce travail pourra être valorisé dans le cadre de politiques de gestions conservatoires, notamment européennes, pour les habitats d'intérêts cités 6430 ou 6210.

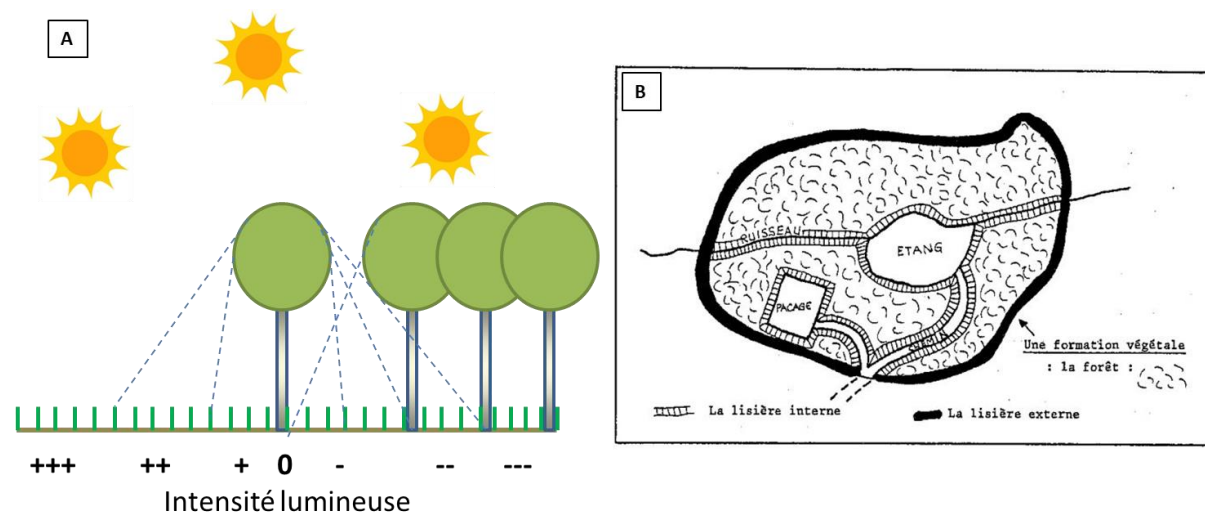


Figure 47 : Les lisières. (A) Influence de la lumière sur les communautés d'ourlet. Les pointillés délimitent l'emprise de l'ombre projetée. +++ : héliophile ; ++ : héliocline ; + : hémihéliophile ; - : hémisciaphile ; -- : sciaphile ; --- : sciaphile. (B) Répartition spatiale entre lisières internes et externes, d'après Bignon (1986).

3.2.1 Jeu de données et échantillonnage

L'étude prend en considération uniquement les formations orophiles d'ourlet et de lisière herbacée des massifs du Cantal, monts Dore et monts d'Ardèche-Mézenc. Ainsi, les relevés d'associations en phase non optimale ou dégradée n'ont pas été pris en compte puisqu'ils correspondent davantage à des formations prairiales ou de prémanteaux dégradés.

Au total, 208 relevés ont été recensés dont 77 inédits réalisés dans les monts du Cantal pour ce mémoire, alors que cette région était jusqu'alors dépourvue de matériel concernant ces végétations (Tab. III). Les autres relevés sont issus de la littérature (Bignon, 1986 ; Coquillard, 1993 ; Choynet & Mulot, 2008 ; Foucault & Catteau, 2015 ; Pradinas, 2017 ; Thébaud, inédit). Les massifs cristallins ont été exclus par manque de matériel phytosociologique, cependant certains relevés Ardéchois (Choynet & Mulot, 2008) peuvent potentiellement provenir de zones granitico-schisteuses. Les relevés provenant de la chaîne des Puys (Lemée & Carbiener, 1956 ; Billy, 1997 ; Roux, 2017) n'ont pas été intégrés à l'analyse, mais ces travaux ont été consultés à titre comparatif. Les relevés aberrants, visiblement incomplets ou hétérogènes ont également été retirés. Au final, 154 des 208 relevés initialement répertoriés ont été retenus pour la classification.

Tableau III : Ventilation du nombre de relevés analysés par région pour les formations de lisières

Cantal	monts Dore	Mézenc-mt d'Ardèches
83	87	38

3.2.2 Résultats analytiques

3.2.2.1 Résultats de l'analyse de classification

Une première analyse de classification ascendante hiérarchique (CAH) de type Modified Twinspan (MTC, Roleček *et al.* 2009) et comprenant les relevés cantaliens ainsi que ceux des formations végétales de lisières, ravins et trouées forestières citées du Massif central volcanique a été réalisée à partir des 208 relevés, et des 254 espèces identifiées pour obtenir une répartition en 16 clusters. Une seconde analyse a ensuite été conduite, ne retenant que les clusters dans lesquels se sont intégrés les relevés cantaliens (154 relevés x 251

espèces) aboutissant à une répartition en 8 clusters (Fig. 48). Trois relevés du Cantal, ne correspondant visiblement à aucune végétation clustérisée ont également été soustraits et seront commentés séparément.

Compte tenu de la domination de certaines espèces dans la définition d'associations de lisières (*Pteridium aquilinum*, *Calamagrostis arundinaceae*, *Brachypodium rupestre* ou *Petasites albus*), ces analyses de classifications ont, après plusieurs simulations (que ce soit en présence-absence et en abondance), été réalisées en abondance pondérée. En effet, la grande richesse de ces formations d'interface spatio-temporelle, incluant de nombreuses espèces relictuelles ou accidentelles, a tendance à biaiser et éclater la classification au détriment des espèces signalétiques qui caractérisent ces formations. L'analyse en abondance pondérée a ainsi permis de resserrer la classification autour des espèces diagnostiques, mais présente l'inconvénient de surreprésenter les espèces dominantes.

Les six formations végétales non rencontrées dans l'aire d'étude et éliminées de la seconde analyse sont : i) le groupement hygrophile de bas de talus sur sol épais de Bignon (1986) ; ii) le groupement à *Geranium robertianum* et *Epilobium durieui* de Bignon (1986) *pro parte* (p.p.) ; iii) le groupement à *Lathyrus montanus* et *Hieracium gr. murorum* de Bignon (1986) ; iv) le groupement à *Imperatoria osthrutium* et *Rubus idaeus* (Choisnet & Mulot 2008³) ; v) le *Lactuco plumieri-Epilobietum angustifolii* (Billy 1997 ; de Foucault *in de Foucault et Catteau* (2015) incluant le relevé type de l'association et enfin vi) le groupement à *Senecio-Calamagrostidetum arundinaceae festucetosum paniculatae* (sensu Coquillard 1993).

L'ensemble des clusters de la branche A correspondent aux formations mésophiles plus ou moins sciaphiles (Fig. 54). En A1 se regroupent les végétations dont la diversité spécifique est la plus faible, à l'inverse, celles présentes en A2 sont spécifiquement plus riches. La branche B du dendrogramme isole les formations franchement plus humides et forestières que celles de la branche A. En B1 existent des conditions de lisières fraîches à mésohygrophiles alors qu'en B2 se concentrent les communautés les plus hygrophiles.

Pour terminer, les relevés ont été organisés dans un tableau phytosociologique diagonalisé disponible en annexe 13, ainsi qu'une classification synsytématique des communautés rencontrées. Un tableau de correspondance entre les communautés et les clusters est disponible en fin de cette partie (Tab. V).

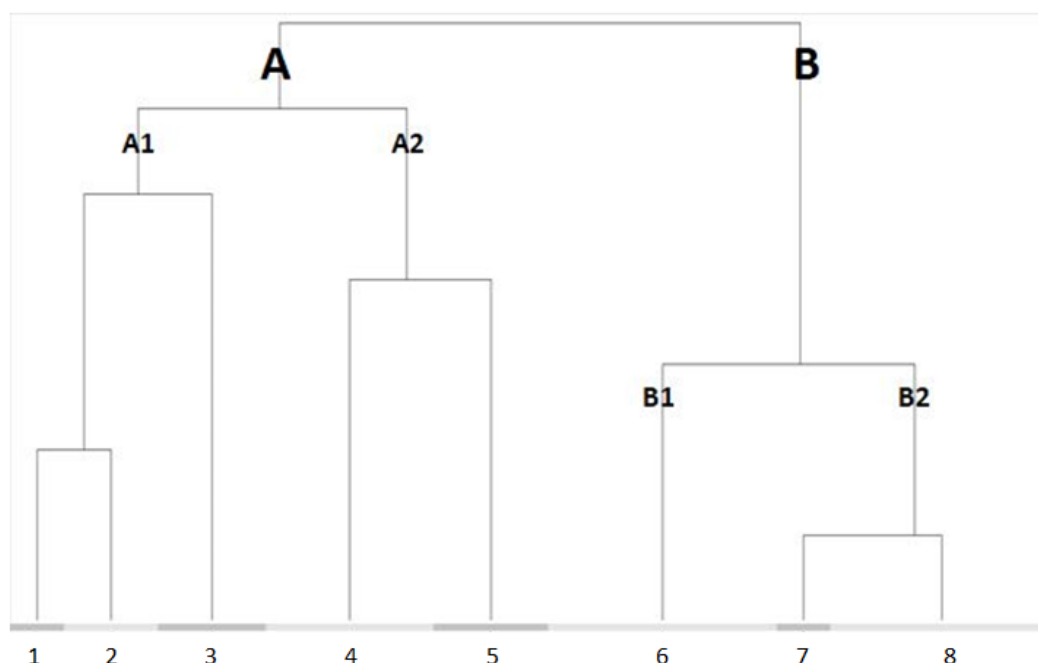


Figure 48 : Haut : dendrogramme issu de la seconde analyse Modified Twinspan (MTC, Roleček *et al.* 2009) portant sur 154 relevés et 251 espèces (analyse en abondance pondérée ; indice de similarité = inertie totale. 1. *Poo-Euphorbietum* ; 2. *Prenanthero-Avenelletum* ; 3. *Doronico-Calamagrostietum* ; 4. *Holco-Pteridetum* ; 5. Groupement à *Brachydode* ; 6. *Agrostio-Lactucetum* ; 7. *Lactuco-Epilobietum* ; 8. *Saxifrago-Petasitetum*

³ Les relevés proviennent des tableaux de Choisnet & Mulot (2007) et leurs interprétations de Choisnet & Mulot (2008).

3.2.2.2 Résultats des analyses factorielles d'ordination ; correspondance entre communautés et variables écologiques

Premièrement, une analyse factorielle détendancée (DCA) a été conduite en abondance pondérée (154 rel. x 251 esp.). Les valeurs propres des axes 1 et 2 sont respectivement 0.790 et 0.510 (Fig. 49).

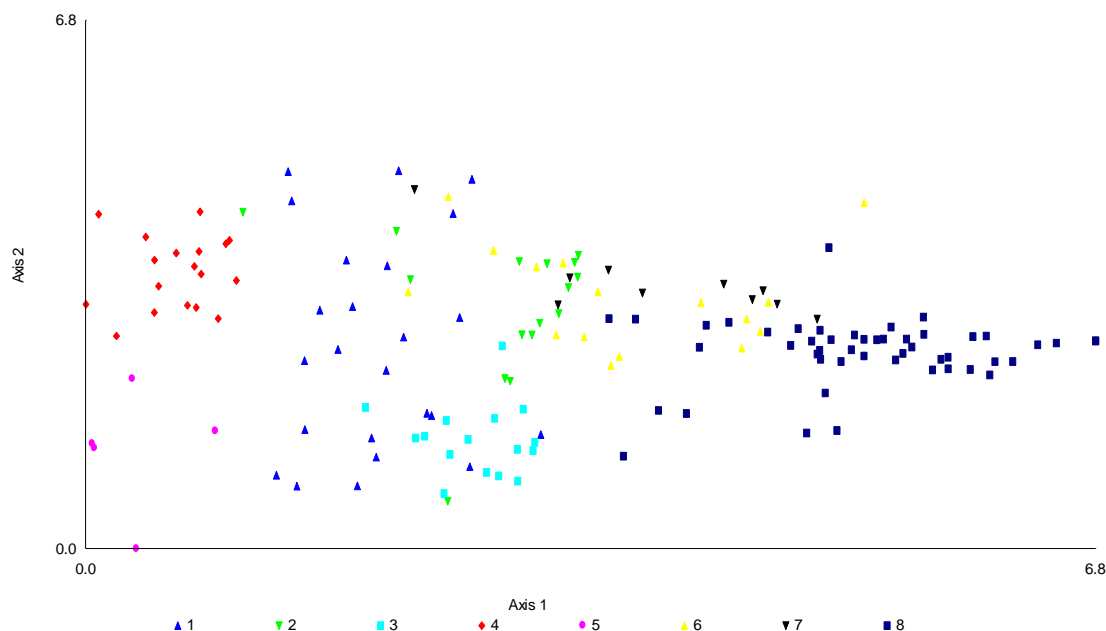


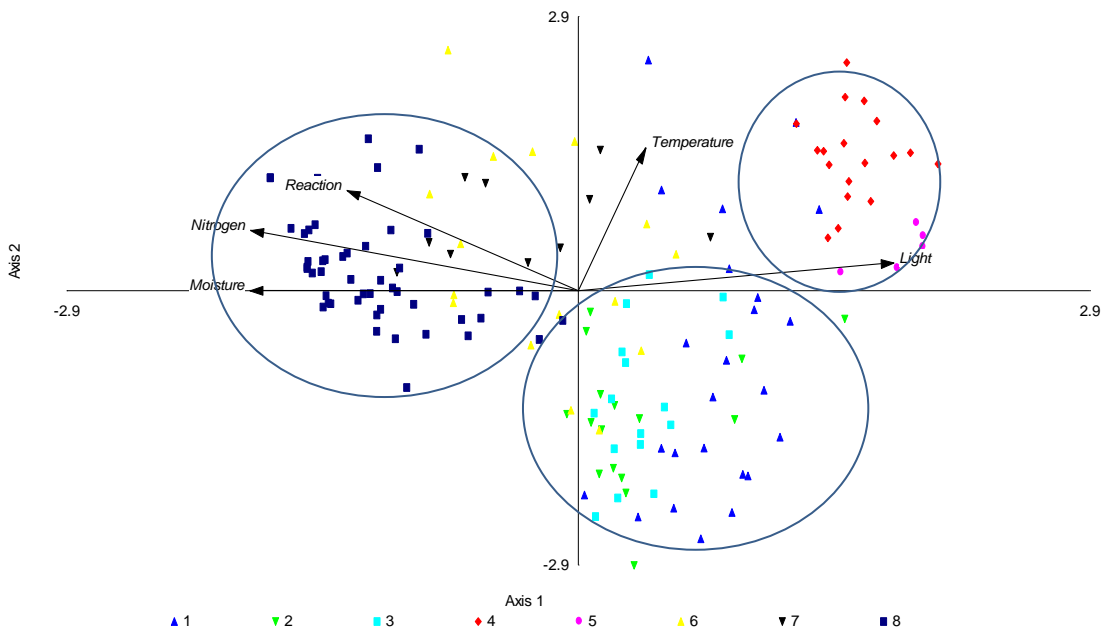
Figure 49 : Analyses factorielles globales en DCA réalisées sur 154 relevés et 251 espèces, en abondance. Les valeurs propres des axes 1 et 2 sont respectivement 0.790 et 0.510. Les n° de végétations, sont les mêmes que ceux de la figure 47.

La figure 49 montre très clairement une distribution des végétations le long de l'axe 1. Les ourlets héliomésophiles et oligo à mésotrophes issus de l'évolution récente des estives (clusters 1, 4 et 5), jusqu'aux lisières forestières internes en conditions de ravin aéro-hygrosciaphile et plutôt nitrophile (cluster 8). L'axe 2, moins évident, semble indiquer un certain degré de maturation. Ainsi, les végétations les plus pourvues en espèces de milieux ouverts ou de dynamiques pionnières se retrouvent en bas de l'axe (cluster 5), alors que les mieux dotées en espèces de lisières évoluées sont placées plus haut (cluster 4). Aussi, les lisières externes (cluster 3) s'opposent aux lisières internes plus ombragées (cluster 2). Ainsi, ce deuxième axe semble indiquer un certain degré de fermeture, celui-ci pouvant être assez important au sein d'une même communauté (cluster 1).

Par la suite, une analyse canonique des correspondances (CCA) sur le même jeu de donnée a permis de compléter l'analyse en incorporant les données écologiques des espèces (EIVE, Dengler *et al.*, 2023). Les valeurs propres des axes 1 et 2 obtenus sont respectivement 0.725 et 0.403. (Fig. 50)

Le premier plan de la CCA (Fig. 50) sépare nettement les communautés en trois groupes distincts :

- Les ourlets héliophiles externes post-prairiaux et souvent en nappe (clusters 4 et 5).
- Les lisières externes ou internes mésotrophes et mésophiles acidiphiles à neutroclines (clusters 1, 2, 3 et 6)
- Les formations fraîches à humides liées au couvert forestier et à un sol actif à forte minéralisation et réaction neutre. (Clusters 6, 7 et 8).



Vector scaling: 2.00

Figure 50 : Analyse canonique des correspondances (CCA) globale des communautés de Lisières réalisées sur 154 relevés et 251 espèces, en abondance pondérée. Les valeurs propres des axes 1 et 2 sont respectivement 0.725 et 0.403. Les n° de végétations, sont les mêmes que ceux de la figure 47.

3.2.2.3 Comparaison des communautés par l'analyse des variables

La figure 51 synthétise les orientations des communautés. Ainsi, les formations des clusters 4 et 5 sont nettement influencées par des conditions d'adret. A l'inverse, la formation du cluster 8 a besoin d'une ambiance fraîche et humide présente en ubac. Pour les autres, il semble qu'elles soient plus opportunistes.

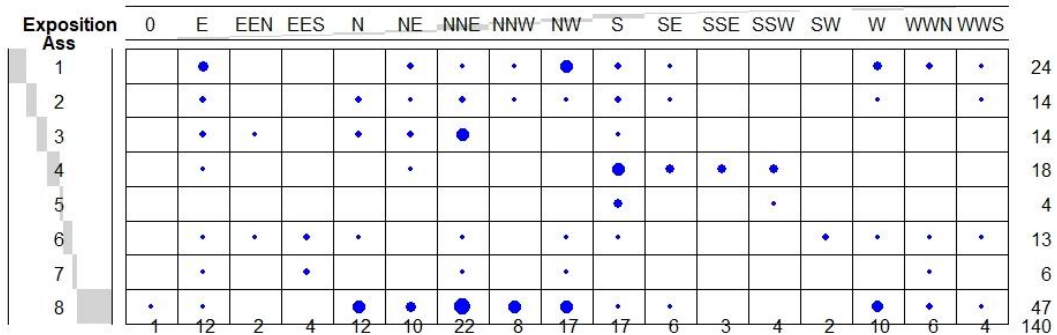


Figure 51 : Synthèse des expositions par association portant sur 154 relevés renseignés. Les n° de végétations, sont les mêmes que ceux de la figure 47.

Malgré le chevauchement qui opère à des degrés divers, l'analyse des pentes montre que les formations des clusters 2, 3 et 8 ont une tendance à préférer des stations à forte inclinaison. (Fig. 52). Ces dernières sont d'ailleurs significativement plus pentues (au risque alpha de 5%) que celles de définissant le cluster 1. Il en est de même pour la formation du cluster 6 qui est plus plane que celles des

clusters 2 et 3.

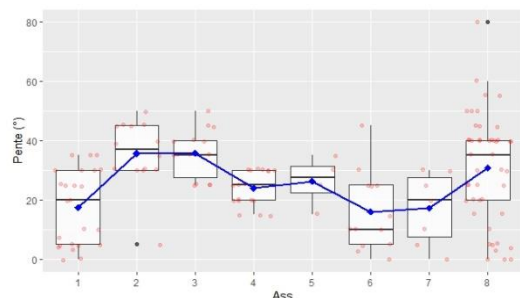


Figure 52 : Synthèse des pentes par association portant sur 154 relevés renseignés. Les n° de végétations, sont les mêmes que ceux de la figure 47.

Pour ce qui est de l'altitude, l'étude comparative n'apporte guère d'information compte tenu du caractère montagnard commun à toutes ces formations (figure non montrée).

L'analyse des coefficients écologiques ((EIVE) 1.0. (de Dengler *et al.*, 2023)) (Fig. 53) illustre l'importance des facteurs que sont l'eau et la lumière dans les distributions des syntaxons. Les tests de comparaison (ANOVA ; risque alpha de 5%) confirment que les associations (clusters 6, 7 et particulièrement 8) s'individualisent par leur côté nitro-hygro-sciaphiles. Les statistiques confirment également le caractère plus sciaphile du cluster 2 vis-à-vis des clusters 3 et 4. De plus, l'association définissant le cluster 4 s'individualise par son capital thermophile alors que celle du cluster 3 se différencie de celles des clusters 6 et 7 par une ambiance légèrement plus fraîche. Visuellement, on remarque un certain parallélisme dans les conditions de sécheresse relative et d'éclaircements des formations des clusters 4 et 5. En outre, le cluster 8 apparaît plus neutrophile que les communautés mésophiles et mésotrophes des clusters 1, 2, 4 et 5. Étonnamment, les données ne reflètent pas le caractère particulièrement acidiphile de l'association du cluster 2 bien que le test réagisse significativement avec les clusters 3, 6 et 8. Aussi, il aurait été attendu que l'association du cluster 2 soit plus acidiphile que celle du cluster 1. Enfin, la figure 52 montre une tendance à l'eutrophisation entre les formations des clusters 7, 6 et 8. L'association du cluster 3 est à la fois riche, fraîche et peu acide, ce qui la démarque des clusters 1 et 2. Le cluster 5 semble la formation végétale la plus oligotrophe, ce qui la distingue en partie de celle du cluster 4.

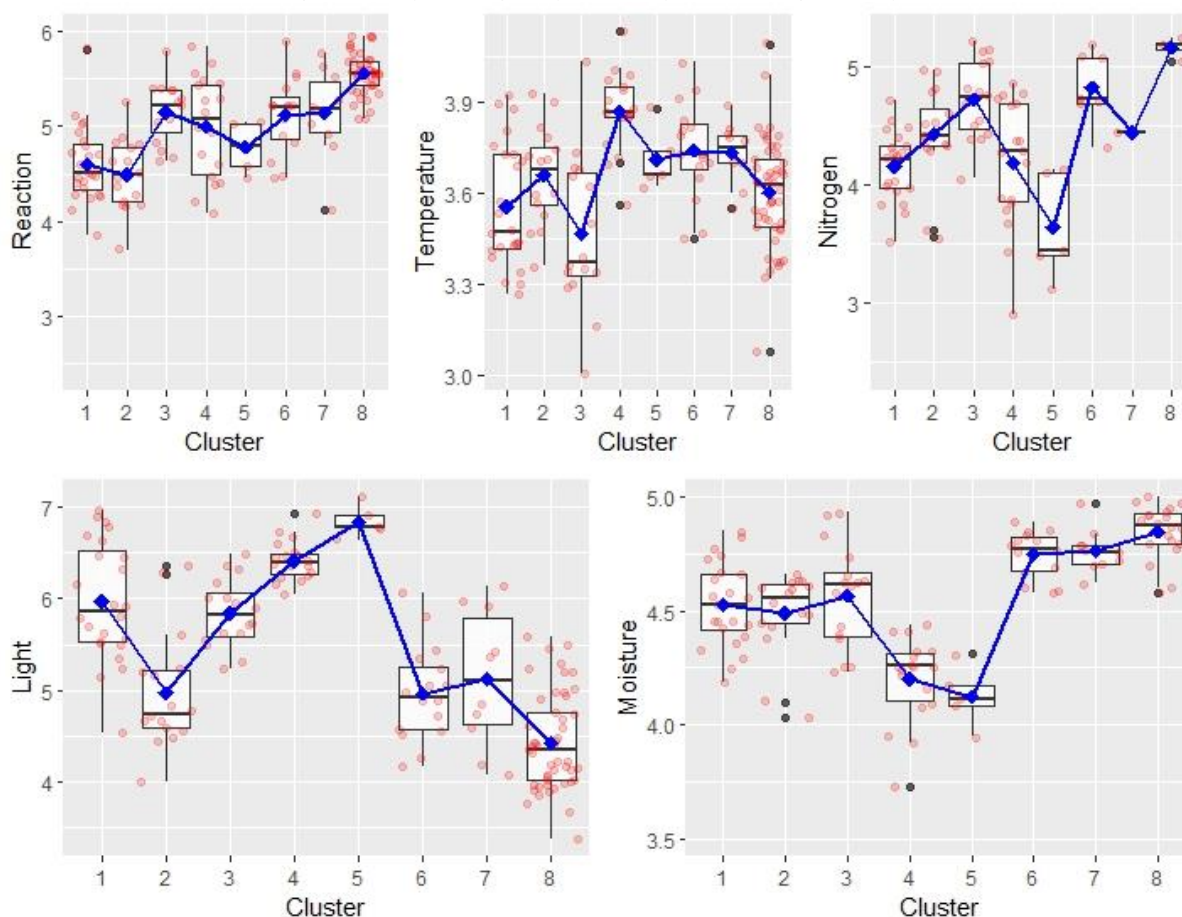


Figure 53 : Valeurs des coefficients écologiques ((EIVE) 1.0. (de Dengler *et al.*, 2023)) par cluster. Les n° de végétations, sont les mêmes que ceux de la figure 47.

3.2.2.4 Résultats phytosociologiques

Le tableau synoptique des associations et sous-associations de lisière est disponible en annexe 13 ainsi que la classification synsystématique des communautés. Le Tableau IV rend compte de l'occurrence des syntaxons par massif.

Les ourlets mésophiles (Branche A) :

1. Association à Pâturin de Chaix et Euphorbe d'Irlande : *Poa chaixii-Euphorbietum hybernae* Bignon 1986 ex Thébaud, C.Roux, Bernard et Delcoigne 2014. (*Melampyro sylvatici-Poion chaixii* Julve ex Bouillet et Rameau in Bardat et al. 2004). *Holotypus* : relevé 31 du tableau 9 (Bignon, 1986). Clusters 1 et 5. Matériel : 24 relevés.

Ourlet extra-sylvatique montagnard plutôt héliophile, acidophile, mésophile et mésotrophe colonisant les estives sous-paturées dans le cadre d'une dynamique progressive. Généralement en contact direct avec la lande *sensu lato* et/ou la lisière de hêtraie-sapinière. Le couvert y est plus ou moins dense (35-100%), sur des sols relativement profonds et plus ou moins pentus (3-35°) dont l'optimum d'exposition se situe en moitié nord (ubac). Cette association est présente dans les monts Dore et du Cantal ainsi que dans les monts d'Ardèche.

Cortège signalétique : *Poa chaixii* (27.1) ; *Gentiana lutea* (37.5) ; *Bistorta officinalis* (45.8), *Potentilla aurea* (47.5) ; *Vaccinium myrtillus* (25.6) ; *Meum athamanticum* (33.8) ; *Veronica officinalis* (28.6) ; *Galium saxatile* (26.2) ; *Avenella flexuosa* (9.4).

1.1 *typicum* (relevés ; cluster 1). Ourlet d'influence océanique essentiellement présent dans les monts Dore. Cette sous-association est floristiquement peu diversifiée et constituée d'espèces sociales recouvrantes (*Vaccinium myrtillus* ; *Poa chaixii* ; *Avenella flexuosa* ; *Calamagrostis arundinacea*). Elles sont accompagnées de plantes de lisières alors que celles d'estives se font rares. L'importance des jeunes pousses de hêtres témoigne d'une dynamique déjà bien évoluée, mais non encore suffisante pour contenter les herbacées forestières sciaphiles autres que l'anémone des bois. Le cortège signalétique est *Euphorbia hyberna* ; *Anemone nemorosa* ; *Conopodium majus*. Une variante plus humide est différenciée par quelques espèces de mégaphorbaies ou de lisières mésohygrophiles, principalement : *Athyrium filis-femina* ; *Rumex arifolius* ; *Senecio cacaliaster* ; *Geranium sylvaticum* et *Doronicum austriacum*.

1.2 *hypericetosum maculati* *subass. nov. prov. hoc. loco.* (14 relevés ; cluster 5) (Fig. 60.A et 64.B) [incl. gpt à *Meum athamanticum* et *Agrostis capillaris* Choisnet et Mulot 2008 ; gpt à *Prenanthes purpurea* et *Luzula sylvatica* Choisnet et Mulot 2008 p.p. ; gpt hygrophile de bas de talus sur sol épais Bignon 1987 p.p. ; gpt à *Prenanthes purpurea* Bignon 1987 p.p.]. Cette sous-association est la plus largement répandue et se retrouve des grands stratovolcans auvergnats jusqu'aux monts d'Ardèche. Riche en reliques d'estives (*Nardetalia stricae*), cet ourlet s'étend régulièrement en nappes plus ou moins mosaïquées avec la lande chaméphytique ou les genêtiers purgatives ; jusqu'à ne former que de minces sillons herbacés au fur et à mesure de la dynamique ligneuse. Cette formation peut aussi former des cordons en lisière, notamment en limite forestière supérieure ou dans de grandes clairières. L'Euphorbe d'Irlande est ici quasiment absente et la myrtille ou le *Calamagrostis* sont bien moins fréquents que dans la sous-association *typicum*. Le cortège signalétique est *Hypericum maculatum* ; *Holcus mollis* ; *Agrostis capillaris* ; *Centaurea nigra* ; *Dactylis glomerata* ; *Silene vulgaris* ; *Rubus idaeus* ; *Achillea millefolium* ; *Viola sylvatica* gr. (*V. riviniana*) ; *Geranium sylvaticum* et *Senecio cacalisaster*. Il existe une variété appauvrie plus fraîche et ombragée piquetée de jeunes hêtres. Notons que ladite euphorbe, espèce atlantique, est moins fréquente dans le Cantal qu'aux monts Dore et est absente d'Ardèche.

Commentaire : La sous-association *hypericetosum maculati* rappelle le *Meo athamantici-Holcetosum mollis* Passarge (1979) 1994 subatlantique dont elle partage une partie du cortège, mais qui s'en distingue par son caractère forestier sciophile. Le groupement de la montagne Corrèzienne à *Geranium sylvaticum* et *Euphorbia hyberna* de Chabrol et Reimringer (2011) est floristiquement très riche et intermédiaire entre les deux sous-associations, il pourrait n'être qu'une sous-association indépendante (Thébaud et al. 2014a) moins alticole mais avec un caractère atlantique affirmé.



Figure 54 : Lisières cantaliennes. A : *Poo-Euphorbietum hypericetosum* prov. (621ML – Le Falgoux (15)). B : *Saxifrago-Petasitetum luzuletosum* prov. var. à *Lunaria* (609ML – Mandailles (15)).

2. Association à Préranthe pourpre et Canche flexueuse : *Prenanthes purpureae-Avenelletum flexuosae* (Bignon 1986) *ass. nov. prov. hoc. loco.* [=gpt à *Prenanthes purpurea* Bignon 1986 ; gpt à *Prenanthes purpurea* et *Luzula sylvatica* Choynet et Mulot 2008 ; gpt à *Galium saxatile* et *Deschampsia flexuosa* Choynet et Mulot 2008 ; gpt à *Galium saxatile* et *Avenella flexuosa* Pradinas 2017]. (*Melampyro sylvatici-Poion chaixii* Julve ex Boulet et Rameau in Bardat et al. 2004). Cluster 2. Matériel :16 relevés. (Fig. 64.C)

C'est une association de lisière forestière montagnarde acidiphile à cline, d'ombre à demi-ombre, oligo-mésotrophe à mésotrophe et mésophile à mésohygrocline, développée sur croupes et sols peu épais et/ou sur substrats particulièrement riches en silice ou fortement lessivé. Elle est plus ou moins dense (50-100%) sans préférence d'azimut. Les strates ligneuses sont fréquentes, ainsi que celle des mousses acidiphiles. Si la première témoigne du lien étroit qui existe avec le couvert forestier, la seconde traduit davantage une certaine fraîcheur atmosphérique. C'est une formation à répartition assez large, englobant pour l'heure les monts Dore, du Cantal et d'Ardèche. Elle serait à chercher ailleurs, notamment sur les massifs cristallins (Forez, Margeride, Lozère, Aigoual...). Au vu de la liste signalétique de l'ourlet à *Prenanthes purpurea* (Bruneyre, 2020), il semble que l'association soit présente en Corrèze. La forêt climacique semble être soit le *Luzulo-Fagetum* soit le *Solidago-Fagetum*.

Cortège signalétique : *Prenanthes purpurea* (42.5) ; *Avenella flexuosa* (34.4) ; *Solidago virgaurea* (23.4) ; *Hieracium murorum* gr. (28.9) ; *Luzula sylvatica* (24.8) ; *Fagus sylvatica* (28.8) ; *Vaccinium myrtillus* (8.1) ; *Calamagrostis arundinaceae* (10.0). Floristiquement assez pauvre comparé aux autres ourlets étudiés, celui-ci se distingue par un lot d'espèces acidiphiles de lisière. Certaines peuvent être très recouvrantes comme la Luzule des bois, la Canche flexueuse, la myrtille ou encore le Calamagrostis. La variante à *Avenella flexuosa* des stations plus sèches et pauvres offre à cet ourlet un caractère pelousaire. Elle se différencie en outre par *Achemilla saxatilis*, *Teucrium scorodonia*, *Jacobea adonidifolia* et *Campanula rotundifolia*, ainsi que par la fréquence de pelousaires des *Nardetalia strictae*. De plus, elle aura tendance à être plus colonisée par *Rubus idaeus* et les sorbiers, *Sorbus aucuparia*, *Aria edulis* que par le Hêtre. A côté, la variante typique, plus riche et fraîche s'individualise par l'abondance de *Prenanthes purpurea*, *Luzula sylvatica* ou encore de *Lactuca plumieri*.

Commentaire : Cette association paraît être la synvicariante sud-occidentale de l'*Avenullo-Luzuletum sylvaticae* Braun-Blanquet et Tüxen 1952 ex Passarge 1994. Sa variante à *Prenanthes purpurea* de Forêt-Noire en est particulièrement proche. Aussi, malgré la rareté de *Galium saxatile*, il se peut que notre variante à *Avenella flexuosa*, remarquable de par sa physionomie et son cortège, doive être traitée à un rang supérieur ; sous réserve d'un plus grand nombre de données. Comme l'ont justement rapporté Choynet & Mulot (2008) (*in gpt* à *Galium saxatile* et *Deschampsia flexuosa*), cette variante à canche constitue probablement le synvicariant sud

occidental de l'association montagnarde du *Galio saxatilis-Deschampsietum flexuosae* (Bräutigam 1972) Passarge 1979. Le groupement à *Galium saxatile* et *Deschampsia flexuosa* de Chabero & Reimringer (2011) du massif des Millevaches pourrait s'y intégrer en une forme de plus basse altitude. Enfin, le groupement à *Lathyrus montanus* et *Hieracium* gr. *murorum* de Bignon (1986) formé par seulement quatre relevés de talus pentus héliophiles et secs, mais rafraîchis par le microclimat de hêtraie (non intégré dans la seconde analyse, car clusterisation à part), semble représenter en l'état une variante hélio-xéro-mésotrophe différenciée par *Lathyrus lignifolius* v. *montanus*, *Vicia sepium*, *Achillea millefolium*, *Silene vulgaris* et *Knautia dispacifolia*. Cette dernière variante est à chercher dans le Cantal où elle semble présente (obs. pers.). Notons que le nom d'une espèce préférentielle au groupement avec une fréquence de 100% manque dans le tableau de présentation 5 in Bignon (1986). Enfin, le gpt à *Solidago virgaurea* et *Lathyrus lignifolius* Passarge 1994 du sud de la Scandinavie paraît, sous toutes réserves, proche du groupement de Bignon.

3. Association à Doronic d'Autriche et Calamagrostide faux-roseau : *Doronic austriaci-Calamagrostietum arundinaceae* (Coquillard 1993) *ass. nov. prov. hoc. loco.* [= *Senecio-Calamagrostidetum arundinaceae senecietosum cacaliastri* sensu Coquillard 1993 ; gpt à *Prenanthes purpurea* Bignon 1987 p.p.]. (*Knautia dipsacifoliae* Julve ex Dengler et Boch 2008 / *Laserpitio latifolii-Teucrienion scorodoniae* J.-M. Royer 2016). Cluster 3. Matériel 16 relevés. (Fig. 61.A)

Ourllet montagnard, hélio-acidicline mésotrophe et mésophile à mésohygrocline que l'on rencontre au niveau des lisières externes, clairières, talus ou pieds de corniches rocheuses, sur des sols profonds et bien alimentés, voire de blocailles enrobées d'une épaisse couche organo-minérale. Par endroits, cette formation semble former la lisière naturelle maximale de la hêtraie (obs. pers.). La pente est nette (25-50°) et essentiellement exposée à l'ubac (optimum N-E). Cette communauté se caractérise par l'hyper-dominance floristico-physionomique du Calamagrostide et par l'imposante litière qui en découle. Cette calamagrostidaie semble assez répandue dans le Massif central, les relevés provenant des monts Dore, Cantal, Ardèche et Mézenc.

Cortège signalétique : *Calamagrostis arundinaceae* (63.4) ; *Doronicum austriacum* (23.0) ; *Vaccinium myrtillus* (44.9) ; *Geranium sylvaticum* (47.8) ; *Rubus idaeus* (0.8) ; *Epilobium duriaei* (48.2) ; *Lilium martagon* (70.7) ; *Astrancina major* (41.8) ; *Heracleum sphondylium (sibiricum)* (37.3) ; *Centaurea nigra* (39.0) ; *Poa chaixii* (5.8) ; *Silene vulgaris* (10.8) et *Senecio cacaliaster* (35.5). Cette association se caractérise par des groupements différentiels d'espèces de lisières montagnardes mésotrophes et de prairies mésophiles ; mais aussi par la faible représentation des espèces de mégaphorbaie subalpines des *Mulgedio-Aconiteta*. Ceci constitue la différence principale avec les formations de prairies primaires orophiles du *Calamagrostion arundinaceae* alors que le *Calamagrostis* joue un rôle structurel majeur dans les deux cas. Quelques rares forestières témoignent par endroits de la proximité spatio-temporelle qui existe entre les forêts et cet ourlet. Il subsiste une variété alticole et fraîche, principalement de lisière supérieure qui est enrichie en espèces des mégaphorbaies subalpines du *Calamagrostion*, et faisant transition avec ce dernier. Ces espèces différentielles sont *Aconitum napellus* ; *Bistorta officinalis* ; *Aconitum lycoctonum* ; *Veratrum abum* ; *Imperatoria ostrutium* et *Luzula desvauxii*.

Commentaire : Afin de vérifier l'indépendance du *Senecio-Calamagrostidetum arundinaceae (senecietosum et festucetosum)* sensu Coquillard (1993) vis-à-vis du *Calamagrostion arundinaceae*, ses relevés ont été intégrés au tableau général de ladite alliance sur l'aire du Massif central de Loos & Thébaud (2024). Et ce, afin d'être analysés avec l'indice de comparaison Fréquence-Positive Fidelity Index (FPFI) via le logiciel Juice®. Les résultats montrent clairement une individualité des deux sous-associations montagnardes de Coquillard (1993) vis-à-vis des formations subalpines, mais aussi entre elles-mêmes. Le *festucetosum paniculatae* de Coquillard (1993) est plus riche en taxons pelousaires et traduit des conditions plus oligo-thermo-xérophiles et acides que le *Doronic-Calamagrostietum* (Coquillard 1993). Aussi, ils ne partagent guère de végétaux hormis la myrtille et le Calamagrostide lui-même. A ce titre, il est fort probable qu'il s'agisse de deux associations différentes (étude à poursuivre). Les groupements à Brachypode et Calamagrostis de Billy (2000) et Roux (2017), le gpt du Puy de Dôme (Billy 1997) ainsi que le *Calamagrostietum arundinaceae* sensu Lemée et Carbiener 1956 semblent proches dudit *festucetosum*. Enfin, Le *Cirsio erisithales-Teucrietum scorodoniae* Billy ex Royer 2014 décrit des monts Dômes affiche un caractère plus thermophile et moins montagnard.



Figure 55 : Lisières cantaliennes. A : *Doronico-Calamagrostietum* prov. (340ML - Lavigerie (15)). B : *Lactuco-Epilobietum* var. *hygrophile* (629ML – Laveissière (15)). C : *Holco-Pteridetum poetosum chaixii* prov. (366ML - Lavigerie (15)).

4. Association à Houlique molle et Fougère aigle : *Holco mollis-Pteridetum aquilini* Passarge 1994. (*Holco mollis-Pteridion aquilini* (Passarge (1994) Rameau). *Holotypus* : relevé 2 du tableau 10 (Passarge 1994). Cluster 4 p.p. Matériel : 18 relevés.

Association sub-océanique à fougèraie aigle (*Pteridium aquilinum*) de lisière externe ou de clairière, que l'on retrouve le plus souvent formant de grandes nappes recouvrant les estives sous-utilisées avec des sols relativement profonds (30 à >70cm). Cet ourlet montagnard post-prairial, oligo à mésotrophe plutôt acidiphile et hélio-mésotermophile se rencontre dans des parcelles exposées au sud (SSW à SE) avec un pendage assez marqué (15 à 30°), issu le plus souvent de la colonisation d'une estive de type *Violion caninae*, et ce, jusqu'à une altitude maximale limite de 1350 m environ. La fougère aigle, espèce polycorme* dont le rhizome est très traçant forme une haute strate herbacée (1.5-2m) très dense. En conséquence, c'est une espèce épharmonique* très compétitive, créant elles-mêmes des conditions éprouvantes pour les reliques de pacage. L'intense ombre portée ainsi que l'épaisse litière produite sélectionnent une flore capable de s'installer en sous-strate. Soit elle accomplit son cycle plus précocement au printemps, soit elle est capable de transpercer le couvert, comme les phanérophytes. Il n'est d'ailleurs pas rare de voir de telles colonisations, où progressivement le prémanteau herbacé devient ligneux (Cf. *Daphno-Corylletum*) ; le lien dynamique avec les genêtères purgatives secondaires (*Teucrio-Cytisetum typicum*) est d'ailleurs questionné (§ 3.1). Néanmoins, les fougèraies aigles peuvent rester stables longtemps. Les nappes de fougère aigle, espèce pyrophile, sont aussi entretenues et favorisées par la pratique de l'écobuage, très répandu dans nos montagnes. Nous n'avons pas constaté de cas de colonisation de la fougère aigle directement sur des landes pâturées abandonnées comme dans le Vosges (Müller 1989). Nos relevés proviennent des monts du Cantal et d'Ardèche (Choisnet & Mulot 2007), mais cette association doit vraisemblablement couvrir tout le Massif central. Ce syntaxon est bien plus fréquent et abondant sur la façade ouest du stratovolcan cantalien, effet climatique ou anthropique ? Compte tenu des affinités océaniques de la fougère et de l'effet de foehn local (§1.4), la première hypothèse semble solide.

Cortège signalétique : *Pteridium aquilinum* (100) ; *Teucrium scorodonia* (39.9) ; *Silene nutans* (38.3) ; *Veronica chamaedrys* (48.7) ; *Galium mollugo* agg. (*mollugo*) (38.8) ; *Galeopsis tetrahit* (19.3) ; *Clinopodium vulgare* (50.0) ; *Carex caryophylla* (38.3) ; *Campanula rotundifolia* (26.5) ; *Holcus mollis* (15.7) ; *Linaria repens* (15.4) ; *Viola sylvestris (riviniana)* (28.2) ; *Poa pratensis* (51.2), *Fragaria vesca* (12.5) et *Rubus idaeus* (6.6). Cette formation végétale est physionomiquement dominée par la fougère aigle, mais s'accompagne d'un lot important d'espèces d'ourlets acidiphiles à neutroclines (*Melampyro-Holcetea*), ainsi que les reliques de pelouses (*Nardetalia strictae*) et de prairies (*Arrhenateretea eliatoris*).

poetosum chaixii (Choisnet et Mulot 2008) *subass. nov. prov. hoc loco*. (Fig. 61.C) Sous-association montagnarde sud occidentale différenciée par un lot d'espèces orophiles répandues dans le Massif central, *Poa chaixii*, *Gentiana lutea*, *Lactuca plumieri* et *Cytisus oromediterraneus* ; mais aussi d'espèces d'ourlet à tendance atlantique absentes du tableau princeps ; *Teucrium scorodonia* et *Conopodium majus*. Il existe une variante à *Brachypode rupestre* dont le déterminisme reste à préciser, mais qui semble moins acide et plus thermo-mésophile. Celle-ci faisant transition avec le groupement suivant à *Brachypode rupestre*.

Commentaire : Quelle est la limite entre pâturage dégradé riche en *Pteridium* et une communauté structurée et définie par elle ? Il n'est pas toujours aisé de trancher, d'autant que l'on discute d'une formation colonisatrice ! Sur la base des travaux de Schabe-Braun (1979), l'on peut considérer que l'on est bien dans une fougeraie aigle dès lors que cette dernière devient hyper dominante, jusqu'à évincer presque toutes autres espèces caractéristiques hormis éventuellement la houlque molle. Ce nouveau syntaxon est synvicariant de la sous-association *agrostietosum* Passarge 1994. Les fougeraies corréziennes (Chaberol & Reimringer 2011 ; Bruneyre 2020) affichent un caractère trop plantaire pour pouvoir être rattachées au *poetosum chaixii prov.*, et s'écartent du type par une atlantinité marquée. Les groupements à *Pteridium aquilinum* du Morvan (Robbe, 1993) ou celui du massif des Dômes (Roux, 2017) n'affichent que peu d'espèces différentielles alticoles ou océaniques et forment une race appauvrie proche du type malgré l'absence notable de la Houlque. Enfin, malgré la présence de *Poa chaixii* dans l'un des relevés de Schwabe-Braun (1979), son tableau de Forêt-Noire ne reflète guère de caractère montagnard, ni même sud occidental pour correspondre au *poetosum chaixii prov.* La création d'une nouvelle sous-association provisoire au sein de l'*Holco mollis-Pteridetum aquilini* Passarge 1994 entraîne conformément au code de nomenclature phytosociologique (Theurillat *et al.*, 2021) la création d'une sous-association typique provisoire (art. 3.m, 5b, 13, 24c, 26).

5. Groupement à *Brachypode rupestre* (*Conopodium majoris-Teucrium scorodoniae* Julve ex Boulet et Rameau in Bardat *et al.* 2004). Cluster 4 p.p. Matériel : 4 relevés. (Fig. 62)

Ce groupement précédemment identifié dans le massif du Sancy par Le Hénaff *et al.* (2021a) n'a pour l'heure pas fait l'objet d'une description phytosociologique précise par manque de matériel suffisant. En effet, ce type d'ourlet ne semble pas très commun sur nos montagnes volcaniques (basalte ?) où il colonise préférentiellement les pelouses acidiclinales sous-paturées et thermophiles (*Violion caninae / Chamaespartio sagittalis-Agrostidenion tenuis* ?) des adrets des étages montagnards inférieurs et moyens (max. 1427m). Cet ourlet peut former de grandes nappes denses riches en litière. Puis il semble qu'il soit envahi par le Genêt purgatif (*Sileno-Cytisetum prov.*), suivi d'un fourré à noisetier (Cf. *Daphno-Coryletum* Roux 2017).

Cortège signalétique : *Brachypodium rupestre* (84.5) ; *Teucrium scorodonia* (38.8) ; *Cytisus oromediterraneus* (40.9) ; *Viola lutea* (58.7) ; *Meum athamanticum* (58.7) ; *Nardus stricta* (56.3) ; *Campanula scheuchzeri s. lanceolata* (42.8) ; *Hypericum maculatum* (31.1) ; *Gentiana lutea* (35.2) ; *Jacobaea adonidifolia* (53.4) ; *Dianthus hyssopifolius* (41.9) ; *Genista sagittalis* (53.9) ; *Thymus pulegioides* (49.3) ; *Briza media* (58.7) ; *Betonica officinalis* (54.7) ; *Conopodium majus* (42.1) et *Achillea millefolium* (56.0). Le *Brachypode* a tendance à prendre tout l'espace et à étouffer ses concurrentes par son épaisse litière. Du riche cortège d'estives ne persistent que quelques survivants dont l'existence n'est souvent que ponctuelle. Ainsi, les nappes de *Brachypode* peuvent aller jusqu'à former des peuplements presque monospécifiques.

Commentaire : Proche de la fougeraie aigle précédente, ce groupement semble être moins acidiphile et un peu plus thermo-xérophile. Floristiquement, c'est surtout l'absence de la fougère aigle qui est le meilleur indice distinctif. Le *Centaureo nigrae-Vicetum orobi* Billy ex Royer 2014 peut avoir un faciès à *Brachypode rupestre*, mais celui-ci se distingue par un riche cortège nettement moins acidiphile issu de l'évolution dynamique du *Diantho-Brachypodietum* Lemée et Carbiener 1956. L'association de Billy serait à chercher en limite altitudinale inférieure de notre terrain d'étude, sur les terrains basaltiques bien exposés des planèzes. Il en est de même pour le *Trifolio aurei-Knautietum arvernensis* Billy ex J.-M. Royer 2016, somme toute moins thermophile.

Les ourlets plus ou moins humides et ombragés (Branche B) :

6. Association à *Agrostis capillaris* et Laitue de plumier : *Agrostio capillaris-Lactucetum plumieri ass. nov. prov. hoc loco*. [= gpt hygrophile de bas de talus sur sol épais Bignon 1986 p.p. ; Groupement à *Prenanthes purpurea* Choisnet et Mulot 2008 p.p. ; gpt à *Prenanthes purpurea* et *Luzula sylvatica* Choisnet et Mulot 2008 p.p. ; Gpt à *Cicerbita plumieri* et *Luzula sylvatica* Choisnet et Mulot 2008 p.p.]. (*Melampyro sylvatici-Poion chaixii* Julve ex Boulet et Rameau in Bardat *et al.* 2004). Cluster 6 p.p.. Matériel : 16 relevés.

Cet ourlet forestier montagnard sud occidental des lisières plus ou moins ombragées à ambiance fraîche, acidiline et mésotrophe, forme des peuplements assez denses. Les fougères et autres hautes herbes de lisières lui confèrent une physionomie reconnaissable. Les jeunes ligneux sont fréquents et montrent le lien dynamique vers la forêt climacique. La strate muscinale est également régulière, marqueur d'une certaine fraîcheur édapho-atmosphérique ; mais ce tapis peut être discontinu (20-90%). L'orientation ou l'inclinaison ne semble pas avoir un effet déterminant. Les relevés proviennent du Cantal, des monts Dore et d'Ardèche.

Cortège signalétique : *Agrostis capillaris* (19.0) ; *Lactuca plumieri* (24.4) ; *Ajuga reptans* (32.3) ; *Stellaria nemorum* (s. *montanum*) (39.4) ; *Fragaria vesca* (32.5) ; *Epilobium montanum* (20.6) ; *Luzula nivea* (30.5) ; *Luzula sylvatica* (24.8) ; *Solidago virgaurea* (23.4) ; *Prenanthes purpurea* (26.3) ; *Lactuca muralis* (24.5) ; *Euphorbia dulcis* s. *incompta* (30.1) ; *Hieracium murorum* gr. (17.0) ; *Geranium sylvaticum* (18.9) ; *Lysimachia nemorum* (41.5) ; *Dryopteris dilatata* (22.4) ; *Athyrium filix-femina* (14.6) et *Rubus idaeus* (8.1). Il existe une variante typique cantalienne, spécifiquement riche et peut-être plus acide et moins édaphohygrophile, et une variante appauvrie d'Ardèche et des monts Dore.

Commentaire : L'*Agrostio capillaris-Lactucetum plumieri* prov. est le synvicariant mésohygrophile du *Prenanthes purpureae-Avenelletum flexuosae* prov. et rappelle l'*Holco mollis-Equisetetum sylvatici* Passarge (1979) 1994 allemand. Il appartient au compartiment écologique montagnard non encore décrit et synvicariant de l'*Holco mollis-Athyrenion filicis-feminae* J.-M. Royer et al. 2006. Aussi, on pourrait trouver dans notre association provisoire une ressemblance d'avec l'*Impatiens noli-tangere-Stachyion sylvaticae* Görs ex Mucina in Mucina et al. 1993 nitro-hygrosciaphile. Or, la balance floristique penche encore vers la classe d'ourlet acidiphile des *Melampyro-Hocletea*, d'où notre rattachement.

7. Association à Laitue de Plumier et Epilobe en épi : *Lactuco plumieri-Epilobietum angustifolii* (Billy 1997) B. Foucault in B. Foucault et Catteau 2015. [incl. gpt à *Petasites albus* et *Epilobium angustifolium* Choisnet et Mulot 2008]. (*Epilobium angustifolii* Oberdorfer 1957). *Holotypus* : relevé 2902 du tableau 2 (Foucault & Catteau 2015). Cluster. 6 p.p. Matériel : 10 relevés. (Fig. 61.B)

C'est une formation herbacée haute et colorée pionnière des coupes et chablis oro-sud-atlantique en conditions acidilinophiles à neutroclinophiles, mésotrophes à méso-eutrophes et mésophiles à mésohygrophiles d'optimum hélio-nitrophile. C'est une végétation dense de cicatrisation, sans expositions ni pentes préférentielles. Les relevés proviennent des monts Dore, du Cantal et d'Ardèche.

Cortège signalétique : *Lactuca plumieri* (22.4) ; *Epilobium angustifolium* (45.6) ; *Digitalis purpurea* (18.0) ; *Senecio cacaliaster* (10.5) ; *Senecio ovatus* (45.8) ; *Rubus idaeus* (24.4). A côté du type, les deux des variantes, hygrophile et mésoxérophile, identifiées par de Foucault (2015) sont présentes dans le Cantal.

Commentaire : Il peut paraître étonnant que l'analyse CAH ait nettement séparé cette association dans deux clusters différents. Cela s'explique simplement par la richesse spécifique des relevés. Les plus pauvres, centrés autour du cortège diagnostique se sont retrouvés isolés, alors que les relevés enrichis d'espèces de lisières ont été intégrés au sein du cluster de lisière mésohygrophile de l'*Agrostio-Lactucetum* prov. floristiquement proche. Dès lors, comment expliquer le nombre d'espèces transgressives de cette dernière association ? Plusieurs raisons peuvent être évoquées. La première est l'âge de la coupe. Plus celle-ci est ancienne et plus l'ourlet forestier aura tendance à se reconstituer aux dépens des végétations typiques de cicatrisations forestières. La seconde est la taille de la zone relevée. Les petites coupes progressives sont plus favorables aux espèces de lisières qu'aux *Epilobietea*, car l'éclaircie et la minéralisation sont trop peu brutales (de Foucault 2015). Troisièmement, toujours selon le même auteur, en conditions trop humides et riches, la saturation par les espèces d'ourlets est trop fulgurante pour laisser la place aux végétations de coupes forestières. D'autre part, il n'est pas rare d'observer un ourlet encercler une telle végétation. En conclusion, l'identification de cette association est parfois délicate et nécessite dans certains cas une analyse attentive des conditions du milieu et du cortège diagnostique pour les différencier des ourlets forestiers. Enfin, le groupement à *Petasites albus* et *Epilobium angustifolium* Choisnet et Mulot 2008 d'Ardèche semble s'intégrer, sous toutes réserves, dans la variante mésohygrophile de cette association.

8. Association à Saxifrage à feuilles rondes et Pétasite blanc : *Saxifraga rotundifolia-Petasitetum albi* (Choisnet et Mulot 2008) *ass. nov. prov. hoc. loco.* [=gpt à *Cicerbita plumieri* et *Luzula sylvatica* Choisnet et Mulot 2008 p.p. ; gpt à *Saxifraga rotundifolia* et *Petasites albus* Choisnet et Mulot 2008 ; gpt à *Geranium robertianum* et *Epilobium duriaei* Bignon 1986 p.p.] (*Arunco dioici-Petasition albi* Braun-Blanquet et Sutter 1977). Clusters 7 et 8. Matériels : 49 relevés. (Fig. 56)

C'est une mégaphorbaie montagnarde intra-forestière hygro-nitro-neutrophile et aéro-hygrosciaphile dominée par le Pétasite blanc. Les stations primaires se retrouvent dans des secteurs encaissés et ravinés, souvent proches d'une cascade ou d'un torrent. Les secondaires sont cantonnées aux talus de pistes forestières ou à

quelques anciens chablis d'atmosphère très confinée. Les sols sont colluvionnés avec des blocs de tailles hétérogènes enrobés dans une matrice fine organo-minérale plus ou moins épaisse. Parfois on les rencontre posés sur des dalles suintantes où le sol se débite en plaques par gravité. Les stations sont orientées à l'ubac, principalement (NW-NE), avec un pendage généralement très important (30-50°), rarement en dessous. *Petasites alba* avec son rhizome puissant est une géophyte spécialisée dans les conditions écologiques particulières. Cette espèce structurante permet la stabilisation du substrat (Braun-Blanquet & Sutter 1977). Les grandes fougères peuvent aussi être très recouvrantes, formant avec le pétasite une strate herbacée haute et dominante. Profitant de ce voile protecteur, une sous-strate herbacée de type « microphorbaie » dense se développe. De façon identique une strate bryophytique est fréquente, couvrant directement le substrat. Cette association est présente dans les monts d'Ardèche, Dores et du Cantal, où elle est assez fréquente dans les hêtraies-sapinières du cœur du massif.

Cortège signalétique : *Petasites albus* (55.3) ; *Saxifraga rotundifolia* (73.7) ; *Geranium robertianum* (47.0) ; *Athyrium filix-femina* (44.2) ; *Impatiens noli-tangere* (51.7) ; *Stellaria nemorum* (34.1) ; *Oxalis acetosella* (32.8) ; *Gymnocarpium dryopteris* (40.1) ; *Dryopteris filix-mas* (33.2) ; *Doronicum austriacum* (14.4) ; *Cardamine flexuosa* (56.6) ; *Luzula sylvatica* (22.1) ; *Epilobium montanum* (35.2) ; *Crepis paludosa* (50.9) ; *Rumex arifolius* (27.7). Les espèces de mégaphorbaies montagnardo-subalpines (*Adenostyletalia*) viennent ici se mélanger avec un cortège de plantes forestières (*Fagion sylvaticae*), d'ourlets riches et frais (*Galio-Urticetea*), de sourcins sciaphiles (*Caricion remotae*). L'absence d'espèces des lisières acides (*Melampyro-Holcetea*), de pelouse ou encore de prairies, est aussi un caractère diagnostic.

8.1 typicum (22 relevés ; cluster 7 p.p.) (Fig. 63 B & C). Différenciée par *Lactuca plumieri* ; *Senecio cacaliaster* ; *Prenanthes purpurea* ; *Silene dioica* ; *Galium odoratum* ; *Luzula nivea* ; *Imperatoria ostruthium* ; *Solidago virgorea* ; *Digitalis purpurea* ; *Cirsium erisithales*. Il en existe une variante appauvrie.

8.2 chrysosplenietosum oppositifolii (Choisnet et Mulet 2008) *subass. nov. prov. hoc. loco.* [=gpt à *Saxifraga rotundifolia* et *Petasites albus* Choisnet & Mulet 2008] (16 relevés ; cluster 7 p.p.) (Fig. 63 A). C'est la sous-association la plus hygrophile, elle profite d'un substrat souvent suintant. Ce syntaxon est principalement différencié négativement, les espèces les moins hygrophiles ayant disparu. *Chrysosplenium oppositifolium* (opt.) ; *Chaerophyllum hisutum* et *Ranunculus repens* sont les principales espèces diagnostiques. Il existe une variante appauvrie.

8.2 luzuletosum desvauxii *subass. nov. prov. hoc. loco.* (11 relevés ; cluster 8) (Fig. 64.A). Formation la plus héliophile caractérisée par la grande rareté de la pétasite. *Luzula desvauxii* ; *Calamagrostis arundinaceae* ; *Geranium sylvaticum* ; *Galium mollugo* ; *Euphorbia dulcis s. incompta* ; *Knautia arvernensis* ; *Crepis paludosa* ; *Filipendula ulmaria* ; *Micranthes stellaris* ; *Poa nemoralis* ; *Primula elatior* et *Lunaria rediviva* font figure de différentielles. Cette dernière espèce forme une variante moins humide sur éboulis fin colmaté (Fig. 60.B) alors que la variante typique se retrouve davantage sur dalles suintantes. Le statut de la variante à *Lunaria* sera sans doute à reconsidérer à un rang supérieur au regard d'un matériel suffisant (étude à poursuivre).

Commentaire : Les associations de mégaphorbaies dominées par le Pétasite blanc ont été initialement décrites en Suisse (Braun-Blanquet, 1977 & Braun-Blanquet et Sutter, 1977) puis identifiées en France uniquement dans les massifs des Alpes et du Jura (de Foucault & Corriol, 2013). Dès lors, le rattachement des pétasites blanches du Massif central à l'alliance de l'*Arunco dioici-Petasition albi* semble inédit puisque des études précédentes (Choisnet & Mulet, 2008) les avaient plutôt rattachées à l'alliance du *Petasition officinalis* Sillinger 1933. Le *Saxifrago-Petasitetum* *prov.* devient ainsi le synvicariant sud occidental des deux autres associations de l'alliance ; l'*Arunco dioici-Petasitetum albi* Braun-Blanquet et Sutter 1977 et le *Petasito albi-Cirsietum erisithalis* Braun-Blanquet 1977. D'aucuns pourraient ne reconnaître dans cette association provisoire qu'une forme montagnarde à pétasite blanc d'un ourlet nitro-hygrosociophile de l'*Impatiens noli-tangere-Stachyion sylvaticae* Görs ex Mucina in Mucina *et al.* 1993, notamment de l'*Epilobium montani-Geranium robertianum impatiensetosum noli-tangere* Lohmeyer in Oberdorfer *et al.* 1967 ex Görs et Müller 1969. Or, *Saxifrago-Petasitetum* *prov.* s'individualise par son caractère montagnard du à son cortège de mégaphorbaies d'altitude. De plus, l'essentiel des espèces caractéristiques de l'*Arunco-Petasition* au sens de Braun-Blanquet et Sutter (1977) sont présentes dans nos relevés. Dès lors, on peut se demander si l'*Arunco-Petasition* n'est pas le pendant orophile de l'*Impatiens-Stachyion*.

Il existe un groupement décrit du massif du Sancy à *Impatiens noli-tangere* et *Meconopsis cambrica* de Le Hénaff *et al.* (2021b) (*Impatiens-Stachyion*) qui est proche de notre association, avec notamment la saxifrage à feuille ronde. En l'absence de relevés, ce dernier n'a malheureusement pas pu être intégré à notre analyse. Il se différencie néanmoins par l'absence de la pétasite et d'aucune espèce des *Adenostyletalia*, ce qui nous incite à séparer les deux syntaxons. Somme toute, il existe un relevé cantalien proche du groupement de Le Hénaff et

qui pourrait y être rattaché. C'est pourquoi la présence de ce dernier à l'étage montagnard du Cantal est à envisager ; étude à poursuivre.

Enfin, le groupement de bas de talus sur sol épais de Bignon (1986) dans ses formes riches en *Petasites albus* pourrait correspondre à un ourlet dégradé et secondaire de talus du *Saxifrago-Petasitetum albi*. Pour son groupement à *Geranium robertianum* et *Epilobium duriaei*, Bignon (1986) avait déjà identifié sa proximité d'avec l'*Epilobio montani-Geranietum robertiani*.

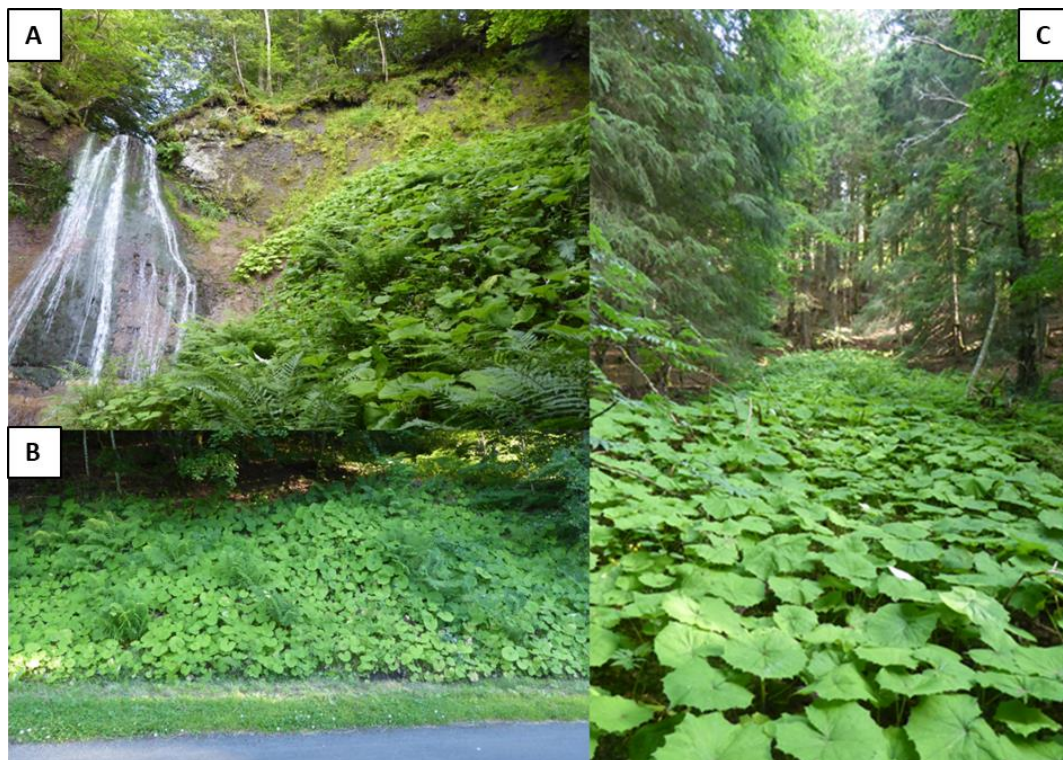


Figure 56 : Association à Saxifrage à feuilles rondes et Pétasite blanc. A : *Saxifrago-Petasitetum chrysosplenetosum* prov. primaire de ravin très encaissé (600ML - Récusset (15)). B : Idem *typicum* prov. secondaire de talus (360ML - Laveissière (15)). C : Idem. secondaire, ancien chablis aérohygrophile (642ML - St-Jacques-des-Blats (15)).

Les ourlets n'ayant pas été intégrés à l'analyse :

9. Cf. groupement montagnard à Caille-lait blanc et Ortie dioïque : groupement à *Galium mollugo* et *Urtica dioica* Billy 1997 (*Geo urbani-Alliarion petiolatae* Lohmeyer et Oberdorfer ex Görs et Müller 1969). Matériel : 2 relevés.

Ourlet héliosciaphile, nitrophile ; plus ou moins hygrophile riche en ortie.

- Relevé : 613ML ; alt. 1290m ; exp. sud ; pente (15°) ; rec. 100% ; 06/07/2023 ; localité : Cirque de la Rhue - bord d'une piste large dans bois Mary à le Claux. Lisière interne héliophile à sciacline fraîche de hêtraie-sapinière (*Fagion sylvaticae*).

Strate arbustive : *Fagus sylvatica* 2, *Acer platanoides* 1 / Strate herbacée : *Urtica dioica* 5, *Carex sylvatica* 1, *Rubus canescens* 1, *Rubus idaeus* 1, *Circaea lutetiana* 1, *Geranium robertianum* +, *Lamium galeobdolon* +, *Poa nemoralis* +, *Carex ovalis* +, *Cardamine heptaphylla* +, *Galium mollugo* +, *Euphorbia dulcis s. incompta* +, *Luzula nivea* r, *Rumex arifolius* r, *Stachys sylvatica* r, *Juncus effusus* r, *Vicia sepium* r, *Festuca gigantea* r.

- Relevé : 2434GT ; alt. 1565m ; exp. ouest ; pente (0°) ; rec. 90% ; 02/08/2022 ; localité : Rocher de l'Aygue à le Falgoux. Bas de falaise.

Urtica dioica 4, *Galium mollugo s. mollugo* 2, *Chenopodium bonus-henricus* 1, *Epilobium angustifolium* 1, *Linaria repens* 1, *Poa nemoralis* 1, *Poa supina* 1, *Achillea millefolium* 1, *Chaerophyllum villarsii* 1, *Epilobium montanum* +, *Valeriana tripteris* +, *Dactylis glomerata* +, *Solidago virgaurea s. virgaurea* +

10. Cf. Association à Stellaire holostée et Framboisier : *Stellario holosteeae-Rubetum idaei* H. Passarge 1982. (*Epilobion angustifolii* Oberdorfer 1957). Matériel : 1 relevé.

Stade dynamique intermédiaire entre ourlet héliophile herbacé post-prairial et la hêtraie montagnarde (*Fagion sylvaticae*).

Relevé : 622ML ; alt. 1305m ; exp. nord-est ; pente (10°) ; rec.a 70% ; rec.h 25% ; 10/07/2022 ; localité : ourlet de lisière au-dessus du buron en ruine dans la clairière sous grand virage descendant du pas de Peyrol à Le Falgoux. Prémanteau montagnard à *Rubus idaeus* en lisière forestière externe (hémihéliophile).

Strate arbustive (basse) : *Rubus idaeus* 4, *Sambucus racemosa* 1, *Salix caprea* r / Strate herbacée : *Milium effusum* 1, *Poa chaixii* 1, *Ajuga reptans* 1, *Galeopsis tetrahit* 1, *Impatiens noli-tangere* 1, *Senecio cacaliaster* 1, *Silene dioica* 1, *Vaccinium myrtillus* 1, *Angelica sylvestris* +, *Geranium robertianum* +, *Geranium sylvaticum* +, *Urtica dioica* +, *Epilobium montanum* +.

Tableau IV : Occurrence des différentes communautés végétales par massif

n° association	1		2	3	4	5	6	7	8		
n° Sous-association	1.1	1.2	/	/	/	/	/	/	8.1	8.2	8.3
Mézenc-monts d'Ardèches		X	X	x	x		X	x	X	X	X
monts Dore	X	X	X	X	?	x	x	X	x	x	x
monts du Cantal	x	X	x	X	X	x	X	X	X	X	X

3.2.2.5 Discussion conclusion concernant les formations de lisières

Les lisières sont des communautés complexes d'interphase et interface spatio-temporelles entre milieux fermés et ouverts, aux aires souvent ténues, voire discontinues. Les cortèges floristiques sont régulièrement colonisés par de nombreuses plantes transgressives de milieux adjacents et/ou de stades dynamiques de végétation plus ou moins évolués. De même, beaucoup de lisières forestières peuvent réunir plusieurs types de végétations (ourlets*, prémanteaux* et manteaux*...) (Géhu, 1979a). Cette complexité peut donc brouiller la compréhension et l'identification de ces végétations et explique, au moins en partie, pourquoi elles sont encore aujourd'hui assez mal connues. Contrairement aux plaines où la pression humaine tend à supprimer les zones de contact que sont les lisières (Géhu, 1979a), les massifs montagneux sont particulièrement intéressants puisque ces milieux y sont encore assez préservés. Néanmoins, peu d'auteurs ont étudié et approfondi les formations d'ourlets montagnards sur le Massif central. L'un des plus importants apports en la matière provient de Bignon (1986) qui a identifié les principales limites floristico-écologiques des groupements montdoriers. Puis Billy (1997) a travaillé sur les végétations de lisières de Basse Auvergne, mais n'a malheureusement pas traité les communautés des *Melampyro-Hocletea* montagnardes pourtant très fréquentes.

La présente analyse est donc une première concernant les formations d'ourlets et lisières du volcan Cantal. Elle a permis de mieux cerner floristiquement et écologiquement les formations présentes localement, mais aussi sur une aire plus vaste, englobant d'autres massifs volcaniques voisins (monts Dore et Ardèche-Mézenc), et décrivant notamment ici une association inédite à *Petasite alba*, pourtant si voyante ! L'approche écologique montre que c'est une combinaison de conditions qui explique la distribution des groupements étudiés. Trois variables majeures ressortent : l'ombre, l'humidité et les nutriments, suivis de près par la réaction du substrat (pH). Cette codominance des facteurs écologiques déterminants explique sans doute pourquoi ces végétations se répartissent dans quatre classes phytosociologiques différentes. La question de l'impact anthropique est malheureusement absente par manque d'information. Néanmoins, son traitement serait intéressant pour une meilleure compréhension du dynamisme post-prairial ou d'exploitation forestière. Cette synthèse met en lumière l'hétérogénéité de distribution de certains syntaxons présents sur des massifs proches. Dès lors, les végétations manquantes et probables seraient à chercher plus spécifiquement dans le Cantal. Ainsi, le groupement hélio-mésophile acidiphile à *Lathyrus montanus* et *Hieracium gr. murorum* de Bignon (1986), l'ourlet rudéral montagnard des bords de chemin eutrophisé (*Chaerophylletum aurei* Oberdorfer 1957) ou les ourlets montagnards à tendance thermo-xérophile dominés par le *Calamagrostis* de Coquillard (1993) en sont trois exemples. Somme toute, une étude plus poussée à l'échelle du Massif central serait nécessaire pour juger de la pertinence des associations et sous-associations décrites à titre provisoire. Il serait d'ailleurs souhaitable de confronter la nouvelle association provisoire du *Saxifraga rotundifolia-Petasitetum albi* aux formations de mégaphorbaies orophiles synthétisées par Loos & Thébaud (2024).

L'étude structurale des formations de lisières telle que l'a conduit Catteau (2014) serait une approche complétive très intéressante pour comprendre ces végétations instables et complexes.

Tableau V : Correspondance entre les syntaxons et les clusters ; pp signifie *pro parte*

Association	1		2	3	4	5	6	7	8		
Sous-association	1.1	1.2	/	/	/	/	/	/	8.1	8.2	8.3
Cluster	1	5	2	3	4pp	4pp	6pp	6pp	7		
NB. relevé	10	14	16	16	18	5	16	10	22	16	11

3.3 Les pelouses et prairies d'altitude

Les herbages sont spatialement dominants à l'échelle des monts du Cantal, la majorité étant issue du défrichement ancien à des fins pastorales pour gagner sur la forêt montagnarde ou la lande subalpine.

3.3.1 Les pelouses oligotrophes

Ce sont des herbages vivaces à l'aspect plus ou moins ras et généralement peu productifs. La plupart sont entretenus par la dent du bétail, mais certains, cantonnés à des microtopoclimats particulièrement sévères, présentent une grande stabilité dynamique (permasérie).

3.3.1.1 Végétations secondaires d'estives des étages montagnards et subalpins.

Ce sont les communautés les mieux représentées sur la zone d'étude. Selon le degré d'acidité du substrat ces pelouses se répartissent en deux classes phytosociologiques, les *Festuco-Brometea* (Braun-Blanquet et Tüxen ex Soo 1947) et les *Nardetea strictae* (Rivas Goday et Borja Carbonellin Rivas Goday et Mayor Lopez 1966) ainsi que quatre alliances.

A : Les pelouses acidiclinales thermo-montagnardes sur sols plus ou moins profonds :

sous-alliance du *Chamaespartio sagittalis-Agrostienion capillaris* Vigo ex J.-M. Royer et Ferrez 2020.

1. Association à Bétoine officinale et Gaillet vrai : *Betonico officinalis-Galietum veri* Billy ex Thébaud, Roux, Bernard et Delcoigne 2014 *nom. mut. nov. hoc loco* (art. 45). [= *Stachyo officinalis-Galietum veri* Billy ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014 *nom. inept.*]. Cette pelouse se retrouve sur basalte en versants d'abri, adret ou sur substrat assez xérique de l'étage montagnard moyen, surtout au-dessus de 1200 m d'altitude. La présence remarquée et récurrente sur les planèzes de l'est Cantal de *Pulsatilla rubra* et *Dactylorhiza sambucina* représente vraisemblablement une variante d'abri plus thermo-xérophile (Limon, Chastel-sur-Murat, Prat-Bouc). Les secteurs concernés étant quasiment dépourvus de couverture arborée, il est difficile de faire état du potentiel dynamique de cette pelouse. Néanmoins, il semble qu'à l'étage montagnard moyen l'évolution soit en faveur des genêtiers purgatives (*Selino-Cytisetum typicum* prov.) analysée ci-dessus en section 3.1. Toutefois, une observation réalisée sur la planèze de Prat-Bouc suppose la possibilité en limite de l'étage sub-montagnard d'une colonisation par un fourré à Pruniers et rosiers (*Pruno spinosae-Rosetum vosagiaceae*), puis par une pinède sylvestre montagnarde post-pionnière (*Prenanthes purpureae-Pinetum sylvestris*), ou bien en contexte plus riche et moins sec par un accru de bouleau et sorbier blanc (*Betulo pendulae-Salicetum capreae sorbietosum ariae*).

Cortège signalétique : *Pulsatilla rubra* ; *Dactylorhiza sambucina* ; *Betonica officinalis* ; *Galium verum* ; *G. pumilum* ; *Campanula glomerata* ; *Helianthemum nummularium* ; *Genista sagittalis* ; *Achillea millefolium* ; *Agrostis capillaris* et *Briza media*. Le cortège est pauvre en espèces réellement montagnardes.

Commentaire : Cette variante à *Pulsatilla rubra* et *Dactylorhiza sambucina* semble très proche de la sous-association *gentianelletosum campestris* Frain et al., 2009 décrite du Cantal aux alentours de 1100 m d'altitude sur le plateau Cézallier voisin et appartenant à l'*Anemone rubrae-Dactylorhizetum sambucinae* Dejou et Loiseau ex J.-M. Royer et Ferrez 2020 [= *Saxifrago granulatae-Helianthemum nummularii* Billy ex Loiseau et Felzines 2010 *pulsatilletosum rubrae* C.Roux et Brocard 2023]. Cependant, la Pulsatille rouge n'est pas constante et l'orchis sureau est très rare dans les relevés de Frain et al., (2009). De plus, le *Saxifrago-Helianthemum anemonetosum rubrae* décrit une pelouse sur substrat cristallin relativement acidiphile des étages collinéen à submontagnard, ce qui ne correspond aucunement à la variante présentée. Dès lors, on ne peut concevoir que la sous-association de Frain et al., (2009) puisse être considérée comme une variante à *Gentianella campestris* de l'*anemonetosum rubrae*. De même, la sous-association *phleetosum phleoidis* C.Roux et Brocard 2023 qui partage pourtant le substrat basaltique, semble trop peu montagnarde pour convenir à notre variante. C'est pourquoi l'association *Betonico-Galietosum* semble pour l'heure le meilleur choix dans notre rattachement syntaxonomique.

2. Association à Œillet de Montpellier et Brachypode rupestre : *Diantho hyssopifolii-Brachypodietum rupestris* G. Lemée et Carbiener 1956 nom. invers., corr. et mut. Le Hénaff, Galliot, Le Gloanec et Ragache 2021. Cette pelouse haute, dense et colorée s'installe sur les versants thermophiles de l'étage montagnard moyen. Elle est rare dans le Cantal et se rencontre uniquement dans quelques localités d'adret d'influence océanique et sur sol assez profond (Cirque d'Emblaud ; Col de Neronne ; Cassaïre ; Suc de Rond). Les sous-associations n'ont pas été distinguées. Une observation laisse penser que l'abandon pastoral conduise cette pelouse vers le groupement à Brachypode formant des ourlets en nappe avant de se recouvrir de genêt purgatif ou d'un fourré à noisetier (Cf. *Daphno-Coryletum*) puis de hêtraie (*Fagion sylvaticae*).

Cortège signalétique : *Dianthus hyssopifolius* ; *Brachypodium rupestre* ; *Helictochloa pratensis* ; *Festuca lemanii* ; *Poterium sanguisorba* ; *Betonica officinalis* ; *Thymus pulegioides* ; *Serratula tinctoria* s. *macrocephala*.

3. Association Campanule agglomérée et Fléole fausse fléole : *Campanulo glomeratae-Phleetum phleoidis typicum* Billy ex J.-M.Royer et Ferrez 2020. Cette pelouse forme un pâturage sub-montagnard dense mésoxérophile et oligotrophe sur les pentes basaltiques des versants d'abris (Plateau de Chastel-sur-Murat, Limon ?, Part-Bouc ?). Dynamiquement, ces pelouses pourraient sans doute évoluer vers un fourré à genévrier et rosier glauque (*Roso glaucae-Juniperetum communis*) puis vers une pinède sylvestre montagnarde du (*Prenanthero purpureae-Pinetum sylvestris*) (obs.pers ; Chastel-sur-Murat).

Cortège signalétique : *Phleum phleoides* (opt.) ; *Brachypodium rupestre*, *Campanula glomerata* ; *Festuca lemanii* ; *Dianthus hyssopifolius* ; *Dianthus carthusianorum*, *Eryngium campestre* ; *Helianthemum nummularium* ; *Genista sagittalis* ; *Thymus pulegioides*.

Commentaire : Physiologiquement, le faciès dominé par le brachypode montre une ressemblance avec le *Diantho hyssopifolii-Brachypodietum rupestris*. Cependant le *Campanulo-Phleetum* est typique des conditions d'abris, plus thermo-xérophiles que le sont les stations du *Diantho-Brachypodietum*.

B : Les pelouses acidiclinales thermo-montagnardes plus ou moins xérophiles :

sous-alliance du *Festucenion longifolio-lemanii* Loiseau et Felzines 2010

4. Association à Carline à feuilles d'Acanthe et Fléole fausse fléole : *Carlino acanthifoliae-Phleetum phleoidis* C.Roux et Brocard 2023. Pelouse sub-montagnarde ouverte des stations sèches des versants d'abris sur sols très minces plus ou moins rocheux. On la retrouve jusqu'à l'étage montagnard moyen sur les plateaux basaltiques de l'est Cantal (Chastel-sur-Murat notamment). D'après Roux & Brocard (2023) cette pelouse évoluera très lentement vers un fourré à *Juniperus communis*, *Prunus spinosa* et *Rosa* sp. (*Junipero-Amelanchieretum* ?). Aussi, au vu de ces fortes contraintes écologiques rien n'indique un potentiel forestier terminal.

Cortège signalétique : *Carlina acanthifolia* ; *Saxifraga tridactylites* *Arabidopsis thaliana* ; *Jasione montana* ; *Festuca lemanii*, *F. arvernensis* ; *Poterium verrucosum*, *Phleum phleoides* ; *Potentilla verna* ; *Pilosella officinarum* ; *Achillea millefolium* ; *Scabiosa columbaria* ; *Genista sagittalis* et *Eryngium campestre*.

C : Les nardaies montagnardes sur sols acidiclinales :

alliance du *Violion caninae* Schwickerath 1944

5. Association à Œillet des bois et Fenouil des Alpes : *Diantho pseudocollini-Meetum athamantici* (Luquet 1926) B. Foucault 1986 nom. mut. [incl. *Gentiano luteae-Centaureetum nigrae* Billy 2000] C'est une association atlantico-montagnarde mésophile, oligotrophile, acidiclinophile, de l'étage montagnard. Pelouse très dense et très riche en espèces où le nard domine rarement. La singularité de cette pelouse est due au rapprochement entre les plantes typiques de la nardaie acidiphile, des neutroclines et des thermophiles ; ainsi que par l'absence des espèces strictement orophiles. La fermeture de l'estive entraîne l'apparition d'un stade de lande (*Calluno-Genistion*) puis forestier (*Fagion sylvaticae*). La sous-association *cerastietosum trivialis* différenciée par plusieurs espèces pastorales traduisant des influences biotiques extensives (fauche, pâturage).

Cortège signalétique : *Agrostis capillaris*, *Galium verum*, *Genista sagittalis*, *Viola lutea*, *Meum athamanticum*, *Gentiana lutea*, *Nardus stricta*, *Prunella hastifolia*, *Danthonia decumbens*, *Thymus pulegioides*, *Helianthemum nummularium*, *Dianthus seguieri* s. *pseudocollinus*, *Nardus stricta*, *Betonica officinalis*, *Polygala vulgaris*, *Rhinanthus minor* et *Potentilla fagineicola*.

D : Les nardaies montagnardes à subalpines sur sols modérément acides à acides :

alliance du *Nardo strictae-Agrostion tenuis* Sillinger 1933

6. Association à Œillet des bois et Fétuque noirissante : *Diantho pseudocollini-Festucetum nigrescentis* Le Hénaff, Galliot, Le Gloanec et Ragache 2021. Il s'agit de pelouses d'estives montagnardes développées sur des sols peu acides et pauvres en nutriments. Physionomiquement dense et fermée, l'association est dominée par le Nard raide voire par l'Agrostide capillaire. Floristiquement, elle est marquée par la faible proportion ou l'absence d'espèces orophiles telles que le *Trifolium alpinum*, *Scorzoneroïdes pyrenaïca*, *Epikeros pyrenaëus* ou encore *Potentilla aurea*. Sur le plan dynamique, Le Hénaff *et al.*, (2021b) suggère une évolution vers les landes (*Calluno-Genistion*). Toutefois, compte tenu de son caractère montagnard, le stade final est la hêtraie (*Fagion sylvaticae*).

Cortège signalétique : *Genista sagittalis* ; *Dianthus seguieri s. pseudocollinus* ; *Galium verum* ; *Ranunculus serpens* ; *Meum athamanticum* ; *Viola lutea* ; *Betonica officinalis* ; *Thymus pulegioides* ; *Festuca nigrescens* ; *Nardus stricta* ; *Centaurea nigra*. Les espèces neutroclines présentes dans l'association précédente se font plus discrètes.

7. Association à Renoncule tubéreuse et Nard raide : *Ranunculo serpentis-Nardetum strictae* (Billy ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014) ex Le Gloanec et Le Hénaff 2024. [= *Diantho sylvatici-Leontodontetum helvetici galletosum veri* Billy ex Thébaud *et al.*, 2014]. C'est une pelouse d'estive bien exposée, thermocline du montagnard supérieur au subalpin inférieur. Dans leur diagnose Le Gloanec & Le Hénaff (2024) distinguent une variante d'ordre trophique avec une augmentation du cortège des espèces mésotrophiles des *Arrhenatheretea*. Suivant l'étage de végétation, cette pelouse évolue vers un stade final forestier (*Aceri-Fagion/ Fagion sylvaticae*) ou landicole (*Vaccino-Genistion/Association à Sorbus*).

Cortège signalétique : *Scorzoneroïdes pyrenaïca* ; *Potentilla aurea* ; *Trifolium alpinum* ; *Ranunculus serpens* ; *Genista sagittalis* ; *Lotus corniculatus* ; *Thymus pulegioides* ; *Briza media* ; *Genista tinctoria* ou *Galium pumilum*. L'association s'enrichit en espèces d'altitude, complété d'un cortège important d'espèces thermo-neutrophiles des *Festuco-Brometea*.

8. Association à Brize intermédiaire et Agrostide capillaire : *Brizo mediae-Agrostietum capillaris* Thébaud 2008. Cette pelouse se cantonne aux expositions favorables au sein des étages montagnards supérieurs et subalpins (opt.). Développée au niveau des concavités des versants d'adrets (plus longuement enneigés) ou en contrebas de versants enneigés, cette association mésotrophile et hygrocline que l'on pourrait qualifier de « thermo-chionophile » nécessite à la fois une protection neigeuse assez longue, un apport hydrique de fusion favorable et de la chaleur estivale. Relativement stable sur les secteurs bien délimités par les sillons de congères, cette pelouse est néanmoins favorisée par le pâturage, et lorsque celui-ci cesse, la lande à myrtille et airelle reprend place (*Calluno-Genistion*).

Cortège signalétique : *Briza media* ; *Agrostis capillaris* ; *Carex pilulifera* ; *Dianthus seguieri s. pseudocollinus* ; *Festuca nigrescens* ; *Galium saxatile* ; *Hypericum maculatum* ; *Nardus stricta* ; *Luzula multiflora* ; *Sanguisorba officinalis* et *Ajuga reptans*.

9. Association à Œillet des bois et Liondent des Pyrénées : *Diantho pseudocollini-Scorzoneroïdetum pyrenaïca* (Lachapelle 1964) Billy ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014. Pelouse mésophile, oligomésotrophile, que l'on retrouve aux étages montagnard supérieur (opt.) et subalpin inférieur. Cet herbage dense est particulièrement riche en espèces, souvent dominé par le Nard raide ou la Canche flexueuse avec un cortège de plantes caractéristiques de l'étage montagnard supérieur. L'évolution dynamique se fait vers la lande (*Calluno-Genistion*). Une variante hygroclinophile est suggérée par Le Hénaff *et al.*, (2021b).

Cortège signalétique : *Trifolium alpinum*, *Scorzoneroïdes pyrenaïca*, *Epikeros pyrenaëus*, *Potentilla aurea* ; *Bistorta officinalis*, *Gentiana lutea*, *Poa chaixii*, *Dianthus seguieri s. pseudocollinus*, *Meum athamanticum*, *Viola lutea*, *Festuca nigrescens* ou *Galium saxatile* ; mais aussi quelques aclidiclinophiles comme *Galium verum* ou *Genista segetalis*.

Commentaire : La sous-association *galletosum veri* plus thermophile, est devenue synonyme du *Ranunculo serpentis-Nardetum strictae* d'après Le Gloanec et Le Hénaff (2024).

10. Association à Laïche à pilules et Nard raide : *Carici piluliferae-Nardetum strictae* R. Michalet et T. Philippe ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014. Dominée par le Nard raide cette pelouse s'étend sur des pentes douces en condition mésophile et oligomésotrophile, depuis l'étage montagnard supérieur jusqu'au subalpin inférieur Cette nardaie se distingue à la fois par l'importance du cortège d'espèces subalpines, mais aussi par la rareté des chionophiles comme *Plantago alpina*, *Trifolium alpinum* ou *Luzula desvauxii*. Deux sous-

associations se séparent selon l'orientation ; la *typicum* située sur des pentes d'ubacs, et la *serratuletosum tinctoriae* des pentes d'adret. En cas d'abandon du pâturage, cette pelouse évolue progressivement vers la lande subalpine du *Vaccinetum uliginosi-myrtilli*.

Cortège signalétique : *Nardus stricta* ; *Potentilla erecta* ; *Scorzoneroides pyrenaica* ; *Anemone nemorosa* ; *Gentiana pneumonanthe* ; *Meum athamanticum* ; *Carex pilulifera* ; *Arnica montana* ; *Epikeros pyrenaeus* ; *Bistorta officinalis* ; *Luzula multiflora* ; *Serratula tinctoria* ; *Alchemilla saxatilis* ; *Jasione laevis*. *Anemone scherffelii* est absent du Cantal, mais remplacé dans le cortège par *Anemone alpina* s. *apiifolia*. Dans le massif du Plomb, cette pelouse s'exprime sous une forme méridionale caractérisée par la présence récurrente de *Anemone vernalis*, parfois accompagnée de *Silene ciliata* ou rarement de *Cytisus decumbens* et dont le statut phytosociologique définitif reste en suspens (étude à poursuivre).

Commentaire : Il serait envisageable de regrouper cette association avec la précédente, étant donné leur faible différenciation floristico-écologique (Thébaud comm. pers.).

3.3.1.2 Végétations primaires de l'étage subalpin supérieur (enclaves alpines)

Il s'agit de végétations spécialisées d'altitude et dont l'optimum se situe dans un étage absent en Auvergne, l'étage alpin. Ces formations forment des pelouses rases souvent pauvres en espèces et largement dominées par des hémicryptophytes héliophiles, cryophiles, oligotrophiles et acidiphiles. Le cortège se compose alors presque exclusivement de plantes strictement orophiles. Ces formations sont naturellement stables tant que les conditions écologiques se maintiennent. C'est-à-dire qu'elles sont en équilibre avec les rudes conditions climatiques locales. Ces dernières sont si contraignantes que même les chaméphytes qui composent pourtant les landes climaciques subalpines (*Calluno-Genistion*) ne peuvent se structurer en communauté. Somme toute, ces pelouses sont particulièrement discrètes et cantonnées aux seules zones soumises à la violence du vent, de la neige et du givre, où elles forment des enclaves alpines à l'intérieur de l'étage subalpin supérieur. Au sein de la classification phytosociologique ces pelouses primaires appartiennent aux *Juncetea trifidi* Hadac in Klika et Hadac 1944 et au *Salicetea herbaceae* Braun-Blanquet 1948.

Au regard de l'important échantillonnage effectué dans le cadre de cette étude, une analyse générale de ces communautés a été réalisée. Cependant, la publication très récente d'une synthèse sur les communautés végétales orophiles du Massif central (Le Gloanec & Le Hénaff, juin 2024) découverte lors de phase finale de notre étude nous oblige à examiner ces derniers travaux. Dès lors, dans un souci de pertinence de nos résultats, notre analyse ne sera pas présentée, mais reconduite postérieurement en y intégrant matériels et considérations de Le Gloanec & Le Hénaff 2024. En effet, l'apport massif de relevés phytosociologiques cantaliens inédits (135) devrait permettre à travers une synthèse analytique d'ensemble d'affiner les connaissances floristiques et syntaxinomiques de ces végétations. Toutefois, nous discuterons de nos résultats préliminaires pour les associations concernées.

A : Les pelouses chionophiles mésophiles à hygroclynes des combes à neige :

alliance du *Nardion strictae* Braun-Blanquet 1926 [= *Euphrasio minimae-Nardionstrictae* Le Hénaff, Hostein, M. Dumont et Pradinas 2021 *nom superf.*]

1. Association à Euphrase naine et Nard raide : *Euphrasio minimae-Nardetum strictae* R. Michalet & T. Philippe ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014. Cette nardaie dense et mésophile de l'étage subalpin supérieur est liée à des zones d'accumulation de neige formant des congères tardives limitant le développement des espèces chionophobes et des chaméphytes. Le drainage naturel évite une certaine hydromorphie qui caractérise l'association suivante. Pour le Cantal, ces végétations sont particulièrement bien exprimées en versant d'abri, au niveau des ruptures de pentes sous les crêtes, les cols et dans certaines concavités à fort potentiel cumulo-nival. *Plantago alpina*, pourtant considéré comme caractéristique de l'association suivante est assez fréquent, sans doute représente-t-elle une variante plus chionophile. De même, certaines de ces nardaies, moins longuement enneigées et situées en adret ou de à moindres altitudes, s'enrichissent d'un cortège d'estives somme toute peu recouvrant. Ces dernières pelouses pourraient former une variante thermophile faisant la transition avec le *Diantho-Scorzoneroidetum* (analyse non présentée et étude à poursuivre). Suivant la topographie, l'*Euphrasio minimae-Nardetum* et le *Plantagini alpinae-Nardetum* peuvent se superposer verticalement au sein d'une même combe à neige.

Cortège signalétique : *Euphrasia minima*, *Nardus stricta* (opt.), *Agrostis rupestris*, *Phyteuma hemisphaericum*, *Trifolium alpinum*, *Scorzoneroides pyrenaica*, *Epikeros pyrenaicus*, *Potentilla aurea*, *Luzula multiflora* et *sudetica*. L'association est particulièrement pauvre en espèces.

Commentaire : *Euphrasia minima* ne s'inscrit pas exclusivement dans ce groupement, ni même *Agrostis rupestris* puisqu'elles existent également dans le *Plantagini alpinae-Nardetum strictae*. Dès lors ces espèces apparaissent davantage comme étant des caractéristiques de rang supérieur ; idem pour le plantain des Alpes (analyse non présentée et étude à poursuivre).

2. Association à Plantain des Alpes et Nard raide : *Plantagini-Nardetum* Braun-Blanquet 1926 (à l'antériorité sur le *Plantagini alpinae-Nardetum strictae* Luquet 1926 (Roux & Thébaud comm pers.)). Plus humide que l'association précédente, cette nardaie dense et floristiquement pauvre se situe dans les fonds de combes à neige à texture fine, peu pentues et mal drainées de l'étage subalpin supérieur. Le cortège signalétique partage à la fois les chiono-acidiphiles et un lot d'hygrophiles. Une variante sans *Plantago alpina* mais incluant *Agrostis rupestris*, *Euphrasia minima* et *Carex leporina* a été identifiée, mais dont la synécologie reste encore à préciser (analyse non présentée et étude à poursuivre).

Cortège signalétique : *Plantago alpina*, *Nardus stricta* (opt.), *Trifolium alpinum*, *Scorzoneroides pyrenaica* et mésohygrophiles : *Carex nigra*, *Viola palustris*, *Veratrum albus* ou *Narcissus pseudonarcissus*.

B : pelouses chionophobes propres aux hautes crêtes ventées, érodées et cryo-xériques :

alliance du *Festucion airoidis* Braun-Blanquet. 1948 mut. Mucina et al. 2016 [= *Festucion supinae* Braun-Blanquet 1948]

3. Association à Silène cilié et Fétuque faux-aïra : *Sileno ciliatae-Festucetum airoidis* Le Gloanec et Le Hénaff 2024. Cette pelouse synendémique du massif du Plomb du Cantal occupe les secteurs des crêtes ou des vires rocheuses peu inclinées de l'étage subalpin supérieur, des sols superficiels. La durée d'enneigement est plus faible que sur d'autres secteurs du fait de son positionnement sur les crêtes (peu propices à l'accumulation de la neige sur une longue période). La forte luminosité estivale, combinée à des sols peu profonds et l'action du vent, induit une dessiccation importante de cette pelouse dès le début du mois d'août. Il existe à côté de la variante type une autre enrichie en espèces des pelouses acidiphiles des *Nardetalia strictae* et des *Festucetalia spadiceae* (Le Gloanec & Le Hénaff, 2024). Association floristiquement un peu plus riche, comparé aux autres pelouses primaires, les alchémilles du groupe *alpina* y sont aussi particulièrement bien représentées (obs. pers.). Dynamiquement, il s'agit d'une permasserie pelousaire cryo-anémoxérophile.

Cortège signalétique : *Silene ciliata*, *Pulsatilla vernalis*, *Pedicularis comosa* et *Androsace halleri*.

Commentaire : Un important matériel phytosociologique accumulé et analysé prioritairement à la création de cette nouvelle association par Le Gloanec & Le Hénaff (2024), laisse présager que le *Sileno-Festucetum airoidis* serait à considérer comme une sous-association méridionale cantalienne d'une pelouse non décrite, synécologiquement similaire et commune aux plus hautes crêtes de l'étage subalpin supérieur des monts d'Auvergne. Le massif du Puy Mary et les monts Dore hébergeraient la sous-association typique (analyse non présentée et étude à poursuivre). Aussi, Le Gloanec & Le Hénaff (2024) suggèrent une dynamique évolutive lente vers un *Pulsatilla vernalis-Cytisetum* ce qui ne peut se concevoir au sein de cette pelouse primaire. Cela n'est possible qu'en cas de recolonisation de la niche landicole après cessation des perturbations qui ont précédemment entraîné la dégradation de la lande initiale environnante au profit du *Sileno-Festucetum* plus compétitif (dynamique régressive de dégradation puis progressive de recolonisation). Ce processus pourrait également affecter le *Roso-Cotoneasteretum* sur les hautes crêtes (Obs. pers.).

4. Association à Jasione d'Auvergne et Agrostis des rochers : *Jasiono arvernensis-Agrostietum rupestris* R.Michalet et T.Philippe ex Thébaud et al. 2014. C'est une pelouse xéroclinophile et souvent très ouverte qui colonise les sols écorchés, superficiels à texture minérale grossière que l'on retrouve au niveau des crêtes de l'étage subalpin supérieur. La proportion importante de sols nus est due à une reptation nivale (forte pente) et/ou éolienne (déflation violente) sur une roche mère peu cohésive et friable (altérite, brèche, scorie). La sous-association typique se retrouve en ubac alors que le *festucetosum paniculatae* se développe plutôt sur les fortes pentes d'adret.

Cortège signalétique : *Agrostis rupestris* (constant et souvent dominant), *Atocion rupestre*, *Hieracium schmidtii*, *Phyteuma hemisphaericum*, *Euphrasia minima*, *Festuca airoides*, *Luzula spicata*, *Helictochloa versicolor*, *Cerastium alpinum*, *Festuca billyi*, *Biscutella arvernensis*. *Scleranthus uncinatus* ou *Dianthus gratianopolitanus*,

espèces pionnières, peuvent compléter le cortège. *Sesamoides pygmaea* est très rare dans le Cantal et *Jasione crispa* s. *arvernensis* n'y est pas connu.

Commentaire : Il s'agit d'une association des monts Dore. Une sous-association méridionale cantalienne (massif du Plomb) différenciée par *Silene ciliata* semble pouvoir être différenciée selon nos résultats encore provisoires. Cependant, elle se distinguerait de l'association précédente par son caractère plus pionnier, se développant sur des sols fortement érodés par la nivoreptation et entretenus par la déflation (analyse non présentée et étude à poursuivre).

5. Association à Biscutelle d'Auvergne et Fétuque faux-âira : *Biscutello arvernensis-Festucetum airoidis* Billy ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014. C'est une association des vires rocheuses plus ou moins herbeuses formant d'étroite banquette végétalisée et plus ou moins continue sur les falaises ou rochers de l'étage subalpin supérieur où un mince sol arrive à se constituer. Bien que stable, il s'agit d'une formation intermédiaire entre les végétations de falaise et de pelouses, elle est ainsi remarquée par un mélange d'espèces rupicoles et pelousaires.

Cortège signalétique : *Biscutella arvernensis*, *Festuca airoides*, *Dianthus gratianopolitanus*, *Cerastium alpinum* et *Linaria repens*.

C : Pelouses ouvertes ultrachionophiles méso-xéroclines sujettes à l'érosion nivale :

Classe des Salicetea herbaceae, alliance du *Salicion herbaceae* Braun-Blanquet in Braun-Blanquet et Jenny 1926

6. Association à Plantain des Alpes et Agrostis des rochers : *Plantagini alpinae-Agrostietum rupestris* R. Michalet et T. Philippe ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014. C'est une pelouse très pauvre et écorchée, au caractère apparemment pionnier, riche en bryophytes sélectionnant les combes à neige très pentues et exposées au nord ou à l'est, souvent en contrebas de grands sommets plats et ventés (Col de la chèvre, col de la Pourtoune, Pas des Alpes) au sein de l'étage subalpin, sujettes à l'érosion consécutive à une suralimentation nivale. Elle est syngénétiquement conditionnée par le rôle des imposantes congères venant racler le profil pour ne fondre que très tardivement (fin juin-juillet). Néanmoins, ces végétations sont méso-xéroclines puisque le sol est quasi nul, très minéral et drainé par la pente. Les espèces chionophiles résistantes à la solifluxion y sont à leur optimum où elles peuvent parfois former de véritables petites guirlandes. Deux sous-associations sont décrites, le *nardetosum strictae* faisant transition vers les nardaies humides d'aval (*Euphrasio-Nardion*), et le *sesamoidetosum pygmaeae* sur sol sec et érodé qui fait la transition avec le *Jasiono-Agrostietum* ; aussi plusieurs variantes semblent exister (analyse non présentée et étude à poursuivre).

Cortège signalétique : *Trifolium alpinum* (opt.), *Plantago alpina* (opt.), *Agrostis rupestris*, *Phyteuma hemisphaericum*, *Saxifraga stellaris*, *Luzula desvauxii*, *Mutellina adonidifolia* ou *Sedum alpestre* ; *Festuca airoides* y est très rare. *Gnaphalium supinum* et *Salix herbaceae* ne sont pas connus dans le Cantal. Parmi les bryophytes orophiles chionophiles *Kiaeria starkei*, *Oligotrichum hercynicum*, *Lophozia sudetica*, *Marsupella sparsifolii*, *Racomitrium macounii* ont été relevés dans l'association du Cantal (Thébaud & Skrzypczak, comm. pers.).

Commentaire : Le rattachement par ses auteurs à l'alliance du *Salicion herbaceae* ne paraît pas satisfaisant. En effet, cette pelouse semble bien plus proche floristiquement et synécologiquement des associations du pôle chionophile de pelouses du *Caricion curvulae* : *Saxifrago bryoidis-Festucetum halleri* Mikolajczak in Corriol et Mikolajczak 2017 et *Senecioni incarni-Caricetum curvulae* Oberdorfer 1959 *salicetosum herbaceae* Theurillat 1996. Ces dernières associations sont d'ailleurs plus riches en différentielles des *Salicetea herbaceae* que le *Plantagini-Agrostietum*. Michalet & Philippe (1994, 1996) signalent pourtant que dans les monts Dore ce sont les nardaies du *Nardion* (*Euphrasio-Nardion*) et le *Luzulion desvauxii* (*Mutellino-Luzulion*) qui hébergent les congères les plus tardives et non le *Plantago-Agrostietum* déneigé plus tôt ; ce qui, il faut l'avouer est contradictoire vis-à-vis de la classe considérée (analyse non présentée et étude à poursuivre).

3.3.2 Les prairies montagnardes mésophiles, mésotrophes à eutrophes

Sur l'aire des monts du Cantal, ces prairies sont peu communes et résultent de l'enrichissement trophique agricole des pelouses montagnardes. Ces végétations appartiennent à l'ordre phytosociologique des *Arrhenatheretalia elatioris* Tuxen 1931.

3.3.2.1 Les pâtures montagnardes

Ils apparaissent généralement après un pâturage bovin excessif sur les estives fréquentées par le bétail (replats, buron, parcs plus ou moins récents). À l'extrême, cela peut entraîner une érosion due au surpiétinement. Ces pâtures appartiennent aux sous-alliances *Alchemillo xanthochlorae-Cynosurelion cristati* Passarge 1969 et *Bromo mollis-Cynosurelion cristati* Passarge 1969.

1. Association à Féтуque noircissante et Crételle à crête : *Festuco commutatae-Cynosuretum cristati* Tüxen in Büker 1942. Il s'agit d'un pâturage mésophile et mésotrophile sur des sols acidiphiles, à physionomie assez dense, où subsistent quelques espèces des pelouses oligotrophes initiales.

Cortège signalétique : *Nardus stricta*, *Festuca nigrescens*, *Cynosurus cristatus*, *Trifolium pratense*, *T. repens* ou *Plantago lanceolata*.

Commentaire : Il existe aux étages montagnards supérieurs et subalpins inférieurs des îlots de prairies pâturées denses et moyennement hautes, riches en orophytes, phytosociologiquement intermédiaire entre les pelouses des *Nardetea* et les prairies de fauche du *Violo-Trisetetum*. *Nardus stricta* et autres plantes pelousaires se font rares, *Meum athamanticum*, *Avenella flexuosa*, *Poa pratensis*, *Bistorta officinalis*, *Gentiana lutea*, *Poa chaixii*, *Hypericum maculatum*, *Campanula scheuchzeri*, *Viola lutea* ou *Geranium sylvaticum* sont quant à elles très recouvrantes. Cette prairie s'intègre-t-elle dans la variabilité du *Festuco commutatae-Cynosuretum*, est-ce une forme pâturée sans strate herbacée haute relevant du *Violo-Trisetetum*, ou s'agit-il d'une prairie alticole non décrite et équivalente au *Poion alpine* des Alpes et du Jura? (Etude à poursuivre).

2. Association à Ray-grass anglais et Crételle à crête : *Lolium perennis-Cynosuretum cristati* Tüxen 1937. Cette prairie, très localisée, résulte de l'intensification pastorale de l'association précédente. Les conditions y sont plus eutrophiles, le cortège floristique est pauvre et banal, et les espèces de pelouses montagnardes ont presque totalement disparu au profit d'espèces à large amplitude, préférant les sols riches.

Cortège signalétique : *Bromus hordeaceus*, *Lolium perenne* (opt.), *Cerastium fontanum* s. *vulgare*, *Rumex acetosa*, *R. obtusifolius* et *Dactylis glomerata*, ainsi qu'un ensemble de taxons prairiales classique.

3.3.2.2 Les prairies montagnardes de fauches

Les prairies de fauche sont peu communes en altitude et se trouvent principalement en zones périphériques du massif sur les secteurs mécanisables des Planèzes ; plus bas, elles sont courantes sur les versants doux et au fond des vallées glaciaires. Toutes ces formations ont un stade climacique forestier (*Fagion sylvaticae*). Ces prairies appartiennent à la sous-alliance du *Rhinantho pumili-Trisetenion flavescens* B. Foucault 2016.

Association à Violette jaune et Trisète jaunâtre : *Violo luteae-Trisetetum flavescens* Luquet ex B. Foucault 1986. Il s'agit d'une prairie de fauche mésotrophile sur des sols acidoclines à neutroclines (basalte) et généralement épais. La faible fertilisation la rend moyennement dense et permet le maintien de deux strates végétales riches. La strate basse comprend quelques espèces des pelouses alors que la strate haute présente des espèces typiquement prairiales. Trois sous-associations autres que la typique ont été décrites : i) le *sanguisorbetosum officinalis*, hygroclicophile, ii) le *patzkeetosum paniculatae* Le Hénaff et al., 2021a, thermophile et iii) le *knautietosum arvernensis* Le Hénaff et al., 2021a, mésotrophe et amélioré.

Cortège signalétique : *Dianthus seguieri* s. *pseudocollinus*, *Meum athamanticum*, *Viola lutea*, *Galium verum* ou *Campanula scheuchzeri* s. *lanceolata*, *Trisetum flavescens*, *Bistorta officinalis*, *Gentiana lutea*, *Rhinanthus minor*, *Ranunculus acris* ou *Dactylis glomerata*.

Commentaire : D'autres prairies de fauche montagnardes sont potentiellement présentes, notamment le *Knautio arvernensis-Trisetetum flavescens* Billy ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014, sur sols plus profonds et temporairement inondés, ainsi que le *Knautio arvernensis-Arrhenatheretum elatioris* Billy ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014. Le *Violo-Trisetetum* pourrait dériver vers cette dernière par homogénéisation floristique et disparition des espèces montagnardes suite à l'intensification des pratiques. Certaines prairies rencontrées jusqu'à haute altitude (1450 m), avec un caractère floristique montagnard très faible, pourraient y être rattachées.

3.3.3 Végétations fortement anthropisées et perturbées

Suite à une pression pastorale inadaptée, des dégradations importantes peuvent transformer les herbages montagnards pour des siècles. Les deux principaux risques sont la surfertilisation et le surpiétinement. Ces végétations appartiennent aux classes phytosociologiques des *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer, Preising &

Tüxen ex von Rochow 1951, des *Polygono-Poetea annuae* Rivas-Martinez. 1975 et des *Arrhenatheretea elatioris* Braun-Blanquet 1949 nom. nud..

3.3.3.1 Végétations nitrophiles ou « reposoir »

Association à Oseille des Alpes : *Rumicetum alpini* Beger 1922. (*Rumicion alpini* Scharfetter 1938) Ces friches, localisées à proximité des burons ou sur d'anciens replats utilisés comme reposoirs, parcs de nuit ou de traite, sont saturées en azote. Elles forment un couvert dense, souvent monospécifique de *Rumex* ou plus rarement de *Blitum bonus-henricus*. D'autres espèces des prairies et friches eutrophiles peuvent accompagner, mais leur présence reste marginale.

Cortège signalétique : *Rumex alpinus* (opt.), *Blitum bonus-henricus* (opt.), *Poa supina*, *Urtica dioica*, *Galeopsis tetrahit* ou *Dactylis glomerata*.

Commentaire : En l'absence d'études approfondies sur le sujet, nous considérons que les espèces caractéristiques des zones rudérales nitrophiles de montagne se limitent aux deux espèces citées précédemment (*Rumex alpinus* et *Blitum bonus-henricus*). Toute variation physionomique ou compositionnelle par rapport à la signalétique de base doit être interprétée comme un faciès plus ou moins marqué, mais ne correspond pas à une association végétale distincte. Il ne faut pas confondre ces végétations luxuriantes, lorsqu'elles sont dominées par le *Rumex* des Alpes, avec les mégaphorbaies orophiles typiques des *Mulgedio-Aconitetea*. Ces dernières se distinguent par un ensemble d'espèces caractéristiques. Nous ne partageons pas le point de vue de Mucina *et al.*, (2016) de classer ces végétations dans la classe des mégaphorbaies orophiles (*Mulgedio-Aconitetea*) et préférons la taxinomie adoptée par le PVF1 (*Artemisietea vulgaris*) (Bardat *et al.*, 2004), qui nous semble mieux refléter la composition floristique et les affinités écologiques de ces communautés.

3.3.3.2 Végétations surpiétinées

1. Association à Pâturin annuel et Renouée des oiseaux : Cf. *Poo annuae-Coronopodetum squamati* (Oberdorfer. 1957) Gutte 1966. (*Polygono arenastri-Coronopodion squamati* Sissingh 1969). Ces tonsures annuelles assez denses sont soumises à un piétinement intense et à un tassement excessif et se développent sur des sols enrichis en éléments nutritifs.

Cortège signalétique : *Capsella bursa-pastoris*, *Poa annua*, *Stellaria media*, *Polygonum aviculare*, *Matricaria discoidea*, on y trouve aussi diverses vivaces nitrophiles reliques telles que : *Plantago major*, *Cirsium eriophorum*, *C. vulgare*, *Trifolium repens*, *Achillea millefolium* ou *Carduus nutans*.

Commentaire : Correspond au groupement à Renouée des oiseaux et Matricaire discoïde (Seytre 2006) signalé : *Polygono arenastri-Matricarietum discoideae*.

2. Association à Renouée des oiseaux et Scléranthe à crochets : *Polygono avicularis-Scleranthetum uncinati* B. Foucault et Terrisse in B. Foucault 1987. (*Polygono arenastri-Coronopodion squamati* Sissingh 1969) Cette végétation annuelle est très rase, poussant sur des sols très compactés et érodés, fortement dégradés par un piétinement intense. Quelques vivaces à rosette et pivot, adaptées à ces conditions difficiles peuvent s'implanter. *Plantago alpina* est parfois présent à l'étage subalpin à la faveur de concavités longuement enneigées (pistes, chemins), favorisé par un enneigement particulièrement long. Cette végétation forme souvent des mosaïques avec d'autres types de végétation tels que la suivante.

Cortège signalétique : *Scleranthus uncinatus*, *Polygonum aviculare*, *Poa annua* et *Spergularia rubra*

3. Groupement à Pâturin couché : (*Poion supinae* Rivas Martinez et Géhu 1978). C'est une communauté subalpine vivace, pionnière des stations piétinées. Elle est assez fréquente le long des sentiers ou des reposoirs à bestiaux riches en azote et en matière organique fine. Cette formation peut se maintenir indéfiniment dans les zones soumises à un piétinement important. Peu diversifiée (paucispécifique), elle se caractérise par la dominance du tapis de *Poa supina*. L'association précédente s'y intègre souvent en mosaïque.

Cortège signalétique : *Poa supina* (opt.)

Commentaire : Pour l'heure, le syntaxon auvergnat ne semble pas avoir été décrit.

3.4 Les végétations à hautes herbes et mégaphorbaies

Dans le cadre de l'étude EPHE, ces végétations ont fait l'objet d'une analyse et description complète et publiée (Loos & Thébaud, 2024) « Contribution à l'étude des formations orophiles à hautes herbes (*Mulgedio-Aconitetea* Hadač et Klika in Klika et Hadač 1944 et *Festucetalia spadiceae* Barbero 1970) du Massif central français : analyse des données phytosociologiques et classification régionale » les résultats et les associations ne seront donc présentés ici que succinctement. En résumé, ce dernier article présente une analyse globale de 638 relevés de groupements à hautes herbes orophiles du Massif central français, puis des analyses partielles qui se concentrent sur 572 relevés de communautés situées de l'étage montagnard moyen jusqu'à l'étage subalpin. Ces groupements comprennent les mégaphorbaies *stricto sensu* ainsi que les hautes formations graminéennes à *Calamagrostis* et/ou *Patzkea paniculata*. Les résultats de cette révision conduisent à la caractérisation de 17 associations végétales, dont cinq nouvelles, un groupement et 33 sous-associations et deux variantes. Cinq associations précédemment décrites ont été réfutées et déclassées. Ces végétations se répartissent entre deux classes phytosociologiques, les *Mulgedio-Aconitetea* Hadač et Klika in Klika et Hadač 1944 et les *Juncetea trifidi* Hadač in Klika et Hadač 1944, sept alliances, dont une inédite dans le Massif central, ainsi que quatre sous-alliances nouvelles. Une classification régionale y est proposée en accord dans ses grandes lignes avec celle de l'EuroVegChecklist. L'étude approfondie des variables écologiques basée sur des analyses statistiques type ANOVA, DCA et CCA a permis la caractérisation des variables écologiques discriminantes dans la répartition des communautés, ainsi que la description de leurs conditions stationnelles. Globalement, le développement d'un étage subalpin et les conditions climatiques océaniques, propices aux mégaphorbaies, favorisent l'abondance et la diversité des communautés étudiées dans les grands massifs volcaniques de l'ouest que sont les monts du Cantal et les monts Dore. À l'inverse, les communautés du *Calamagrostion* subissent une régression progressive dans le sud du Massif Central en raison de périodes de sécheresse trop intenses liées à l'extension du climat méditerranéen.

Les principaux résultats de Loos & Thébaud (2024) sont résumés en suivant. Le tableau synoptique et celui de l'occurrence par massif pour des associations et sous-associations d'après Loos & Thébaud (2024) sont disponibles en annexe 14. Un exemple de tableau princeps d'association cantalienne décrite dans Loos & Thébaud (2024) est disponible en annexe 15.

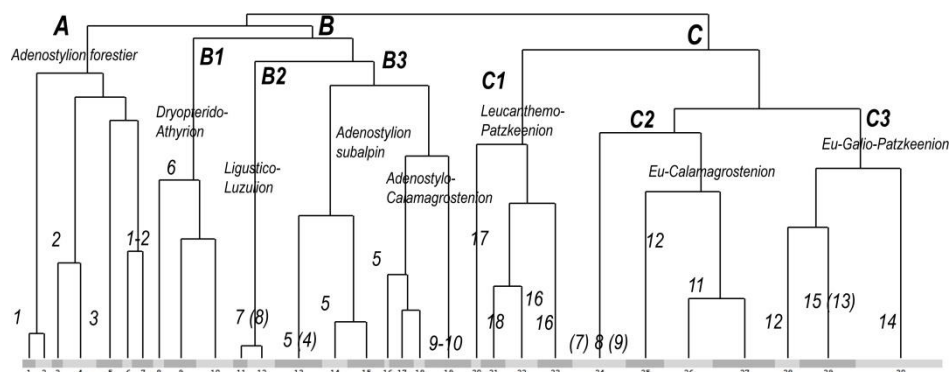
La méthodologie d'analyse est conforme à celle exposée dans le chapitre II.

Premièrement, l'analyse de la classification Twinspan modifiée (modified Twinspan classification–MTC, Roleček *et al.*, 2009) a permis de définir trois grands types de groupements orophiles à hautes herbes dans le Massif central (Fig. 57) :

Groupe A : mégaphorbaies forestières d'ombre, présentes sur tout le massif (*Adenostylin* sylvatique).

Groupe B : formations subalpines hygrosclaphiles ou chionophiles du nord du Massif central, divisées en trois sous-groupes selon leur composition spécifique (*Dryopterido-Athyrium distentifolii*, *Mutellino adonidifoliae-Luzulion desvauxii*, *Adenostylin* extrasylvatique et *Adenostylo-Calamagrostienion*).

Groupe C : végétations subalpines héliothermophiles du Massif central, subdivisées en formations xérophiles, mésophiles et méso-xérophiles d'adret à hautes herbes et fétuques (*Eu-Calamagrostienion* et *Leucanthemo delarbrei-Patzkeenion*).



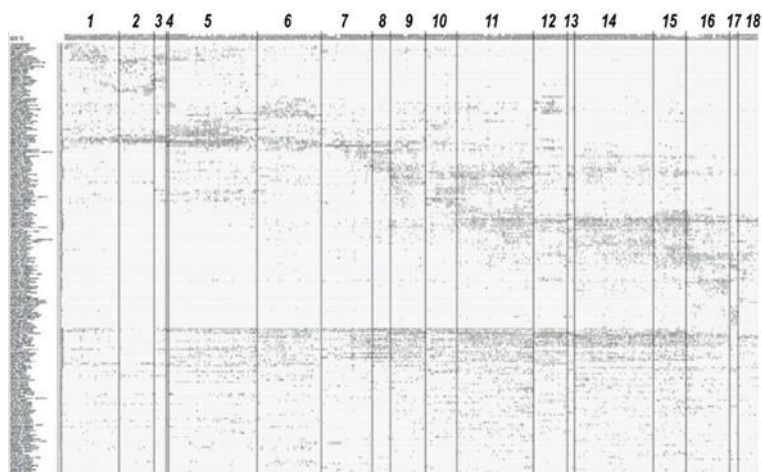


Figure 57 : En haut : Dendrogramme issu de l'analyse MTC portant sur 572 relevés et 336 espèces (analyse en présence-absence ; indice de similarité = inertie totale ; espèces présentes 2 fois ou moins soustraites à l'analyse). Les numéros de cluster figurent en bas du schéma. Les numéros en italique sont ceux des différentes associations individualisées. Les associations non présentes dans le Cantal sont soulignées.

En bas : tableau Juice diagonalisé volontairement réduit pour donner une vue d'ensemble de la dispersion relevés/espèces et des associations, séparées par des traits verticaux (pour accéder au tableau en taille lisible voir supplément 3).

1 *Crepido-Adenostyletum* ; 2 *Arabidopsio-Adenostyletum* ; 3 *Doronico-Campanuletum* ; 4 *Salici-Luzuletum* ; 5 *Imperatorio-Adenostyletum* ; 6 *Senecioni cacaliastri-Athyrietum* ; 7 *Veratro-Luzuletum* ; 8 *Pediculari-Geranieum* ; 9 *Luzulo-Calamagrostietum* ; 10 *Heracleo-Calamagrostietum* ; 11 *Calamagrostietum arundinaceae* ; 12 *Senecioni-Calamagrostietum* ; 13 groupement à *Libanotis pyrenaica* ; 14 *Arnico-Patzkeetum* ; 15 *Betonico-Patzkeetum* ; 16 *Leucanthemo-Patzkeetum* ; 17 *Bupleuro-Festucetum* ; 18 *Tulipo-Patzkeetum*.

Dans un second temps, une analyse de type « detrended correspondance analysis » (DCA, Hill & Gauch, 1980) a été menée sur 568 relevés et 336 taxons. Cette analyse a permis de visualiser la position relative des différentes alliances (Fig. 58a) et associations végétales (Fig. 58b) le long des trois premiers axes factoriels. Les espèces bio-indicatrices, qui n'ont pas été indiquées sur les figures 58 pour des raisons de lisibilité, nous ont permis de mettre en évidence les variables et les gradients écologiques discriminants.

L'interprétation des axes montre que la distribution des groupements à hautes herbes est principalement contrôlée par trois gradients :

- Gradient hydrique et trophique (axe 1) : Ce gradient oppose les végétations hygrophiles des sous-bois, riches en espèces, aux végétations sèches et oligotrophes des pelouses à fétuques paniculées.
- Gradient physico-chimique lié à la nature du substrat. (axe 2) : les associations se répartissent selon un continuum entre sols acides développés sur des substrats siliceux et des sur roches plus pauvre en silice avec des sols plus neutre et/ou organiques et profonds.
- Gradient qui est délicat à interpréter possiblement topographique (axe 3) : il isole dans sa partie inférieure les végétations chionophiles des ubacs subalpins.

D'autres analyses d'ordinations globales et partielles mettant en correspondance les associations identifiées et les principales variables écologiques (analyses canoniques (CCA Ter Braak, 1986)), ont également été entrepris sur le même jeu de données.

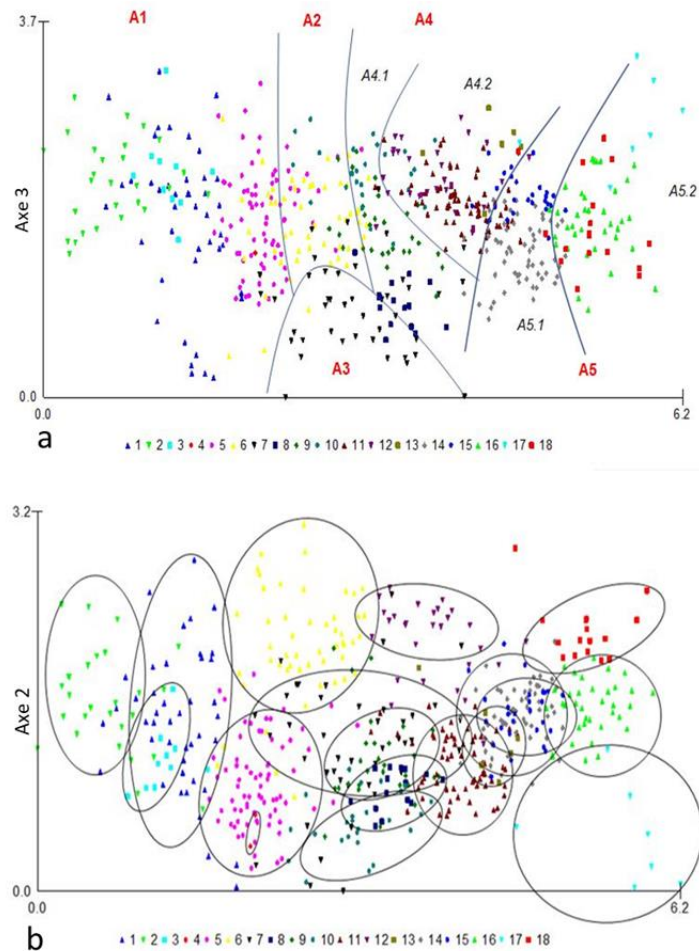


Figure 58 : Analyses factorielles globales en DCA réalisées sur 568 relevés et 336 taxons, en présence-absence, présentant la projection sur le plan factoriel des points relevés selon les trois premiers axes (valeurs propres des axes 1, 2 et 3 respectivement 0.633, 0.252 et 0.216). Les associations non présentes dans le Cantal sont soulignées.

La figure 4a (axes 1 et 3) délimite les alliances et sous-alliances : A1 *Adenostylien alliariae* ; A2 *Dryopterido filicis-maris-Athyrium distentifolii* ; A3 *Mutellino adonidifoliae-Luzulion desvauxii* ; A.4 *Calamagrostion arundinaceae* ; A4.1 *Adenostylo alliariae-Calamagrostienion arundinaceae* ; A4.2 *Eu-Calamagrostienion arundinaceae* ; A.5 *Galio saxatilis-Patzkeion paniculatae* ; A.5.1 *Eu-Galio-Patzkeion paniculatae* ; A.5.2 *Leucanthemo delarbrei-Patzkeion paniculatae*.

La figure 4b (axes 1 et 2) délimite les associations individualisées : 1 *Crepido-Adenostyletum* ; 2 *Arabidopsio-Adenostyletum* ; 3 *Doronico-Campanuletum* ; 4 *Salici-Luzuletum* ; 5 *Imperatorio-Adenostyletum* ; 6 *Senecioni cacaliastris-Athyrietum* ; 7 *Veratro-Luzuletum* ; 8 *Pediculari-Geraniatum* ; 9 *Luzulo-Calamagrostietum* ; 10 *Heracleo-Calamagrostietum* ; 11 *Calamagrostietum arundinaceae* ; 12 *Senecioni-Calamagrostietum* ; 13 groupement à *Libanotis pyrenaica* ; 14 *Arnico-Patzkeetum* ; 15 *Betonico-Patzkeetum* ; 16 *Leucanthemo-Patzkeetum* ; 17 *Bupleuro-Festucetum* ; 18 *Tulipo-Patzkeetum*.

Enfin, une comparaison des associations végétales par l'analyse des amplitudes des variables écologiques (Fig 59), d'altitude et d'expositions a été réalisée. Cette dernière est confrontée à des analyses d'ANOVA non paramétrique (test de Kruskal-Wallis) (au risque alpha de 5 %) et en cas de différence significative, à des tests de comparaisons multiples (Sachs, 1997).

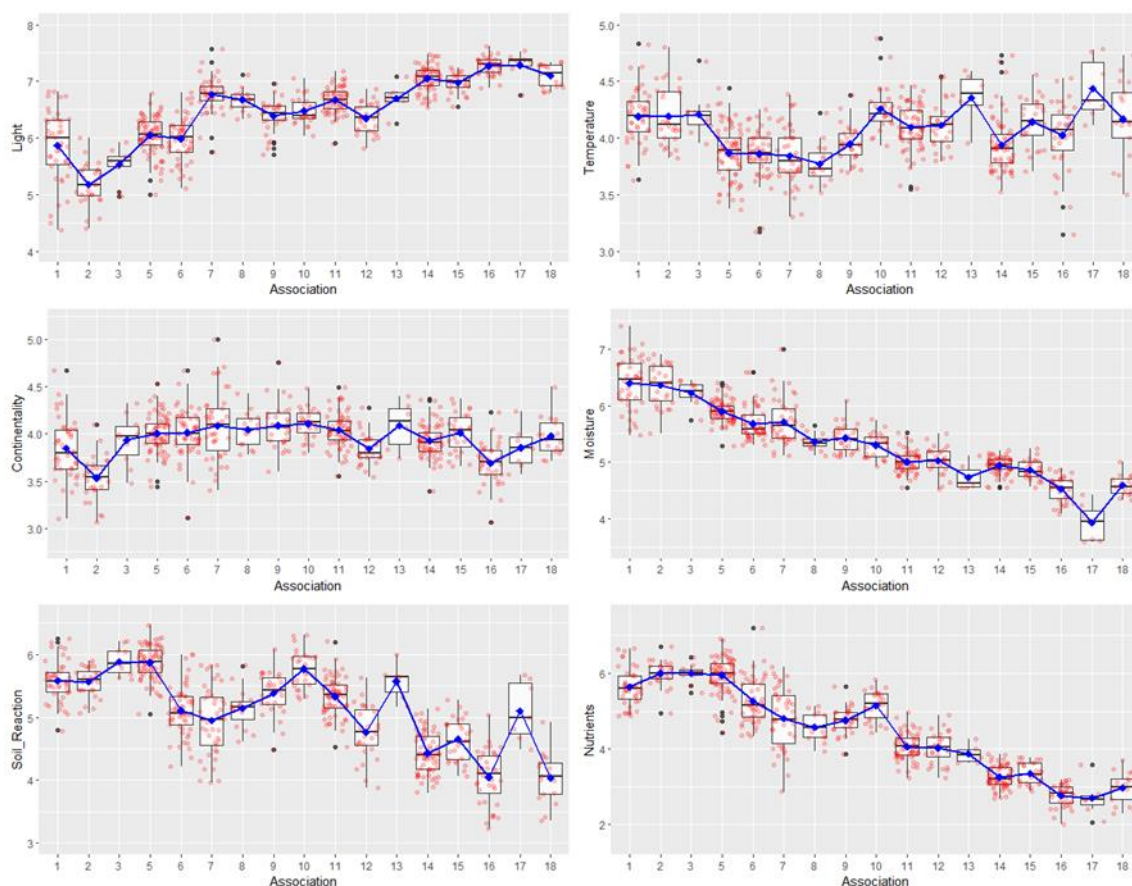


Figure 59 : Valeurs des coefficients écologiques (Ellenberg *et al.* 1991 ou à défaut Julve 2017) par association. 1 *Crepido-Adenostyletum* ; 2 *Arabidopsio-Adenostyletum* ; 3 *Doronico-Campanuletum* ; 4 *Salici-Luzuletum* ; 5 *Imperatorio-Adenostyletum* ; 6 *Senecioni cacaliastris-Athyrietum* ; 7 *Veratro-Luzuletum* ; 8 *Pediculari-Geraniumetum* ; 9 *Luzulo-Calamagrostietum* ; 10 *Heracleo-Calamagrostietum* ; 11 *Calamagrostietum arundinaceae* ; 12 *Senecioni-Calamagrostietum* ; 13 groupement à *Libanotis pyrenaica* ; 14 *Arnico-Patzkeetum* ; 15 *Betonico-Patzkeetum* ; 16 *Leucanthemo-Patzkeetum* ; 17 *Bupleuro-Festucetum* ; 18 *Tulipo-Patzkeetum*.

Ces analyses révèlent une forte influence des facteurs de lumière, d'humidité et de niveau trophique dans la différenciation des associations orophiles à hautes herbes. Les tests de comparaisons confirment que les mégaphorbaies sylvatiques sont liées à des valeurs élevées d'humidité et de faible luminosité, tandis que les festucaies paniculés adaptés à des conditions xériques, héliophiles et pauvres en nutriments se distinguent nettement. Les autres associations présentent des caractéristiques intermédiaires, modulées par l'altitude, l'exposition et la nature du substrat.

3.4.1 Les mégaphorbaies orophiles

Ce sont des formations herbacées luxuriantes psychrophiles* et souvent longuement enneigées, sur sol profond, bien aéré et humide. Ces mégaphorbaies correspondent principalement à l'alliance végétale de l'*Adenostylyon allariae* Braun-Blanquet 1926, l'autre sera citée dans la présentation.

3.4.1.1 Les Mégaphorbaies montagnardes sylvatiques

Ces formations viennent compléter la mosaïque forestière dont elles dépendent, mais elles ne rentrent aucunement dans une dynamique sériale.

1. Association à Crépide palustre et Adénostyle à feuilles d'Alliaire : *Crepido paludosae-Adenostyletum allariae* M.Loos et Thébaud 2024 *typicum*. Association montagnarde localisée dans des stations humides des hêtraies-sapinières, sur les bords de ruisseaux ou les atterrissements parcourus par les eaux de percolation.

Cortège signalétique : *Crepis paludosa*, *Caltha palustris*, *Deschampsia cespitosa*, *Angelica sylvestris*, *Rubus hirtus*, *R. idaeus*, *Myosotis martini* (= *lamottiana*), *Lamium galeobdolon* auxquels s'ajoutent des taxons forestiers.

2. Association à Arabette des Cévennes et Adénostyle à feuilles d'Alliaire : *Arabidopsis cebennensis-Adenostyletum alliariae* Braun-Blanquet 1950 nom. invers. et mut. nov. M.Loos et Thébaud *typicum*. C'est une association montagnarde hygrosциaphile d'influence climatique méditerranéenne paucispécifique dominée par *Adenostyles alliariae* ou *Athyrium filix-femina*.

Cortège signalétique : *Stellaria nemorum*, *Senecio ovatus*, *Milium effusum*, *Geranium nodosum*, *Chrysosplenium oppositifolium*, *Arabidopsis cebennensis*, *Luzula sylvatica* et *L. nivea*.

3 Association à Doronic d'Autriche et Campanule à larges feuilles : *Doronic austriaci-Campanuletum latifoliae* Quézel et Rioux 1954. Il s'agit d'une mégaphorbaie sciaphile, eutrophile et particulièrement aérohygrophile en situation abyssale dans le fond des vallées glaciaires des monts du Cantal. Cette association est dominée par *Doronicum austriacum*, *Adenostyles alliariae* ou *Chaerophyllum hirsutum*.

Cortège signalétique : *Impatiens noli-tangere*, *Campanula latifolia*, *Arabidopsis cebennensis*, *Petasites hybridus*, *Oxalis acetosella*, *Cirsium rivulare* et *Carduus personata*.

3.4.1.2 Les Mégaphorbaies subalpines supra-sylvatiques

4. Association à Impéatoire et Adénostyle à feuille d'Alliaire : *Imperatorio ostruthii-Adenostyletum alliariae* (Braun-Blanquet 1926) de Foucault et Corriol 2013. Il s'agit d'une mégaphorbaie hygronitrophile neutrophile de l'étage subalpin inférieur du Cantal, surtout présente sur les expositions froides, longtemps enneigées et sur pente relativement forte. Deux sous-associations sont présentes, le *crepidetosum lampanoidis* M.Loos et Thébaud 2024 endémique du Cantal et le *senecionetosum cacaliastri* M.Loos et Thébaud 2024 moins eutrophile et alticole.

Cortège signalétique : *Rumex alpinus*, *Epilobium alpestre*, *Lactuca alpina*, *Silene dioica*, *Angelica sylvestris* et *Aconitum napellus*.

5. Association à Sénéçon fausse-cacalie et fougère alpestre : *Senecioni cacaliastri-Athyrietum distentifolii luzuletosum desvauxii* Thébaud in M.Loos et Thébaud 2024. (*Dryopterido filicis-maris-Athyrium distentifolii* (Holub ex Sýcora et Štursa 1973) Jeník, Bureš et Burešová 1980). Cette association se présente sous forme de fougères à hautes herbes ou de mégaphorbaies riches en fougères, sur éboulis fixés à gros blocs dont le substrat est enrichi en matière organique. Les conditions sont aérohygrophiles, mésotrophiles, acidiphiles et chionophiles.

Cortège signalétique : *Athyrium distentifolium* ou *Adenostyles alliariae*, auxquelles s'ajoute *Dryopteris oreades*, *Phegopteris connectilis* ou *Dryopteris dilatata*, *Luzula desvauxii* et *Festuca rivularis*.

6. Association à Vétrate blanc et Luzule de Desvaux : *Veratro albi-Luzuletum desvauxii* R.Michalet et T.Philippe ex Thébaud et al. 2014 (*Mutellino adonidifoliae-Luzulion desvauxii* R.Michalet et T.Philippe ex Le Hénaff et al. 2021). C'est une association ultrachionophile des couloirs humides exposés au nord, sujets à une certaine érosion d'origine nivale au sein de l'étage subalpin supérieur. En plus de la sous-association typique, deux sont distinguées : Le *festucetosum heteromallae* (Le Hénaff, Hostein, Dumont et Pradinas 2021) stat. nov, qui est une prairie hygrophile primaire à Fétuque et le *luzuletosum desvauxii* M.Loos et Thébaud 2024 des zones d'accumulation nivale les plus tardives.

Cortège signalétique : *Festuca rivularis*, *Luzula desvauxii* (opt.), *Veratrum album*, *Geum montanum*, *Potentilla aurea*. La luzule peut devenir quasi exclusive formant un tapis très dense.

Commentaire : Loos & Thébaud (2024), dans leur synthèse des groupements à hautes herbes orophiles du Massif central, ont suivi la classification d'origine en rattachant provisoirement l'alliance du *Mutellino-Luzulion* à la classe des mégaphorbaies subalpines des *Mulgedio-Aconitetea*. Or, en réalité, ces prairies denses de type mésophorbaies* graminoides sont physionomiquement, synfloristiquement et synécologiquement plus proches des prairies subalpines des fortes pentes et couloirs d'avalanche mésohygrophiles oligo-mésotrophes, chionophiles et cryophiles sur sols géliturbés relevant sur calcaire du *Caricion ferrugineae* G. Braun-Blanquet & Braun-Blanquet in G. Braun-Blanquet 1931 (*Elyno-Seslerietea* Braun-Blanquet 1948) alpino-jurassien; ou de *l'Agrostion schraderianae* Grabherr 1993 acidiphile des Alpes orientales (*Juncetea trifidi*). Aussi, l'opinion de Oberdorfer (1977), datée par erreur de 1978 par Loos & Thébaud (2024), d'un rattachement des prairies subalpines à Luzule de Desvaux de Forêt-Noire aux pelouses alpines rases et oligotrophes ultrachionophiles des combes à neiges relevant de la classe des *Salicetea herbaceae*, basée sur le caractère très chionophile des conditions synécologique, ne paraît pas souhaitable au vu des différences synfloristiques, synécologiques et physionomiques. A ce titre, les mésophorbaies du *Mutellino-Luzulion* sont ici considérées comme appartenant provisoirement à la classe des *Juncetea trifidi* comme synvicariant occidentale de *l'Agrostion schraderianae*. Cette proximité avait déjà été suggérée par Theurillat in Michalet & Philippe (1994).

3.4.2 Les hautes formations graminéennes orophiles

3.4.2.1 Les Calamagrostidaies

Ce sont des prairies naturelles d'altitude à hautes herbes, denses et dominées par de grandes graminées. Elles se développent dans les étages montagnard supérieur et subalpin, sous un climat océanique, sur des versants bien exposés au soleil et abrités des vents, avec des sols profonds et une bonne couverture neigeuse en hiver. Ces prairies correspondent à l'alliance végétale du *Calamagrostion arundinaceae* (Luquet 1926) Oberdorfer 1957).

A : Les Calamagrostidaies hygroclines, chionophiles et sub-psycro-sciaphile

Ces formations végétales se développent préférentiellement dans les secteurs frais à ombragés des étages montagnard supérieur et subalpin supérieur, en microclimats ou contextes édaphiques humides et riches en éléments nutritifs. Elles présentent encore des affinités avec les mégaphorbaies orophiles. Ces prairies correspondent à la sous-alliance végétale de l'*Adenostylo alliariae-Calamagrostion arundinaceae* M. Loos et Thébaud 2024.

1. Association à Luzule des bois et Calamagrostide roseau : *Luzulo sylvaticae-Calamagrostietum arundinaceae typicum* R.Michalet et T.Philippe ex Thébaud et al. 2014. C'est une calamagrostidaie* luxuriante qui se développe sur les pentes concaves acidoclines et peu ensoleillées des ubacs subalpins où la neige reste assez longtemps.

Cortège signalétique : *Calamagrostis arundinacea, Luzula sylvatica, Ranunculus platanifolius, Sanguisorba officinalis, Aconitum napellus, Primula elatior, Adenostyles alliariae, Veratrum album, Rosa pendulina, Angelica sylvestris* et *Vaccinium myrtillus*.

2. Association à grande Berce et Calamagrostide roseau : *Heracleo sphondylii-Calamagrostietum arundinaceae* R.Michalet et T.Philippe ex Thébaud et al. 2014. Cette prairie à hautes herbes, riche en taxons, est dominée par des poacées. Plutôt neutrophile, mésophile, thermocline, voire méso-eutrophile, elle se développe sur des pentes ensoleillées d'adret ou des versants est abrités des vents, préférentiellement dans des concavités ou en contrebas de falaises recevant une certaine humidité. On constate aussi la quasi-disparition des acidiphiles courantes. A côté de la sous-association typique, l'*hypericetosum maculati* R.Michalet et T.Philippe ex Thébaud, et al. 2014 occupe des expositions moins favorables et plus enneigées.

Cortège signalétique : *Calamagrostis arundinacea, Dactylis glomerata, Lathyrus pratensis, Heracleum sphondylium, Stellaria holostea, Cyanus montanus, Picris hieracioides, Trisetum flavescens, Arrhenatherum elatius, Cirsium erisithales, Pimpinella major*.

B : Les Calamagrostidaies mésophiles à mésoxérophile et sub-héliothermophiles

Ces prairies se développent à l'étage subalpin inférieur dans des conditions thermiques et hydriques plus favorables que les formations précédentes. Ces milieux mésophiles abritent une végétation moins influencée par les mégaphorbaies orophiles où apparaissent certaines espèces à affinité thermophile et xérophile, caractéristiques des festucaies paniculée. Ces formations correspondent à la sous-alliance végétale de l'*Eu-Calamagrostion arundinaceae*.

3. Association à Calamagrostide roseau : *Calamagrostietum arundinaceae* Luquet 1926. Il s'agit d'une association à hautes herbes, très riche en espèces, qui occupe les adrets et autres versants d'abris pentus de l'étage subalpin. Elle est dominée par *Calamagrostis arundinacea*, et plus rarement par *Patzkea paniculata*. Elle se distingue par la présence d'un groupe d'espèces acidiphiles constant au côté d'un cortège plutôt majoritairement neutrophile, mésophile et mésotrophile. En plus de la sous-association typique, deux autres sont présentes dans le Cantal, à savoir le *chaerophylletosum villarsii* M.Loos et Thébaud 2024 moins aérohygrophile et le *festucetosum lemanii* (R.Michalet et T.Philippe) ex Thébaud, et al., 2014 stat. nov., qui se différencie par des taxons pastoraux plus oligotrophiles et xéroclines.

Cortège signalétique : *Centaurea jacea, Vicia orobus, Cyanus montanus, Hieracium prenanthoides, Laserpitium latifolium, Sanguisorba officinalis, Bupleurum longifolium, Campanula glomerata*.

3.4.2.2 Les festucaies paniculées

Ce sont des pelouses hautes denses ou écorchées souvent dominées par la Fétuque paniculée, localisées sur les hauts versants et les crêtes aux expositions favorables de l'étage subalpin. Les conditions y sont héliothermophiles, oligotrophiles et acidiclinales à acidiphiles. Ces pelouses appartiennent à l'alliance du *Galio saxatilis-Patzkeion paniculatae* de Foucault 2016.

A : Les festucaies paniculée méso-xérophiles :

sous-alliance de l'*Eu-Galio saxatilis-Patzkeion*.

4. Association à Arnica des montagnes et Fétuque paniculée : *Arnica montanae-Patzkeetum paniculatae* R.Michalet et T.Philippe ex Thébaud et al., 2014 nom mut. Cette association est celle des versants d'adrets convexes de l'étage subalpin est mésophile à xérocline, thermocline, acidiphile et oligomésotrophile. Elle est rare dans le Cantal où elle est supplantée par l'association suivante (à Bétoine et Fétuque paniculée). La Fétuque paniculée est dominante et la Myrtille est souvent abondante alors que le Calamagrostis devient relativement discret. Avec la sous-association typique on existe l'*avenelletesum flexuosae* R.Michalet et T.Philippe ex Thébaud et al., 2014 stat nov. des versants ouest dans l'étage subalpin supérieur dont la physionomie est dominée par *Avenella flexuosa* ou de *Festuca rubra* gr.

Cortège signalétique : *Arnica montana*, *Luzula multiflora*, *Galium saxatile*, *Scorzoneroïdes pyrenaica*, *Dianthus seguieri* s. *pseudocollinus*, *Rhinanthus minor*. Il y a un appauvrissement en taxons mésotrophiles et la présence d'un cortège d'acidiphiles et d'oligotrophiles.

5. Association à Bétoine et Fétuque paniculée : *Betonico officinalis-Patzkeetum paniculatae* (Seytre 2006) M.Loos in M.Loos et Thébaud 2024. Cette association très riche des pentes fortes de l'étage subalpin inférieur est dominée par Fétuque paniculée ou le Calamagrostis, voire les deux en mélange. C'est une communauté mésophile, héliothermophile, xérocline et oligomésotrophile préférentiellement en versants sud-est. Elle est plus thermophile et semble moins acidiphile que l'association précédente. De plus, elle tend dans le Cantal à remplacer le *Calamagrostietum arundinaceae*, plus rare que dans les monts Dore et réfugié dans les stations ombragées. Le tableau d'association de Loos & Thébaud (2024) est disponible en annexe 13.

Cortège signalétique : *Betonica officinalis*, *Succisa pratensis*, *Crepis conyzifolia*, *Jacobaea adonidifolia*, *Achillea millefolium*, *Thesium pyrenaicum*, *Briza media*, *Euphorbia flavicoma* s. *verrucosa*, *Vicia orobus*, *Dianthus hyssopifolius*, *Campanula glomerata*.

B : Les festucaies paniculées xérophiles :

sous-alliance du *Leucanthemo delarbrei-Patzkeion* M.Loos et Thébaud 2024.

6. Association à Marguerite de Delarbre et Fétuque paniculée : *Leucanthemo delarbrei-Patzkeetum paniculatae* Braun-Blanquet 1926 nom. invers. et nom. mut. Il s'agit d'une festucaie paniculée ouverte hélioxérophile. Elle occupe les pentes fortes des hauts versants rocheux orientés au sud ou à l'est, dans l'étage subalpin. Il s'agit d'une permasserie édaphoxérophile.

Cortège signalétique : *Atocion rupestre*, *Leucanthemum delarbrei*, *Biscutella arvernensis*, *Luzula spicata*, *Jacobaea adonidifolia*, *Phyteuma hemisphaericum*, *Alchemilla alpina* aggr. [*A. transiens* (*basaltica* Buser 1894) et *A. saxatilis*], *Trifolium alpinum* *Phyteuma hemisphaericum*, *Sempervivum tectorum* s. *arvernense*, *Coincya monensis* s. *cheiranthos*. Elle est particulièrement riche en espèces xéro-cryophytes, notamment des *Juncetea trifidi*. En plus de la sous-association typique on retrouve l'*achilleetosum millefolii* M.Loos et Thébaud 2024 au caractère plus neutrophile et moins alticole.

7. Association à Buplèvre fausse-renoncule et Fétuque de Coste : *Bupleuro ranunculoidis-Festucetum costei* Thébaud in M.Loos et Thébaud 2024. Cette association cantalienne de l'étage subalpin inférieur se présente sous forme d'une pelouse ouverte dominée par *Festuca arvernensis* s. *costei*, plus rarement par *Festuca billyi* ou *Patzkea paniculata* s. *paniculata*, prenant souvent un aspect en gradins avec plages érodées. C'est une communauté subalpine hélioxérophile et thermocline qui occupe des stations peu étendues sur adrets rocheux convexes et ventés à pentes très fortes (30-50° et plus). L'association est particulièrement spécialisée et endémique du massif du Cantal où elle est peu répandue. Il s'agit d'une permasserie neutrocline-thermo-édaphoxérophile.

Cortège signalétique : *Bupleurum ranunculoides*, *Cerastium arvense*, *Sedum forsterianum*, *Thymus pulegioides* var. *vestitus*, *Dianthus hyssopifolius*, *Alchemilla transiens* (*A. basaltica* Buser 1894), *Scabiosa columbaria* var. *spretta*, *Pilosella officinarum*. Se rajoute un contingent de taxons neutrophiles de la classe des *Festuco-Brometea* : *Pimpinella saxifraga*, *Helianthemum nummularium*, *Hippocrepis comosa*, *Genista sagittalis* et des taxons saxicoles affines de *Asarion procumbentis* [= *Dianthion gratianopolitanus*] avec *Epilobium collinum*, *Dianthus gratianopolitanus*, *Saxifraga fragosoi*, *S. paniculata*. Toutes les plantes mésophiles ont disparu.

3.5 Les Landes

Les landes du massif du Cantal constituent des formations végétales d'évolution sériale succédant aux pelouses et jouent ainsi un rôle crucial dans la structuration des paysages. Leurs dynamiques et compositions floristiques, dominées par des chaméphytes tels que la callune, la myrtille ou l'airelle, ainsi que diverses espèces de genêts, varient en fonction de l'altitude et des conditions microclimatiques ; c'est pourquoi il existe une grande diversité de landes dans le territoire d'étude. Ces végétations, souvent denses et oligotrophes, contribuent à la formation d'un humus brut acide. Toutefois, leur évolution est sensible aux changements dans les pratiques pastorales, pouvant conduire à des stades plus fermés ou plus ouverts selon l'intensité de la pression exercée. Les landes hautes à genévrier et à genêt, aux caractéristiques écologiques distinctes, seront traitées séparément. Les Landes appartiennent pour l'essentiel à la classe des *Calluno vulgaris-Ulicetea minoris* Braun-Blanquet et Tüxen ex Klika in Klika et Hadač 1944, les exceptions seront mentionnées lors de leurs descriptions. Les landes du Cantal ont été étudiées et analysées par Thébaud *et al.*, (2021).

3.5.1 Les landes montagnardes à subalpines, en dynamique vers la hêtraie

Ces landes, occupant une position clé dans les successions végétales de l'étage montagnard, représentent un stade intermédiaire entre les formations herbacées initiales et les climax forestiers (*Fagion sylvaticae*). Maintenues par un pâturage extensif, elles résultent d'un équilibre dynamique entre les processus de succession naturelle et les perturbations anthropiques. Développées sur substrats plutôt acides, elles se retrouvent sous ou en périphérie de la lisière forestière supérieure et se caractérisent par la présence de taxons forestiers ou de lisière, en l'absence d'espèces strictement cryophiles de l'étage supérieur.

1 Association à Gaillet des rochers et Myrtille : *Galio saxatilis-Vaccinietum myrtilli* R.Michalet, Coquillard et Gueugnot 1989 (*Diantho hyssopifolii-Vaccinietum myrtilli* Boulet *et al.* ad interim in Thébaud *et al.* 2021). Il s'agit d'une callunaies-genistaies-myrtillaies herbeuses et riche en espèces. Les conditions y sont mésoxérophile, acidocline à neutrocline, oligomésotrophile ; et le substrat est principalement volcaniques. L'association est présente dans les étages montagnard moyen et supérieur du Cantal (col du Pertus sur substrats trachyandésitique ; Thébaud comm. pers.). Roux (2017) a montré dans la chaîne des Puys que cette lande entre dans une série dynamique climatophile conduisant vers dynamique vers la hêtraie du *Luzulo sylvaticae-Fagetum sylvaticae* Cusset 1963. Quatre sous-associations ont été décrites par Michalet *et al.* (1989).

Cortège signalétique : *Ranunculus serpens*, *Viola canina*, *Stellaria graminea*, *Avenula pratensis*, *Brachypodium pinnatum* coll., *Genista sagittalis*, *Galium verum*, *Achillea millefolium*, *Betonica officinalis*, *Lathyrus linifolius* var. *montanus*, *Festuca lemanii*, *Centaurea jacea*, *Pimpinella saxifraga*.

2. Association à Ail victorial et Myrtille, sous-association à Airelle des marais : *Allio victorialis-Vaccinietum myrtilli* Schaminée et Hennekens ex Thébaud *et al.* 2014 emend. *vaccinietosum uliginosi* (R.Michalet *et al.* 1989) Thébaud *et al.* 2014 comb. nov. (*Carici piluliferae-Vaccinietum* Schaminée et Hennekens in Schaminée Hennekens et Thébaud 1993). Cette sous-association, typique des substrats volcaniques, forme une vacciniaie herbeuse dominée par la myrtille, l'airelle, la callune et le genêt poilu. Elle occupe des positions peu exposées, telles que les ruptures de pente ou les cuvettes enneigées, depuis l'étage montagnard supérieur jusqu'au subalpin inférieur. Ces milieux oligomésotrophes à mésophiles, souvent chionophiles, abritent une flore riche en espèces de lisière et de prairie. Remplaçant le *Vaccinietum uliginoso-myrtilli* à basse altitude, cette sous-association semble en dynamique lente, et en tous cas en relations floristique avec les hêtraies de lisière supérieure à Doronic (*Doronico-Fagetum*).

Cortège signalétique : *Betonica officinalis*, *Allium victorialis*, *Convallaria majalis*, *Hypericum maculatum*, *Veratrum album*, *Ajuga reptans*, *Maianthemum bifolium*; *Sorbus aucuparia*, *Poa chaixii*, *Sanguisorba officinalis*, *Stellaria holostea*, *Melampyrum pratense*, *Luzula multiflora*, *Dianthus seguieri* s. *pseudocollinus*. Comporte de nombreux taxons prairiaux mésotrophiles et aussi des taxons oligotrophiles et acidiphiles des *Nardetalia*.

3.5.2 Les landes subalpines climaciques

3.5.2.1 Les Landes cryo-xérophiles à thermoclinophiles de l'étage subalpin

Ces communautés végétales sont dépourvues, ou presque, de taxons mésophiles et hydroclinophiles, contrairement aux autres landes. Elles appartiennent à la sous-alliance de l'*Eu-Genista pilosae-Vaccinienion*.

2. Association à Jasione lisse et Callune sous-association à genévrier nain : *Jasione laevis-Callunetum vulgaris* R.Michalet et Philippe ex Thébaud et al. 2014 *juniperetosum nanae* R.Michalet et Philippe ex Thébaud et al. 2014. Ces callunaies et juniperaies naines occupent les sommets et les hauts versants exposés de l'étage subalpin supérieur. Ces milieux secs, oligotrophes et soumis à des conditions climatiques rigoureuses, abritent une végétation rase et cryophile. C'est une lande relativement paucispécifique plus ou moins ouverte où l'on retrouve sans être dominant *Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillus* et *Genista pilosa*. L'association correspond à une permasserie édaphoxérophile. Elle est assez rare dans le Cantal, où les landes subalpines xérophiles sont surtout représentées par l'association suivante (*Pulsatilla vernalis-Cytisetum decumbentis*), variante méridionale. Elle semble cantonnée surtout sur certains sommets trachytiques ou phonolitiques froids du massif du Puy Mary (Griou...) ainsi qu'à la Peyre de l'Âne (massif du Plomb). Certaines observations personnelles laissent supposer que la sous-association typique pourrait être présente également ; la présence d'espèces chionophile comme le Trèfle des Alpes ou l'Euphrase naine ainsi que l'absence du genévrier semblent conforter cette hypothèse (Puy de Chavaroché).

Cortège signalétique : *Jasione laevis*, *Juniperus communis* s. *nana*, *Calluna vulgaris*, *Alchemilla saxatilis* ; *Phyteuma hemisphaericum*, *Avenella flexuosa*, *Gentiana lutea*, *Scorzoneroïdes pyrenaica*, *Alchemilla transiens*, *Carex caryophylla*

3. Association à Pulsatille vernale et Cytise couchée : *Pulsatilla vernalis-Cytisetum decumbentis* Quézel & Rioux 1954 nom. mut.. Cette landine* rase et ouverte, cryo-anémophile, xérophile, est dominée par les Callunes, Cytises couchés et Genêts poilus. Les autres chaméphytes comme la Myrtille, l'Airelle, le Genévrier nain ou le Raisin d'ours peuvent y pénétrer et les cryptogames y sont fréquents. L'association est endémique de l'étage subalpin du massif du Cantal, particulièrement autour du Plomb du Cantal où elle constitue une permasserie édaphoxérophile d'influence méridionale. Deux sous-associations sont distinguées : le typicum, caractéristique de l'étage subalpin supérieur, et le *scabietosum columbariae*, appauvri en espèces cryophiles, localisé en sommets d'adrets ou dans l'étage subalpin inférieur.

Cortège signalétique : *Cytisus decumbens*, *Silene ciliata*, *Pedicularis comosa*, *Pulsatilla vernalis*, *Scabiosa columbaria*, *Androsace halleri*; *Calluna vulgaris*, *Pulsatilla alpina* s. *apiiflora*, *Festuca arvernensis* s. *costei*, *Hieracium glaucinum*.

Commentaire : La variante cryo-anémophile des convexités rocheuses à *Androsace halleri* avec *Luzula spicata*, plus riche en pelousaires où les chaméphytes semblent naturellement peu abondants correspond, en partie au moins, à l'association de pelouses du *Sileno-Festucetum* (analyse non présentée et étude à poursuivre).

3.5.2.2 Les landes cryophiles, mésophiles à hydroclinophiles et chionophiles, de l'étage subalpin.

Ces communautés, enrichies en orophytes subalpins chionophiles, appartiennent à la sous-alliance du *Vaccinienion myrtillo-uliginosi* Thébaud, Choïnet et C.Roux 2021.

4. Association à Myrtille et Airelle des marais : *Vaccinietum myrtillo-uliginosi* Braun-Blanquet 1926 nom. invers. C'est une lande qui occupe les pentes douces des hauts versants et des pourtours de sommets de l'étage subalpin supérieur. Sa physionomie est celle d'une vacciniaie à Myrtille et Airelle ou la Callune peut être présente sans pour autant dominer. Il s'agit de la permasserie climatohydrophile subalpine du Cantal. L'association typique est complétée par le *trifolietosum alpini* R.Michalet et Philippe ex Thebaud et al. 2014, plus chionophile. Thébaud *et al.*, (2021) supposent l'existence non confirmée du *geranietosum sylvatici* R.Michalet et Philippe ex Thebaud et al. 2014 occupant les pentes fortes concaves exposées au N-O ainsi que du *festucetosum lemanii* R.Michalet et Philippe ex Thebaud et al. 2014, moins mésophile.

Cortège signalétique : *Mutellina adonidifolia*, *Melampyrum sylvaticum*, *Avenula versicolor*, *Gentiana lutea*, *Vaccinium uliginosum* s. *microphyllum*, *Potentilla aurea*, *Euphrasia minima*, *Trifolium alpinum*, *Poa chaixii*, *Scorzonera pyrenaica*, *Bistorta officinalis*, *Anthoxanthum odoratum*, *Arnica montana*, *Campanula scheuchzeri*, *Trollius europaeus* ; rareté de *Genista pilosa*.

5. Association à Euphorbe d'Irlande et Myrtille : *Euphorbio hybernae-Vaccinietum myrtilli* Coquillard ex Thébaud et al. 2014. Cette lande occupe des pentes enneigées bien drainées et souvent situées dans des concavités ou en lisières forestières à partir de l'étage montagnard supérieur. Elle se développe sur des sols profonds et abrite une végétation herbacée dense formant une vacciniaie herbeuse riche en espèces des mégaphorbaies et des prairies mésophiles. De plus, elle se distingue par l'absence d'espèces oligotrophes et par de faibles fréquences de *Genista pilosa* et *Calluna vulgaris*. En lisières supérieures, cette association peut s'intégrer dans une série dynamique "édaphochionophile" évoluant vers une hêtraie alticole à Doronic (*Doronic-Fagetum*). Sont présentes la sous-association typique et le *senecietosum doronici* R.Michalet et Philippe ex Thébaud et al. 2014 formants une myrtillaie herbeuse ourleifiée en transition avec les groupements du *Calamagrostion*.

Cortège signalétique : *Silene vulgaris*, *Euphorbia hyberna*, *Pulsatilla alpina* s. *apiiflora*, *Campanula scheuchzeri* ; *Senecio doronicum*, *S. cacaliaster*, *Lactuca plumieri*, *Calamagrostis arundinacea*, *Trollius europaeus*, *Hieracium prenanthoides*, *Luzula sylvatica*, *Geranium sylvaticum*, *Astrancia major*, *Lilium martagon*, *Ranunculus platanifolius*

6. Association à Fétuque paniculée et Myrtille : *Patzkeo paniculatae-Vaccinietum myrtilli* Thébaud, Choynet et C.Roux 2021. Un peu à la marge écologiquement, l'association est hélioxérophile, oligotrophile, thermoclinophile. Elle occupe des sols peu profonds ou érodés, le plus souvent sur des pentes prononcées, exposées au sud et convexes, mais moins faiblement inclinées que celles des groupements du *Leucanthemo-Patzkeonion*. C'est une callunaie-vacciniaie souvent ouverte avec la présence de la Fétuque paniculée ou plus rarement avec une sous-strate dense de chaméphytes. Selon Thébaud et al. (2021) sa dynamique est difficile à préciser, mais elle entre peut-être en dynamique avec des manteaux subalpins à Sorbus ou avec une variante thermocline de la hêtraie de lisière *Doronic-Fagetum* pour l'étage montagnard supérieur. Deux sous-associations coexistent, la typique, et le *crepidetosum conizifoliae* Thébaud, Choynet et C.Roux 2021, plus riche en espèces, plus mésophile et mésotrophile.

Cortège signalétique : *Patkea paniculata* s. *paniculata*, *Jacobaea adonidifolia*, *Jasione laevis*, *Thesium alpinum*, *Crepis conyzifolia*, *Vaccinium myrtillus* ; *Serratula tinctoria* s. *monticola*, *Centaurea nigra*, *Dianthus seguieri* s. *pseudocollinus*, *Arnica montana*, *Festuca billyi* avec nombreux taxons des pelouses oligotrophes des *Nardetalia*.

3.5.2.3 Les landines les plus cryophiles de l'étage subalpin supérieur

Les rudes conditions climatiques et édaphiques entraînent la disparition d'un grand nombre de taxons présents dans les autres landes. Parallèlement, de nombreux cryptogames trouvent ici des conditions optimales de développement, tout comme certaines plantes des pelouses alpines des *Juncetea trifidi*. Ces landes appartiennent à la classe des *Loiseleurio-Vaccinietea* Egger ex Schubert 1960 et à l'alliance du *Genista pilosae-Empetrium hermaphroditi* Thébaud, Choynet et C.Roux 2021. On n'observe pas dans le Cantal la landine sommitale cryophile présente dans les plus hauts sommets des monts Dore autour du Sancy décrite par Michalet & Philippe (1996) sous le nom de *Carici vaginatae-Callunetum vulgaris*.

7. Association à Racomitrie laineuse et Camarine noire : *Racomitrio lanuginosi-Empetretum nigri* Luquet 1926 nom. invers. Cette lande, située sur les versants ombragés et escarpés et rocheux des hautes montagnes (>1600 m d'altitude), est adaptée à des conditions extrêmes de froid, de neige, de sécheresse et de pauvreté en nutriments. Son aspect ras et ouvert est dû à l'action combinée du gel et de l'érosion éolienne, offrant ainsi un espace aux cryptogames. La végétation vasculaire, peu diversifiée, est dominée par la camarine noire et l'airelle. Le Cantal héberge la sous-association typique et le *huperzietosum selaginis* Thébaud, Choynet et C.Roux 2021, caractérisé par la rareté de l'*Empetrum*. Thébaud et al., (2021) signale le *salicetosum bicoloris* plus hygrophile comme possiblement présent.

Cortège signalétique : *Empetrum nigrum* s. *hermaphroditum* (opt.), *Huperzia selago*, *Cerastium alpinum*, *Solidago virgaurea* s. *alpestris*, *S. bicolor*, *Vaccinium uliginosum* s. *microphyllum*.

3.6 Les fourrés ou manteaux arbustifs

Ces communautés peuvent former des formations ligneuses très différentes en termes de nature et d'aspect en fonction du stade de succession dynamique du milieu et de l'étage de végétation. Les fourrés ne forment jamais de permasérie, mais certaines communautés peuvent constituer le stade final d'équilibre local de l'évolution de la végétation (stade terminal de série dynamique, curta- ou minorisérie), ce qui peut être le cas à l'étage subalpin, mais aussi plus bas à la faveur de couloirs d'avalanche. Différentes classes phytosociologiques sont concernées et seront citées dans les descriptions.

3.6.1. Les fourrés montagnards secondaires

Les fourrés, tout comme les landes montagnardes, constituent des stades intermédiaires dans l'évolution des végétations montagnardes en précédant les forêts climaciques. La nature des manteaux qui se succèdent reflète les différentes phases de la régénération du milieu après une perturbation, leur composition évoluant en fonction des conditions écologiques changeantes. La classe la plus représentative est *Rhamno catharticae-Prunetea spinosae* Rivas Goday et Borja ex Tüxen 1962.

3.6.1.1 Les fourrés mésophiles, mésotrophiles à eutrophiles

Ces communautés arbustives, bien adaptées aux conditions froides de montagne, colonisent préférentiellement les sols acides à légèrement acides. Elles appartiennent à la sous-alliance du *Sambuco nigrae-Salicion capreae* Tüxen et A. Neumann ex Oberdorfer 1957.

1. Association à Sureau à grappe et Sénéçon de Fusch : *Senecioni fuchsii-Sambucetum racemosae* Noirfalise ex Oberdorfer 1957. Ce fourré eutrophile recolonise les coupes forestières et les chablis issus souvent de hêtraies-sapinières initiales à forme d'humus de type mull acide. Ce fourré fait suite aux végétations herbacées d'ouverture forestière (*Lactuco plumieri-Epilobietum*) qui a amorcé la phase de cicatrisation. La végétation y est luxuriance avec parfois l'incorporation de nombreux taxons d'ourlet nitrophile présents dans les alentours.

Cortège signalétique : *Sambucus racemosus* (opt.), *Senecio ovatus* (= *fuchsii*), *Rubus idaeus*, *Salix caprea*, *sorbus aucuparia*, *Aria edulis* ainsi que divers autres ligneux forestiers.

2. Association à Prunellier et Rosier glauque : *Pruno spinosae-Rosetum vosagiaca* Billy ex B. Foucault et J.-M. Royer 2016. Ce prémanteau pionnier héliophile colonise les pelouses d'estive sur basalte. Très rare sur le territoire d'étude, il se retrouve en limite inférieure altitudinale (1200 m) sur adret des versants d'abris (vallée de l'Epi), mais serait à chercher dans d'autres localités aux conditions similaires. Il semble qu'à cette couverture succède, au moins en partie, une pinède sylvestre montagnarde (*Prenantho-Pinetum*) ou une corylaie thermo-xérocline montagnarde (Cf. *Daphno-Coryletum*).

Cortège signalétique : *Prunus spinosa*, *Rosa vosagiaca*, *Corylus avellana*, *Crataegus monogyna*, *Rosa canina*, *Rubus idaeus* et *Fraxinus exelsior*.

3. Association à Bois-Joli et Noisetier : Cf. *Daphno mezerei-Coryletum avellanae* C. Roux in Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014. Ce manteau à noisetier thermo-cline d'adret est très riche en espèces. En fonction de l'altitude, de la topographie ou de l'orientation, plusieurs variantes apparaissent. Ainsi, la concentration significative d'espèces de mégaphorbaies orophiles révèle un caractère plus chionophile et inversement avec un lot d'espèces plus thermophiles. Certaines espèces sociales (Houlque molle, Pâturin de chaix...) peuvent-être très recouvrantes et former des faciès particuliers. Ce fourré évolue vers les hêtraies-sapinières d'adret.

Cortège signalétique : *Daphne mezereum*, *Corylus avellana*, *Adoxa moschatellina*, *Galium odoratum*, *Neottia nidus-avis*, *Paris quadrifolia*, *Polygonum multiflorum*, *Lilium martagon*, *Phyteuma spicatum*, *Silene dioica* et *anemone nemorosa*.

Commentaire : Le statut phytosociologie de cette corylaie cantalienne reste à étudier.

4. Association à Bouleau, Saules marsault sous-association à sorbier blanc : Cf. *Betulo pendulae-Salicetum capreae* Billy ex B. Foucault in B. Foucault et J.-M. Royer 2016 *sorbetosum ariae*. C'est un fourré mésophile et mésotrophe acidophile ouvert et éclairé de recolonisation post-pionnière de sites ouverts (estives), ou des coupes forestières ; mais ce dernier point reste à confirmer par plus de relevés et analyses sur notre territoire d'étude. La strate herbacée reflète une influence d'ourlet montagnard héli-sciaphile. Sa dynamique s'oriente vers hêtraies (*Fagion sylvaticae*).

Cortège signalétique : *Betula pendula*, *Salix caprea*, *Cytisus scoparius*, *Populus tremula*, *Aria edulis* et *Sorbus aucuparia*.

Commentaire : Considéré par ses auteurs comme synvicariant occidental du *Senecioni-Sambucetum*, cet état de fait n'est pas constaté et, sur le territoire d'étude un seul relevé d'association pâturée provenant de la planèze de Prat-Bouc (1250 m) en versant d'abris a été rencontré durant l'échantillonnage de terrain. Ecologiquement, ce fourré diffère de la pinède par un contexte trophiquement plus riche et surtout moins sec. Aussi, celui-ci se comporte davantage en colonisateur post-pionnier de grande étendue qu'en une végétation arbustive de cicatrisation (étude à poursuivre).

5. Association à Sorbier des oiseleurs et Chèvrefeuille noir : *Sorbo aucupariae-Loniceretum nigrae* B. Foucault 1987. C'est un fourré plus ou moins dense de lisière ou de recolonisation de la hêtraie-sapinière à l'étage montagnard supérieur, sur sols mésophiles à hygrocline, acidoclines à acidiphiles. Les strates arbustive et

herbacée sont très diversifiées, cette dernière mélangeant à la fois des taxons forestiers, d'ourlets, de lisières montagnardes et parfois de mégaphorbiaies. Une variante méso-eutrophile sur mull actif et moins acide, dominée par *Salix caprea*, semble largement distribuée sur l'aire d'étude. Celle-ci peut avoir une forme thermophile d'adret et de basse altitude, et une forme chionophile d'ubac et de limite supérieure forestière, caractérisée par des mégaphorbiaies spécifiques.

Cortège signalétique : *Lonicera nigra*, *Ribes alpinum*, *Aria edulis*, *Sambucus racemosa*, *Sorbus aucuparia*, *Fagus*.

Commentaire : Le statut de la variante à Saule reste à préciser et pourrait évoluer vers un rang de niveau supérieur. Elle diffère de l'association à Bouleau et Saules et Sorbier (*Betulo pendulae-Salicetum sorbietosum*) par un cortège bien plus important d'espèces montagnardes (étude à poursuivre).

3.6.1.2 Les fourrés xéroclines à xérophiles

Ces communautés post-pionnière sont localisées sur les versants d'abris de la façade est où les conditions thermo-hydriques y sont plus continentales. Deux classes phytosociologiques sont concernées et seront nommées en description.

6. Association à Rosier glauque et Genévrier commun : *Roso glaucae-Juniperetum communis* Billy ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014. (*Berberidion vulgaris* Braun-Blanq. ex Tüxen 1952 / *Rhamno catharticae-Prunetea spinosae* Rivas Goday et Borja ex Tüxen 1962). Il s'agit d'un fourré héliophile, thermocline et mésotrophile présent sur des sols volcaniques peu acide (basalte) jusqu'à l'étage montagnard moyen. Le genévrier est dominant, mais peut partager son espace avec le genêt purgatif et divers rosiers. Une variante plus alticole et cryophile pouvant atteindre les 1550 m en ubac (Puy de Prat-Bouc) se caractérise par l'abondance de myrtilles et d'airelles en sous-strate et par un lot d'espèces orophiles telles que *Senecio cacaliaster* et l'apparition de quelques genévriers nains. Sur les plateaux de faible altitude, la pinède sylvestre montagnarde (*Prenanthero-Pinetum*) semble lui succéder. Plus haut, aucune information ne contre-indique une évolution vers la hêtraie-sapinière du *Calamintho-Fagetum cardaminetosum* race* du sud-est.

Cortège signalétique : *Juniperus communis* s. *communis* (opt.) (s. *nana* en altitude), *Rosa ferruginea*, *R. vosagiaca*, *Cytisus oromediterraneus*, *C. scoparius*, *Coryllus avellana*, *Rubus idaeus*, *Sambucus racemosa*, *Fraxinus exelsior*, *Sorbus aucuparia*, *Aria edulis*.

Commentaire : Le statut de la variante à *Senecio cacaliaster* reste à préciser et pourrait évoluer vers un rang de niveau supérieur. De plus, sur certains secteurs le caractère individuel et non social des junipérais pourrait s'expliquer par un stade de colonisation initial lié aux pratiques pastorales ou par une dynamique de colonisation intrinsèquement plus lente que celle du genêt purgatif. Il est à noter que ces peuplements de genévrier peuvent couvrir des surfaces importantes en formant des îlots plus ou moins contigus de l'ordre de quelques dizaines de mètres carrés (étude à poursuivre).

7. Association à Prénanthe pourpre et Pin sylvestre : *Prenanthero purpureae-Pinetum sylvestris* Billy ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014 (*Goodyero repentis-Pinion sylvestris* Thébaud & C.-E. Bernard 2018) / *Junipero sabinae-Pinetea ibericae* Rivas Mart. 1965). Ces pinèdes sont localisées sur les plateaux basaltiques de l'est, où elles ne semblent pas dépasser l'étage montagnard moyen (1300 m). Il s'agit de bois ou bosquets de substitution, c'est-à-dire d'un paraclimax* de nature anthropique et ancestralement entretenu par le pâturage sous-jacent. Localement, la hêtraie du *Calamintho-Fagetum typicum* pourrait probablement lui succéder.

Cortège signalétique : *Prenanthes purpurea*, *Pinus sylvestris* (opt.), *solidago virgaurea*, *Mycelis muralis*, *Campanula rotundifolia*, *Goodyera repens* accompagné de taxons de lisière et d'estives montagnardes.

3.6.2 Les fourrés subalpins primaires

Ces fourrés d'altitude, sont soumis à des stress importants (vent, neige) qui les maintiennent dans un état dynamique d'équilibre édapho-climatique, empêchant leur évolution vers la forêt ; dans ce cas ils sont considérés comme des têtes de minorisérie. En contexte de perturbations (avalanches, tempêtes), régulièrement rajeunis (dynamique régressive), ils constituent des têtes de curtaséries, séquences végétales courtes et instables, caractéristiques des milieux soumis à des perturbations régulières. Ils marquent structurellement l'étage subalpin inférieur, sous forme de manteaux discontinus, ne pénétrant pas dans le supérieur, mais pouvant descendre en enclaves dans l'étage montagnard supérieur.

En plus des associations appartenant à l'alliance du *Pruno petraeae-Sorbion aucupariae* (Rameau in Rameau, D. Mans. et Dumé 1993) Seytre et R. Boeuf in R. Boeuf 2011. présentées ci-après, trois fourrés subalpins spécialisés ont pu être observés sans avoir fait l'objet de relevé. Il s'agit du groupement à *Prunus padus* (Bignon 1986) sur

éboulis volcanique à gros blocs (Cf. *Pruno petrae-Sorbion aucupariae* (Rameau in Rameau, D. Mans. et Dumé 1993) Seytre et R. Boeuf in R. Boeuf 2011). De formations plus hygrophiles localisées au niveau des sources et des chenaux tardiglaciaires humides avec *Salix bicolor* (non décrit, Thébaud comm. pers.) (Cirque de Grandval et de Chamalière) ou encore à *Salix lapponum* des stations plus longuement enneigées (Cf. *Salicetum lapponum* Zlatnik 1928 variante de l'étage subalpin inférieur, *Salicion pentandrae* Braun-Blanquet. 1967) (Circques de Chamalière et de Ferval). Le noisetier ne parvient pas à se développer à cet étage et n'y constitue pas de fourrés. Ces végétations appartiennent à la classe des *Betulo carpaticeae-Alnetea viridis* Rejmánek in Huml, Lepš, Prach et Rejmánek 1979.

8. Association à Sorbier : Association à *Sorbus* Lachapelle in G. Cusset et Lachapelle 1964. Il s'agit de fourrés du subalpin inférieur formant une bande discontinue plus ou moins fragmentaire (petits bosquets) entre la lisière forestière supérieure (*Doronico-Fagetum*) et les landes climaciques (*Calluno-Genistion*). La sous-strate est riche en espèces, notamment celles de mégaphorbaies et de calamagrostidaies subalpines ; mais des lambeaux de landes ou de genêt purgatif peuvent aussi cohabiter. Ce manteau arbustif peut parfois descendre dans l'étage montagnard supérieur dans les secteurs de couloir d'avalanche (ex. Ravin de la croix). Il existe deux variantes décrites par Seytre (2008), la première étant une variante fraîche et chionophile, principalement d'ubac ou à proximité de suintements, envahie de mégaphorbaies (*Adenostylion*) et caractérisée par *Luzula desvauxii* et *Crepis paludosa* ; la seconde variante est en exposition d'adret, plus mésophile et thermophile, avec *Dactylis glomerata*.

Cortège signalétique : *Sorbus aucuparia*, *Aria edulis*, *Betula pubescens*, *Salix caprea*, *Adenostyles alliaria*, *Lonicera alpigena*, *Rosa pendulina*, *Aconitum lycoctonum*, *Geranium sylvaticum*, *Phyteum spicatum*.

Commentaire : Au regard de notre échantillonnage, une étude à l'échelle du Massif central, incluant le *Sorbo aucupariae-Loniceretum*, permettrait d'approfondir notre compréhension et les limites entre ces deux associations végétales.

9. Association à Rosier très épineux et Cotonéaster commun : *Roso pimpinellifoliae-Cotoneastretum integerrimi* Billy ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard & Delcoigne 2014 nom. inval. (définition I). (*Sorbo mougeotii-Lonicerion alpigenae* B. Foucault 2014). Ce fourré bas du subalpin supérieur (1500-1800 m d'altitude) est thermoxérophile et chionophobe. Peu commun et soumis à de forts vents réguliers, il se localise sur les pentes rocheuses, éboulis, hautes crêtes et sommets ensoleillés. Cette association peut être en contact des festucaies paniculées thermoxérophiles (*Leucanthemo-Patzkeenion*) ou des pelouses à Fétuque faux-aira (*Sileno ciliatae-Festucetum*)

Cortège signalétique : *Rosa spinosissima*, *Cotoneaster integerrimus*, *Juniperus communis* s. *nana*.

10. Association à Rosier des Alpes et Sorbier petit néflier : *Rosa pendulinae-Sorbetum chamaemespili* Billy ex Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard et Delcoigne 2014 nom. inval. (définition I). Ce fourré chionophile du subalpin inférieur est très localisé sur des pentes ombragées, fraîches à humides, plus ou moins rocheuses et sur des éboulis colmatés où il peut être au contact de mégaphorbaies à fougère alpestre (*Senecioni cacaliastri-Athyrietum*) (ex. Cirque d'Eylac et du Mars).

Cortège signalétique : *Chamaemespilus alpina*, *Rosa pendulina*, *Rubus idaeus*, *Sorbus aucuparia*, riche en fougères ainsi que diverses espèces de mégaphorbaies subalpines.

3.7 Les forêts montagnardes

Les forêts forment le climax climacique de l'étage montagnard cantalien. Le climat humide de cette montagne atlantique favorise le hêtre, mais les secteurs particulièrement confinés et nébuleux engendrent de belles populations de sapins, les deux essences poussant naturellement ensemble, les peuplements monospécifiques composés de l'une ou l'autre n'étant souvent que le résultat de l'histoire humaine. Cependant, la hêtraie-sapinière n'est pas une formation forestière unique et indivisible, mais plusieurs associations forestières existent selon les conditions locales. En premier lieu, les conditions climatiques, selon les versants ou l'altitude, mais aussi en fonction du substrat, influencent la composition forestière. Par substrat, on entend la nature de la roche mère, du sol et de son épaisseur. Les formes d'humus peuvent exercer une grande influence sur les strates inférieures via la minéralisation et la libération d'azote. L'éclaircissage est d'ailleurs véritablement le seul paramètre d'amélioration raisonnable à la disposition du forestier. De plus, un grand nombre de versants

forestiers sont en réalité constitués de dépôts superficiels d'origine glaciaire, constituant ainsi un mélange de roche et de matrice qui atténue les effets chimiques de l'altération des blocs de roches massives. En conséquence, dans ce contexte, les réactions physico-chimiques (pH) sont potentiellement moins acides que sur une roche mère siliceuse compacte, puisque le sol dépend d'un panel pétrographique diversifié et plus ou moins altéré (V. Genevois comm. pers.). Ainsi, seuls les sols forestiers situés sur des croupes, bombements, de forte pente (solifluxion et rajeunissement) ou éboulis ont des réactions proches de celles de la roche mère. Enfin, la nature structurale de la roche peut influencer. Ainsi, l'altération des brèches volcaniques libère davantage de sable (matrice) ce qui pourrait favoriser la lixiviation* et donc la podzolisation*. (V. Genevois comm. pers.). D'autre part, suivant le degré d'ouverture du couvert, la strate herbacée peut être très éparse (rares touffes sous les peuplements très fermés...) ou au contraire marquée par une strate herbacée plus développée. Enfin, l'impact à long terme d'une ancienne occupation pastorale sur la composition et l'évolution du milieu (sol) et des communautés forestières, ainsi que sur la durée de leur établissement, reste encore mal connu. De même, la dynamique forestière, plus ou moins récente ou ancienne, joue sur les peuplements et traduit des états de maturité différents.

Selon le PVF2, la quasi-totalité des associations appartient à la classe des *Carpino betuli-Fagetum sylvaticae* Jakucs 1967. L'importante synthèse et révision taxinomique, réalisée dans le cadre des travaux du PVF2 (Renaux *et al.*, 2019), justifie de ne plus adhérer à la classification forestière de Mucina *et al.*, (2016).

3.7.1 Les hêtraies-sapinières sur sols peu acides

Les limites entre les forêts d'influence méridionale et océanique ne sont pas clairement définies, une zone de contact au cœur du massif rendant l'interprétation parfois difficile. En intégrant l'important matériel phytosociologique cantalien accumulé au cours de cette étude (289 relevés), une synthèse régionale apporterait sans doute de nouvelles connaissances sur la répartition et les limites de ces formations végétales. Celles-ci appartiennent à l'alliance du *Fagion sylvaticae* Luquet 1926.

3.7.1.1 Les hêtraies-sapinières d'influences méridionales

Ces forêts, situées principalement au sud des rivières Cère et Alagnon (peut-être jusqu'à la vallée de la Santoire ?), bénéficient d'une influence climatique méridionale et semi-continentale d'abris. Les associations appartiennent à l'alliance du *Geranio nodosi-Fagenion sylvaticae* (S. Gentile 1974, Ubaldi et Speranza 1985) Renaux, Timbal, Gauberville, Thébaud, Bardat, Lalanne, J.-M. Royer et Seytre 2019.

1. Association à Calament à grandes fleurs et Hêtre : *Calamintho grandiflorae-Fagetum sylvaticae* Braun-Blanquet 1915. Cette hêtraie-sapinière neutroclinophile à neutrophile se développe sur substrat riche (situation colluvionnée, tills*, basalte, scories). A côté de la sous-association typique, thermo-mésophile des adrets et sans doute des planèzes de l'est (Chalinargue & Prat-Bouc : absence notable de forêt climacique constituée sur l'aire d'étude), se distingue le *cardaminetosum heptaphyllae* Renaux *et al.*, 2019 des conditions fraîches à hygrosclaphiles (vallées glaciaires). Cette sous-association s'exprime ici via deux races : celle typique du sud-est du Massif central présente dans le quart sud-est du volcan avec *Clinopodium grandiflorum* et *Geranium nodosum* (vallées de l'Épie, Benet, Lagnon et Alagnon. Adret sur la Santoire ?), et la race du sud-ouest du Massif central, particulière au sud-ouest du massif du Cantal (vallées du Goul, Sinique et Brezon).

Cortège signalétique : *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Actaea spicata*, *Cardamine pentaphyllos*, *Clinopodium grandiflorum*, *Dryopteris filix-mas*, *Galium odoratum*, *Geranium nodosum*, *Lamium galeobdolon*, *Milium effusum*, *Poa chaixii*, *Prenanthes purpurea*, *Sambucus racemosa*, *Stellaria nemorum*.

Commentaire : Au nord du massif cette association cède sa place à l'*Adoxo-Fagetum* avec l'apparition de *Tractema lilio-hyacinthus*. Cette espèce vernale est parfois difficile à constater une fois fanée, ce qui est également le cas d'*Adoxa moschatellina*. Cependant selon Renaud *et al.*, (2023) la présence de la Scille lis-jacinthe et du Calament à grandes fleurs (ou leurs abondances relatives) doit permettre de faire la différence entre les deux associations. La différenciation de cette association et de la suivante est parfois difficile et une analyse régionale plus précise que celle du PVF2 serait nécessaire.

2. Association à Pâturin de Chaix et Sapin : *Poo chaixii-Abietetum albae* Renaux, Le Hénaff et Choynet 2015. C'est une forêt acidoclinophile se maintenant au niveau des sols peu épais et pouvant recouvrir la plus grande partie des versants. Ecologiquement, elle est intermédiaire entre la forêt neutrocline, trophiquement riche du *Calamintho-Fagetum*, et le *Solidago-Fagetum* acidiphile des croupes et des ruptures de pente. Quelques bryophytes acidiphiles peuvent être présentes. Avec la sous-association typique, trois autres ont été décrites : i) le *saniculetosum europaeae* Le Hénaff et Renaux in Renaux *et al.*, 2015, moins acide avec présence abondante

des espèces neutroclinophiles et des espèces neutroclitrophiles de sols frais ; ii) le *gymnocarpietosum dryopteridis* Renaux, et al. in Renaux et al., 2015 hygrosclitrophile, marqué par l'abondance de fougères, et iii) l'*adenostyletosum alliariae* Le Hénaff et Renaux in Renaux et al., 2015, de l'étage montagnard supérieur en transition vers les forêts subalpines *Doronico-Fagetum*, avec apparition d'espèces des mégaphorbiaies subalpines. Enfin une variante, à *Oxalis acetosella* des bas de versants et terrasses hygrosclitrophiles, fait la transition avec le *Ranunculo-Abietetum* Billy ex Thébaud et al. 2014.

Cortège signalétique : *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Ilex aquifolium*, *Sorbus aucuparia*, *Athyrium filix-femina*, *Avenella flexuosa*, *Clinopodium grandiflorum*, *Dryopteris filix-mas*, *G. rotundifolium*, *Lactuca muralis*, *Lonicera nigra*, *Luzula nivea*, *L. sylvatica*, *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Poa chaixii*, *Prenanthes purpurea*, *Rubus idaeus*, *Sambucus racemosa*, *Vaccinium myrtillus*, *Viola riviniana*.

Commentaire : Cette association a été reconnue dans quelques fragments de hêtraie présents sur la planèze de Chalinargue (Lac Sauvage et Bois de Chavagnac), à une altitude légèrement en dessous de notre territoire d'étude (entre 1100 et 1200 m). Des relevés seraient cependant nécessaires pour confirmer la présence de l'association sur le secteur. À savoir que *Tractema lilio-hyacinthus* et *Euphorbia hyberna*, toutes deux caractéristiques des hêtraies-sapinières d'influences océaniques, ne sont pas connues sur la zone citée.

3.7.1.2 Les hêtraies-sapinières d'influences océaniques

Ces forêts, situées principalement au nord des rivières Cère et Alagnon (peut-être jusqu'à la vallée de la Santoire ?), bénéficient d'une influence océanique arrosée. Les associations appartiennent à la sous-alliance du *Scillo lilio-hyacinthi-Fagenion sylvaticae* Oberdorfer ex Rivas Martinez 1973.

3. Association à *Adoxa moschatellina* et Hêtre : *Adoxa moschatellinae-Fagetum sylvaticae* (Luquet 1926) Rivas Martinez, Báscones, T.E. Díaz, Fern. González et Loidi 1991 [= *Scillo lilio-hyacinthi-Fagetum sylvaticae* (Luquet 1926) Cusset 1964]. Ces hêtraies ou hêtraies-sapinières s'exposent aux ubacs frais et humides sur roche volcanique riche en bases (basalte), et en situation de versant peu à moyennement pentu et colluvionnée (concavité ou bas de versant), conférant à ce type de contexte une bonne alimentation hydrique, trophique et chimique (pH neutre), avec une forme d'humus de type mull. Avec la sous-association typique, cinq sous-associations ont été décrites et sont à chercher, i) l'*actaetosum spicatae* Billy ex Renaux et al., 2019 des climats d'abris et différenciée par *Geranium nodosum* et l'abondance d'*Actea spicata*, marquant ainsi la transition vers le *Geranio-Fagenion*, ii) l'*athyrietosum filicis-feminae* Cusset 1961, des versants frais et souvent riches en éléments grossiers stabilisés, iii) l'*equisetosum hyemalis* Cusset 1961, sur les versants frais à humides, iv) l'*allietosum victorialis* Cusset 1961, de l'étage montagnard supérieur et faisant transition avec le *Doronico-Fagetum*, et enfin v) le *moehringietosum* Cusset 1961 riche en éléments nutritifs et liés aux anciennes trouées (coupes, chablis) ou à un pâturage en forêt. Enfin, une variante alticole de la sous-association *athyrietosum filicis-feminae* serait à décrire (C. Hostein in Renaux et al., 2019).

Cortège signalétique : *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Adoxa moschatellina*, *Tractema lilio-hyacinthus*, *Anemone nemorosa*, *Cardamine heptaphylla*, *Dryopteris filix-mas*, *Epilobium montanum*, *Euphorbia amygdaloides*, *Galium odoratum*, *Lamium galeobdolon*, *Milium effusum*, *Paris quadrifolia*, *Polygonatum verticillatum*, *Ribes alpinum*, *Arum maculatum*, *Actaea spicata*, *Cardamine heptaphylla*, *Melica uniflora*, *Mercurialis perennis*, *Moehringia trinervia*, *Ribes alpinum* et *Tractema lilio-hyacinthus* y sont bien plus fréquents que dans l'*Euphorbio-Fagetum* d'après Renaux et al., (2023).

Commentaire : Malgré les réserves de Renaux et al., (2019) sur présence de l'association dans le massif du Cantal, puisque *Clinopodium grandiflorum* et *Tractema lilio-hyacinthus* sont toutes deux présentes ; Renaux et al., (2023) confirme son existence dans le nord du massif.

4. Association à *Euphorbe d'Irlande* et Hêtre : *Euphorbio hybernae-Fagetum sylvaticae* Billy ex Thébaud, C. Roux, C.- E. Bernard et Delcoigne 2014. Cette forêt neutrocline et mésotrophe sur forme d'humus de type mull peut s'assécher l'été. Écologiquement, elle se situe entre le *Luzulo sylvaticae-Fagetum* acidophile et l'*Adoxo-Fagetum sylvaticae* neutro-eutrophe qui reste frais. En position topographique supérieure à ce dernier, cette forêt ne se présente généralement non pas en bas de pente, mais en contexte plus drainant de milieu de versant, en situation convexe ou croupe à roche mère peu acide (basalte). Le cortège floristique est neutrocline, mais on retrouve encore quelques taxons acidiphiles. Trois sous-associations sont décrites, la typique, de l'étage montagnard moyen, le *scilletosum lilio-hyacinthi* C. Roux in Thébaud et al., 2014 de transition vers l'*Adoxo-Fagetum*, différenciée par *Tractema lilio-hyacinthus* et *Cardamine heptaphylla* ; et le *coryletosum avellanae* C. Roux 2017, submontagnarde, différenciée par les taxons collinéens.

Cortège signalétique : *Abies alba*, *Fagus sylvatica*. *Anemone nemorosa*, *Daphne laureola*, *Drymochloa sylvatica*, *Euphorbia hyberna*, *Hieracium argillaceum*, *Lathyrus linifolius* var. *montanus*, *Lonicera nigra*, *Poa chaixii*, *Galium odoratum*, *Lamium galeobdolon*, *Maianthemum bifolium*, *Paris quadrifolia*, *Polygonatum verticillatum*, *Prenanthes purpurea*, *Viola riviniana*. *Euphorbia hyberna*, *Poa chaixii*, *Maianthemum bifolium*, *Lonicera nigra*, *Prenanthes purpurea* et *Solidago virgaurea* y sont plus fréquents que dans l'*Adoxo-Fagetum* d'après Renaux et al., (2023).

5. Association à Luzule des bois et Hêtre : *Luzulo sylvaticae-Fagetum sylvaticae* G. Cusset 1961. Cette forêt acidiphile mésotrophe, se développe sur roche mère plutôt acide (Trachyandésite...) sur convexité, haut ou mi de versant à l'origine de sols moyennement lessivés et assez acides. Avec le type, quatre sous-associations ont été décrites et sont à chercher dans le Cantal : i) le *gymnocarpietosum dryopteridis* Billy ex Renaux et al., 2019, hygrosclérophile, ii) l'*euphorbietosum amygdaloidis* Billy ex Renaux et al., 2019, iii) le *luzuletosum niveae* Billy ex Renaux et al. 2019, acidiphile et de transition vers le *Solidago virgaureae-Fagetum*, et enfin iv) le *calamagrostietosum arundinaceae* R. Pradinas in Renaux et al., 2019, du montagnard supérieur qui marque la transition avec les hêtraies subalpines. Seule la sous-association type semble présente sur le secteur d'étude.

Cortège signalétique : *Abies alba*, *Fagus sylvatica*. *Anemone nemorosa*, *Athyrium filix-femina*, *Avenella flexuosa*, *Conopodium majus*, *Dryopteris filix-mas*, *Drymochloa sylvatica*, *Euphorbia hyberna*, *Galium odoratum*, *Lonicera nigra*, *Luzula sylvatica*, *Oxalis acetosella*, *Poa chaixii*, *Polygonatum verticillatum*, *Prenanthes purpurea*, *Solidago virgaurea*, *Stellaria holostea*.

Commentaire : Renaux et al., (2019) indiquent que sa présence dans le Cantal est à préciser compte tenu de la proximité géographique du *Poo chaixii-Abietetum*, existence ensuite confirmée pour le nord du massif par Renaux et al., (2023), le Cantal étant une zone de transition entre les deux associations.

3.7.2 Les hêtraies-sapinières sur sols acides

6. Association à Verge d'or et Hêtre : *Solidago virgaureae-Fagetum sylvaticae* (Cusset 1964) Renaux, Timbal, Gauberville, Thébaud, Bardat, Lalanne, J.-M. Royer & Seytre 2019. (*Luzulo luzuloidis-Fagion sylvaticae* W. Lohmeyer et Tüxen in Tüxen 1954). C'est l'unique association forestière acidiphile et mésophile des monts du Cantal. Cette forêt se développe sur roche mère acide, principalement trachyandésitique (les trachytes et phonolites forment dans les monts du Cantal des dômes asylvatiques, exception faite de l'Usclade). Elle se développe sur les sols généralement peu épais et bien drainés, produisant des formes d'humus peu actifs de type moder à dysmoder (plus rarement dysmull). Dans le cas contraire, la lixiviation par percolation, sans doute favorisée par la présence de brèche, est suffisamment intense pour maintenir l'acidité des conditions. Ces bois se situent préférentiellement sur les convexités du relief, les hauts et milieux de versants ne recevant pas ou peu de colluvions. En aval, cette hêtraie-sapinière cède souvent la place aux associations précédentes plus ou moins acides, voire neutrophiles. Dans les peuplements irréguliers dominés par le sapin, la myrtille peut y être très recouvrante si l'acidité du substrat est suffisante, de même pour les bryophytes acidiphiles. Avec ce type, trois sous-associations ont été décrites : i) l'*hylocomietosum splendentis* Cusset 1964 très moussue, ii) l'*abietetosum albae* Renaux et al., 2019, dominée par le sapin et iii) le *vaccinietosum myrtilli* Cusset 1964 sur les sols les plus acides. Plusieurs variantes suivant l'altitude et l'acidité ont été aussi citées par Cusset (1964) pour les monts Dore.

Cortège signalétique : *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Ilex aquifolium*, *Sorbus aucuparia*. *Avenella flexuosa*, *Anemone nemorosa*, *Carex pillulifera*, *Dicranum scoparium*, *Dryopteris carthusiana*, *Galium saxatile*, *Hieracium murorum*, *Hylocomium splendens*, *Luzula nivea*, *Maianthemum bifolium*, *Melampyrum pratense*, *Polytrichum formosum*, *Pleurozium schreberi*, *Prenanthes purpurea*, *Rubus idaeus*, *Sambucus racemosa*, *Senecio ovatus* s. *alpestris*, *Rhytidadelphus loreus*, *Vaccinium myrtillus*, *Veronica officinalis*.

Commentaire : Cette association est à ne pas confondre avec la sapinière-hêtraie hygrosclérophile, acidiphile à hyperacidiphile suivante (*Dryopterido-Abietetum* Thébaud et al., 2014).

7. Association à Dryoptéride dilatée et Sapin pectiné : *Dryopterido dilatatae-Abietetum albae* Thébaud, C. Roux, C.-E. Bernard & Delcoigne 2014 (*Vaccinio vitis-idaeae-Abietenion* Oberdorfer 1962). Cette sapinière acidiphile à hyperacidiphile d'affinité subatlantique s'observe dans les situations les plus froides et arrosées des ubacs sclérophiles et aérohygroscopiques, aux étages montagnards moyen et supérieur. Les sols acides, pouvant présenter un début de podzolisation, sont surmontés par des formes d'humus de type moder ou dysmoder. Cette forêt paucispécifique est très ponctuelle dans le Cantal où elle se rencontre dans certaines vallées nord sur moraines appauvries (la plaine Mary, Bois noirs de la vallée d'Aspre) (G. Thébaud comm. pers.).

Cortège signalétique : *Abies alba*, *Aria edulis*, *S. aucuparia*, *Athyrium filix-femina*, *Avenella flexuosa*, *Struthiopteris spicant*, *Vaccinium myrtillus*, *Dicranum scoparium*, *Dryopteris carthusiana*, *D. x deweveri*, *D. dilatata*, *Galium saxatile*, *Hylocomium splendens*, *Lonicera nigra*, *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Polygonatum verticillatum*, *Polytrichum formosum*, *Prenanthes purpurea*, *Rhytidiadelphus loreus*, *Rubus ser. Glandulosi*, *R. idaeus*.

Commentaire : Cette association n'est pas à confondre avec les sapinières ou pineraies hyperacidiphiles, plus ou moins hygrophiles moussues et froides ou celles plus xérophiles sur blocs (*Luzulo luzuloidis-Piceion abietis* H. Passarge 1978) qui ne sont pas traitées dans le présent mémoire.

3.7.3 Les hêtraies de lisières supérieures de l'étage montagnard

Ces communautés du montagnard supérieur, qualifié généralement de « subalpin », sont riches en hautes herbes, représentatives des massifs de moyenne montagne où elles constituent la végétation sommitale. Ces hêtraies appartiennent à l'alliance de l'*Aceri pseudoplatani-Fagion sylvaticae* (Oberdorfer 1957) Moor 1976.

8. Association à Doronique d'Autriche et Hêtre : *Doronico austriaci-Fagetum sylvaticae* Seytre in Renaux, Timbal, Gauberville, Thébaud, Bardat, Lalanne, J.-M. Royer et Seytre 2019. (*Aceri pseudoplatani-Fagion sylvaticae* (Oberdorfer 1957) Moor 1976). C'est la communauté forestière la plus altitudinale et « typique » de la limite sylvestre supérieure naturelle. Elle marque l'extrémité de l'étage montagnard supérieur sur des pentes généralement prononcées. Qualifiée trop souvent abusivement de « hêtraie subalpine », elle n'identifie que la limite inférieure de l'étage subalpin, mais n'en fait en aucun cas partie. Les conditions climatiques au subalpin sont par définition impropres dans le Massif central à la constitution forestière. La physionomie de ces bois est aussi singulière : le poids de la neige commence à courber les troncs à la base, puis à fur et à mesure que la lisière se rapproche, les fûts se raccourcissent, se couchent, le givre tord et casse les branches, jusqu'à former de véritables forêts naines à l'allure d'un fourré clair de bonzaïs. Ces morphes de cépées naturelles ne sont pas à confondre avec d'autres issues de l'abrutissement répété du bétail ou du gibier que l'on peut retrouver à basse altitude. Certaines mousses chionophiles poussant sur les troncs indiquent la hauteur du couvert neigeux moyen (Carbiener, 1966b). La strate arborée est largement dominée par le hêtre, exceptionnellement un faciès à sapin peut exister (Peyre Ourse, G. Thébaud comm. pers.). Le cortège s'enrichit en taxons à hautes herbes de lisière et de mégaphorbiaies subalpines, mais les espèces forestières, même amoindries, restent bien présentes. Parfois, à la faveur d'une immense congère sous une rupture de pente à l'aval d'un plateau, on peut rencontrer relativement bas en altitude cette association bien constituée (1350 m, buron de la Tuile). A l'échelle du massif, l'association s'exprime sous la forme d'une race atlantique dite « des monts Dore et des monts du Cantal » avec *Tractema liliohyacinthus* et *Euphorbia hyberna*. Quatre variantes ont été décrites : i) une fraîche, au niveau de pentes concaves retenant l'eau plus longtemps, à *Luzula desvauxii*, *Crepis paludosa*, *Adoxa moschatellina*, *Angelica sylvestris* et *Chaerophyllum hirsutum* ; ii) une acidiphile sur des sols moins profonds en raison de substrats rocheux plus affleurants, à *Avenella flexuosa*, *Vaccinium myrtillus*, *Hieracium murorum* aggr., *Dryopteris dilatata*, *Maianthemum bifolium*, *Struthiopteris spicant* ; iii) une anciennement perturbée (chablis) à *Impatiens noli-tangere*, *Galeopsis tetrahit*, *Digitalis purpurea*, *Acer platanoides*, *Sambucus racemosa*, *Stellaria holostea*, et enfin, iv) une plus thermophile d'adret avec *Euphorbia amygdaloides* et *Aquilegia vulgaris*.

Cortège signalétique : *Fagus sylvatica*, *Sorbus aucuparia*, *Aconitum lycoctonum*, *Actaea spicata*, *Adenostyles alliariae*, *Allium victorialis*, *Athyrium filix-femina*, *Calamagrostis arundinacea*, *Cirsium erisithales*, *Doronicum austriacum*, *Dryopteris filix-mas*, *Galium odoratum*, *Imperatoria ostruthium*, *Lactuca alpina*, *Lactuca plumieri*, *Lamium galeobdolon*, *Lonicera nigra*, *Luzula nivea*, *Milium effusum*, *Myosotis sylvatica*, *Paris quadrifolia*, *Poa chaixii*, *Polygonatum verticillatum*, *Prenanthes purpurea*, *Ranunculus platanifolius*, *Rubus idaeus*, *Rumex arifolius*, *Senecio cacaliaster*, *Streptopus amplexifolius*, *Veratrum album*. *Acer platanoides* n'est pas courant dans cette formation.

Commentaire : Le défrichement ancestral a réduit drastiquement la superficie de l'association par rapport à son potentiel initial. De plus, sur la zone d'étude, ces bois sont souvent profondément altérés, voire labourés, par les bovins ou le gibier qui y trouve un refuge diurne.

3.8 Conclusion phytogéographique

Les végétations reflètent les conditions écologiques locales, et l'étude de leurs répartitions donne des informations permettant de mieux comprendre et cerner les limites biogéographiques qui existent au sein du massif cantalien.

Ainsi, d'est en ouest, on observe une progression des végétations thermo-xérophiles reflétant les conditions écologiques de climat d'abri (*Betonico-Galietum*, *Campanulo-Phleetum typicum*, *Carlino-Phleetum*, *Roso-Juniperetum*, *Prenantho-Pinetum*). De même, du sud au nord, on note la disparition des associations d'affinité méridionale (*Sileno ciliatae-Festucetum*, *Pulsatillo-Cytisetum*, *Calamintho-Fagetum*, *Poo-Abietetum*). Individuellement, certaines plantes sont très indicatrices de ces changements. Ainsi, *Pulsatilla vernalis* et, dans une moindre mesure, *Silene ciliata*, taxons d'affinités oroméditerranéennes et relativement fréquents dans les formations subalpines du massif du Plomb du Cantal, s'effacent dans le massif du Puy Mary. Inversement, on note un enrichissement en espèces orophiles à des altitudes plus basses au nord, particulièrement pour le Trèfle des Alpes. Alors que certaines espèces, telles que *Mutellina adonifolia*, sont moins fréquentes dans les zones méridionales, d'autres, à affinités arctiques ou alpines (*Saxifraga oppositifolia*, *Micranthes hieraciifolia*, *Dryas octopetala*) et orophiles (*Saxifraga androsaeca*, *Tozzia alpina*), sont totalement absentes. Ces variations de distribution sont principalement dues à des différences de facteurs biogéographiques et écologiques liés à l'orientation des deux sous-massifs cantaliens. L'exposition méridionale favorise des conditions microclimatiques différentes de celles observées sur les versants septentrionaux, influençant ainsi la répartition des espèces.

L'influence de ces différences d'expositions s'observe également localement. Les adrets hébergent des végétations spécifiques privilégiant des conditions chaudes et sèches, sans forcément nécessiter un climat d'abri (*Diantho-Brachypodietum*, *Silene-* et *Teucrio-Cytisetum*, Cf. *Daphno-Coryletum*, *Roso-Cotoneastretum*, *Galio-Patzkeion*, *Patzkeo-Vaccinietum*). Inversement, d'autres communautés recherchent l'ombre et l'humidité des ubacs (*Adenostylion*, *Roso-Chamaemespiletum*, *Racomitrio-Empetretum*...). De plus, rappelons que la distinction entre les végétations montagnardes et subalpines est très marquée dans l'ensemble du massif, confirmant ainsi l'existence d'une compartation altitudinal à l'intérieur même de celui-ci. Ainsi, l'interprétation phytosociologique des communautés concorde avec les conclusions bioclimatiques exposées en première partie. Cela prouve que le volcan Cantal est loin d'être un même ensemble homogène sur le plan écologique, malgré la relative petite taille de ce massif.

Pour finir, en comparant les végétations présentes entre les massifs des monts Dore et du Cantal, une légère hétérogénéité apparaît. En effet, le Cantal n'héberge pas la lande hypercryophile sommitale du *Carici vaginatae-Callunetum vulgaris* R.Michalet et T.Philippe ex Thébaud et al., 2014, ni les Calamagrostidaies très chionophiles du *Pediculari-Geranium sylvatici* R.Michalet et T.Philippe ex Thébaud et al. 2014 ou la mésophorbaie buissonnante hygro-chionophile du *Salici-Luzuletum* (Luquet 1926) de Foucault in de Foucault et Corriol 2013. De plus, les Calamagrostidaie y sont plus abondantes. Ces associations témoignent d'un climat plus froid et d'un enneigement plus long. Inversement, on rencontre dans le Cantal les *Sileno-Festucetum*, *Pulsatillo-Cytisetum* et *Bupleuro-Festucetum*, *Betonico-Patzkeetum* aux caractères (thermo)xérophiles, ce qui correspond à une ambiance plus chaude et sèche (notamment massif du Plomb). Ces résultats concordent et corroborent les propos de Loos & Thébaud (2024) sur le caractère plus méridional du Cantal vis-à-vis des monts Dore ainsi que ceux de Serre (2018) sur le caractère plus chionophile de ce dernier massif.

IV. Esquisse de schémas dynamiques et spatiaux des végétations mésophiles des monts de Cantal : phytosociologie paysagère ou dynamico-caténale - Série et Géosérie

4.1 Typologie provisoire des séries des monts du Cantal

L'étude dynamico-caténale prévue au départ n'ayant pas pu être réalisée, la pré-typologie présentée ici se base seulement sur une expertise empirique à partir des têtes de séries forestières ainsi que sur la bibliographie, peu abondante en phytosociologie paysagère dans les zones de montagne du Massif central. Les travaux de recherche approfondie de Roux (2017) dans la chaîne des Puys et la compilation de Thébaud & Roux (2018) au niveau du Massif central, ainsi que l'étude de Meinard *et al.*, (2022) dans le Devès ont été consultés. Aucun relevé paysager n'a été effectué par nous dans les monts du Cantal et donc les étapes de chaque série n'ont pas été clairement identifiées. Cette pré-typologie n'a pour but que de dresser un canevas pour des prospections ultérieures devant déboucher sur des analyses approfondies et intégrées dans des systèmes

dynamiques et géomorphologiques cohérents, telles qu'elles doivent être réalisées dans le cadre d'une véritable étude en phytosociologie paysagère dynamico-caténale.

Les landes subalpines sont ici considérées comme des permáséries, conformément aux travaux de Thébaud & Roux (2018), puisqu'aucune preuve formelle ne supporte l'hypothèse d'une succession naturelle pelouse-lande dans l'étage subalpin d'Auvergne. En effet, les chaméphytes (comme la callune et la myrtille) s'établissent autant que les herbacées, et peuvent même rapidement dominer la végétation en l'absence de pâturage. (G. Thébaud, comm. pers.). Ainsi, seules les végétations colonisant les couloirs d'avalanche peuvent être considérées comme des curtaséries.

Les facteurs écologiques discriminants sont d'une manière générale le climat, suivi par l'orientation. Pour l'étage montagnard, l'influence des versants d'adret et d'ubac semble s'estomper au profit du climat général, ceci dû sans doute au gradient altitudinal. L'absence de forêt naturelle mature sur les plateaux de l'est représentant la tête de série ne permet pas d'aborder la série complète selon les principes de végétation potentielle naturelle (VPN), mais uniquement selon celui de végétation potentielle de remplacement (VPR).

Les schémas d'affinités dynamiques théoriques des séries qui ne peuvent reposer ici sur des relevés paysagers et leur analyse rigoureuse n'ont pas été réalisés.

4.1.1 Séries montagnardes

A : Végétations climatophiles forestières

1. Série de la hêtraie-sapinière neutrophile atlantique à Euphorbe d'Irlande et Scille Lis-Jacinthe : (Cf *Euphorbio hybernae-Fago sylvestris Scilletoso lilio-yacinthus sigmetum* Roux 2017 ou *Adoxo moschatellinae-Fago sylvaticae sigmetum* prov.)
2. Série de la hêtraie-sapinière neutrocline atlantique à Euphorbe d'Irlande : (*Euphorbio hybernae-Fago sylvaticae sigmetum* Roux 2017)
3. Série de la hêtraie-sapinière acidiline subatlantique à Luzule sylvatique : (*Luzulo sylvaticae-Fago sylvaticae sigmetum* Roux 2017)
4. Série de la hêtraie-sapinière acidiphile et héliophile d'adret subatlantique à Solidage Verge d'or : (*Solidago virgaureae-Fago sylvaticae sigmetum* prov.)
5. Série de la hêtraie-sapinière neutrophile méridionale à Calament à grandes fleurs : *Calamintho grandiflorae-Fago sylvaticae sigmetum* prov.)
 - Sous-série occidendo-méridionale : (*Calamintho grandiflorae-Fago sylvaticae cardamino heptaphylae* race sud-ouest du Massif central *sigmetosum* prov.)
 - Sous-série oriento-méridionale : (*Calamintho grandiflorae-Fago sylvaticae cardamino heptaphylae* race sud-est du Massif central *sigmetosum* prov.)
6. Série de la hêtraie-sapinière acidiline méridionale à Pâturin de Chaix : (*Poo chaxii-Abieto albae sigmetum* prov. ou *Poo chaixii-Abieto albae sigmetum saniculetosum europeae* Meinard, C.Roux et Thébaud 2022)
7. Série de la sapinière-hêtraie acidiphile hygrosiaphile d'ubac subatlantique à Dryoptéride dilatée (*Dryopterido dilatatae-Abieto albae sigmetum* prov.) (rare !)
8. Série de la hêtraie alticole de lisière supérieure à Doronic d'Autriche : (*Doronico austriaci-Fago sylvaticae sigmetum* prov.)

Les séries 1 et 2, ainsi que les séries 5 et 6, pourraient être regroupées en raison de la grande similitude de leur végétation climacique. Des analyses plus approfondies sur les couples de forêts de référence *Adoxo-Fagetum* et *Euphorbio-Fagetum*, ainsi que *Calamintho-Fagetum* et *Poo-Abietetum*, permettraient de confirmer ou d'infirmer l'indépendance des séries 1 et 2, et 5 et 6 respectivement, dans les zones d'influence atlantique et méridionale. (G. Thébaud, comm. pers.).

C : Végétations édaphohygrophiles eutrophiles forestières

9. Permasérie de mégaphorbaie à Crepide palustre et Adenostyle psycro-hygrosiaphile: (*Crepidopaludosae-Adenostylo alliariae permasigmetum* prov.)

10. Permasérie à Arabette des Cévennes et Adénostyle hygrosциaphile méridionale : (*Arabidopsis cebennensis-Adenostylo permasigmatum prov.*)
11. Permasérie de mégaphorbaie Saxifrage à feuilles rondes et Pétasite blanc aérohygrosциaphile des ravins très encaissés : (*Saxifraga rotundifolii-Petasito albi permasigmatum prov.*)

4.1.2 Séries subalpines

La plupart des communautés subalpines décrites dans le catalogue des végétations présenté précédemment sont naturellement dynamiquement stables. Chaque association végétale constitue ainsi sa propre tête de série climacique, qu'il s'agisse d'une lande, d'une pelouse, d'une mégaphorbaie ou d'une formation à hautes herbes (permasérie) ou de fourré (minorisérie).

A : Végétations des versants chauds et secs (adret)

12. Minorisérie de fourré éphoxérophile du subalpin inférieur à Germandrée scorodoine et genêt purgatif : (*Teucrio scorodoniae-Cytisio oromediterranei minorisigmatum prov.*)
13. Minorisérie de fourré édaphoxérophile du subalpin supérieur à Rosier très épineux et Cotonéaster commun (*Roso spinosissimae-Cotoneastro integerrimi minorisigmatum prov.*)
14. Permasérie de hautes herbes climatophile d'adret thermocline acidiphile à Arnica des montagnes et Fétuque paniculée : (*Arnico montanae-Patzkeo paniculatae permasigmatum prov.*) (rare !)
15. Permasérie de hautes herbes climatophile d'adret thermophile acidiphile à Bétoine et Fétuque paniculée : (*Betonico officinalis-Patzkeo paniculatae permasigmatum prov.*)
16. Permasérie de hautes herbes édaphoxérophile thermophile acidiphile à Marguerite de Delarbre et Fétuque paniculée : (*Leucanthemo delarbrei-Patzkeo paniculatae permasigmatum prov.*)
17. Permasérie de hautes herbes édaphoxérophile thermophile neutrophile à Buplèvre fausse-renoncule et Fétuque de Coste : (*Bupleuro ranunculoidis-Festuceto costei permasigmatum prov.*)
18. Permasérie de lande édaphoxérophile anémocryophile et acidiphile méridionale à Pulsatille vernal et Cytise couchée : (*Pulsatillo vernalis-Cytiso decumbentis permasigmatum prov.*)
19. Permasérie de lande édaphoxérophile anémocryophile acidiphile et septentrionale à Jasione lisse et Callune : (*Jasione laevis-Calluno vulgaris permasigmatum prov.*)
20. Permasérie de lande thermo-mésoxérophile à Fétuque paniculée et Myrtille : (*Patzkeo paniculatae-Vaccinio myrtilli permasigmatum prov.*)

B : Végétation des versants et sommets froids du subalpin supérieur en stations mésophiles

21. Permasérie de lande climatophile à Myrtille et Airelle : (*Vaccinio myrtillo-uliginosi permasigmatum prov.*)

C : Végétations des stations longuement enneigées (congères tardives)

22. Permasérie de pelouse chionothermocline à Brize intermédiaire et Agrostide capillaire : (*Brizo mediae-Agrostio capillaris permasigmatum prov.*)
23. Permasérie de pelouse chionomésophile à Euphrase naine et Nard raide : (*Euphrasio minimae-Nardo strictae permasigmatum prov.*)
24. Permasérie de pelouse chionohydrocline à Plantain des Alpes et Nard raide : (*Plantagini alpinae-Nardo strictae permasigmatum prov.*)
25. Permasérie de pelouse ultrachionophile xérocline à Jasione d'Auvergne et Agrostis des rochers : (*Plantagini alpinae-Agrostio rupestris prov.*)
26. Permasérie de mésophorbaie ultrachionophile mésotrophe à Vétrate blanc et Luzule de Desvaux : (*Veratro albi-Luzulo desvauxii permasigmatum prov.*)

D : Végétations des versants et sommets froids et ventés

27. Permasérie de pelouse cryoanémophile à Silène cilié et Fétuque faux-aira : (*Sileno ciliatae-Festuceto airoidis permasigmetum prov.*)
28. Permasérie de pelouse cryoanémophile à Jasione d'Auvergne et Agrostis des rochers : (*Jasiono arvernensis-Agrostio rupestris permasigmetum prov.*)
29. Permasérie de pelouse xérophile sur vire rocheuse à Biscutelle d'Auvergne et Fétuque faux-aira : (*Biscutello arvernensis-Festuco airoidis permasigmetum prov.*)
30. Permasérie de landine ultracryophile à Racomitrie laineuse et Camarine noire : (*Racomitrio lanuginosi-Empetro nigri permasigmetum prov.*)

E : Végétations des sols profonds et riches en nutriments du subalpin inférieur :

31. Permasérie de hautes herbes thermo-mésophile à Calamagrostide faux-roseau : (*Calamagrostio arundinaceae permasigmetum prov.*)
32. Permasérie de hautes herbes thermo-mésoeutrophile : (*Heracleo sphondylii-Calamagrostio arundinaceae permasigmetum Roux 2017*)
33. Permasérie de hautes herbes chiono-mésophile acidiphile à Sénéçon fausse-cacalie et fougère alpestre : (*Senecioni cacaliastri-Athyrio distentifolii luzuletosum desvauxii permasigmetum prov.*)
34. Permasérie de hautes herbes calamagrostidaie hygrocline et sciaphile à Luzule sylvatique : (*Luzulo sylvaticae-Calamagrostio arundinaceae permasigmetum Roux 2017*)
35. Permasérie de mégaphorbaie chiono-hygro-eutrophile à Impératoire et Adénostyle : (*Imperatorio ostruthii-Adenostylo alliariae permasigmetum prov.*)

F : Végétation arbustive de l'étage subalpin inférieur

36. Minorisérie de fourré climatophile d'ubac à sorbier : (Association à *Sorbus* d'ubac *minorisigmetum prov.*)
37. Minorisérie de fourré climatophile d'adret à Sorbier : (Association à *Sorbus* d'adret *minorisigmetum prov.*)
38. Minorisérie de fourré chionophile, hygrocline d'ubac à Rosier des Alpes et Sorbier petit néflier : (*Roso pendulinae-Sorbo chamaemespili minorisigmetum prov.*)

4.2 Typologie provisoire des géoséries des monts du Cantal

Une fois la pré-typologie sériale élaborée, il convient de délimiter les *catena* présentes sur le territoire.

Les délimitations climatiques préalablement présentées (§1.1.1) ont montré leurs influences phytogéographiques (§3.8). C'est pourquoi l'interprétation schématique des secteurs bioclimatiques servira de base à l'élaboration d'un canevas structural pour les géoséries des monts du Cantal. Là encore, la présentation qui suit, ne se basant pas sur des géosigmarelevés, ni sur une véritable étude dynamico-caténale, n'est qu'une esquisse des unités possibles correspondant à une première réflexion, celles-ci pouvant servir de base pour des prospections et une étude ultérieure plus approfondie. Les résultats présentés ici apparaissent de plus fortement incomplets pour l'étage montagnard.

Les versants d'adret et d'ubac apparaissent n'intervenir que secondairement dans le déterminisme des géoséries, mais ils ont possiblement un effet au niveau des sous-géoséries. Le manque de matériel ne permet que d'émettre un cadre hypothétique. Enfin, la nature chimique de la roche semble n'avoir qu'une influence limitée à cette échelle des monts du Cantal. La figure (Fig. 60) illustre schématiquement les *catena* théoriques pour les étages montagnards et subalpins des monts du Cantal. Chaque *catena* représente un type géomorphologique particulier, mais ne tient pas compte du facteur le plus discriminant ni de la végétation. Les deux étages partagent tous deux les huit catégories. Le cercle jaune délimite une *catena* particulière qui est la lisière supérieure forestière, c'est-à-dire la zone de transition entre les deux étages. Les lignes et leurs intersections dans ce cercle définissent une *catena* distincte, correspondant lignes de crêtes et aux sommets. Les natures acido-basiques du substrat n'ont pas été figurées.

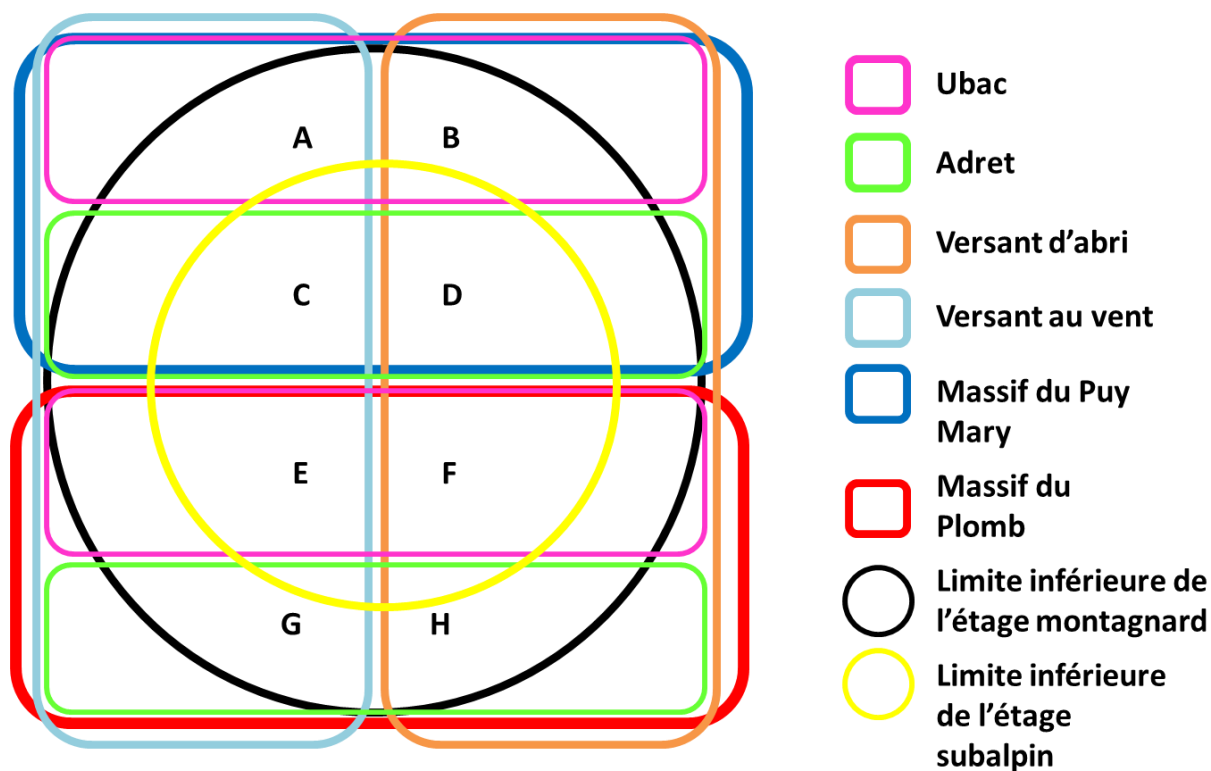


Figure 60 : Organisation schématique des différentes *caténa* théoriques pour les monts du Cantal. Les étages montagnard et subalpin partagent tous deux les huit catégories, à savoir : A : Zone occidènto-septentrionale d'ubac ; B : Zone oriento-septentrionale d'ubac ; C : Zone occidènto-septentrionale d'adret ; D : Zone oriento-septentrionale d'adret ; E : Zone occidènto-méridionale d'ubac ; F : Zone oriento-méridionale d'ubac ; G : Zone occidènto-méridionale d'adret ; H : Zone oriento-méridionale d'adret. Les sommets et les zones de crêtes, figurés par les lignes au sein du cercle jaune sur ce schéma, constituent une *caténa* distincte.

Sans géosynrelevés préalables, il n'est pas pertinent d'attribuer des cortèges sériaux aux géoséries, même provisoires, présentées ci-dessous. Ceux-ci s'appuient sur des communautés végétales particulièrement caractéristiques des *caténa* décrites. Cependant, cette géosyntaxonomie pourrait évoluer à la suite d'études plus approfondies.

4.2.1 Géoséries montagnardes

L'influence topo-climatique des versants d'adret et d'ubac sur les végétations devrait permettre de leur distinguer des géoséries propres. Toutefois, l'absence de géosynrelevé et l'incertitude quant aux répartitions des communautés forestières climaciques sur le massif ne permettent pas de leur attribuer, même provisoirement, des géoséries montagnardes. Seules des distinctions à l'échelle des grands compartiments biogéographique ou édaphiques particuliers sont suggérées.

- Géosérie de la hêtraie-sapinière septentrionale à Euphorbe d'Irlande : (*Euphorbio hybernae-Fago sylvaticae geosigmetum* Roux 2017)
- Géosérie de la hêtraie-sapinière méridionale à Calament à grandes fleurs : (*Calamintho grandiflorae-Fago sylvaticae geosigmetum* prov.)
- Géosérie de la hêtraie-sapinière acidiphile et héliophile à Solidage Verge d'or : (*Solidago virgaureae-Fago sylvaticae geosigmetum* prov.)
- Géosérie de la sapinière-hêtraie acidiphile et hygrosociophile subatlantique à Dryoptéride dilatée : (*Dryopterido dilatatae-Abieto albae geosigmetum* prov.) (rare !)
- Géosérie de la hêtraie alticole de lisière supérieure à Doronic d'Autriche (cercle jaune) : (*Doronico austriaci-Fago sylvaticae geosigmetum* prov.)

4.2.2 Géoséries subalpines

Les conditions topoclimatiques très particulières propres aux permasséries correspondent généralement à des *catena* distincts, mais spatialement limités. Dans une démarche de simplification, les permasséries lorsqu'elles sont isolées dans une géosérie particulière ont été attribuées à cette dernière. De même, les permasséries voisines s'intégrant dans des *catena* semblables ont été regroupées en géopermasséries.

L'étage subalpin, n'étant que peu sujet aux influences du climat d'abris, le gradient oriento-occidental n'est ici pas pris en compte, dans l'attente d'études approfondies.

- Géominorisérie à fourré à Sorbier climatophile du subalpin inférieur (cercle jaune) : (Association à *Sorbus geominorisigmetum* Roux 2017)
- Géominorisérie à fourré chionohydrocline d'ubac du subalpin inférieur à Rosier des Alpes et Sorbier petit néflier (A) : (*Roso pendulinae-Sorbo chamaemespili geominorisigmetum* prov.)
- Géominorisérie de fourré édaphoxérophile d'adret du subalpin inférieur à Germandrée scorodaine et genêt purgatif (C, D, G et H) : (*Teucro scorodoniae-Cytisio oromediterranei geominorisigmetum* prov.)
- Géopermassérie à hautes herbes d'adret à Marguerite de Delarbre et Fétuque paniculée (C, D, G et H) : (*Leucanthemo delarbrei-Patzkeetum paniculatae geopermassigmetum* prov.)
- Géopermassérie à lande thermophile d'adret du subalpin inférieur à Fétuque paniculée et Myrtille (C, D, G et H) : (*Patzkeo paniculatae-Vaccinio myrtilli geopermassigmetum* prov.)
- Géopermassérie à lande climatophile du subalpin supérieur à Myrtille et Airelle (principalement A, B, E et F) : (*Vaccinio myrtillo-uliginosi geopermassigmetum* prov.)
- Géopermassérie à pelouse et mésophorbaie chionophile des stations longuement enneigées (congères tardives) à Euphrase naine et Nard raide (principalement A, B, E et F) : (*Euphrasio minimae-Nardo strictae geopermassigmetum* prov.)
- Géopermassérie à pelouse cryoanémophile des crêtes et sommet méridionaux à Silène cilié et Fétuque faux-aira (E, F, G et H) : (*Sileno ciliatae-Festuceto airoidis geopermassigmetosum* prov.)
- Géopermassérie à pelouse cryoanémophile des crêtes et sommet septentrionaux à Jasione d'Auvergne et Agrostis des rochers (A, B, C et D) : (*Jasione arvernensis-Agrostio rupestris geopermassigmetosum* prov.)
- Géopermassérie de pelouse xérophile sur vire rocheuse du subalpin supérieur à Biscutelle d'Auvergne et Fétuque faux-aira : (*Biscutello arvernensis-Festuco airoidis geopermassigmetum* prov.)
- Géopermassérie à lande anémocryophile des hauts de versants méridionaux à Pulsatille vernale et Cytise couchée (principalement E, F, G et H) : (*Pulsatillo vernalis-Cytisio decumbentis geopermassigmetum* prov.)
- Géopermassérie à lande anémocryophile des hauts de versants septentrionaux à Jasione lisse et Callune (principalement A, B, C et D) : (*Jasione laevis-Calluno vulgaris geopermassigmetum* prov.)
- Géopermassérie à lande ultracryophile des hauts de versants d'ubac septentrionaux à Racomitrie laineuse et Camarine noire (A ; rare ailleurs (Arpon du diable)) : (*Racomitrio lanuginosi-Empetro nigri geopermassigmetum* prov.)
- Géopermassérie à hautes herbes mésophile de versant à Calamagrostis faux-roseau (A, B, C, D et E, F, G, H) : (*Heracleo sphondylii-Calamagrostio arundinaceae geopermassigmetum* Roux 2017)
- Géopermassérie à mégaphorbaies chionohydrophile d'ubac à Impératoire et Adénostyle : (principalement A, B, E et F) : (*Imperatorio ostruthii-Adenostylo alliariae geopermassigmetum* prov.)

4.3 Conclusion phyto-paysagère

Pour l'Auvergne, peu d'études portant sur l'étude dynamico-caténale des végétations ont été à ce jour réalisées. Le premier travail de référence est celui de Roux (2017), proposant dans sa thèse une approche intégrative pour l'étude des végétations actuelles et potentielles en moyenne montagne tempérée entre Limagne et chaîne des Puys dans le Puy-de-Dôme. Thébaud et Roux (2018) ont ensuite proposé une typologie des séries orophiles pour le Massif central. Plus récemment Meinard *et al.*, (2022) font une étude analytique sur le massif du Devès en Haute-Loire sans non plus aborder les géoséries. Enfin, dans le cadre du programme CarHAB porté par l'état (<https://www.ecologie.gouv.fr/>), une cartographie des végétations potentielles du Parc naturel régional Livradois-Forez, fondée sur des bases méthodologiques de phytosociologie paysagère, a été publiée par le Conservatoire botanique national du Massif central (CBNMC, 2018) ainsi qu'une recherche en phytosociologie paysagère portant sur la bordure orientale du Massif central (Choisnet, 2019). Dès lors, on ne peut que constater l'absence de référence concernant les deux grands massifs volcaniques occidentaux du Massif central, monts Dore et Cantal. Ainsi, la réalisation de pré-typologie sériale et géosériale tente de combler en partie ces lacunes.

La réalisation de pré-typologies dynamiques et géomorphologiques peuvent ainsi servir de base à une réflexion ultérieure en proposant pour le Cantal d'une compartimentation morphogéographique et une structuration complexe des communautés végétales, étroitement liées aux conditions méso-, microclimatiques et topographiques locales. Ces premiers résultats soulignent la grande diversité des situations écologiques présentes sur le territoire étudié, favorisant ainsi un riche potentiel d'accueil pour les communautés végétales et une flore variée. La mise en évidence d'associations récentes (*Silene-Festucetum*) ou inédites, mais décrites dans cette présente étude permet d'apporter des éléments complémentaires aux descriptions de Thébaud & Roux (2018) pour le Massif central. Néanmoins, cette étude préliminaire ne permet pas de tirer des conclusions définitives. Une typologie détaillée et aboutie de l'ensemble du synsystème orcantalien* serait nécessaire pour affiner ces premières observations et encore mieux comprendre les relations dynamiques et structurelles entre les facteurs environnementaux et la distribution des communautés végétales.

V. Discussion générale

Constatant de grandes lacunes dans la connaissance effective des végétations orcantaliennes, jusqu'alors considérées, par manque d'informations, comme équivalentes à celles des monts Dore voisins (PNRVA, 1998 ; Seytre, 2006 ; BIOME, 2006), un grand nombre de relevés phytosociologiques a été réalisé dans un maximum de configurations topo-climatiques, et ce dans l'objectif de cibler le maximum de communautés végétales potentiellement présentes. L'idée initiale de pouvoir toutes les analyser s'est révélée trop ambitieuse au vu de l'étendue du travail à réaliser et de contraintes annexes.

Cependant, loin d'éluider la question des communautés végétales présentes, trois analyses d'ampleurs ont été réalisées afin d'élaborer une typologie en cohérence avec les connaissances phytosociologiques régionales, les hautes herbes et mégaphorbaies, les fourrés à Genêt purgatif et les ourlets de lisière. Ces recherches ont été menées en intégrant des relevés de montagnes voisines, principalement ceux des monts Dore. Cette comparaison plus générale apporte davantage de matériels et permet de renforcer nos analyses et interprétations. Celles-ci ont en effet permis de conforter certaines suppositions de coexistence d'associations sur les différents massifs. Elles ont aussi mis en évidence la pertinence d'associations nouvelles. Certaines étaient jusqu'alors intégrées au sein d'un syntaxon déjà connu ou partiellement décrites à titre de « groupement », d'autres sont inédites.

À ce titre, les résultats concernant les hautes herbes et mégaphorbaies ont apporté une révision approfondie et le plus de nouveautés. Ainsi, cinq associations et plusieurs sous-associations inédites ont été décrites, tandis que cinq autres, initialement mal caractérisées, ont été réfutées. Pour le Cantal, plusieurs associations ou sous-associations nouvelles ont été confirmées ou découvertes, dont une endémique. Une approche comparative menée à l'échelle européenne a révélé une grande hétérogénéité dans la manière de considérer les mégaphorbaies orophiles des *Mulgedio-Aconitetea*. Cette constatation souligne la nécessité d'une analyse à l'échelle continentale pour moderniser la classification de ces communautés végétales. L'étude des genêtiers et des lisières herbacées a également apporté plusieurs nouveautés. Ces formations, plus ou moins en dynamiques

dans l'espace et dans le temps sont complexes à caractériser, que ce soit sur le terrain ou en matière d'analyse. Cela explique sans doute pourquoi seuls quelques rares et anciens travaux en ont fait une étude approfondie (Bignon, 1986 ; Billy, 1997 ; Coquillard, 1993).

Néanmoins, le Cantal étant une unité biogéographique du Massif central qui partage bon nombre de ces associations, ce mémoire s'astreint à ne décrire les nouvelles associations végétales qu'à titre provisoire. En effet, pour obtenir des résultats d'analyses robustes, il sera nécessaire de considérer l'ensemble de la chorologie potentielle des formations végétales, au risque de tirer des conclusions hâtives. Soit est donné aux synthèses régionales futures de valider ou non nos nouvelles associations.

Dans un deuxième temps, l'élaboration d'une pré-typologie phytosociologique a permis de cerner les associations présentes, mais aussi de mettre en évidence des différences avec les communautés montdorienne en lien avec leurs exigences écologiques de syntaxons. Le résultat obtenu accentue les conclusions de Loos & Thébaud (2024) sur l'existence d'une scission, même partielle, entre les deux massifs. De plus, une comparaison locale des associations mises en relation avec les zones bioclimatiques cantaliennes préalablement identifiées a montré que pour certaines, il existe de nettes orientations écologiques qui expliquent leurs répartitions. Malgré quelques citations empiriques historiques, cette démonstration prouve que les monts du Cantal ne sont pas uniques ni indivisibles écologiquement, mais qu'au contraire, une multitude de facteurs et de conditions viennent expliquer leurs physionomies végétales.

C'est en ce sens que l'élaboration d'une première liste provisoire de séries et géoséries, adaptée au contexte local, permet de mieux comprendre l'organisation des végétations du massif cantalien. Cependant, ces travaux ne sont qu'une esquisse qu'il conviendra de confronter à la réalité de terrain par la réalisation de relevés spécifiques, et suffisamment nombreux pour couvrir correctement les différentes catégories dynamico-caténale mises en évidence. Le suivi diachronique des paysages sur le long terme pourra aussi permettre de mieux cerner la mise en place des dynamiques en jeu et participer à la validation des séries de végétation.

Conclusion générale

En conclusion, les analyses phytosociologiques ont non seulement confirmé l'existence des syntaxons supposés, mais ont également permis d'en décrire de nouveaux, d'en supprimer d'autres, et de mettre de l'ordre dans les systèmes de classification régionale et même nationale des végétations de hautes herbes et mégaphorbaies. De plus, l'élaboration d'un référentiel phytosociologique a mis en évidence une hétérogénéité dans la répartition des associations végétales, tant au sein du massif du Cantal qu'en comparaison avec les monts Dore, notre massif de référence.

L'association végétale étant un indicateur des conditions environnementales, les dissemblances observées ne peuvent être que le reflet des différences de conditions d'accueil. Au sein même du territoire d'étude, on constate plusieurs gradients écologiques dus à son isolement géographique. Situé à la croisée d'influences climatiques diverses (océanique, méridionales, et septentrionales, avec climat d'abri), ce petit massif est un carrefour biogéographique remarquable, mais complexe pour l'étude des végétations. Les gradients hydriques et thermiques, allant respectivement d'ouest à l'est et du nord au sud, se croisent approximativement au niveau du Lioran. La notion, déjà ancienne, de sous-massifs du Puy Mary et du Plomb du Cantal n'est pas caduque pour autant. Au contraire, elle est confirmée par cette présente étude. Cependant, pour le percevoir pleinement, il faut tenir compte de la notion d'étagement de la végétation. En effet, ces « sous »-massifs, sont essentiellement considérés grâce à leur étage subalpin, zone particulièrement arrosée puisque responsable de l'effet de foehn. Le gradient hydrique des précipitations diminue rapidement au-delà de la frontière climatique qui traverse le col de la Grifoul, le Lioran et le Puy de Niermont (Fig. 15) et devient alors moins discriminant pour les végétations subalpines contrairement à celui de l'orientation et de la latitude. De plus, il faut observer l'étage montagnard pour véritablement voir apparaître l'effet de climat d'abris sur la végétation. À cet étage, les différences de végétation entre les versants orientaux et occidentaux sont particulièrement marquées. Si, à première vue, ces différences pouvaient être attribuées à des influences anthropiques, une analyse plus approfondie révèle une réalité plus complexe. Une approche dynamique montre que ces variations ne concernent pas seulement des associations végétales isolées, mais certaines séries végétales climatophiles. Ces dernières prenant des trajectoires évolutives distinctes entre l'est et l'ouest piloté par le canevas caténale. Malheureusement, le manque de données ne permet pas d'étudier en détail les séries et géoséries orcantaliennes. L'absence notable

de forêt climacique sur les planètes de la façade occidentale limite les possibilités d'étude à un cadre théorique, ne permettant pas d'appréhender ni la caractérisation ni les limites dynamico-caténales réelles.

L'approche phytosociologique paysagère offre une vision plus globale du territoire, en dépassant l'échelle locale propre à la phytosociologie sigmatiste classique. Grâce à l'intégration de multiples données physiques et dynamiques à une échelle spatiale étendue, cette approche permet une meilleure compréhension des enjeux écologiques du territoire. Le politique, l'aménageur ou le gestionnaire doit pouvoir confronter l'adéquation de ses actions avec les potentialités écologiques de l'espace. A ce titre, la poursuite de ces travaux est donc essentielle, puisqu'il est impossible de gérer et de protéger un territoire que l'on ne connaît pas.

Dans cet esprit, la comparaison entre végétations cantaliennes et montdoriennes montre le caractère discriminant de la latitude. Ainsi, l'influence méridionale du Cantal décroît rapidement vers le nord alors que le massif des monts Dore, de latitude plus élevée, n'est plus sujet aux affres du climat méditerranéen, par contre, le climat y est plus rude et l'enneigement, au moins partiel, plus long. Ces résultats sont en accord avec l'hypothèse posée sur une différenciation végétale qui repose sur des conditions climatiques différentes entre ces deux massifs. A l'inverse, celle d'un possible effet de différenciation géologique ne se perçoit pas dans les limites de notre comparaison.

L'avenir des zonations biogéoclimatiques et des paysages végétaux, face aux changements globaux en cours, demeure incertain. Les scénarios envisagés sont multiples : accroissement des températures, fréquence et intensité accrue des sécheresses ; pluies intenses ou refroidissement généralisé suite à l'arrêt du Golf Stream.... Néanmoins, il est certain que la végétation répondra suivant sa capacité de résilience et de dispersion face aux perturbations. Les associations présentent l'avantage d'avoir une résilience décuplée par rapport aux espèces prises isolément, puisqu'elles en forment le bouquet. Dans cet esprit, Roux (2017) a réalisée une étude approfondie sur la dynamique spatio-temporelle des séries végétales individualisées de la Chaîne des Puys sous l'effet des changements climatiques. Produisant, selon les facteurs limitants propres à chaque série, des cartes des séries hypothétiques résultant du changement climatique global selon les objectifs de la COP 21 (réchauffement limité à 2°C par rapport aux niveaux préindustriels (<https://unfccc.int/fr/a-propos-des-ndcs/l-accord-de-paris>)), les résultats obtenus soulignent la complexité des réponses des communautés végétales aux changements environnementaux. Ces derniers suggèrent des diminutions, extinctions, progressions ou maintiens d'aires. Ils montrent également que le gradient altitudinal n'est pas le seul à prendre en compte et que des progressions/régressions d'aires peuvent avoir lieu transversalement entre les versants adret et ubac. L'application de ces méthodes au massif cantalien pourrait aider à mieux comprendre et anticiper les impacts du changement climatique sur cet écosystème spatialement limité.

Bibliographie

- Ancrenaz A., 2023. *Les fluctuations glaciaires au Pléistocène supérieur dans l'ouest du Massif central (Aubrac et Cantal, France) : reconstitutions géomorphologiques et chronologiques et implications paléoclimatiques*. Géographie. Université Clermont Auvergne, Français. (NNT : 2023UCFA0061). (tel-04426245)
- Antonetti Ph., Brugel E., Kessler F., Barbe J.P. & Tort M., 2006. *Atlas de la Flore d'Auvergne. Conservatoire botanique national du Massif Central*, 984 p.
- Arnaud M. T., Gamisans J., & Gruber M., 1983. Les groupements à *Cytisus purgans* (L.) Boiss. en Lozère (France): étude phytosociologique. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, **40** (1) : 197-211.
- Autran A. & Peterlongo J.-M., 1980. Massif central. *Rev. Sci. Nat. d'Auvergne* **45**(1-2-3-4) année 1979 :1-123.
- Baize D., Girard M. -C., coord., 2008. *Référentiel pédologique*. Versailles, Éditions Quae. 405 p.
- Baize D. & Jabiol B. 2011. *Guide pour la description des sols*. Versailles, Éditions Quae. 430 p.
- Bardat J., Bioret F., Botineau M., Bouillet V., Delpech R., Géhu J.-M., Haury J., Lacoste A., Rameau J.-C., Royer J.-M., Roux G. & Touffet J., 2004. *Prodrome des végétations de France*. Coll. Patrimoines naturels, 61. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 180 p.
- Barthet T., 2018. *Cartographie des habitats naturels du site Natura 2000 FR8301076 – Mézenc*. Rapport CESAME, 28 p. + annexes
- Bignon J.-J. 1986. *Etude phytosociologique des lisières de hêtraies montagnardes dans le massif des monts Dore*, D.E.A, Univ. Paris Sud-Orsay, 38p.
- Billy F., 1997. Les forêts et leurs lisières en Basse-Auvergne. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, N.S., N°spécial **15**, 329 p.
- Billy F., 2000. Prairies et pâturages en Basse-Auvergne. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, N.S., N°spécial **20**, 259 p.
- Billy F., 2002. Végétations pionnières de Basse-Auvergne. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, N°spécial **22**, 197 p.
- BIOME. 2006. *Cartographie des habitats et des espèces du site Natura 2000 « Monts du Cantal partie Est » - FR8301055 – Commentaires généraux et synthèses*. Rapport d'étude
- Bioret F., Bouillet V., Choynet G., Roux C., Thébaud G., Panaïotis C., Chalumeau A., Delbosc P., Demartini C., Gauberville C., Cianfaglione K., Bernard C.-E., Bensettiti F. & Lalanne A., 2019. Landscape phytosociology concepts and definitions applied to serial and catenal vegetation mapping. *Contribuții Botanice* **54**: 47-53.
- Boisse de Black Y., & Marty P., 1924. Sur certaines formes du terrain du Cantal attribué à la déflation. *Rev. Géo. Ann.*, **12** : 1-14
- Bordessoule E., 2001. *Les « montagnes » du Massif central : espaces pastoraux et transformation du milieu rural dans les monts d'Auvergne*. Presses universitaires Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 369 p.
- Boule M., & Farges L., 1898. *Le Cantal, guide du touriste, du naturaliste et de l'archéologue*. Masson et Cie, Paris, 316 p.
- Bouxin G., 2016. *Analyse statistique des tableaux de relevés de végétation. Recherche d'adéquation entre les données de végétation et les techniques statistiques, au moyen d'exemples*. Editions Universitaires Européennes, 440 p.
- Bouzillé J.-B., 2007. *Gestion des habitats naturels et biodiversité - Concept, méthodes et démarches*. Lavoisier, Paris, 331 p.
- Bouzillé J.-B., 2014. *Connaissance de la biodiversité végétale – Démarches et outils technologiques*. Lavoisier, Paris, 304 p.
- Braun J., 1915. Les Cévennes méridionales (massif de l'Aigoual) : étude phytogéographique. *Archives des Sciences physiques et naturelles*, Genève, **25**, 207 p.
- Braun-Blanquet J., 1923. *L'origine et le développement des flores dans le Massif central de la France*. Paul Lechevalier Éd., Paris. 282 p.
- Braun-Blanquet J., 1926. Le « climax complexe » des landes alpines (*Genisteto-Vaccinion* du Cantal). *Arvernica 2 in Revue d'Auvergne*, **41** (4) : 29-48.
- Braun-Blanquet J., 1932. *Plant sociology, the study of plant communities*. McGraw-Hill, New York, 476 p.
- Braun-Blanquet J., 1964. *Pflanzensoziologie*, 3e édition. Springer Verlag, Vienne, 865 p.

- Braun-Blanquet J., 1977. Die Hochstaudenflur des *Petasito – Cirsietum erisithalis*. *Mitt. Flor-soz. Arbeitsgem.* **19-20** : 319-322.
- Braun-Blanquet J. & Sutter R., 1977. Die *Petasites albus Aruncus dioicus*-reiche Hochstaudenvegetation Graubündens (Arunco-Petasion all. nov.). *Mitt. Florsoz. Arbeitsgem.* **19-20**: 313-317.
- Brion C, 1981. Compte rendu de la septième session extraordinaire de la SBCO. Cantal : juillet 1980 – Le Cantal. *Bulletin de la société botanique du Centre-ouest (nouv. sér.)*. **11** : 5
- Bruneyre L., 2020. Groupements végétaux et phytogéographie de la Corrèze. *Bulletin de la société botanique du Centre-ouest*, n°spécial 47
- Buffault P., 1923. Quelques forêts anciennes du Cantal. *Revue de Haute-Auvergne*. **22** (44) : 98-119
- Buffault P., 1924. Quelques forêts anciennes du Cantal. *Revue de la Haute-Auvergne* **22** (45) : 210-241.
- Carbiener R. 1964. Etude de la genèse des "réseaux de buttes gazonnées" ou "thufur", une forme de sol cryoturbé, dans les hautes-Vosges. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, **258** : 5503-5505.
- Carbenier R. 1966a. Relations entre cryoturbation, solifluxion et groupements végétaux dans les Hautes-Vosges (France). *Oecologia Plantarum*, **1** (4) : 1-33.
- Carbiener R., 1966b. *La végétation des Hautes-Vosges dans ses rapport avec les climats locaux, les sols et la géomorphologie ; comparaison à la végétation subalpine d'autres massifs montagneux à climat « allochtone » d'Europe occidentale*. Thèse d'état université Orsay, 112 p. + annexes.
- Catteau E., 2014. Les ourlets intraforestiers eutrophiles et mésohygrophiles (*Impatiens noli tangere*-*Stachyon sylvaticae*). *Documents Phytosociologiques*, Série **3** (1) : 134-149.
- Chabrol, L. & Reimringer K., 2011. *Catalogue des végétations du Parc naturel régional de Millevaches en Limousin*. PNR de Millevaches en Limousin, Conservatoire botanique national Massif Central. 240 p.
- Chalumeau A. & Bioret F., 2013. *Méthodologie de cartographie phytosociologique en Europe : approches symphytosociologique et géosymphytosociologique. Synthèse bibliographique*. Rapport Institut de Géoarchitecture – Université de Bretagne occidentale, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 124p.
- Choynet G., Mulot P.-E. & Ménard O., 2007. *Inventaire des végétations du Parc naturel régional des Monts d'Ardèche*. Rapport Conservatoire botanique national du Massif central, 29 p. + annexes.
- Choynet G. & Mulot P.-E., 2008. *Catalogue des végétations du Parc naturel régional des monts d'Ardèche*. Conservatoire botanique national du Massif central, 263 p.
- Choynet G., 2019. *Approche phytosociologique et symphytosociologique des végétations et des paysages du Bas-Vivarais (nord du Bassin méditerranéen français)*. Thèse, Université de Bretagne occidentale, 346 p. + volume d'annexes
- Chytrý M. 1998. Potential replacement vegetation: an approach to vegetation mapping of cultural landscapes. *Applied Vegetation Science*, **1** (2) : 177-188.
- Chytrý M. Tichý L. Holt J. & Botta-Dukát Z. 2002. Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures. *Journal of Vegetation Science* **13** : 79-90.
- Chytrý M., Hejcman M., Hennekens S., & Schellberg J., 2009. Changes in Vegetation Types and Ellenberg Indicator Values after 65 Years of Fertilizer Application in the Rengen Grassland Experiment, Germany. *Applied Vegetation Science* **12** (2) : 167-176.
- Conservatoire Botanique National du Massif Central, 2018. *Carte des séries et géoséries de végétation du Parc naturel régional Livradois-Forez*. [Carte numérique].
- Coquillard P., 1993. *Dynamique des systèmes agro-pastoraux de l'étage montagnard des massifs du Sancy et des Puys : variations biologiques et fonctionnelles : exemple d'application au modèle à *Calluna vulgaris* Hull*. Thèse Doct. Univ. Université Aix-Marseille III, Fac. St. Jérôme, 266p.
- Coquillard P., Gueugnot J., Julve P., Michalet R. & Michelin Y., 1994. Carte écologique du Massif du Sancy au 1/25 000. *Ecologia mediterranea* **XX** (1/2) : 9-57.
- Cusset G. & Lachapelle (de), 1963. Etudes botaniques dans les monts Dore (première partie). *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, **27** (1961) (1-4) : 2-82
- Cusset G., 1964. Les forêts du versant sud des Monts Dore : esquisses phytosociologiques. *Ann. Sci. Forest.*, **XXI** (1) : 85-165
- Daguet V., 1987. *Typologie floristique des hêtraies-sapinières du N.E. du Plomb du Cantal. Diplôme d'Etudes Appliquées*, Université d'Orsay, Paris-Sud, 43 p. + annexes

- Decocq G., 2005. Mécanismes de la dynamique naturelle des végétations forestières de montagne: essai de synthèse et conséquences en phytosociologie. *Acta Botanica Gallica*. **152**. 581-594. 10.1080/12538078.2005.10515516.
- Dengler J., Jansen F., Chusova O., Hüllbusch E., Nobis M. P., et al., 2023. Ecological Indicator Values for Europe (EIVE) 1.0. *Vegetation Classification and Survey*, **4** : 7-29. (10.3897/VCS.98324). (hal-03943422)
- Derruau M., 1988. Précis de géomorphologie. *Masson*, Paris, 7^e ed. 534 p.
- Doche B., 1982. Contribution à l'étude du déterminisme de la dynamique végétale: cas de l'Aubrac montagnard (Massif Central français). *Documents de cartographie écologique Grenoble*, **25** : 23-50. DOI : <https://doi.org/10.3406/quate.1988.1871>
- Dubias G. & Lavergne D., 1968. *Carte de végétations de la France (1/200000), feuille Aurillac (N° 58)*. Toulouse : Centre National de la Recherche Scientifique
- Duchaufour P., 1950. L'humus forestier et les facteurs de sa décomposition. *Revue forestière française*. **9** : 479-488
- Duvigneaud P., 1946. La variabilité des associations végétales. *Bulletin de la Société royale de botanique de Belgique* **78** : 107-134.
- Ellenberg H., Dull R., Wirth V., Werner W. & Paulissen D., 1991. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* **18** : 1-248.
- Estienne P., 1956. Recherches sur le climat du Massif central français. Mémorial de la météorologie nationale **43** : 242 p.
- Etlicher B., et De Goër De H., A., 1988. La déglaciation würmienne dans le Massif Central français, le point des travaux récents. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*, **25**, (2-3 : 103-110.
- Fel A., 1984. Histoire d'un paysage pastoral : le Massif Central. *Revue de géographie alpine*, **72**, (2-4) : 253-264
- Foucault B., 1984. *Systémique, structuralisme et synsystématique des prairies hygrophiles des plaines atlantiques françaises*. Thèse d'État. Rouen. 675 p.
- Foucault B., (de), 1986a. *La phytosociologie sigmatiste : une morpho-physique*. Mémoire Univ. de Lille (rapport), 147 p.
- Foucault B., (de) 1986b. Fractals, géomorphologie et phytosociologie fondamentale. *Colloques phytosociologiques - Végétation et géomorphologie*, Bailleuil 1985. **XIII** : 85-100
- Foucault B., (de), 1987. Données phytosociologiques sur la végétation observée lors de la treizième session de la SBCO en Aubrac et Margeride. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, **18** : 337-362.
- Foucault B., (de), 2012. Contribution au prodrome des végétations de France : les *Nardetea strictae* Rivas Goday in Rivas Goday et Rivas-Mart. 1963. *Le Journal de botanique de la Société Botanique de France*, **59** : 241-344. <https://doi.org/10.3406/jobot.2012.1159>
- Foucault B., (de) & Corriol G., 2013. Contribution au prodrome des végétations de France : *les Mulgedio alpini-Aconitetea variegati* Hadač et Klika ex Klika 1948. *Le Journal de botanique de la Société Botanique de France*, **61** : 49-87. <https://doi.org/10.3406/jobot.2013.1173>
- Foucault B., (de), Lazare J.-J. et Bioret F., 2014. Contribution au prodrome des végétations de France : les *Cytisetea scopario - striati* Rivas-Mart. 1975. *J. Bot. Soc. Bot. France*, **64** : 69-90.
- Foucault B., (de) & Catteau E., 2015. Contribution au prodrome des végétations de France : les *Epilobietea angustifolii* Tüxen & Preising in Tüxen 1950. *J. Bot. Soc. Bot. France*, **70** : 1-26.
- Foucault B. (de), 2016. Errata et compléments à propos du Prodrome des végétations de France, quatrième note. *Le Journal de botanique de la Société Botanique de France*, **75** : 63-68. <https://doi.org/10.3406/jobot.2016.1596>
- Frain M., Blanchetête, A., & Decuq, F., 2009. Les pacages estivaux semi-naturels du domaine expérimental du Pachou sur la Planèze du Cézallier (Landeyrat, Cantal). *Revue de Sciences Naturelles d'Auvergne*, **73** : 29-54
- Gargominy, O., Terceire, S., Régnier, C., Dupont, P., Daszkiewicz, P., Antonetti, P., Léotard, G., Ramage, T., Idczak, L., Vandell, E., Petiteville, M., Leblond, S., Boulet, V., Denys, G., De Massary, J.C., Dusoulier, F., Lévêque, A., Jourdan, H., Touroult, J., Rome, Q., Le Divelec, R., Simian, G., Savoré-Soubelet, A., Page, N., Barbut, J., Canard, A., Haffner, P., Meyer, C., Van Es, J., Poncet, R., Demerges, D., Mehran, B., Horellou, A., Ah-Peng, C., Bernard, J.-F., Bounias-Delacour, A., Caesar, M., Comolet-Tirman, J.,

- Courtecuisse, R., Delfosse, E., Dewynter, M., Hugonnot, V., Lavocat Bernard, E., Lebouvier, M., Lebreton, E., Malécot, V., Moreau, P.A., Moulin, N., Muller, S., Noblecourt, T., Noël, P., Pellens, R., Thouvenot, L., Tison J.M., Robbert Gradstein, S., Rodrigues, C., Rouhan, G. & Véron, S. 2022. TAXREF v16.0, *référentiel taxonomique pour la France. PatriNat (OFB-CNRS-MNHN)*, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. Archive de téléchargement contenant 8 fichiers. <https://inpn.mnhn.fr/telechargement/referentielEspece/taxref/16.0/menu>
- Géhu J.-M., 1979a. Introduction au colloque sur les lisières forestières. *Colloques phytosociologiques : les lisières forestières*. Lille. **VIII** : 1-8
 - Géhu J.-M., 1979b. Pour une approche nouvelle des paysages végétaux : la symphytosociologie. *Bull. Soc. Bot. France, Lettres Botaniques*, **126** (2) : 213-223.
 - Géhu J.-M. et Rivas-Martinez S., 1981. *Notions fondamentales de phytosociologie. Berichte der InternationalenSymposien der InternationalenVereinigungfürVegetationskunde. Syntaxonomie*. J. Cramer, Berlin : 5-33.
 - Géhu J.-M., 1986. Des complexes de groupements végétaux à la phytosociologie paysagère contemporaine, *Informatore botanico italiano*, 18 (1-2-3) : 53-83.
 - Géhu J.-M., 1988. Éléments pour une définition paysagère intégrée de la mosaïque des terroirs du Nord de la France, *Colloques phytosociologiques : Phytosociologie et Paysages*, Versailles, **XVII**, , : 195-206.
 - Géhu J.-M., 2006. *Dictionnaire de phytosociologie et synécologie végétale*. J. Cramer Berlin, Stuttgart, 889 p.
 - Genevois V., Martin C., Morel J.-M., Poiraud A., 2022. Catalogue des profils ouverts dans le cadre du Référentiel Régional Pédologique du Cantal. VetAgroSup.
 - Genevois V., Martin C., Morel J.-M., Poiraud A., Laveuf C., Suc O., Lehmann S., Chenu J.-P., Vautier A., Decugis E., Marcou P., Foret M., Rahimian V., 2023a. *Référentiel Régional Pédologique du Cantal étude n° 30150*. VetAgroSup.
 - Genevois V., Martin C., Morel J.-M., Poiraud A., 2023b. Les sols volcaniques en Auvergne : Influence climatique sur leur répartition spatiale et apports récents de références analytiques sur leurs propriétés chimiques et physiques. – Poster, 16^{ème} Journées d'étude des sols (JES) du 26 au 29 juin 2023, AFES.
 - Greef G., & Schools S., 2008. *Les glaciers, sculpteurs de paysages*. Université Libre de Bruxelles, Département de géographie. Poster présenté au printemps des sciences de Bruxelles, 10 - 16 mars 2008
 - Guinochet M, 1973. *Phytosociologie*. Paris, Masson; 227 p.
 - Hennekens S.M. & Schaminée J.H.J., 2001. TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science* **12** : 589-591.
 - Herault E. & Choisnet G., 2006. *Inventaire et cartographie de la flore et des végétations du bois de Cuze et du Suc de l'Areilladou (Ardèche)*, Conservatoire botanique national du Massif central, 82p. + annexes
 - Hétier J.M. 1975. *Formation et évolution des Andosols en climat tempéré*. Thèse de doctorat en sciences naturelles. Université de Nancy I. 194p
 - Hill M. O., 1979. TWINSPAN - A Fortran Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two-way Table by Classification of The Individuals and Attributes. In Section of Ecology and Systematica. Cornell University, Ithaca, NJ, US.
 - Hill M.O. & Gauch H.G. Jr., 1980. Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique. *Vegetatio* **42**: 47-58.
 - Inventaire Forestier National, 2006. *Département du Cantal : Résultats du quatrième inventaire forestier (2004)*. Ministère de l'agriculture et de la Pêche. Rapport. 218p.
 - Jabiol B., Brêthes A., Ponge J.-F., Toutain F., & Brun J.-J. 2007. *L'humus sous toutes ses formes*. École Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts 2nd éd., Nancy, France
 - Julve Ph., 2017. Baseflor, <http://philippe.julve.pagesperso-orange.fr/catminat.htm>
 - Kovach WL, 2010. MVSP: A multivariate statistical package for windows ver. 3.2. Pentraeth, Wales, U. K. Kovach computing service.
 - Kuhneltz-Lordat, G., 1926. Mode de résistance de quelques végétaux à dénudation éolienne. *Arvernia 2 in Revue d'Auvergne*, **41**(4) : 49 :53
 - Lachapelle B. (de) & Cusset G., 1964. Etudes botaniques dans les monts Dore (deuxième partie). *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, **28** (1962) (1-4) : 13-81
 - Lazare J.-J., 2009. Phytosociologie dyna mico-caténale et gestion de la biodiversité. *Acta Botanica Gallica*, **156** (1) : 46-61.

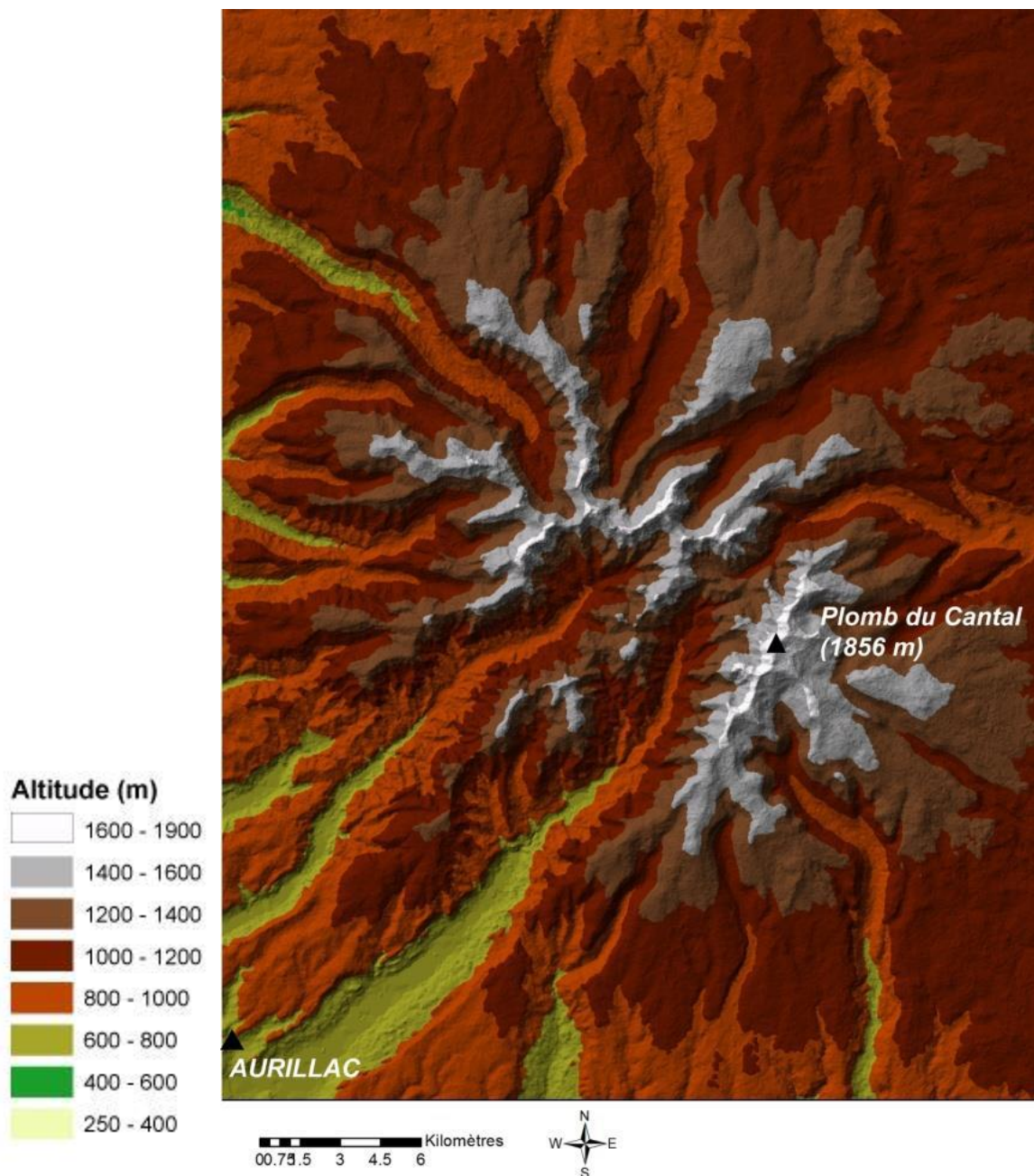
- Lazare J.-J., 2018. La phytosociologie paysagère : vers une gestion intégrée de la biodiversité [Landscape Phytosociology: towards a biodiversity integrated management], *Documents Phytosociologiques Série 3*, (9) : 33-47
- Lazare J.-J., 2019. Comment la symphytosociologie permet d'exercer un rétrocontrôle de la phytosociologie. *Botanique 5*: 101-108
- Le Gloanec V. & Le Hénaff P.-M., 2024. Contribution à la connaissance des communautés végétales orophiles du Massif central. *Carnets botaniques*, **206** : 1-22.
- Le Hénaff P.M., Galliot J.N, Le Gloanec V., Ragache Q. 2021a. *Végétations agropas-torales du Massif central - Catalogue phytosociologique*. Conservatoire botanique national du Massif central, 531 pages.
- Le Hénaff P.-M., Hostein C., Dumont M. & Pradinas R., 2021b. *Catalogue des végétations des réserves naturelles nationales du Massif du Sancy*. Conservatoire botanique national du Massif central et Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Auvergne-Rhône-Alpes, 215 p.
- Legrand P., Bartoli F., Curt T., 2007. Spécificités des sols volcaniques du Massif central : bénéfiques et contraintes pour la gestion forestière. *Revue forestière française*, **2** : 99-118
- Lemée G. & Carbiener R., 1956. La végétation et les sols des volcans de la chaîne des Puys. *Bulletin de la Société Botanique de France*, **103** : 7-29.
- Lemée G., 1953. Observations sur la végétation actuelle et son évolution postglaciaire dans le massif du Mézenc. in 80e session extraordinaire (1952) dans les Cévennes et dans les Causses. *Bulletin de la Société Botanique de France* **100** (10) : 67-77.
- Lemée G., 1978. *Précis d'Ecologie Végétale*. Paris, Masson, Collection «Maîtrises. de Biologie», 290 p.
- Loiseau P. & Merle G., 1981. Production et évolution des landes à callune dans la région des Dômes (Puy de Dôme). *Acta Oecologica* **2** (4)^o: 283-298.
- Loos M., & Thébaud G., 2024. Contribution à l'étude des formations orophiles à hautes herbes (*Mulgedio alpini-Aconitetea variegati*, habitats 6430 et *Festucetalia spadiceae* Barbero 1970) du Massif central français : analyse des données phytosociologiques et classification régionale. *BIOM - Revue scientifique pour la biodiversité du Massif central*. **5** (2), 5-52. <https://doi.org/10.52497/biom.v5i2.342>
- Luquet A., 1926. *Essai sur la géographie botanique de l'Auvergne. Les associations végétales du massif des monts Dore*. Brulliard, Saint-Dizier. Thèse de l'université de Paris, 266 p.
- Mandelbrot B., 1975. *Les objets fractals: Forme, hasard et dimension*. Flammarion. Paris, 190 p.
- Martres E., 1961. Les forêts cantaliennes, visciditudes et exploitation. *Revue de Haute-Auvergne* : 433-460
- Meinard Y., Thébaud G., & Roux C. 2022. Végétations et successions végétales dans les monts du Devès (Haute-Loire, France) : esquisse phytosociologique et symphytosociologique d'un secteur volcanique méconnu. *BIOM - Revue Scientifique Pour La Biodiversité Du Massif Central*, **3** (1) : 82-102. <https://doi.org/10.52497/biom.v3i1.318>
- Michalet R., Coquillard P. & Gueugnot J., 1989. Landes et herbages des édifices volcaniques de la chaîne des Puys (Massif central français)., *Colloques Phytosociologiques*. **XVI**, I-Synsystème Paris 1988 : 645-663.
- Michalet R. & Philippe T., 1994. Les groupements à hautes herbes de l'étage subalpin des monts Dore. *Colloques Phytosociologiques XXII*, La syntaxonomie et la synsystème Européenne, comme base typologique des Habitats, Bailleul, 1993 : 397-430.
- Michalet R. & Philippe T., 1996. Les landes et les pelouses acidiphiles de l'étage subalpin des monts Dore (Massif central français) : syntaxonomie et potentialités dynamiques. *Colloques Phytosociologiques XXIV, Fitodynamica*, Camerino, 1995 : 433-471.
- Mucina L., Bültmann H., Dierßen K., Theurillat J.-P., Raus T., Čarni A., Šumberová K., Willner W., Dengler J., Gavilán García R., Chytrý M., Hájek M., Di Pietro R., Iakushenko D., Pallas J., Daniëls F.J.A., Bergmeier E., Santos Guerra A., Ermakov N., Valachovič M., Schaminée J.H.J., Lysenko T., Didukh Y.P., Pignatti S., Rodwell J.S., Capelo J., Weber H.E., Solomeshch A., Dimopoulos P., Aguiar C., Hennekens S.M. & Tichý L., 2016. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied Vegetation Science* **19** (Suppl. 1) : 3-264.
- Müller S., 1989. Esquisse phytosociologique des herbages de la Moselle (Dépt. les Vosges). *Colloques Phytosociologiques XVI*, Phytosociologie et pastoralisme, Paris : 515-528
- Nehlig P., Leyrit H. et Arnaud N, Baudoin V, Binet F, Boudon G., Coulomb A., Dardon A., Demange J., Durance G., Fontaine-Vive M., Fréour G., Goër de Herve A. (de), Guérin H.-M., Jamet A., Lambert A., Legendre C, Maurizot-Blanc C., Michon L., Milési J.-R, Pilet S., Vatin-Pérignon N., Vannier W., Watelet P.,

2001. *Carte géol. France (1/50 000), feuille Murat (788)*. Orléans : BRGM. Notice explicative par NEHLIG P. et al. (2001), 264 p.
- Nehlig P., Boivin P., Goër A., Mergoïl, J., Prouteau G., Sustrac G. & Thiéblemont D., 2003. Les volcans du Massif Central. *Geologies* : 130–131.
 - Nehlig P., 2007. *Le volcanisme du Cantal : Le plus grand volcan d'Europe*. Ed. Chamina, Découverte du Patrimoine, Auvergne & BRGM. 191 p.
 - Oberdorfer E., 1977. *Süddeutsche Pflanzengesellschaften 2. stark bearbeitete Auflage*. Teil I. Stuttgart, New York. 311 p.
 - Ozenda P., 1985. *La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen*. Masson, Paris, 343 p.
 - Ozenda P., 2002. *Perspectives pour une géobiologie des montagnes*. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 193 p.
 - PNRVA, 1998. *Document d'objectifs - Site Natura 2000 FR 830155 « Massif cantalien (partie ouest) »*. Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne / Direction régionale de l'environnement Auvergne, 54 p. + annexes
 - Passarge H., 1979. Über azidophile Waldsaumgesellschaften. *Feddes Repert.* **90** : 465-479
 - Passarge H., 1994. Azidophile Waldsaum-Gesellschaften (*Melampyro-Holcetea mollis*) im europäischen Raum – *Tuexenia - Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft* – NS **14** : 83 - 111.
 - Delbosc P., Ceccaldi A., Panaïotis C., Bioret F., & Hugot L., 2018 « Unités paysagères fonctionnelles : outil d'aide à la planification territoriale », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, **18** (3). DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.23657>
 - Pavillard J., 1935. *Éléments de sociologie végétale (Phytosociologie)*. 2^e édition (2019). Hermann, 142 p.
 - Petetin A., 2002. Caractérisation des habitats de la Directive 92/43/CEE en Auvergne : Nardaies. Conservatoire botanique national du Massif central \ Direction Régionale de l'Environnement, 21 p. + annexes
 - Pradinas R., 2017. *Catalogue des végétations de la réserve naturelle nationale de Chastreix-Sancy*. Conservatoire botanique national du Massif central, Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne, Réserve naturelle nationale Chastreix-Sancy, Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Auvergne-Rhône-Alpes, 22 p. + Fiches
 - Quézel P. et Rioux J.A., 1948. La Brèche de Roland (Étude sur la flore culminale du Cantal. *Revue de la Haute-Auvergne*, (1) : 154-164
 - Quézel P. et Rioux J.A., 1950a. La Végétation culminale du Cantal. *Le Monde des Plantes*, **264** :5
 - Quézel P. et Rioux J.A., 1950b. La Végétation culminale du Cantal. *Le Monde des Plantes*, **265** : 12-13
 - Quézel P. & Rioux J., 1954. L'étage subalpin dans le Cantal (Massif central de France). *Vegetatio* **4** (6) : 345-378.
 - Reimringer K. & Choynet G., 2007. *Inventaire et cartographie de la flore et des végétations du site des « Tourbières et prairies humides de Goudoulet, Lac Ferrand »*, Conservatoire botanique national du Massif central, 108p. + annexes
 - Renaux B., Le Hénaff P.-M., Choynet G., 2015. Contribution à la déclinaison de nouvelles associations forestières du Massif central. *Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest* (N.S.) **45** : 386-437
 - Renaux B., 2016. *Sol et archéologie, Boîte à outils « Forêts anciennes du Massif central »* (version. 26-11-16), Conservatoire Botanique National du Massif Central, 17p. http://cbnmc.fr/forets_anciennes
 - Renaux B., Timbal J., Gauberville C., Thébaud G., Bardat J., Lalanne A., Royer J.-M. & Seytre L., 2019. Contribution au Prodrome des végétations de France : les *Carpino betuli-Fagetea sylvaticae* Jakucs 1967. *Documents phytosociologiques*, **3** (11) : 1-423.
 - Renaux B., Le Gloanec V., Le Hénaff P.-M. & Bianchin N. 2023. *Végétations forestières du Massif central - catalogue phytosociologique*. Conservatoire Botanique National du Massif Central, 480 p.
 - Rivas-Martinez S., 1976. Sinfitosociologia, una nueva metodología para el estudio del paisaje vegetal, *Anal. Inst. Bot. Cavanilles*, **33** : 179-188.
 - Rivas-Martinez S., 2005. Notions on dynamic-catenal phytosociology as a basis of landscape science. *Plant Biosystems*, **139** (2): 135-14.
 - Rivas-Martinez S., 2007. Mapa de series, geoserias y geopermaseries de vegetación de España. *Itinera Geobotanica* N.S. **17** : 435 p.
 - Robbe G., 1993. *Les groupements végétaux du Morvan*. Ed. Société d'histoire naturelle d'Autun, 159 p.

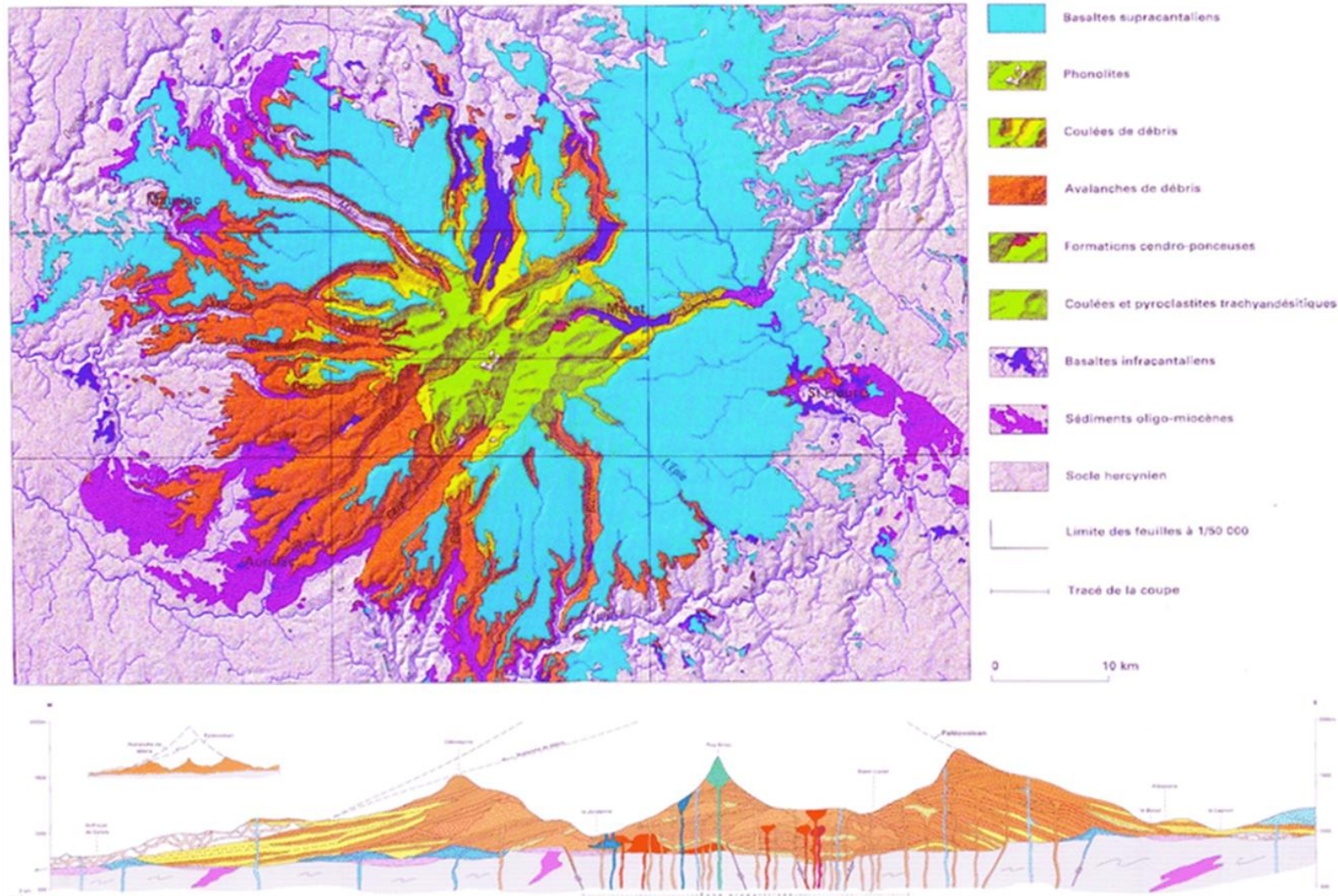
- Roleček J., Tichý L., Zelený D. & Chytrý M., 2009. Modified Twinspan Classification in which the hierarchy respects cluster heterogeneity. *Journal of Vegetation Science* **120** : 596-602.
- Roux C., & Thébaud G., 2010. Les pelouses xérothermiques calcicoles cantaliennes : caractérisation écologique et position phytosociologique au sein de l'Europe subatlantique. *J. Bot. Soc. Bot. France*, **52**, 25-42.
- Roux C., 2017. *De la Limagne à la chaîne des Puys. Approche analytique et intégrative pour l'étude des végétations actuelles et potentielles en moyenne montagne tempérée*. Thèse de l'université de Clermont-Ferrand, ed. Revoir Riom, 339 p.
- Roux C., & Brocard L., 2023. Révision des pelouses xériques d'Auvergne et de la plaine du Forez. *BIOM - Revue Scientifique Pour La Biodiversité Du Massif Central*, **4** (1) : 11–34. <https://doi.org/10.52497/biom.v4i1.338>
- Rurale Concept, 2020. *Actualisation de la cartographie des habitats naturels et des espèces végétales du site Natura 2000 Massif Cantalien (ZSC : FR8301055)*. Rapport d'étude – Version finale – 2020
- Sachs L., 1997. *Angewandte Statistik*. Berlin : Springer : 395-397, 662-664.
- Schaminee J.H.J., Jansen J. & Hennekens S.M., 1992a. Scrub communities dominated by Sorbus species in the subalpine zone of Monts du Forez (Massif central, France). *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* **95** (4) : 473-497.
- Schaminee J.H.J., Coolen C. & Siebum M.B. 1992b. The vegetation of snowbeds in the Monts du Forez (Massif central France). *Phytocoenologia* **21** (1-2) : 175-206.
- Schaminee J.H.J., Hennekens S. et Thébaud G., 1993. A syntaxonomical study of subalpine heathland communities in west European low mountain ranges. *J. Vegetation Science* **4**: 125-134.
- Schwabe-Braun A. 1979. Les groupements d'ourlets et de manteaux des complexes de landes pâturées de la Forêt Noire. *Colloques Phytosociologiques*. : les lisières forestières. Lille. **VIII** : 211-227
- Serre F., 2018. *Les changements climatiques dans le Pnr des Volcans d'Auvergne (secteur Cantal) et les impacts sur les loisirs neige*. Rapport d'étude. Parc naturel régional des Volcans d'Auvergne, 39p.
- Seytre L., 2006. *Inventaire et cartographie des habitats naturels et des espèces végétales d'intérêt communautaire du site Natura 2000 FR8301055 " Monts du Cantal, partie Ouest "*. CBNMC, Chavaniac-Lafayette, 29p. + annexes
- Seytre L., 2008. *Caractérisation des Hêtraies subalpines médio-européennes à Acer et Rumex arifolius relevant de la directive "Habitats" en Auvergne (9140)*. Conservatoire botanique national du Massif central \ Direction régionale de l'Environnement Auvergne, 38 p.
- Simon-Coste M-C., 1988. Les montagnes d'Auvergne avant la vie pastorale actuelle. Villages désertés et paysage fossile de la commune de Collandres (Cantal). *Revue archéologique du Centre de la France*, **27** (1) : 61-98
- Ter Braak C.J.F., 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, **67**: 1167-1179.
- Thébaud G., 1983. Contribution à l'étude des Hautes-Chaumes du Forez: phyto-écologie des communaux du Brugeron (Puy-de-Dôme), éléments pour leur gestion à long terme. Thèse 3ème cycle, Clermont-Ferrand, 187p.
- Thébaud G., 1988. *Le Haut-Forez et ses milieux naturels. Apports de l'analyse phytosociologique pour la connaissance écologique et géographique d'une moyenne montagne cristalline subatlantique*. Thèse d'Etat, Clermont-Ferrand, 330p.
- Thébaud G., Schaminee J. H. J. & Hennekens S. M., 1992. Contribution à l'étude de l'étage subalpin des moyennes montagnes ouest-européennes: quelques groupements végétaux foréziens comparés à leurs homologues d'autres massifs. *Bulletin de la Société Botanique du Centre Ouest N. S.* **23** : 45-63.
- Thébaud G. & B. Etlicher, 1997. Les nardaies subalpines à Trifolium alpinum des monts du Forez et leur biotope à congères tardives. *Acta bot. Gallica*, **144** : 217-230.
- Thébaud G., Delcoigne A. & Roux C., 2013. *Plan Biodiversité « Puy de la Charité » : profil socio-écologique topostationnel. Suivi permanent de la flore et des habitats naturels de Clermont communauté*. Rapport UNIVEGE-Herbiers universitaires de Clermont-Ferrand, Clermont Communauté, 9p.
- Thébaud G., Roux C., Bernard C.-E. & Delcoigne A., 2014a. *Guide d'identification des végétations du nord du Massif central, associations végétales et habitats naturels*. Presses universitaires Blaise Pascal, UniVegE Clermont-Ferrand, 274 p.

- Thébaud G., Skrzypczak R., Roux C. & Delcoigne A., 2014b. Communautés végétales hydrominérotrophiles des tourbières du Massif central oriental (France). *Doc. Phytosoc.* **1** 3ème S.: 426-462.
- Thébaud G. & Roux C., 2018. Végétations montagnardes et subalpines du Massif central français. *Botanique*, **4** : 111-138.
- Thébaud G., Choisnet G. & Roux C., 2021. Contribution to the survey of the heathlands of the french Massif central (habitats 4030 and 4060) : analysis of phytosociological data. *BIOM - Revue scientifique pour la biodiversité du Massif central* **1** (2) : 62-109. <https://doi.org/10.52497/biom.v2i1.283>
- Theurillat J.-P., 1992. L'analyse du paysage végétal en symphytoceonologie : ses niveaux et leurs domaines spatiaux. *Bull. Ecol.*, **23** (1) : 83-92.
- Theurillat J.-P., Willner W., Fernández-González F., Bültmann H., Čarni A., Gigante D., Mucina L. & Weber H.E., 2021. International Code of Phytosociological Nomenclature. 4th edition. *Applied Vegetation Science* **24** : e12491. <https://doi.org/10.1111/avsc.12491>
- Tichý L., 2002. JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science* **13** : 451-453.
- Thillet J.-J., & Schueller D., 2009. *Petit manuel de météo montagne*. Glénat. 191p.
- Tüxen R., 1956. Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. *Angewandte Pflanzensoziologie* **13** : 5–55.
- Tüxen R., 1979. Sigmeten und Geosigmeten, ihre Ordnung und ihre Bedeutung für Wissenschaft. Naturschutz und Planung, *Biogeographica*, **16** : 79-92.
- Valadas B., 1984. *Les hautes terres du Massif Central français: contribution à l'étude des morphodynamiques récentes sur versants cristallins et volcaniques*. Thèse d'état, Université Panthéon-Sorbonne, Paris I, 2 vol. 927p.
- Valadas B., 2004. *Géomorphologie dynamique*, Paris, A. Colin, Coll. « Campus », 192 p.
- Reynaud-Beauverie M.-A., 1936. *Le Milieu et la Vie en commun des plantes. Notions pratiques et Phytosociologie*. Ed. Le Chevalier, Paris. 237 p.
- Veyret-Mekdjian Y., Valadas B., Vitte P., Jamot C, 1988. *Auvergne, Velay, Guide géographique régional*. Masson, 232 p.
- Villaret J.-Ch., Van Es J., Sanz T., Pache G., Legland T., Mikolajczak A., Abdulhak S., & Lambey B., 2019. *Guide des habitats naturels et semi-naturels des Alpes du Jura méridional à la Haute-Provence et des bords du Rhône au Mont-Blanc : description, écologie, espèces diagnostiques, conservation*. Naturalia Publications, Turriers, 640 p.
- Widmer H., 2015. *Guide du relief du Massif Central*. Edition Gap. Challes-les-Eaux, 221p.

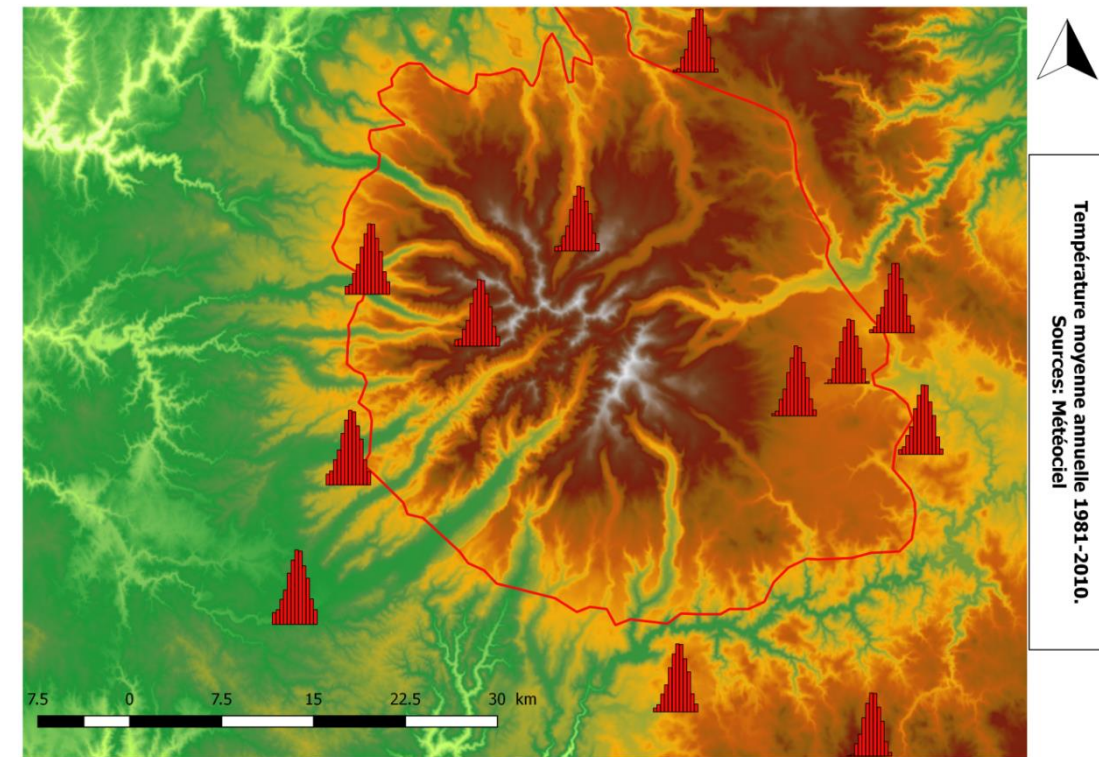
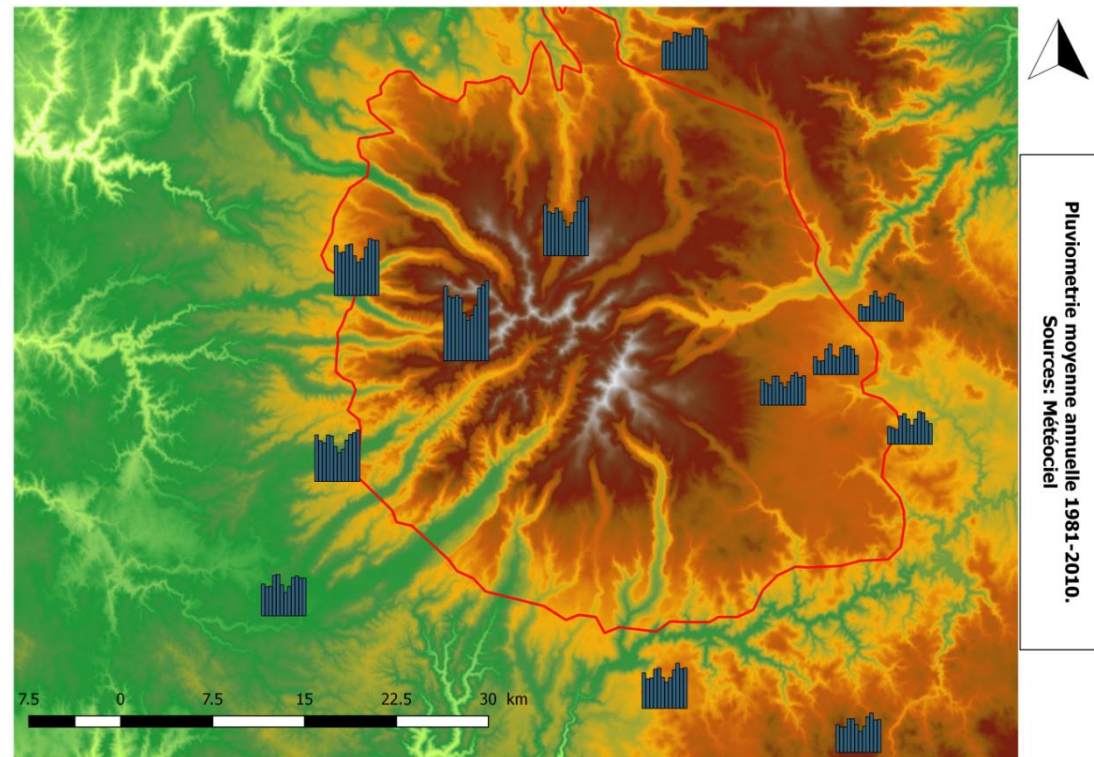
Annexe 1 : Relief des monts du cantal : en marron clair, gris et blanc le secteur d'étude. (source modèle numérique de terrain Hearth Explorer)



Annexe 3 : Carte géologique simplifiée du stratovolcan du Cantal. La coupe illustre les principaux faciès qui affleurent dans la partie centrale de l'édifice volcanique (trait coupe est-ouest) indiqué sur la carte. D'après Nehlig *et al.*, 2001



Annexe 4 : Cartes météorologique : Précipitations et températures moyennes de janvier à décembre (période 1981-2010), territoire d'étude défini en rouge.



Précipitations (mm) (période 1981-2010)													
Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Annee
Le Claux (1040m)	146	126	121	137	127	101	82.8	95.3	125	158	156	168	1542
Marcenat (1075)	81.4	83.2	77.1	106	104	92.9	97.9	95.5	119	119	118	96.5	1190
Valuejols (1074m)	72.9	62.9	57.5	83	83	63.7	51.1	66.7	85.1	93.5	79.2	84	882.6
Coltines (979m)	51.1	38.9	39.2	72.7	87.4	55.1	50.3	77.7	82.9	81.3	72.7	55.1	764.4
Talizat (975m)	47.4	41.2	41.6	73.1	86	67.4	52.3	70.4	79.9	77.1	59.3	55	750.7
Saint-Flours (909m)	51.6	47.1	42.1	80.7	87.6	72.4	55.2	72.5	93.8	90.2	66.9	59.6	819.7
Deux-Verge (1098m)	79.6	73	72.8	96.4	96.6	80.5	60.7	75.3	102	113	92.7	93.6	1036
Cantoin (930m)	102	85.3	87.9	112	116	89.9	76.2	88.5	110	130	114	116	1227
Aurillac (632m)	91.7	83.2	84.7	116	118	88.7	67.1	84.2	109	114	109	108	1174
Marmanhac (644m)	133	117	111	133	130	100	82.3	92.1	118	135	140	148	1440
Le Fau (1060m)	214	184	180	187	180	137	116	131	159	208	217	229	2141
Salers (945m)	143	122	125	145	147	114	96.1	106	139	163	159	158	1617

Températures (°C) période 1981-2010													
Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Annee
Le Claux (1040m)	1	1	3.7	6.1	10	14	16	16	12	9.2	4.4	1.9	8
Marcenat (1075)	1	1	3.6	5.6	10	13	15	16	12	8.5	3.5	0.8	7.5
Valuejols (1074m)	1	1	4.1	6.6	11	14	17	17	13	9.4	4.2	1.5	8.4
Coltines (979m)	0	1	3.6	6.3	10	14	16	16	12	8.7	3.6	0.5	7.6
Talizat (975m)	1	2	4.4	6.3	11	15	17	17	13	9.4	4.2	1.8	8.4
Saint-Flours (909m)	1	2	4.7	6.8	11	15	17	17	13	9.6	4.3	1.4	8.6
Deux-Verge (1098m)	0	0	3.1	5.4	9.5	13	16	15	12	8.6	3.6	1	7.4
Cantoin (930m)	1	2	4.4	6.7	11	14	17	17	13	9.9	4.5	2	8.5
Aurillac (632m)	3	4	6.2	8.5	13	16	18	18	14	11	6.3	3.6	10.2
Marmanhac (644m)	3	4	6.2	8.6	13	16	18	18	15	11	6.2	3.4	10.2
Le Fau (1060m)	2	2	4.2	6.4	11	14	16	16	13	9.7	4.9	2.4	8.4
Salers (945m)	2	3	5.2	7.4	12	15	17	17	14	11	5.6	3.1	9.3

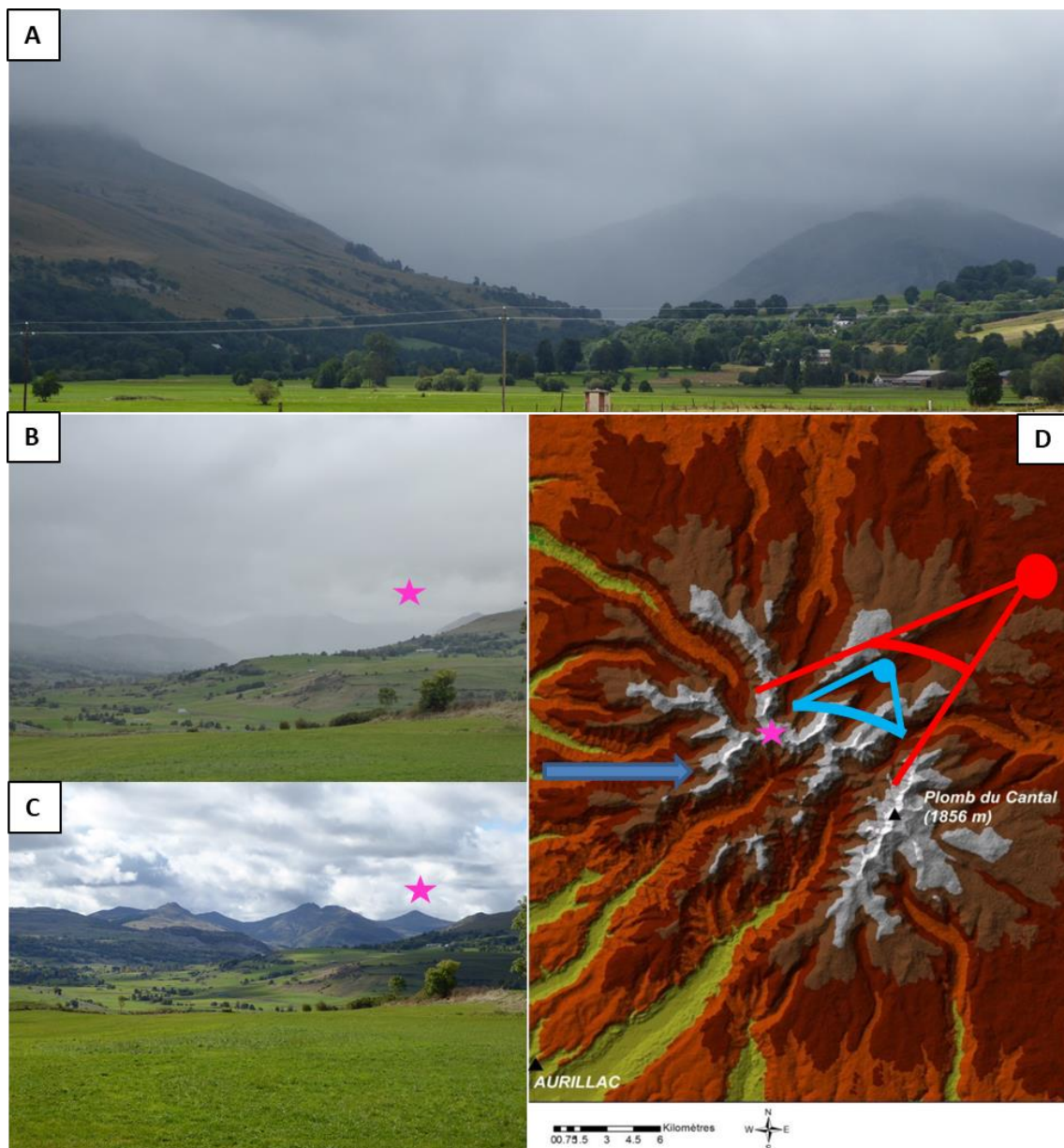
Annexe 5 : Barrière orographique et versant d'abri

A : photographie d'une perturbation pluvieuse venant de l'ouest et bloquée par le relief montagneux ; pris de Dienne (15), le 01/08/2023.

B : photographie d'une perturbation pluvieuse venant de l'ouest et bloquée par le relief montagneux ; pris de Fortuniès (15), le 10/10/2024.

C : même prise de vue qu'en (A) par beau temps le 11/10/2024.

D : contextualisation géographique : le point et l'angle turquoise représentent la prise de vues de la photographie (A) ; le point et l'angle rouge représentent les prises de vues des photographies (B & C) ; les arcs de cercle figurent les limites d'aires pluvieuses ; la flèche indique le sens des perturbations ; l'étoile localise le Puy Mary. (Source modèle numérique de terrain Hearth Explorer)



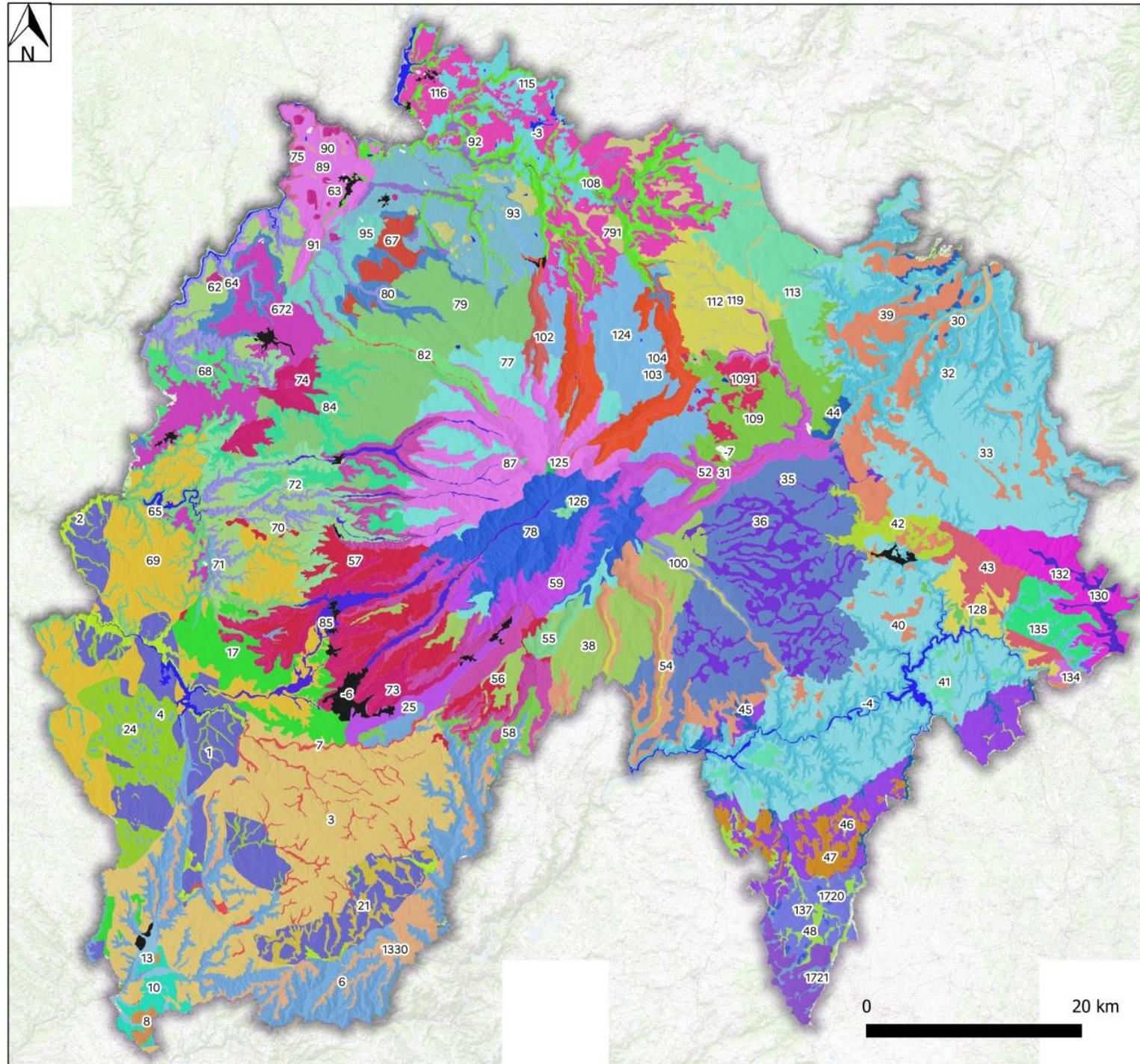
Annexe 6 : Référentiel Régional Pédologique du Cantal étude n° 30150

Genevois V., Martin C., Morel J.-M., Poiraud A., Laveuf C., Suc O., Lehmann S., Chenu J.-P., Vautier A., Decugis E., Marcou P., Foret M., Rahimian V., (2023)



Référentiel Régional Pédologique du Cantal : carte des pédopaysages

V. Genevois, C. Martin, J.M. Morel, A. Poiraud 2023



N° Unités Cartographiques de Sols	
-7	44
-6	45
-4	46
-3	47
1	48
2	52
3	54
4	55
6	56
7	57
8	58
10	59
13	62
17	63
21	64
22	65
24	67
25	68
27	69
30	70
31	71
32	72
33	73
35	74
36	75
38	77
39	78
40	79
41	80
42	82
43	84
	85
	87
	89
	90
	91
	92
	93
	95
	100
	102
	103
	104
	108
	109
	112
	113
	115
	116
	119
	124
	125
	126
	127
	128
	130
	132
	134
	135
	137
	672
	791
	1091
	1330
	1710
	1720
	1721



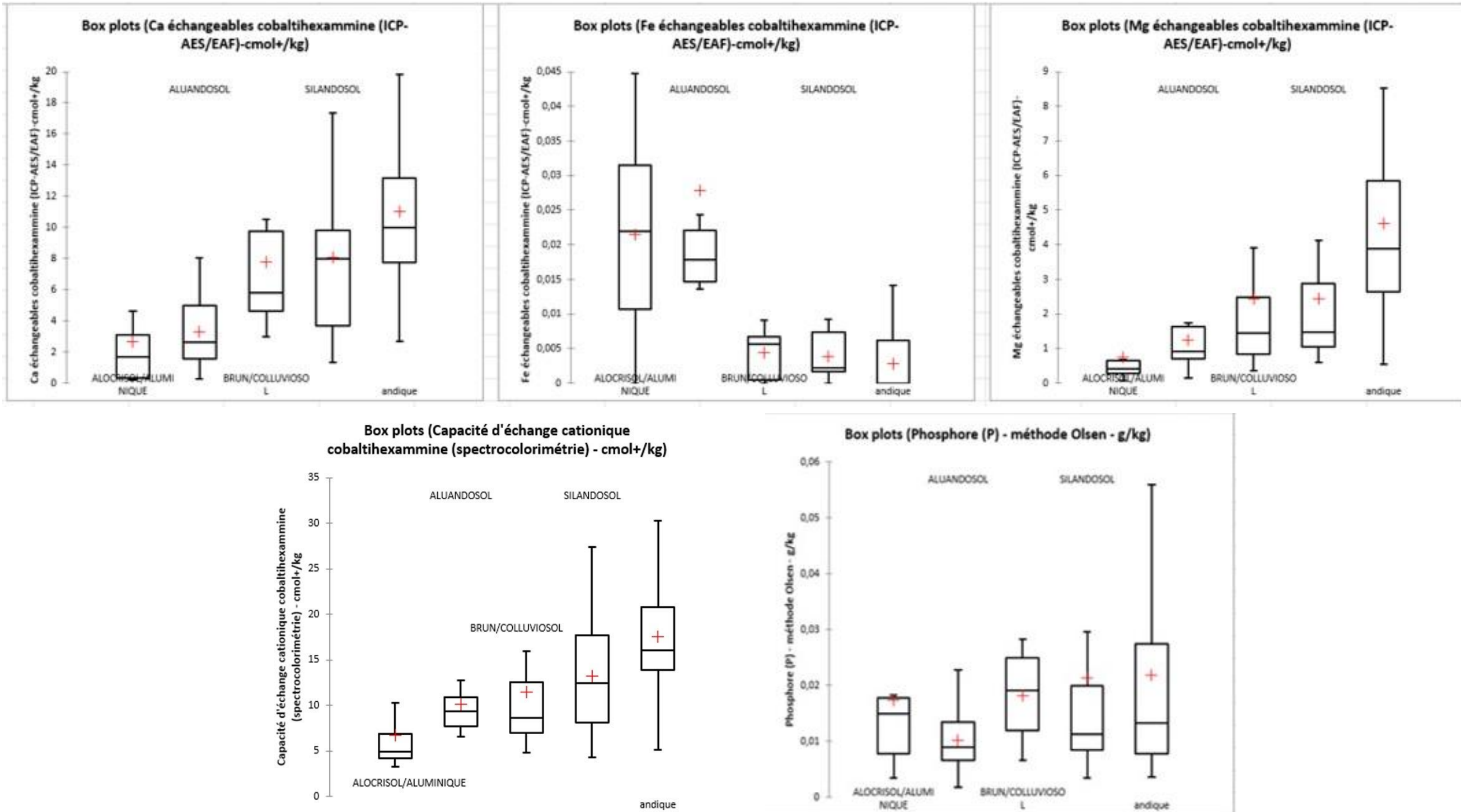
Grand Domaine	N° UCS	Nom UCS	N° UTS (2023)	NOM UTS scientifique	% UTS/UCS
Coulées, plateaux inclinés des Planèzes et versants de la zone centrale volcaniques principalement compris entre 600 mm et 1100 mm de bilan hydrique annuel	59	Versants des vallées en relief de serre de Saint-Jacques- des-Blats à Laroquevieille sur trachyandésite et avalanche de débris, compris entre 600 et 1100 mm de bilan hydrique annuel, principalement paturés et en estives, de pentes modérées à très fortes	102	ALUANDOSOL alusilandique, argileux à limono-argileux, issu de brèches volcaniques diverses, sous prairie et forêt	4
			107	ALUANDOSOL, argilo-sableux à limono-sablo-argileux, issu de brèches volcaniques diverses en place ou colluvionnées, sous prairie et forêt	45
			112	SILANDOSOL à horizon pierreux, limono-sableux, issu d'un épandage périglaciaire de blocs basaltiques, sous prairie	5
			115	SILANDOSOL parfois à horizon de surface andique (à basse altitude), limono-argilo-sableux à sablo-argileux, issu de brèche d'avalanche de débris en place ou déplacée, sous prairie	30
			111	SILANDOSOL, parfois à horizon de surface andique, limono-sableux, issu de dépôts glaciaires volcaniques (parfois en mélange avec des roches cristallophylliennes) ou d'une coulée de basalte, sous prairie	7
			116	RANKOSOL-SILANDOSOL à SILANDOSOL leptique, limono-sableux à sablo-limoneux, issu de dépôts glaciaires volcaniques recouvrant ou non des coulées de basalte, sous prairie	3
			208	REDOXISOL des petites combes et resurgences de sources des hautes altitudes, issu de brèches volcaniques diverses, sous estives	2
			132	HISTOSOL fibrique à saprique, oligotrophe à mésotrophe, avec ou sans KTH issu de cypéracées, sphaignes ou prêles sur roche volcaniques, sous prairie	2
			139	REDOXISOL parfois réductique, limono-argilo-sableux à argilo-sableux, issu de matériaux volcaniques variés (brèche et dépôts d'origine glaciaire), sous prairie	2
	38	Plateaux inclinés des coulées basaltiques et des dépôts glaciaires de la Planèze de Pierrefort, Saint-Simon, Roudadou, Badailhac, Malbo et de Pailherols, compris entre 600 mm et 1100 mm de bilan hydrique annuel, principalement paturés et cultivés, de pentes faibles à modérées	105	ALUANDOSOL, limon fin argileux à limoneux, issu d'une coulée de basalte, sous prairie et forêt	22
			107	ALUANDOSOL, argilo-sableux à limono-sablo-argileux, issu de brèches volcaniques diverses en place ou colluvionnées, sous prairie et forêt	3
			111	SILANDOSOL, parfois à horizon de surface andique, limono-sableux, issu de dépôts glaciaires volcaniques (parfois en mélange avec des roches cristallophylliennes) ou d'une coulée de basalte, sous prairie	50
			112	SILANDOSOL à horizon pierreux, limono-sableux, issu d'un épandage périglaciaire de blocs basaltiques, sous prairie	2
			140	REDUCTISOL, argileux à limoneux fin, issu de dépôts glaciaires volcaniques, sous zone humide	1
			132	HISTOSOL fibrique à saprique, oligotrophe à mésotrophe, avec ou sans KTH issu de cypéracées, sphaignes ou prêles sur roche volcaniques, sous prairie	1
			138	REDOXISOL, sablo-limoneux, issu de dépôts colluvio- alluviaux volcaniques, sous prairie	5
			116	RANKOSOL-SILANDOSOL à SILANDOSOL leptique, limono-sableux à sablo-limoneux, issu de dépôts glaciaires volcaniques recouvrant ou non des coulées de basalte, sous prairie	16
	124	Plateaux inclinés des coulées basaltiques, des brèches d'avalanche de débris et des dépôts glaciaires de la Planèze du Limon, de la Font-Sainte, et d'Entremont, paturés et d'estives, de pentes très faibles à modérées et localement fortes compris entre 600 et 1100 mm de bilan hydrique annuel,	105	ALUANDOSOL, limon fin argileux à limoneux, issu d'une coulée de basalte, sous prairie et forêt	15
			107	ALUANDOSOL, argilo-sableux à limono-sablo-argileux, issu de brèches volcaniques diverses en place ou colluvionnées, sous prairie et forêt	30
			108	RANKOSOL-ALUANDOSOL, argilo-limoneux, issu d'une coulée de basalte, sous prairie et forêt	2
			109	RANKOSOL-ALUANDOSOL issu d'un mélange d'avalanche de débris et de dépôts glaciaires, sous forêt et prairie	3
			111	SILANDOSOL, parfois à horizon de surface andique, limono-sableux, issu de dépôts glaciaires volcaniques (parfois en mélange avec des roches cristallophylliennes) ou d'une coulée de basalte, sous prairie	10
			125	BRUNISOL andique, limono-argileux, issu de colluvions de matériaux volcaniques (trachyandésite, basalte, avalanche de débris), sous prairie et forêt	5
			134	RANKOSOL andique, limoneux à argileux, issu de produits volcaniques divers (coulée de basalte ou dépôts glaciaires), sous prairie et forêt	10
			139	REDOXISOL parfois réductique, limono-argilo-sableux à argilo-sableux, issu de matériaux volcaniques variés (brèche et dépôts d'origine glaciaire), sous prairie	15
			132	HISTOSOL fibrique à saprique, oligotrophe à mésotrophe, avec ou sans KTH issu de cypéracées, sphaignes ou prêles sur roche volcaniques, sous prairie	5
			135	RANKOSOL andique, argilo-sableux, issu de brèche d'avalanche de débris, sous prairie	5
	79	Plateaux inclinés des coulées basaltiques et des dépôts glaciaires de la Planèze de Trizac, Valette, Salers, Saint-Chamant et Pleaux, compris entre 600 et 1100 mm de bilan hydrique annuel, paturés et d'estives, de pentes faibles à modérées et localement fortes	103	ALUANDOSOL alusilandique, limono-argileux à limono- sableux, issu de dépôts glaciaires ou périglaciaires majoritairement basaltiques	7
			104	ALUANDOSOL parfois resaturé par chaulage, limono- argilo-sableux, issu de coulée de basalte doléritique altérée, sous culture, prairie et forêt	4
			105	ALUANDOSOL, parfois à horizon de surface andique, limono-sableux, issu d'une coulée de basalte, sous prairie et forêt	8
			121	BRUNISOL andique, argileux à sablo-argileux, issu de coulée de basalte altérée, sous prairie et culture	10
			132	HISTOSOL fibrique à saprique, oligotrophe à mésotrophe, avec ou sans KTH issu de cypéracées, sphaignes ou prêles sur roche volcaniques, sous prairie	2
			134	RANKOSOL andique, limoneux à argileux, issu de produits volcaniques divers (coulée de basalte ou dépôts glaciaires), sous prairie et forêt	2
			139	REDOXISOL parfois réductique, limono-argilo-sableux à argilo-sableux, issu de matériaux volcaniques variés (brèche et dépôts d'origine glaciaire), sous prairie	5
			140	REDUCTISOL, argileux à limoneux fin, issu de dépôts glaciaires volcaniques, sous zone humide	2
			111	SILANDOSOL, parfois à horizon de surface andique, limono-sableux, issu de dépôts glaciaires volcaniques (parfois en mélange avec des roches cristallophylliennes) ou d'une coulée de basalte, sous prairie	55
			128	COLLUVIOSOL andique, limoneux à argileux, issus de produits volcaniques divers (colluvions basaltiques, coulée...) , sous prairie et forêt	5

Grand Domaine	N° UCS	Nom UCS	N° UTS (2023)	NOM UTS scientifique	% UTS/UCS
Coulées, plateaux hydrique annuel inclinés des Planèzes et versants et pointements volcaniques supérieurs à 1100 mm de bilan	77	Plateaux inclinés des coulées basaltiques et dépôts glaciaires de la Planèze du Suc Gros, du Puy Violent et du Legal, supérieurs à 1100 mm de bilan hydrique annuel, principalement pâturés et en estives, de pentes modérées à localement fortes	105	ALUANDOSOL, limon fin argileux à limoneux, issu d'une coulée de basalte, sous prairie et forêt	70
			107	ALUANDOSOL, argilo-sableux à limono-sablo-argileux, issu de brèches volcaniques diverses en place ou colluvionnées, sous prairie et forêt	20
			137	REDOXISOL-SILANDOSOL, limoneux à limono-argileux, issu de dépôts glaciaires volcaniques, sous prairie et forêt humide	5
			139	REDOXISOL parfois réductrice, limono-argilo-sableux à argilo-sableux, issu de matériaux volcaniques variés (brèche et dépôts d'origine glaciaire), sous prairie	1
			140	REDUCTISOL, argileux à limoneux fin, issu de dépôts glaciaires volcaniques, sous zone humide	4
	87	Amont des vallées de l'Aspre et de la Bertrande, sur trachyandésite et produits glaciaires, supérieurs à 1100 mm de bilan hydrique annuel, forestiers et d'estives, de pentes fortes à abruptes	102	ALUANDOSOL alusilandique, argileux à limono-argileux, issu de brèches volcaniques diverses, sous prairie et forêt	15
			107	ALUANDOSOL, argilo-sableux à limono-sablo-argileux, issu de brèches volcaniques diverses en place ou colluvionnées, sous prairie et forêt	83
			160	REDOXISOL fluviatique, limono-sableux à sablo-argileux, issu d'alluvions fluvio-glaciaires majoritairement volcaniques, sous prairie et culture	2
	78	Amont de la vallée de la Jordanne en relief de serre, sur trachyandésite et produits glaciaires, supérieur à 1100 mm de bilan hydrique annuel, principalement en estive et forestier, de pentes modérées à abruptes	102	ALUANDOSOL alusilandique, argileux à limono-argileux, issu de brèches volcaniques diverses, sous prairie et forêt	11
			107	ALUANDOSOL, argilo-sableux à limono-sablo-argileux, issu de brèches volcaniques diverses en place ou colluvionnées, sous prairie et forêt	65
			115	SILANDOSOL parfois à horizon de surface andique (à basse altitude), limono-argilo-sableux à sablo-argileux, issu de brèche d'avalanche de débris en place ou déplacée, sous prairie	6
			111	SILANDOSOL, parfois à horizon de surface andique, limono-sableux, issu de dépôts glaciaires volcaniques (parfois en mélange avec des roches cristallophylliennes) ou d'une coulée de basalte, sous prairie	15
			132	HISTOSOL fibrique à saprique, oligotrophe à mésotrophe, avec ou sans KTH issu de cypéracées, sphaignes ou prêles sur roches volcaniques, sous prairie	1
			139	REDOXISOL parfois réductrice, limono-argilo-sableux à argilo-sableux, issu de matériaux volcaniques variés (brèche et dépôts d'origine glaciaire), sous prairie	2
	125	Pointement du Puy-Mary trachytique probablement recouvert par des dépôts glaciaires, d'estive et forestier, de pentes très fortes à localement faibles	106	RANKOSOL-ALUANDOSOL, limoneux, issu de trachyte sous prairie	39
			107	ALUANDOSOL, argilo-sableux à limono-sablo-argileux, issu de brèches volcaniques diverses en place ou colluvionnées, sous prairie et forêt	40
			208	REDOXISOL des petites combes et resurgences de sources des hautes altitudes, issu de brèches volcaniques diverses, sous estives	1
			109	RANKOSOL-ALUANDOSOL issu d'un mélange d'avalanche de débris et de dépôts glaciaires, sous forêt et prairie	20
	126	Pointements du Puy Griou, de l'Usclade et du Roc d'Hozières, phonolitiques et recouverts de dépôts glaciaires, d'estives et forestiers, de pentes très fortes	100	ALUANDOSOL-PEYROSOL, limoneux fin à limono-argileux, issu de phonolite, sous prairie et forêt	20
			107	ALUANDOSOL, argilo-sableux à limono-sablo-argileux, issu de brèches volcaniques diverses en place ou colluvionnées, sous prairie et forêt	68
			208	REDOXISOL des petites combes et resurgences de sources des hautes altitudes, issu de brèches volcaniques diverses, sous estives	1
			110	RANKOSOL aluminique ou RANKOSOL-ALUANDOSOL, limoneux fin à limoneux, issu de phonolite, sous prairie	10
			140	REDUCTISOL, argileux à limoneux fin, issu de dépôts glaciaires volcaniques, sous zone humide	1

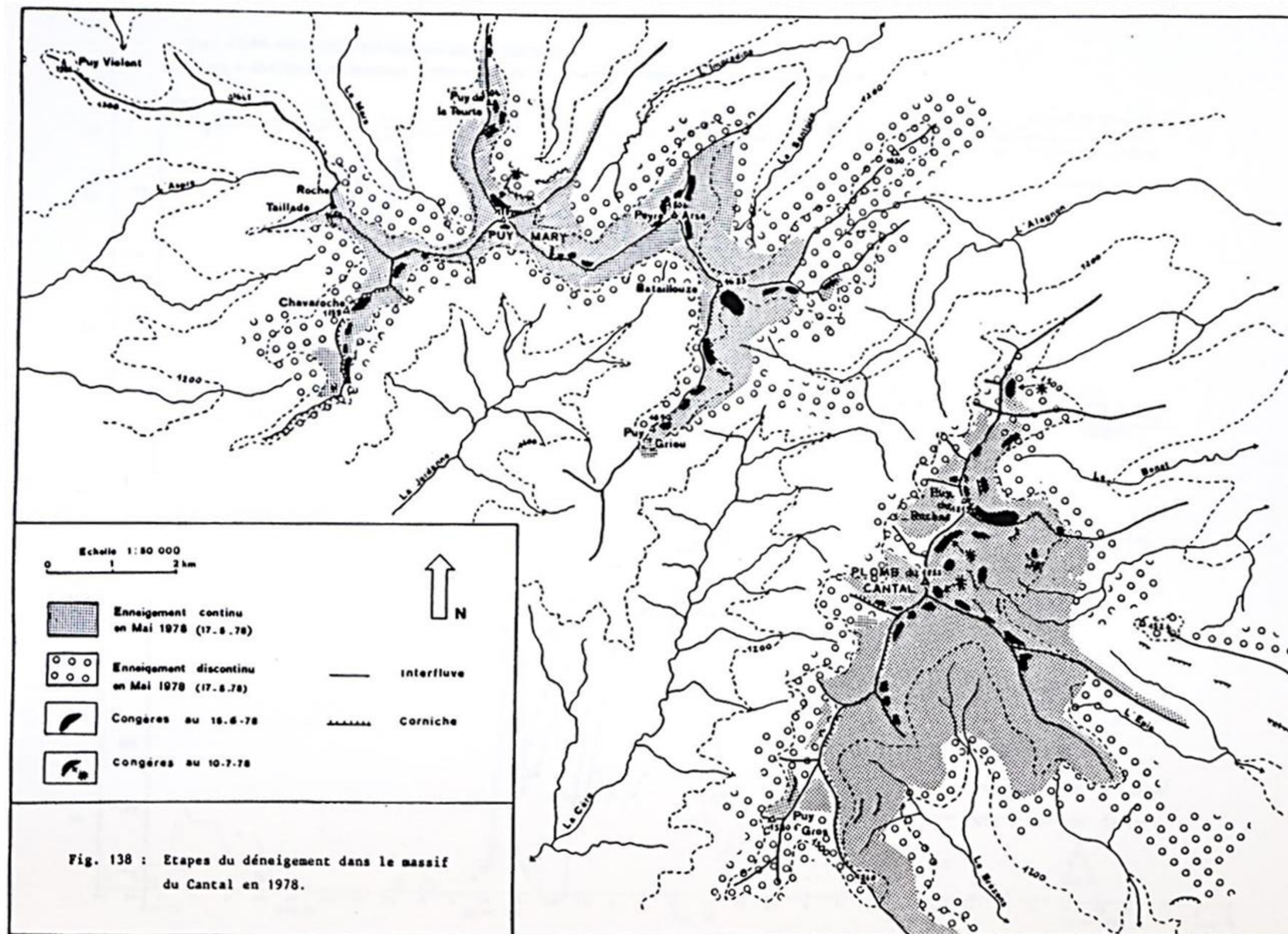
Annexe 7 : Propriétés spécifiques des sols volcaniques: Comparaison avec des sols se développant sur des matériaux cristallins et cristallophylliens (gneiss ou granite). D'après Poster, Genevois V. et al. 2023b.

Horizon de surface (A) sur fosse :

- Issu de matériaux volcaniques : Sol andique / n = 34 ; Silandosol / n = 14 ; Aluandosol / n = 10
- Issu de gneiss ou granite : Brunisol-Colluviosol / n = 8 ; Alocrisol-Aluminique / n = 10

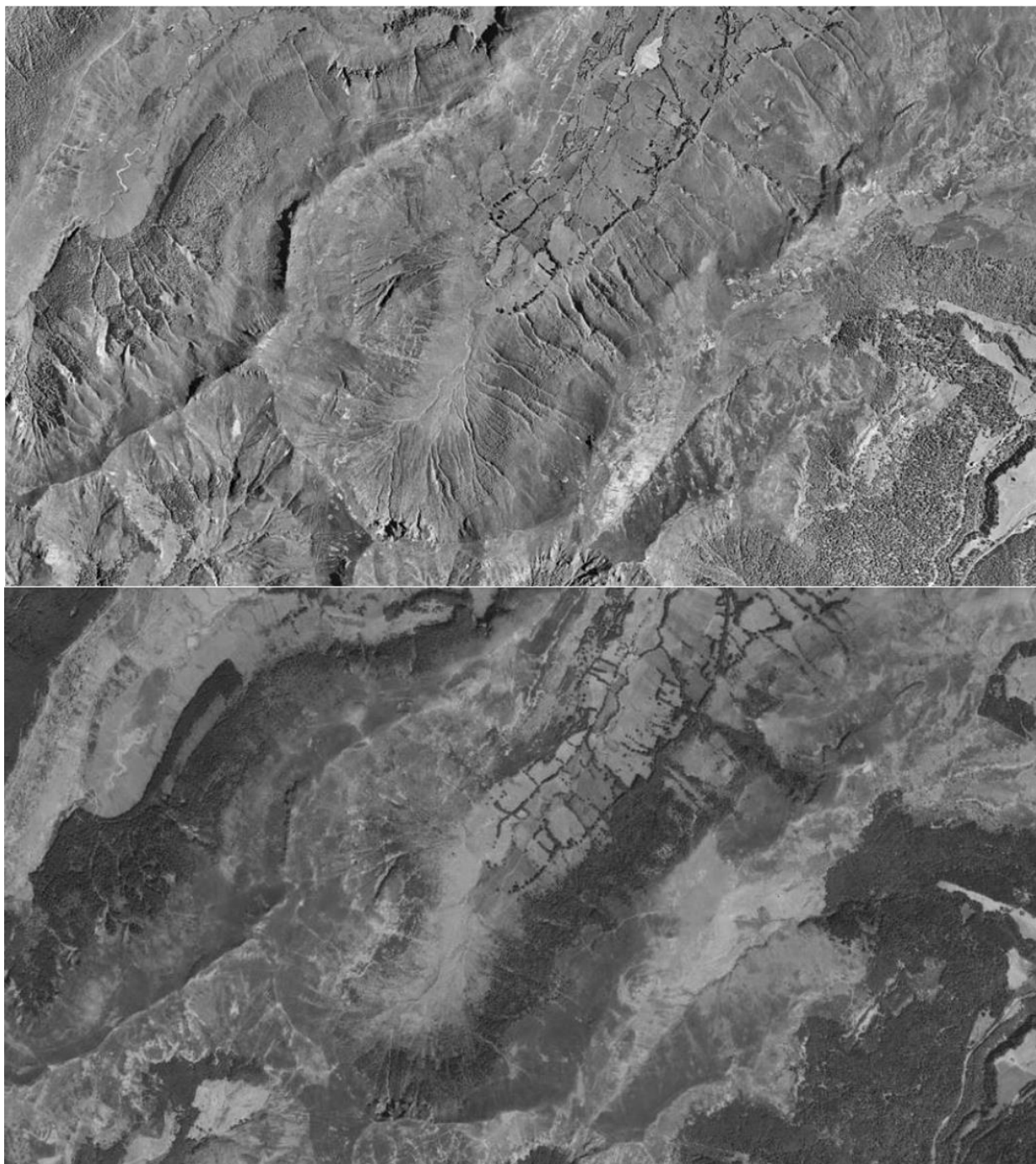


Annexe 8 : Cartographie des combes à neige sur les monts du Cantal l'hiver 1978 – Chronologie du déneigement (d'après Valadas, 1984)



Annexe 9 : Evolution du couvert forestier entre 1954 et 2022 sur le secteur de la vallée de la haute Santoire à Lavigerie -Cantal.

En haut : photographie aérienne de 1954, en bas : photographie aérienne de 2022. Source : IGN 2023. Géoportail, le portail national de la connaissance du territoire. Disponible sur :<https://www.geoportail.gouv.fr/> (consulté le 26/09/2024).



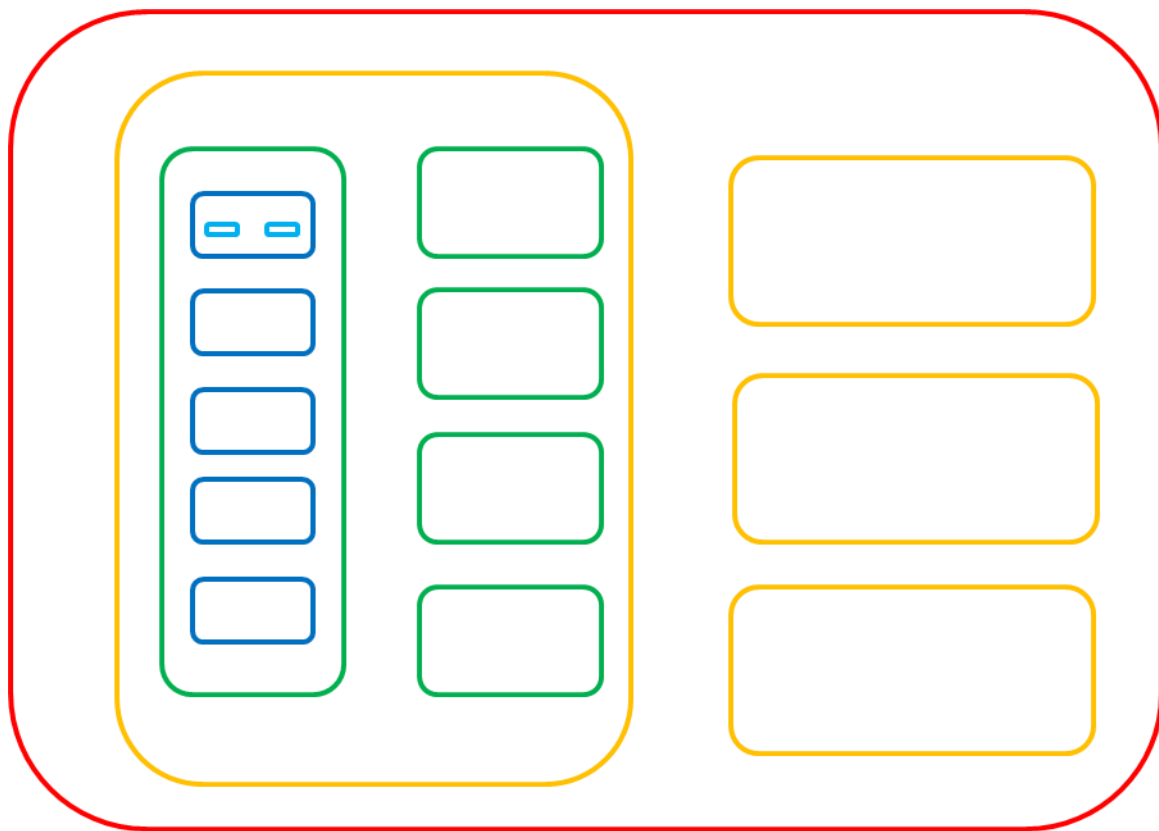
Annexe 10 : Tableaux de contingence

Végétations de l'étage montagnard, versant ouest des monts du Cantal										
	Roche massive									Roches meubles (brèches, cinérites, scories, dépôt glaciaire, formation superficielle)
	Basalte			Trachyandésite / Trachybasalte			Trachyte/Phonolite/Rhyolite			
	édaphoxéro	édaphoméso	édaphohygro	édaphoxéro	édaphoméso	édaphohygro	édaphoxéro	édaphoméso	édaphohygro	
1450/1500m										
expositions E à S-O										
expositions O à N-E										
sommet/plateau										
1350m										
expositions E à S-O										
expositions O à N-E										
sommet/plateau										
1200/1250m										

Végétations du subalpin en exposition défavorable (N-O à E et sommets)				
	Roches massives			Roches meubles (brèches, cinérites, scories)
	laves basiques (basaltes...)	Intermédiaires (Trachy-andésites...)	laves acides (trachyte, phonolites, rhyolites)	
1855m				
édaphoxéro				
édaphoméso				
édaphohygro				
1650m				
édaphoxéro				
édaphoméso				
édaphohygro				
1450/1500m				

Végétations du subalpin en exposition favorable (E à O)				
	Roches massives			Roches meubles
	laves basiques (basaltes...)	Intermédiaires (Trachy-andésites...)	laves acides (trachyte, phonolites, rhyolites)	
1855m				
édaphoxéro				
édaphoméso				
édaphohygro				
1650m				
édaphoxéro				
édaphoméso				
édaphohygro				
1450/1500m				

Annexe 11: Principaux niveaux hiérarchiques des unités syntaxinomiques la classification phytosociologique



Classe : suffixe *-etea*



Ordre : suffixe *-etalia*



Alliance : suffixe *-ion*



Association : suffixe *-etum*



Sous-association : suffixe *-etosum*

Annexe 13 : Tableau synoptique II : les formations orophiles herbacées de lisières, ravins et trouées forestières du Massif central volcanique et classification synsystématique des communautés.

Tableau synoptique

Lisières, ravins et trouées forestières du Massif central volcanique										
Association	1	2	3	4	5	6	7	8	nbr.	
Sous-association	1	2	/	/	/	/	/	1		2
Rel.	10	14	16	18	5	16	10	22	16	11
<i>Euphorbia hyberna</i>	IV	I	I	I	I	I				5
<i>Polygonatum verticillatum</i>	II	III	II	I	I		II			6
<i>Bistorta officinalis</i>	II	III	II	II	I				I	5
<i>Knautia dipsacifolia</i>		II	II							3
<i>Litum martagon</i>	I		IV	I	I		I			5
<i>Astrantia major</i>			II	I						2
<i>Sanguisorba officinalis</i>	I		I	II	II					3
<i>Valeriana officinalis s.l.</i>			I	II	I					4
<i>Pteridium aquilinum</i>				V						1
<i>Silene nutans</i>		II	II	I						3
<i>Rumex acetosella</i>	II	II	I	I	I					6
<i>Teucrium scorodonia</i>	I		IV	III	I					5
<i>Cytisus oromediterraneus</i>	II	II	I	III	III					5
<i>Cytisus scoparius</i>	I	I	I	III	III					4
<i>Brachypodium rupestre</i>				II	V					2
<i>Thymus pulegioides s.l.</i>	I			II	V					3
<i>Genista pilosa</i>		I	I	I	II					3
<i>Dianthus hyssopifolius</i>		I	I	I	II					3
<i>Genista sagittalis</i>		I		II						2
<i>Vicia sepium</i>	II	II	I	I	I					6
<i>Rubera holostea</i>	I	II	I	II	II					6
<i>Veronica chamaedrys</i>	I	III	I	IV	II					7
<i>Clinopodium vulgare</i>				IV	II					2
<i>Galium aparine</i>				II						4
<i>Cruciata laevipes</i>				I						1
<i>Hieracium murorum gr. (incl. glaucinum)</i>	II	II	III	I		II	II	I	I	9
<i>Prenanthes purpurea</i>	I	I	IV			III	II	III	I	8
<i>Lactuca muralis</i>						II	I			4
<i>Senecio ovatus</i>					II	III	I	I	II	6
<i>Euphorbia dulcis s. incompta</i>	I		II	I	III	I	I	II	II	6
<i>Silene dioica</i>	I			I	II	III	II			5
<i>Stachys sylvatica</i>					I	II	I	I		4
<i>Cirsium eristhales</i>					I	II	I	I		5
<i>Poa trivialis</i>								II		3
<i>Potentilla aurea</i>	I	II								2
<i>Viola lutea</i>	I	III			III					3
<i>Meum athamanticum</i>	II	IV			IV					5
<i>Galium saxatile</i>	II	III	II		I					7
<i>Nardus stricta</i>	I	II			III					4
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	I	II	I	I	III					9
<i>Jasione laevis</i>	I	II	I	I	II					5
<i>Campanula scheuchzeri s. lanceolata</i>	I	II	II	III	I					5
<i>Dianthus seguieri s. pseudocollinus</i>	I	II	II	I						4
<i>Veronica officinalis</i>	II	III	II	II	II					6
<i>Gentiana lutea</i>	IV	III	I	III	III					5
<i>Jacobaea adonidifolia</i>	I	I	I	III						5
<i>Campanula rotundifolia</i>	I	I	I	II	I					6
<i>Carex caryophylla</i>	I			I						3
<i>Festuca nigrescens agg. (incl. microphylla)</i>	II	I	II	II						4
<i>Luzula campestris</i>	I	I	II	II						4
<i>Lotus corniculatus</i>	II	I	I	I	II					5
<i>Serratula tinctoria s. monticola</i>	I	I	I	I						4
<i>Galium pumilum</i>	I	II	II	I						4
<i>Galium verum</i>	I	I	II	III						4
<i>Helianthemum nummularium</i>			I	I						3
<i>Pimpinella saxifraga</i>			I	II						3
<i>Potentilla fagineicola</i>			II							1
<i>Briza media</i>	II			III						3
<i>Betonica officinalis</i>			II	III						2
<i>Heracleum sphondylium agg.</i>			II							2
<i>Centaurea nigra</i>	II	III	II							4
<i>Knautia arvensis</i>	I	I	I	I					III	5
<i>Rumex acetosa</i>	II	II	I	I						5
<i>Lathyrus pratensis</i>	II	II	II	I	I					6
<i>Plantago lanceolata</i>	II		I	II						3
<i>Leucanthemum vulgare agg.</i>	I	I	II	I	I				II	7
<i>Poa pratensis</i>	I	I	II	I						3
<i>Stellaria graminea</i>	I	II	I	I						4
<i>Trifolium repens</i>	II								I	4
<i>Trifolium pratense</i>	II	II	I							3
<i>Hypochaeris radicata</i>	II	I		I						3
<i>Prunella vulgaris</i>	II									2

suite										
Association	1	2	3	4	5	6	7	8	nbr.	
Sous-association	1	2	/	/	/	/	/	1		2
Rel.	10	14	16	18	5	16	10	22	16	11
<i>Juncus effusus</i>						I	I	I		3
<i>Carex ovalis</i>	I	I		I		II	I			6
<i>Cirsium palustre</i>			5			II				1
<i>Deschampsia cespitosa</i>				I		I	II	I		4
<i>Anemone nemorosa</i>	III	I		I	I					5
<i>Geranium nodosum</i>						II	I	II		4
<i>Galium odoratum</i>			I			I	III	I		6
<i>Lamium galeobdolon</i>						I	I	II		5
<i>Moehringia trinervia</i>				I			II	I		4
<i>Clinopodium grandiflorum</i>						II	II	I		4
<i>Drymochloa sylvatica</i>			I			I	I	I		5
<i>Paris quadrifolia</i>				I			I	I		5
<i>Actaea spicata</i>							II			2
<i>Valeriana tripteris</i>				I		I	I	I	II	7
<i>Cardamine heptaphylla</i>						I	I	II	IV	5
<i>Lunaria rediviva</i>							I	II	IV	4
<i>Cardamine flexuosa</i>							II	IV	I	4
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>							II	II	I	4
<i>Circaea x intermedia</i>							I	I	I	3
<i>Saxifraga rotundifolia</i>							III	V	V	4
<i>Circaea alpina</i>							I	II	V	2
<i>Arabidopsis cebennensis</i>							I	I	I	2
<i>Ranunculus platanifolius</i>							I	I	I	4
<i>Imperatoria ostruthium</i>							II	I	I	6
<i>Luzula desvauxii</i>							I	III	III	5
<i>Rumex arifolius</i>							I	II	III	7
<i>Lactuca alpina</i>							I	I	II	5
<i>Adenostyles alliariae</i>							I	II	I	4
<i>Rumex alpinus</i>							I	I	I	4
<i>Chaerophyllum villarsii</i>							I	I	I	3
<i>Primula elatior</i>								I	III	3
<i>Angelica sylvestris</i>							I	I	I	II
<i>Myosotis lamottiana</i>								II	II	3
<i>Hipendula ulmaria</i>							I	II	III	4
<i>Crepis paludosa</i>							I	II	III	3
<i>Chaerophyllum hirsutum</i>							I	II	IV	4
<i>Ranunculus repens</i>							I	III	I	6
<i>Ranunculus aconitifolius</i>							I	I	I	2
<i>Chrysosplenium oppositifolium</i>							I	V	II	3
<i>Micranthes stellaris</i>									II	1
<i>Carex pilulifera</i>										4
<i>Potentilla erecta</i>	II	II	I	II	I		II	I		8
<i>Vaccinium myrtillus</i>	V	II	II	V	I	I	I			8
<i>Conopodium majus</i>	IV	II	I	II	IV	II	I			8
<i>Poa chaixii</i>	IV	IV	I	III	III	III	II			9
<i>Avenella flexuosa</i>	IV	III	V	III	II	III	III			9
<i>Agrostis capillaris</i>	I	IV	II	I	IV	III	IV			9
<i>Linaria repens</i>	I	II	II	III	II	I	I			8
<i>Lathyrus linifolius (var. montanus)</i>	I	II	I	III	II	I	I			10
<i>Holcus mollis</i>	I	III	I	III	II	III	II			10
<i>Achillea millefolium</i>	III	I	II	III	V	II	I			8
<i>Silene vulgaris</i>	I	III	I	III	III	III	II			9
<i>Viola sylvestris gr.</i>	I	II	I	I	IV	II	III	I		10
<i>Epilobium angustifolium</i>	II	I	I	I	II	IV	I		II	7
<i>Urtica dioica</i>	I	I	I	I	II	III	II		I	8
<i>Ajuga reptans</i>	III	I	I	IV	IV	I	II		III	9
<i>Poa nemoralis</i>	I	I	II	I	III	II	II		V	9
<i>Galium mollugo agg.</i>						I	I	III	III	6
<i>Geranium robertianum</i>						I	I	II	IV	7
<i>Dryopteris dilatata</i>						II	II	II		6
<i>Lysimachia nemorum</i>						III	I	I		6
<i>Milium effusum</i>						II	III	III	I	5
<i>Luzula nivea</i>		II	II	I	I	IV	III	I		9
<i>Luzula sylvatica</i>	I	I	III	I		III	I	III	IV	9
<i>Alchemilla vulgaris gr.</i>	I	II		II		I	I	I	III	8
<i>Dryopteris filix-mas</i>	I	I	I	II		I	I	IV	II	9
<i>Impatiens noli-tangere</i>						I	II	III	IV	5
<i>Epilobium montanum</i>	II	II				III	IV	IV	V	8
<i>Oxalis acetosella</i>						II	I	III	III	7
<i>Stellaria nemorum s.l.</i>						IV	III	IV	II	6
<i>Athyrium filix-femina</i>	II	I	I	II		III	III	IV	V	9
<i>Doronicum austriacum</i>	I									

Classification synsystématique

Melampyro pratensis-Holcetea mollis Passarge 1994

Melampyro sylvatici-Poion chaixii Julve ex Bouillet et Rameau in Bardat et al. 2004

Poo chaixii-Euphorbietum hybernae Bignon 1986 ex 1997 ex Thébaud, C.Roux, Bernard et Delcoigne 2014

typicum

hypericetosum maculati subass. nov. prov. hoc. loco.

Prenanthes purpureae-Avenelletum flexuosae (Bignon 1986) *ass. nov. prov. hoc. loco.*

Agrostio capillaris-Lactucetum plumieri ass. nov. prov. hoc. loco.

Conopodio majoris-Teucrium scorodoniae Julve ex Bouillet et Rameau in Bardat et al. 2004

Groupement à *Brachydode rupestre*

Holco mollis-Pteridion aquilini (Passarge (1994) Rameau).

Holco mollis-Pteridetum aquilini Passarge 1994

poetosum chaixii (Choisnet et Mulot 2008) *subass. nov. prov. hoc. loco.*

Trifolio medii-Geranietea sanguinei Müller 1962

Knaution dipsacifoliae Julve ex Dengler et Boch 2008

Doronico austriaci-Calamagrostietum arundinaceae (Coquillard 1993) *ass. nov. prov. hoc. loco.*

Epilobietea angustifolii Tüxen et Preising ex von Rochow 1951

Epilobion angustifolii Oberd. 1957

Lactuco plumieri-Epilobietum angustifolii (Billy 1997) B. Foucault in B. Foucault et Catteau 2015

Cf. *Stellario holostaeae-Rubetum idaei* H. Passarge 1982

Mulgedio alpini-Aconitetea variegati Hadač et Klika in Klika et Hadač 1944

Arunco dioici-Petasition albi Braun-Blanquet et Sutter 1977

Saxifrago rotundifolii-Petasitetum albi (Choisnet et Mulot 2008) *ass. nov. prov. hoc. loco.*

typicum

chrysosplenietosum oppositifolii (Choisnet et Mulot 2008) *subass. nov. prov. hoc. loco.*

luzuletosum desvauxii *subass. nov. prov. hoc. loco.*

Galio aparines-Urticetea dioicae Passarge ex Kopecký 1969

Geo urbani-Alliarion petiolatae Lohmeyer et Oberdorfer ex Görs et Müller 1969

Cf. groupement à *Gallium mollugo* et *Urtica dioica* Billy 1997

Annexe 15 : Tableau d'association du *Betonico-Patzkeetum* (Seytre 2006) M.Loos in Loos et Thébaud 2023, d'après Loos & Thébaud 2023. La nomenclature utilisée est celle de Taxref V7.

Association variante n° Turboveg	<i>Betonico officinalis-Patzkeetum paniculatae</i>																											n° de relevé	
	appauvrie								typique																				
	444	442	228	18	16	15	614	394	71	250	23	70	231	246	37	247	68	72	76	12	13	69	19	35	67	240	73		
n° de relevé	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27		
<i>Betonica officinalis</i> C	2	+	1	.	.	.	.	.	+	+	1	r	+	1	r	+	+	1	1	1	+	+	+	1	1	+	2	22
<i>Achillea millefolium</i> D	+	1	.	+	+	.	.	.	1	+	1	+	.	.	.	1	+	+	1	+	+	1	+	1	1	+	+	20	
<i>Jacobaea adonidifolia</i> C	.	.	2	+	.	.	.	.	1	+	+	.	.	+	+	1	2	1	1	+	.	1	+	r	+	+	1	18
<i>Succisa pratensis</i> C	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	+	.	2	+	1	1	r	r	+	+	+	r	1	.	.	1	1	16
<i>Briza media</i> D	.	.	.	.	.	.	.	.	1	+	.	.	1	.	.	.	.	1	+	.	+	+	.	r	+	+	r	11
<i>Euphorbia flavicoma s. verrucosa</i> C	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	+	.	.	+	7
<i>Thesium pyrenaicum</i> C.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	r	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.	.	.	.	+	.	6
Galio-Patzkeion et Eu-Galio-Patzkeion																													
<i>Centaurea nigra</i> suball.	2	1	.	2	1	+	1	.	+	1	1	2	1	.	.	+	+	+	1	1	1	.	.	1	1	2	+	21	
<i>Arnica montana</i> suball.	+	.	.	.	.	+	.	.	+	+	+	+	+	.	+	1	+	+	+	1	1	+	1	.	+	.	+	18
<i>Carex caryophylla</i> suball.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	.	+	+	+	.	.	.	+	+	+	.	.	1	+	.	+	.	1	14
<i>Genista pilosa</i> D. all.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	+	r	.	+	.	.	.	+	.	+	.	1	1	.	11
<i>Dianthus seguieri s. pseudocollinus</i> suball.	+	1	.	.	.	+	.	.	1	.	.	.	+	.	.	.	.	1	.	.	r	r	.	+	.	.	.	9
<i>Festuca arvensis s. costei</i> D. all.	.	.	.	1	+	1	.	.	.	.	.	+	.	.	1	.	.	.	.	1	1	.	1	.	.	.	.	8
<i>Leucanthemum delarbei</i> C. all.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	+	.	+	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	r	7
<i>Biscutella arvensis</i> Call.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	r	.	.	.	.	4
<i>Alchemilla saxatilis</i> D. all.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	3
<i>Coincya monensis s. cheiranthos</i> C. all.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
<i>Festuca billyi</i> C. all.	+	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	3
Festucetalia spadiceae																													
<i>Serratula tinctoria s. monticola</i> C	2	+	2	1	+	1	+	.	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	+	2	2	1	2	2	26
<i>Patzkea paniculata</i> C	4	+	3	2	1	1	.	.	2	3	+	3	3	+	1	4	2	2	1	2	2	3	3	1	r	2	2	25	
<i>Campanula scheuchzeri</i> C	1	.	1	+	1	+	1	1	1	1	1	1	+	+	1	+	1	1	1	+	.	+	1	+	+	+	1	1	24
<i>Dianthus hyssopifolius</i> D	.	+	+	+	+	.	2	.	1	1	+	+	+	.	r	1	1	1	+	+	+	1	+	1	1	2	1	23	
<i>Senecio doronicum</i> C	+	.	.	+	+	2	.	.	.	1	1	1	2	+	.	1	.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	
<i>Crepis conyzifolia</i> C	2	+	+	.	+	.	.	1	2	.	2	+	+	.	r	1	1	1	1	.	1	r	.	.	+	1	+	19	
<i>Jasione laevis</i> C	.	.	2	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.	+	+	+	1	.	+	+	r	.	.	+	r	14
<i>Scorzoneroides pyrenaica</i> D	.	+	.	.	.	r	.	+	.	+	.	.	.	.	r	.	+	.	+	.	.	.	r	.	.	.	r	9
<i>Anemone alpina s. apiifolia</i> C	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	1	.	2	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	4
Compagnes																													
<i>Gentiana lutea</i>	+	1	1	2	1	1	+	+	1	2	1	+	3	+	2	3	2	2	2	1	+	1	1	1	.	+	2	26	
<i>Vaccinium myrtillus</i>	+	1	2	+	2	1	+	2	2	2	1	.	.	1	2	1	1	1	1	+	+	1	2	r	+	1	2	25	
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	+	.	3	2	3	2	+	+	1	.	.	+	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	+	+	3	+	3	3	24
<i>Meum athamanticum</i>	+	.	+	.	.	r	+	+	+	1	1	+	1	1	+	1	1	1	1	r	+	1	+	.	+	1	1	23	
<i>Avenella flexuosa</i>	+	2	+	+	.	2	1	+	+	.	r	+	1	2	.	+	+	+	1	+	.	+	.	+	1	1	+	22	
<i>Potentilla erecta</i>	+	+	+	r	1	.	.	.	1	+	.	2	1	1	1	1	1	1	1	2	+	1	.	+	1	2	1	1	22
<i>Solidago virgaurea</i>	1	+	.	.	1	.	+	.	1	1	+	.	+	2	2	r	+	+	+	+	+	+	r	+	r	+	.	20	
<i>Calluna vulgaris</i>	1	3	.	.	.	+	1	.	.	+	.	2	1	+	1	1	2	1	.	+	2	+	2	.	1	2	+	19	
<i>Campanula glomerata</i>	+	.	.	1	+	.	+	+	+	+	+	r	+	+	+	+	+	+	+	+	1	r	.	+	19
<i>Viola lutea</i>	+	2	.	+	.	1	+	.	+	+	r	1	1	+	.	.	+	+	+	+	.	+	.	.	1	+	1	19	
<i>Agrostis capillaris</i>	+	+	.	.	.	+	+	+	1	1	+	+	.	1	.	1	.	+	1	.	+	+	.	.	+	1	+	18	
<i>Silene vulgaris</i>	.	.	.	.	1	+	2	+	+	1	1	+	.	.	.	+	.	+	1	1	+	1	.	r	+	+	1	18
<i>Bistorta officinalis</i>	.	+	1	+	+	1	+	.	.	1	1	+	.	+	.	.	.	.	+	+	1	r	+	1	+	+	.	18
<i>Hypericum maculatum</i>	.	.	+	+	.	1	+	+	.	2	+	+	.	1	.	.	.	r	1	+	+	1	+	.	2	.	r	17	
<i>Laserpitium latifolium</i>	+	+	+	1	1	+	1	+	1	1	1	+	r	r	.	+	+	15
<i>Lathyrus linifolius var. montanus</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	1	1	+	.	.	+	.	.	+	+	1	.	+	+	+	.	1	+	1	14
<i>Lilium martagon</i>	+	.	.	1	1	+	.	.	.	1	+	r	+	.	r	.	.	.	r	1	.	.	+	.	r	.	.	13	
<i>Galium mollugo agg.</i>	.	+	2	+	1	.	.	.	.	2	.	+	.	+	.	.	+	.	.	.	+	1	2	.	1	.	.	12
<i>Galium pumilum</i>	.	+	.	.	.	.	1	.	+	.	.	+	.	.	.	.	+	+	1	.	+	+	.	.	+	+	+	12
<i>Geranium sylvaticum</i>	.	.	.	1	1	1	1	.	+	.	1	+	.	.	.	.	.	.	+	+	2	.	.	.	.	1	.	11
<i>Lotus corniculatus</i>	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	r	r	+	.	+	+	+	.	r	.	.	10
<i>Vicia orobus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	2	.	.	.	.	r	1	+	2	1	.	.	.	r	2	+	10
<i>Thymus serpyllum s.l</i>	.	.	.	+	.	.	.	1	.	.	+	+	.	.	.	+	+	.	.	+	.	.	1	1	.	.	.	9	
<i>Astrantia major</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	+	.	+	.	.	.	.	2	2	1	1	.	.	.	.	1	1	9
<i>Leontodon hispidus</i>	.	.	1	.	.	.	+	+	+	.	1	.	+	.	.	.	.	1	.	.	+	.	.	.	.	.	.	8
<i>Luzula multiflora</i>	.	+	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	+	+	.	.	.	r	8



École Pratique
des Hautes Études



ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES - PSL
SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

**Caractérisation et analyse intégrée des communautés et complexes de communautés végétales cantaliennes
pour la gestion conservatoire de la biodiversité dans les habitats pastoraux montagnards et subalpins**

Loos Maxime

11 décembre 2024

RÉSUMÉ

Le Cantal, qui est le plus grand volcan d'Europe, n'a pour autant pas eu l'attrait de phytosociologie qu'il aurait mérité. Ce massif, pourtant régionalement important que ce soit par la taille ou l'altitude n'a fait l'objet que d'études partielles et pour certaines séculaires. Ses végétations sont mal connues et principalement appréhendées par comparaison avec les régions voisines. L'objectif de ce mémoire étant d'en réaliser une étude approfondie. Un important échantillonnage a été réalisé dans toutes les conditions environnementales du massif. Bien que toutes les analyses n'aient pu être menées à bien, les résultats ont permis améliorer significativement notre compréhension des formations à hautes herbes, de genêtiers ou de lisières.

Ces travaux, fondés sur une méthodologie rigoureuse et reconnue par la communauté scientifique, ont permis de distinguer les différentes associations végétales sur la base d'analyses statistiques, plus particulièrement végétations de hautes herbes et mégaphorbaies, genêtiers à Genêt purgatif et ourlets de lisières et de les relier à leurs facteurs écologiques. Leurs résultats ont apportés de nouvelles connaissances taxinomiques, écologiques, dynamiques et chorologiques des végétations ; non seulement pour le Cantal, mais aussi pour les massifs voisins.

Afin d'étudier l'ensemble des autres végétations mésophiles orcantaliennes, une classification phytosociologique provisoire a été établie, intégrant les résultats d'analyses, l'expérience empirique et la bibliographie existante. Elle englobe aussi les végétations agropastorales de pelouses ou prairies, les fourrés et les forêts montagnardes. Cette limite d'étude comprise, il est désormais possible d'appréhender les végétations à l'échelle du massif. C'est pourquoi, une partie de ce mémoire est consacrée à une esquisse des séries et géoséries de végétations, préalable à une étude future plus approfondie.

En somme, cette étude constitue une avancée significative dans la connaissance de la végétation des monts du Cantal. Les résultats obtenus, bien que partiels, ouvrent de nouvelles perspectives pour la compréhension et la gestion de cet environnement.

MOTS-CLÉS : Cantal, végétations, phytosociologie, montagne, analyses numériques, classification