Université de Mons-Hainaut
Service de Zoologie
-
Réserve naturelle de la Vallée d'Eyne

Rapport de recherche

Ecologie des bourdons (Hymenoptera, Apidae) de la commune d'Eyne (France, Pyrénées-Orientales)

Par Stéphanie Iserbyt

Promoteur
Prof. P. Rasmont

Octobre 2000

Iserbyt, S., 2000. *Ecologie des bourdons (Hymenoptera, Apidae) de la commune d'Eyne (Pyrénées-Orientales, France).* Mémoire de Licence, Université de Mons-Hainaut, 98 pp. + 1 planche.

Résumé: Des travaux antérieurs sur la faune de bourdons des Pyrénées-Orientales ont révélé une grande richesse spécifique. Parallèlement, la grande diversité botanique de la région est reconnue depuis le XVIII^{ème} siècle. Cette dernière a d'ailleurs permis le classement du vallon d'Eyne comme réserve naturelle en 1993. Un rapport préliminaire sur la faune de bourdons (*Bombus* Latreille) de la réserve d'Eyne indique la présence de 30 espèces de bourdons dans le vallon.

Un total de 3328 spécimens a été pris en compte dont 3095 sont issus de récoltes effectuées au cours d'un voyage d'études à Eyne en juillet 1999. 30 espèces sont présentes dans cet échantillon, dont deux nouvelles espèces à ajouter au patrimoine historique de la commune. 32 espèces de bourdons sont donc maintenant connues pour la commune d'Eyne. Les données collectées confirment la grande diversité et l'originalité d'Eyne (20,18 km^2) par rapport à des territoires de superficie plus vaste (Gembloux, Larzac et France). Pour certaines espèces rares, la contribution des données d'Eyne représente une part importante par rapport aux effectifs collectés en France.

La distribution des espèces semble corrélée essentiellement aux genres de plantes butinées et secondairement à la physionomie végétale, la typologie d'habitat CORINE et l'altitude.

L'influence relative de chacune des variables varie selon l'espèce considérée. La présence de nombreux paramètres tels que l'altitude, le climat, les vents et la flore induisent l'existence de nombreux microhabitats. Cette diversité ainsi que l'instabilité climatique semblent être les éléments prépondérants qui expliquent la grande diversité faunique des bourdons à Eyne. L'influence des vents et l'étagement en altitude ne semblent jouer qu'un rôle secondaire ou indirect.

Mots-clés: *Bombus*, écologie, biodiversité, Pyrénées, Eyne.

Remerciements

Je tiens à remercier par ces quelques lignes, toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration du présent travail.

Je remercie tout particulièrement le Professeur P. Rasmont, pour ses conseils judicieux et sa constante attention.

Je remercie Messieurs A. Bousquet (Maire d'Eyne), M. Baracetti (gestionnaire de la réserve d'Eyne) pour leur accueil chaleureux et les moyens techniques mis à notre disposition lors du voyage d'étude à Eyne.

Je tiens à remercier les Professeurs M. Dufrêne et J.-C. Verhaeghe pour leurs conseils avisés, ainsi que pour m'avoir aidée à ne pas m'égarer dans les méandres statistiques.

Que tous ceux qui m'ont aidée lors des récoltes sur le terrain reçoivent ici toute ma gratitude. Je pense ici surtout à E.-A. Durieux, J.-F. Godeau et la famille du Professeur P. Rasmont.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Messieurs Dr. Y. Barbier, E. Druart et M. Terzo pour leur contribution dans l'élaboration de ce travail.

Un remerciement tout particulier à X. Simon dont l'aide et le soutien logistique ont souvent été précieux.

Que toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail et que je n'ai pas cité ici sachent que je ne les oublie pas et que je les remercie.

"Pour l'amateur de plantes alpines, la Cerdagne représente (…) un pays privilégié de haute montagne. (…) Le botaniste y trouve une source de documents inépuisables, l'amateur une flore riche et variée, le rocailleur son propre idéal."

R. Fritsch, 1965.

Table des matières

1. INTRODUCTION 1

1.1. CADRE GÉOGRAPHIQUE 2

1.1.1. Localisation *2*
1.1.2. Géographie physique *3*
1.1.2.1. Relief 3
1.1.2.2. Hydrographie 4
1.1.2.3. Aperçu géomorphologique 5
1.1.2.4. Climat 5

1.2. VÉGÉTATION 7

1.3. CADRE SYSTÉMATIQUE 9

1.4. DIVERSITÉ DE LA FAUNE DE BOURDONS D'EYNE 10

1.5. DISTRIBUTION BIOGÉOGRAPHIQUE DES BOURDONS 12

1.6. GUILDE ÉCOLOGIQUE DES ESPÈCES DE BOURDONS 14
a. Classification écologique selon Pittioni-Schmidt (1942), Moczar (1953), Dylewska (1957) 16
b. Classification écologique selon Reinig (1970) 18
c. Classification écologique selon Rasmont (1988) 19
d. Selon d'autres auteurs 20

2. BUTS DU TRAVAIL 21

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES 22

3.1. ORIGINE DES DONNÉES 22

3.2. PRÉCISION DES DONNÉES 23

3.2. IDENTIFICATION DES SPÉCIMENS 25

3.3. HERBIER 25

3.4. GESTION DES DONNÉES - CARTOGRAPHIE 28

3.5. MÉTHODE D'ESTIMATION DE LA DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE 30

3.6. TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNÉES 31

4. RÉSULTATS 33

4.1. DIVERSITÉ DE LA FAUNE DES BOURDONS 33
4.1.1. A l'échelle locale *33*
4.1.2. A l'échelle nationale *35*
4.1.3. Indice de diversité *36*

4.2. ESPÈCES SATELLITES ET ESPÈCES PRINCIPALES 38

4.3. GROUPES ÉCOLOGIQUES 39
4.3.1. Répartition des bourdons en fonction de l'altitude *39*
4.3.2. Cartes de distribution *45*
4.3.3. Répartition des bourdons en fonction de la physionomie végétale *53*
4.3.4. Détermination des affinités écologiques *54*
4.3.4.1. Analyse canonique des correspondances 55
1. Décomposition de la variance 55

2. Résultats de l'ACC 58
4.3.4.2. Indval 64
4.3.4.3. Corrélations de Pearson 66

5. DISCUSSION 74

5.1. DIVERSITÉ D'EYNE 74

5.2. L'ORIGINE DU PEUPLEMENT 75

5.3. LE CLIMAT 76
5.3.1. Les vents *76*
5.3.2. Instabilité climatique *76*

5.4. DIVERSITÉ DES HABITATS 77
5.4.1. L'altitude *78*
5.4.2. Contribution de chacune des variables structurant la faune *79*
5.4.2.1. La physionomie végétale 79
5.4.2.2. Les plantes butinées 80
5.4.2.3. Typologie CORINE 80
5.4.3, Relations espèces-habitats *81*

5.5. CONSERVATION DU PATRIMOINE FAUNIQUE 82

6. CONCLUSION 83

7. BIBLIOGRAPHIE 84

ANNEXE I
RELATION ENTRE LA SUPERFICIE ET LE NOMBRE D'ESPÈCES DE BOURDONS 89

ANNEXE II
ASSOCIATIONS VÉGÉTALES RECONNUES À EYNE PAR BRAUN-BLANQUET (1948) 90

ANNEXE III
LISTE DES SOUS GENRES, DES ESPÈCES ET DES SOUS ESPÈCES DE BOURDONS À EYNE 91

ANNEXE IV
LISTE DES 47 CODES CORINE ÉTABLIE SUR L'ENSEMBLE DE LA COMMUNE D'EYNE 92

ANNEXE V
PROJECTION DES ESPÈCES SUR LES 4 AXES CANONIQUES (ACC) 93

ANNEXE VI
PROJECTION DES FACTEURS ÉCOLOGIQUES SUR LES 4 AXES CANONIQUES (ACC) 94

ANNEXE VII
PROJECTION DES STATIONS SUR LES 4 AXES CANONIQUES (ACC) 95

ANNEXE VIII
PROJECTION DES 176 STATIONS SUR LES 2 PREMIERS AXES CANONIQUES (ACC) 96

1. Introduction

Les bourdons (*Bombus* Latreille) ont fait l'objet de nombreuses études écologiques d'envergure en Europe: Autriche (Pittioni & Schmidt, 1942), Scandinavie (Löken, 1973 1984), Iles britanniques (Alford, 1975 et bien d'autres), Espagne (Ornosa Gallego, 1984), sud-est de l'Europe (Reinig, 1970). Si on prend en considération la richesse spécifique du genre *Bombus*, la France est l'un des pays qui présente la plus grande diversité avec 46 espèces (Annexe I). Cependant peu d'auteurs (Pérez, 1890; Kruseman, 1958; Delmas, 1976; Rasmont, 1988) ont discuté de la faune de bourdons des Pyrénée orientales. D'après Rasmont (1989) et Rasmont *et al.* (en préparation), la Cerdagne (Pyrénées-Orientales) est dans l'Ouest Paléarctique, l'une des régions qui présente la plus grande diversité. Ainsi Rasmont (1989) y a répertorié 34 espèces de *Bombus* dans le seul carré UTM de Mont-Louis (10 x 10 km²).

Dans un rapport préliminaire sur la faune des bourdons des Réserves de la Massane et du Vallon d'Eyne (Pyrénées-Orientales), Rasmont (1998) a indiqué la présence de 30 espèces de bourdons dans la seule vallée d'Eyne. Cette concentration importante sur une si faible superficie est à l'origine du présent travail.

Pourquoi s'intéresser à l'écologie du genre *Bombus* (Hymenoptera, Apidae) en particulier? Les bourdons sont l'un des groupes de pollinisateurs les plus importants dans les écosystèmes continentaux froids (Rasmont, 1988). Indicateur de la qualité ou de la banalité écologique, ce genre n'est pas sans intérêt. A l'heure où l'on prend conscience que la richesse naturelle réside dans la biodiversité, il est intéressant de connaître les causes de la richesse spécifique. La diversité d'habitats présents sur la petite superficie de la commune d'Eyne (Braun Blanquet, 1948) a été la raison majeure de son classement en réserve naturelle. La richesse de la faune de bourdons est-elle à mettre en relation avec la diversité d'habitat ?

1.1. Cadre géographique

1.1.1. Localisation

Le massif pyrénéen constitue la barrière naturelle entre la France et l'Espagne (fig. 1). A l'est, où les Pyrénées descendent vers la Méditerranée, le département des Pyrénées-Orientales comporte des sommets moins élevés que ceux des Pyrénées Centrales (Carlit 2921m, Puigmal 2910m, Canigou, 2784m).

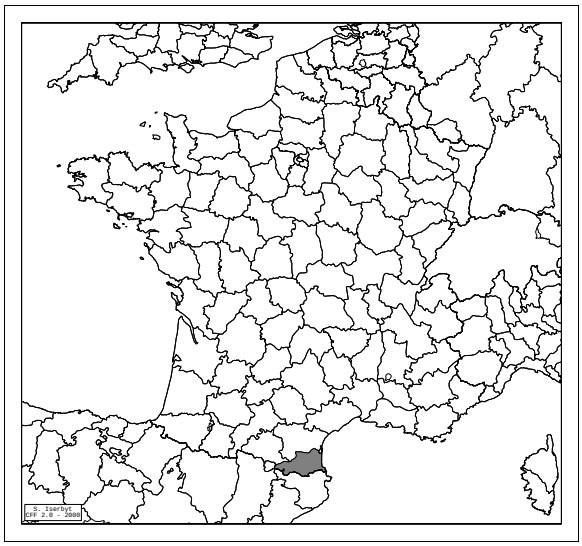

Figure 1. Localisation du Département des Pyrénées-Orientales (en grisé).

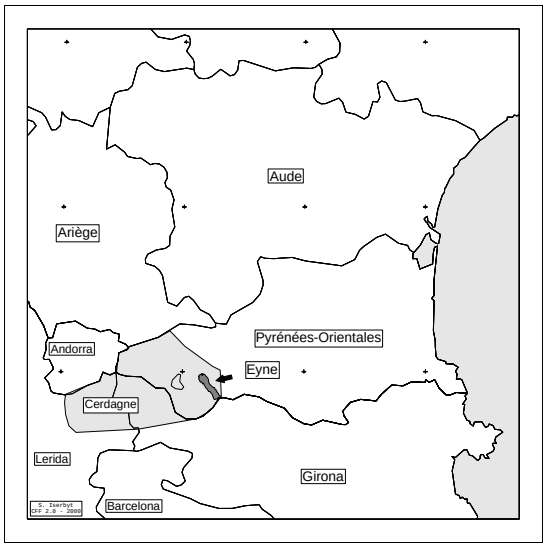

Figure 2. Département des Pyrénées-Orientales. En grisé, la Cerdagne, en gris foncé, la commune d'Eyne.

Au sud-ouest du département, à cheval sur la frontière espagnole, se situe la région de la Cerdagne. Ce bassin, à environ 1200m d'altitude, appartient au sytème hydrographique du Sègre.

Au sud-est de la Cerdagne, perpendiculairement à la frontière espagnole, délimitée par des crêtes, se trouve la Vallée d'Eyne (Réserve naturelle) (fig. 2). Pointant vers le nord-ouest, elle descend vers le village, l'ensemble formant le territoire de la commune d'Eyne (fig. 3).

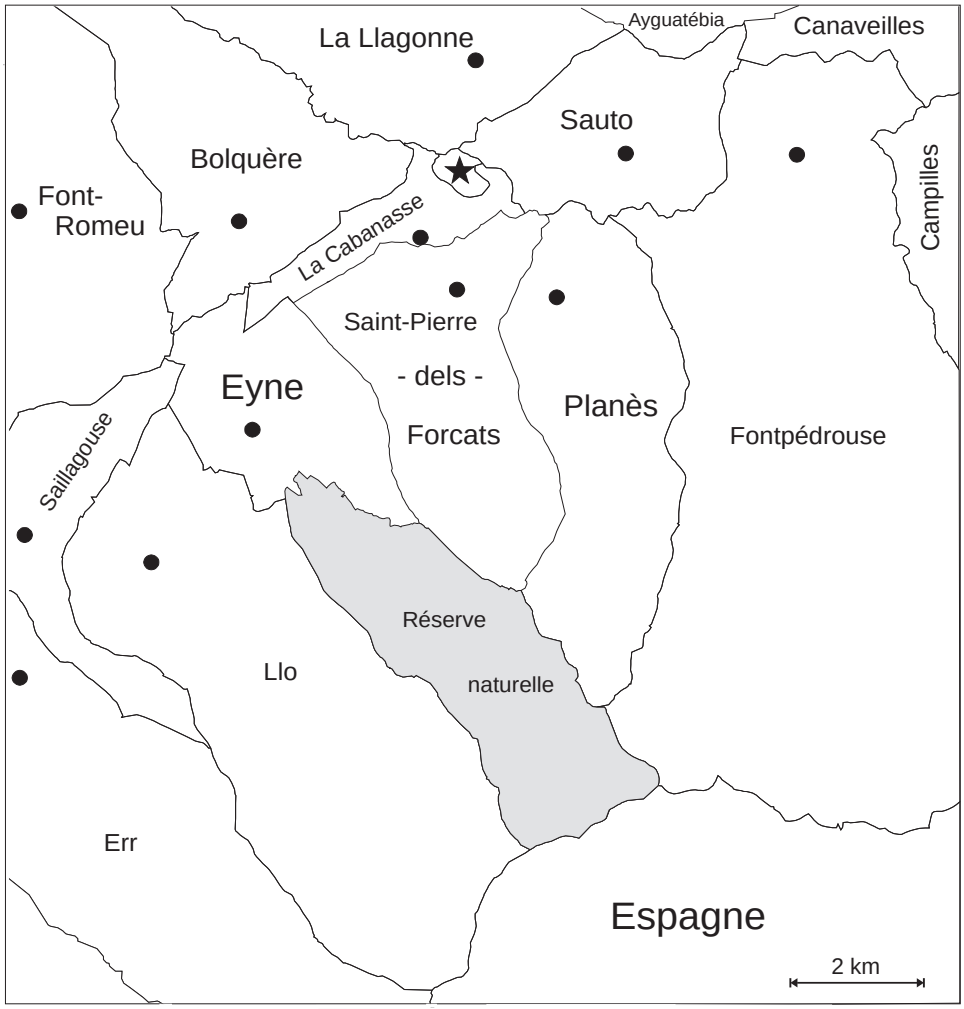

Figure 3. Commune d'Eyne: communes limitrophes et réserve naturelle d'Eyne. Les points figurent les agglomérations, l'étoile symbolise la commune de Mont-Louis. Carte originale.

1.1.2. Géographie physique

1.1.2.1. Relief

Sur un plateau vallonné, long de 3 km, la zone cultivée du village s'échelonne entre 1450 et 1750m (pente approximative de 10%). Quant à la réserve naturelle, elle s'élève de 1650m à l'entrée du vallon pour culminer à 2850m à la Torre d'Eina. Longue de 7 km pour un dénivelé total de 1200m, on peut estimer que la pente moyenne est de 170m par km (soit 17%). Limitée naturellement par ses lignes de crêtes, la réserve présente les points culminants suivants: Pica del Quer 2288m, Puig de Finestrelles 2827m, Pic del coll d'Eina 2794m, Coll d'Eina 2683m, Pic d'Eina 2786m, Torre d'Eina 2850 et Cambre d'Ase 2711m.

1.1.2.2. Hydrographie

Faisant partie du bassin supérieur du Sègre (fleuve espagnol) qui prend sa source dans la vallée voisine de Llo, le vallon d'Eyne appartient à la basse Cerdagne (par opposition à la haute Cerdagne, bassin supérieur de la Têt). Des versants de la vallée jaillissent de nombreuses sources qui grossissent le torrent naissant du Coll d'Eina (l'Ebre) pour se jetter dans le Sègre (fig. 4).

Le régime hydrologique est de type nivo-pluvial.

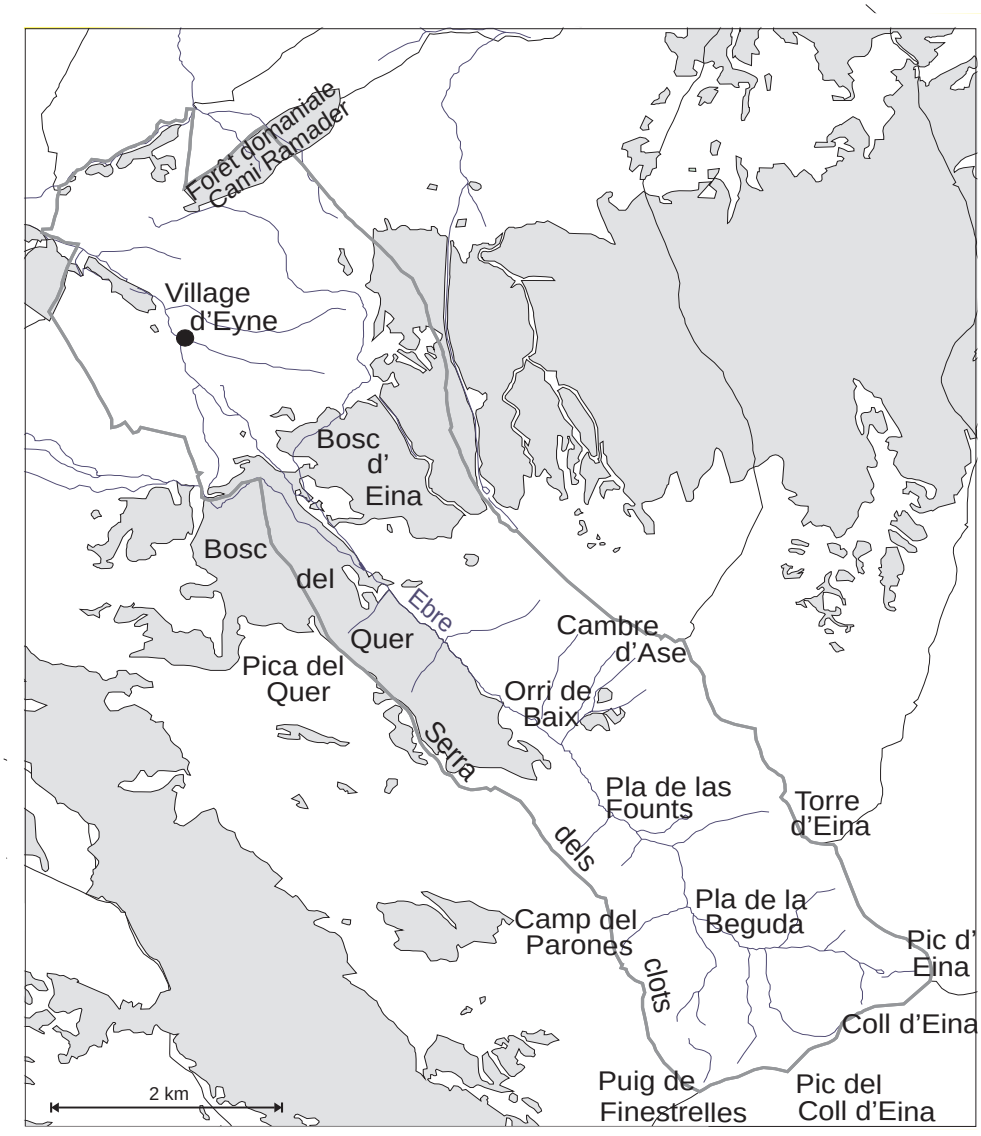

Figure 4. Commune d'Eyne: hydrographie et principaux lieux-dits de la réserve. En grisé, la forêt. Carte originale.

1.1.2.3. Aperçu géomorphologique

Au contraire d'un grand nombre de vallées de la Cerdagne (Saint-Pierre-dels-Forcats, Planès,…), la vallée d'Eyne orientée nord-ouest ne présente aucune trace de glaciations. Le fond du vallon par ses pentes d'éboulis suggère l'existence de phénomènes de cryoturbation. En effet, l'alternance de gel et de dégel libère d'énormes pierriers (granites et gneiss) roulant des crêtes vers le fond du vallon. Les schistes couvrent les hautes crêtes frontalières. La présence d'affleurements calcaires à la Cambre d'Ase est révelée par l'existence de plantes calcicoles (Braun-Blanquet, 1948). Par ses fortes pentes, ses affleurements rocheux et l'intensité des phénomènes de cryoturbation, la vallée contraste avec le village. Ce dernier a été peu influencé par les phénomènes de cryoturbation; il se présente comme un plateau vallonné avec peu d'affleurements rocheux. A ce niveau, des terrasses alluvionnaires sont favorables aux cultures.

1.1.2.4. Climat

La station météorologique de référence est située à Saillagousse (1293m d'altitude, à 4 km d'Eyne). On y a relevé une température moyenne annuelle de 9,8°C. Les températures saisonnières moyennes varient de 1,4°C en hiver à 15,7°C en été. Les températures extrêmes peuvent atteindre –22,5 à –30°C en hiver et jusqu'à 30 voire 32°C en été. Ainsi l'amplitude maximale de température calculée par le coefficient thermique de Viers (1971; cité par Amigo & Berlic, 1984) est de 57,5°C à Eyne.

Les précipitations moyennes annuelles sont comprises entre 683,2 mm d'eau calculées à l'altitude du village et 1033,5 mm d'eau calculées à l'altitude du Cirque (2050m),

Cette pluviosité est bien plus faible que dans les Pyrénées-Occidentales ou Centrales, ce qui est le résultat d'influences méditerranéennes marquées.

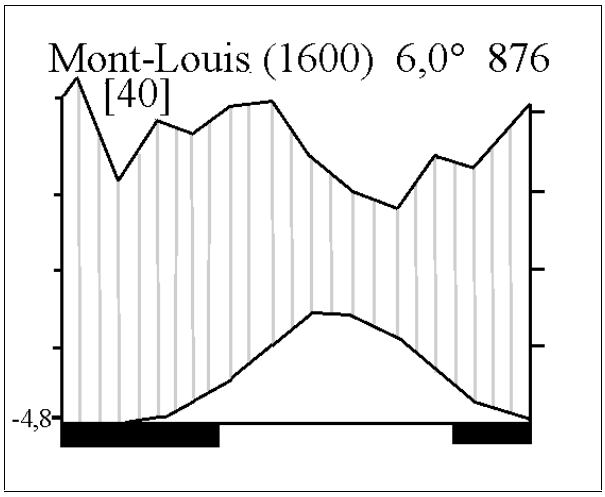

Figure 5. Diagramme ombrothermique à Mont-Louis (d'après Walter & Lieth, 1960)

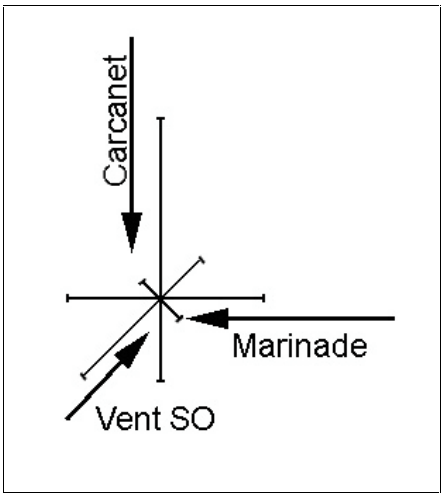

Figure 6. Rose des Vents à Mont-Louis (d'après la Carte de Végétation n° 78: Perpignan, 1970)

Le diagramme ombrothermique de Mont-Louis (fig. 5) renseigne sur le climat au voisinage immédiat d'Eyne: maritime (fortes pluviosités et basses températures hivernales prolongées) avec cependant des influences méditerranéennes (chaleurs estivales plus ou moins marquées).

Toutefois en haute montagne, de nombreux facteurs modifient localement le climat:

- les vents dominants: - Tramontane, vent froid et sec soufflant du nord-ouest; Carcanet, vent froid et sec soufflant du nord; Marinade, vent froid et humide soufflant de l'est; vent atlantique, chaud et sec soufflant du sud-ouest (fig. 6);
- les effets de versants;
- les zones plus ou moins abritées;
- la nébulosité;
- la nivosité (persistance plus ou moins longue des névés).

Tous ces éléments engendrent des microclimats influençant aussi bien la faune que la flore.

1.2. Végétation

Les précipitations, le relief et les températures conditionnent les différentes zones de végétation (fig. 7). Les 3 zones en présence sur le territoire étudié sont :

- les prés de fauche de montagne au niveau du village (1450-1650m);
- la végétation (forêt, lande et pelouse) de la série climacique de *Pinus uncinata* au niveau de l'étage subalpin (1650-2500m);
- les pelouses rases d'éboulis et de crêtes au niveau de l'étage alpin (2500-2850m).

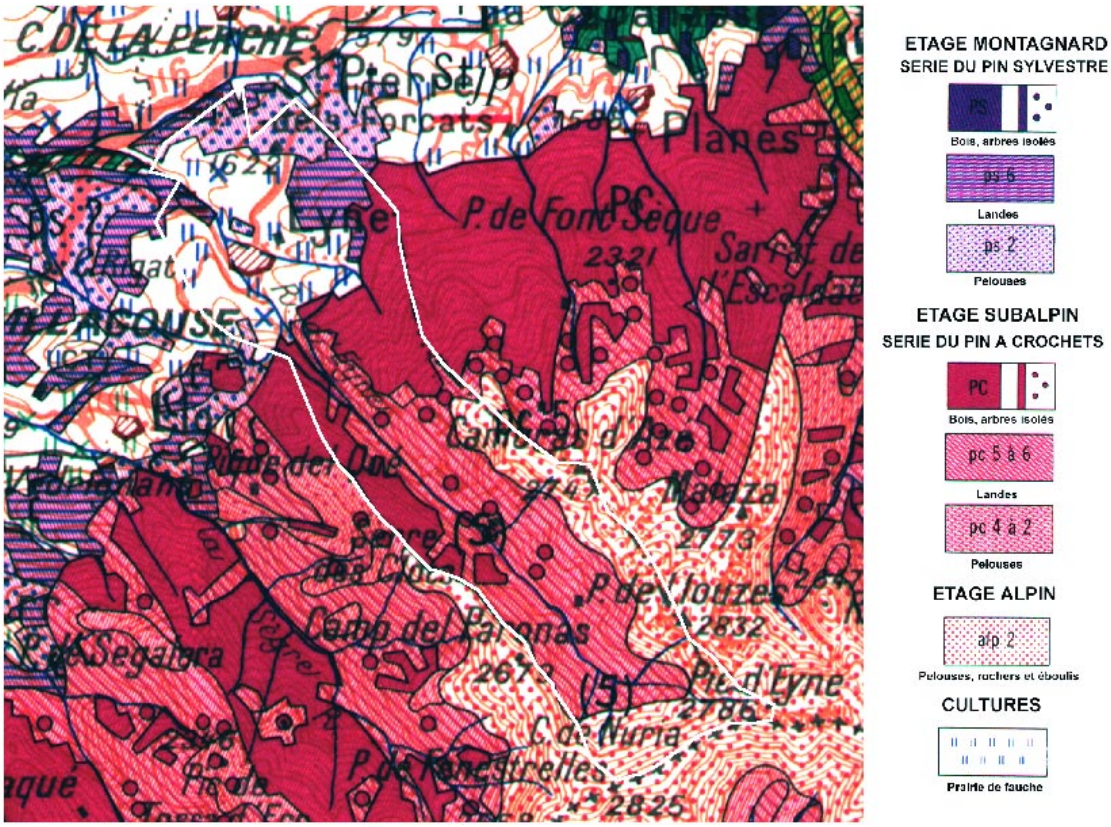

Figure 7. Carte de végétation (d'après la Carte de Végétation n° 78: Perpignan, 1970).

La vision du paysage tel qu'énoncé ci-avant peut sembler sommaire. Une observation plus poussée laisse apparaître une mosaïque de végétation. Les prés de fauche très fleuris entourent le village (Photo 1). Après les cultures et les prairies, en montant dans la vallée, on rencontre la forêt climacique à *Pinus uncinata*.

Les versants forestiers de la vallée diffèrent par leurs sous-bois et leur densité:

- Bosc d'Eina: forêt claire exposée au nord-est à sous-bois de *Vaccinium Myrtillus* et *Melampyrum pratense;*

- Bosc del Quer: forêt plus dense exposée au sud-ouest à sous-bois de *Rhododendron ferrugineum* (Photo 2).

Plus loin dans le vallon, apparaissent des groupements en mosaïque constitués de moins en moins de ligneux hauts (pinèdes) et de plus en plus de ligneux bas (ex.: rhodoraie) et de plantes herbacées. Le contraste entre les deux versants est accentué par la présence des landes à *Rhododendron ferrugineum* en ombrée et de l'association *Juniperus nana-Cytisus purgans* en soulane. Cette différence de végétation est due à un ensoleillement inégal des versants orientés sud-ouest et nord-est. Plus haut encore, les replats et les pelouses rases et rocailleuses servent de reposoir pour les troupeaux (Pla de la Beguda, Pla de las founts, Orri de Baix, Orri de Dalt) (Photo 3). En ces lieux une telle concentration de bétail n'est pas sans incidence sur la physionomie végétale. Ces sites de pâturage peuvent être le lieu de développement de plantes nitrophiles (*Urtica dioica*, *Veratrum album*,… au niveau de l'Orri de Baix). La différence est grande entre la zone forestière et les pierriers du fond du vallon. Vu de loin, ce dernier donne seulement l'impression de vastes éboulis stériles (Photo 4). Toutefois, de plus près, ces éboulis abritent une végétation peu fournie mais florissante et diversifiée (Photo 5).

Au bas du Cirque, une tourbière s'étend à la confluence des sources qui jaillissent des versants. Le long du torrent naissant (Ebre) une végétation riche, abondante et particulière s'installe. Par exemple, les espèces *Aconitum vulparia*, *Aconitum mapellus*, *Delphinium montanum* et *Trollius europaeus* se distribuent le long du ruisseau.

Dès le XVIII^{eme} siècle, cette région a été étudiée pour sa grande richesse botanique (Gouan *et al.*, 1767; cité par Amigo & Berlic, 1984). On y relève la présence d'une vingtaine d'espèces endémiques, rares et parfois protégées (*Senecio leucophyllus, Xatartia scabra, Lilium martagon*, ...). Du fait de cette richesse floristique, la vallée a été classée comme réserve naturelle depuis le 18 mars 1993. La flore présente dans le vallon comporte environ 500 espèces, pour 19 codes CORINE inventoriés par M. M. Baracetti et ses collaborateurs.

Le Code CORINE émane de la Directive européenne 'Habitat' (92/43/CEE) et est un outil de travail élaboré pour répertorier les habitats. Chaque habitat ainsi désigné se voit attribuer un code hierarchisé, identique à l'échelle de la communauté européenne. Par exemple: la Forêt montagnarde de *Pinus uncinata* a pour code 424. La forêt montagnarde de *Pinus uncinata* à sous bois de *Rhododendron ferrugineum* a

pour code 42413. La liste de l'ensemble de ces codes CORINE est soumise à un comité qui désigne les sites les plus intéressants pour leur rareté et leur richesse. Après épuration, les habitats à conserver seront retenus pour former un réseau d'habitat cohérent au niveau européen: le réseau Natura 2000.

Braun Blanquet (1948) a inventorié 26 associations végétales présentes dans la vallée d'Eyne (Annexe II). Son étude phytosociologique tient compte de la nature du sol (calcaire, siliceux....) mais aussi du type de physionomie de l'endroit (pelouse, pierrier, lande, marais,...).

1.3. Cadre systématique

La faune de bourdons d'Eyne se compose de 20 sous-genres différents (tab. 1a) (Delmas, 1976; Rasmont, 1998). Parmi ceux-ci, chaque sous-genre comporte des espèces exclusivement inquilines. A l'opposé des autres taxons, les contraintes écologiques qu'ils subissent dépendent très fortement des structures sociales de leurs hôtes. Ces espèces inquilines sont toutes des parasites sociaux des colonies d'autres *Bombus* (tab. 1b). Les femelles, qui ne produisent pas d'ouvrières, envahissent le nid de l'hôte et y pondent leurs œufs. Ceux-ci sont élevés et nourris par les ouvrières de ce nid. Leur mode de vie et leurs affinités écologiques diffèrent donc notamment de ceux des autres bourdons (Heinrich, 1979). On a choisi de ne pas considérer ces taxons inquilins pour la discussion à l'exception de l'approche écologique (leur *preferendum* d'altitude).

Tableau 1a. Sous-genres de bourdons (*Bombus*), classés en inquilines obligatoires et autres

	Sous-genre		Sous-genre
Inquilines	*Psithyrus*	Autres	*Confusibombus*
	Allopsithyrus		*Mendacibombus*
	Aschtonipsithyrus		*Bombus*
	Metapsithyrus		*Alpigenobombus*
	Fernaldaepsithyrus		*Pyrobombus*
			Melanobombus
			Cullumanobombus
			Kallobombus
			Megabombus
			Subterraneobombus
			Rhodobombus
			Thoracobombus

Tableau 1b. Hôtes des différents *Psithyrus* présents à Eyne d'après Löken (1984) et Rasmont *et al.* (en préparation)

Gr. Psithyrus	Hôtes
Bombus rupestris	*Bombus lapidarius* *Bombus sicheli*
Bombus bohemicus	*Bombus lucorum*
Bombus campestris	*Bombus pascuorum* *Bombus humilis*
Bombus quadricolor	*Bombus soroeensis*
Bombus sylvestris	*Bombus pratorum*
Bombus flavidus	*Bombus monticola* (?) *Bombus pyrenaeus* (?)
Bombus norvegicus	*Bombus hypnorum*

Les (?) indiquent une relation supposée mais pas encore vérifiée.

1.4. Diversité de la faune de bourdons d'Eyne

En 1998, P. Rasmont a inventorié la faune des bourdons d'Eyne et a observé que cette région, malgré sa faible superficie (2018 hectares), était l'une des plus diversifiée de tout l'Ouest Paléarctique.

Si on compare la faune de bourdons d'Eyne à celle de territoires géographiquement plus vastes, on peut voir distinctement que 65% des espèces françaises et 83% des espèces des Pyrénées-Orientales sont présentes à Eyne (tab. 2).

Actuellement, les causes de cette diversité restent hypothétiques.

Tableau 2. Diversité spécifique d'Eyne comparée à des territoires plus vastes

Espèces	France	Pyrénées-Orientales	Cerdagne	Eyne ** avant 1999
Bombus terrestris (L.)	11064	515	53	6
Bombus pascuorum (Scopoli)	7629	509	238	38
Bombus lapidarius (L.)	6149	477	277	53
Bombus lucorum (L.)	3792	526	269	84
Bombus ruderarius (Müller)	3564	1139	936	285
Bombus pratorum (L.)	2950	405	178	68
Bombus hortorum (L.)	2864	562	323	106
Bombus ruderatus (Fabricius)	2772	56	34	2
Bombus soroeensis (Fabricius)	2721	506	290	91
Bombus humilis Illiger	2463	273	165	26
Bombus wurflenii Radoszkowski	2340	464	188	76
Bombus sylvarum (L.)	2073	176	141	32
Bombus mesomelas Gerstaecker	1469	356	325	97
Bombus sicheli Radoszowski	1440	407	268	126
Bombus sylvestris (Lepeletier)	1301	313	210	120
Bombus bohemicus Seidl	1061	262	159	85
Bombus rupestris (Fabricius)	1040	160	122	44
Bombus pyrenaeus Pérez	1024	246	159	116
Bombus pomorum (Panzer)	904	-	-	-
Bombus magnus Vogt	837	49	9	-
Bombus subterraneus (L.)	819	155	146	33
Bombus mendax Gerstaecker	766	87	35	23
Bombus mucidus Gerstaecker	632	162	140	16
Bombus hypnorum (L.)	595	37	16	7
Bombus cryptarum (Fabricius)	594	-	-	-
Bombus argillaceus (Scopoli)	435	-	-	-
Bombus (Allopsithyrus) sp.	423	24	18	3
Bombus confusus Schenck	385	68	56	6
Bombus monticola Smith	379	153	47	3
Bombus brodmannicus (Vogt)	367	-	-	-
Bombus campestris (Panzer)	364	62	28	4
Bombus jonellus (Kirby)	309	1	-	-
Bombus vestalis (Fourcroy)	306	-	-	-
Bombus veteranus (Fabricius)	292	-	-	-
Bombus muscorum (L.)	246	19	-	-
Bombus gerstaeckeri Morawitz	244	143	106	38
Bombus quadricolor (Lepeletier)	217	87	57	42
Bombus flavidus Eversmann	201	143	50	30
Bombus mocsaryi Kriechbaumer	163	1	1	-
Bombus barbutellus (Kirby) *	144	1	-	-
Bombus maxillosus (Klug) *	105	-	-	-
Bombus inexspectatus (Tkalcü)	98	-	-	-
Bombus alpinus (L.)	94	-	-	-
Bombus norvegicus (Sparre Schneider)	91	16	2	-
Bombus cullumanus (Kirby)	87	5	5	3
Bombus distinguendus (Morawitz)	38	-	-	-
Nombre total de spécimens	**67851**	**8565**	**5051**	**1663**
Nombre d'espèces	**46**	**36**	**33**	**30**

* Les espèces *Bombus maxillosus* et *Bombus barbutellus* n'ont pas été identifiées plus précisément que le niveau du sous-genre (*Allopsithyrus*), que ce soit dans les Pyrénées-Orientales ou à Eyne.

** Les données sont relatives aux collectes effectuées par Delmas (entre 1960 et 1975) et Rasmont (entre 1978 et 1998).

1.5. Distribution biogéographique des bourdons

Toutes les espèces de bourdons ne sont pas présentes partout et dans tous les milieux. Selon ses exigences écologiques (la capacité à coloniser les milieux, la présence de compétiteurs) et surtout son histoire (la région d'apparition, les crises comme les glaciations) chaque espèce possède une aire de distribution propre. On peut néanmoins reconnaître l'existence de plusieurs grandes distributions géographiques (tab. 3).

La distribution des espèces eurosibériennes (ES) s'étend dans la partie Nord de la région Paléarctique, des côtes atlantiques aux rivages du Détroit de Bering. Les espèces *B. humilis*, *B. sylvarum* et *B. subterraneus* sont des espèces eurosibériennes dites "sèches".

La distribution des espèces méditerranéennes étendues (Me) s'étend dans toute l'Europe, de la partie nord-ouest de l'Afrique (Maghreb) jusqu'au sud de la Scandinavie vers le nord.

La distribution des espèces atlantiques (A) est centrée sur le détroit de Gibraltar avec éventuellement des expansions vers l'est du continent européen.

La distribution des espèces médioeuropéennes (ME) n'a pas été proposé par De Lattin (1967), il parle d'espèces Adriato-ponto-méditerranéenne ou d'espèces caspiennes. Cette distribution résulte soit de l'expansion vers l'ouest de l'aire caspienne, soit de l'étirement vers l'est de l'aire pontoméditerranéenne. Ce sont des espèces originaires d'Europe centrale (entre l'Espagne et les Etats baltes).

La distribution des espèces montanes (M) résulte d'une répartition des espèces en fonction de l'altitude. C'est ainsi que l'on observe la présence d'une répartition disjointe d'un massif de montagnes à l'autre.

La distribution des espèces boréomontanes (BM) a une répartition Artico-alpine (De Lattin, 1967).

Tableau 3. Type de distribution des espèces de bourdons collectées à Eyne par Delmas (entre 1960 et 1975)

	ME	ES	M	Me	A	BM
B. confusus	+					
B. soroeensis	+					
B. quadricolor	+					
B. bohemicus		+				
B. campestris		+				
B. hortorum		+				
B. humilis		+				
B. hypnorum		+*				
B. subterraneus		+*				
B. sylvarum		+				
B. lucorum		+				
B. norvegicus		+				
B. pascuorum		+				
B. pratorum		+				
B. ruderarius		+				
B. rupestris		+				
B. sylvestris		+				
B. gerstaeckeri			+			
B. mendax			+			
B. mesomelas			+			
B. mucidus			+			
B. pyrenaeus			+			
B. magnus					+	
B. cullumanus					+	
B. flavidus						+
B. wurflenii						+
B. monticola						+
B. sicheli						+
B. ruderatus				+		
B. lapîdarius				+		
B. terrestris				+		

Pour la signification des abréviations, voir texte.

Une région peut-être caractérisée soit par la présence des différentes espèces de bourdons, soit par l'appartenance de ces espèces à des distributions biogéographiques classiques (De Lattin, 1967).

1.6. Guilde écologique des espèces de bourdons

L'altitude et les facteurs écologiques jouent un rôle déterminant sur la relation entre les espèces de bourdons et leurs habitats. Les *preferendum* écologiques des bourdons variant d'une espèce à l'autre, elles occupent différents milieux. Il est possible de les regrouper sur base de leurs affinités écologiques.

Parmi les facteurs écologiques, l'altitude a été souvent pointée comme descripteur de la distribution des espèces de bourdons. De nombreux auteurs ont notifié la gamme d'altitude de chacune des espèces présentes dans leurs sites d'observation (tab. 4).

Tableau 4. Distribution en fonction de l'altitude des espèces de bourdons selon divers auteurs

Espèces	Rasmont		Ornosa Gallego	Reinig	Comba	De Beaumont	Amiet
	1988	1998, 80%	1984	1970	1960	1958	1977 & 1996
B. confusus	460-1159		411-820				
B. hortorum	150-2450	245-1495		600-2350	inf.2000m	<2300	<600 - >1000
B. humilis	74-1900	349-1200	610-2000	500-1700		<2000	<600 - >1000
B. hypnorum	550-2050		1250-1580	1200-1500		<2000	<600 - >1000
B. gerstaeckeri	1800-2000	1570-2000				<1900	
B. lapidarius	21-2690	150-1160	800-1840	600-2350	600-900	<2000	<600 - >1000
B. lucorum	120-2780	550-1450	900-2800	900-2800	1400-1600	<2500	<600 - >1000
B. magnus	550-2620	825-1500	0-1400				
B. mendax	1800-2700		1400-2060			1600-2700	
B. mesomelas	1100-2700	1450-2700	1242-2200	1600-2600			>1000
B. monticola	1400-2650	1990-2420	1400-2500				
B. mucidus	1050-2600	1500-2600	1400-2500		1400-2000	<2300	
B. pascuorum	0-2000	48-1150	400-1800	600-2300			<600 - >1000
B. pratorum	100-2950	344-1190	1000-1600	1000-2300	1-2200	<2000	<600 - >1000
B. pyrenaeus	1850-2590	1850-2193	1500-2100	1500-2100	1400-2400	<2400	
B. ruderarius	260-2407	648-1990	1000-2100	1000-2600		<2000	
B. ruderatus	8-1159	59-520					
B. sicheli	1513-2100	1567-2100	1200-1800	1500-2550			
B. soroeensis	575-2600	825-1838	1000-2500	500-2600	1400-1600	<2200	<600 - >1000
B. subterraneus	150-2650	600-1446	1400-2000	580-2300		<1600	600-1000
B. sylvarum	150-2200	260-1200	1000-1600	600-1840		<1600	<600 - >1000
B. terrestris	1-2000	58-900	1800-2100	0-2800	500-900		<600 - >1000
B. wurflenii	1000-2450	1450-2000	1400-2500				

D'après les données d'Amiet (1977 et 1996) en Suisse; Comba (1960) en Allemagne; De Beaumont (1958) en Suisse; Ornosa Gallego (1984) en Espagne; Rasmont (1988) dans le sud de la France (Languedoc-Roussillon); Reinig (1970) en Europe centrale et du sud-est.

Un grand nombre de scientifiques s'est penché sur une classification écologique des espèces.

a. Classification écologique selon Pittioni-Schmidt (1942), Moczar (1953), Dylewska (1957)

Ils reconnaissent les groupes de bourdons suivants (tab. 5):

- les espèces crystalophiles liées aux zones humides de haute montagne;
- les espèces orophiles étroitement liées aux zones sèches de haute montagne;
- les espèces stenök-hylophiles étroitement liées à la forêt;
- les espèces euryök-hylophiles rattachées aux bois et aux lisières;
- les espèces stenök-eremophiles étroitement liées aux pelouses séches;
- les espèces euryök-eremophiles rattachées au pourtour des pelouses séches plus ou moins boisées.

Tableau 5. Classification écologique selon Pittioni-Schmidt (P), Moczar (M), Dylewska (D) d'après Reinig (1970)

Espèces	Crystallophile	Orophile	Hylophile		Zone intermédiaire	Eremophile	
			stenök	euryök	eremophile - hylophile	euryök	stenök
Bombus mesomelas Gestaecker		M P	D				
Bombus pyrenaeus Pérez		P	D				
Bombus pratorum (L.)			M P	D			
Bombus hypnorum (L.)			M P D				
Bombus soroeensis (Fabricius)			M P D				
Bombus wurflenii Radoszkowski			M P D				
Bombus jonellus (Kirby)			D P				
Bombus gerstaeckeri Morawitz			D				
Bombus haematurus Kriechbaumer			D				
Bombus schrencki Morawitz			P				
Bombus sicheli Radoszkowski			P				
Bombus pascuorum (Scopoli)				M P D			
Bombus hortorum (L.)				M P D			
Bombus distinguendus Morawitz				M P D			
Bombus ruderarius (Müller)			D	M P			
Bombus humilis (Illiger)				M P		D	
Bombus lucorum (L.)				M D		P	
Bombus lapidarius (L.)					M P D		
Bombus pomorum (Panzer)					M P D		
Bombus sylvarum (L.)					M P D		
Bombus terrestris (L.)					P	M D	
Bombus muscorum (L.)						M P D	
Bombus ruderatus (Scopoli)						M P D	
Bombus argillaceus (Scopoli)						D	
Bombus subterraneus (L.)				D		M P	
Bombus confusus Schenck				D		M P	
Bombus serrisquama Morawitz						D	
Bombus laesus Morawitz							M P D
Bombus fragans (Pallas)							P D
Bombus zonatus Smith							D
Bombus veteranus (Fabricius)			D				P
Bombus alpinus (L.)	P						

b. Classification écologique selon Reinig (1970)

Reinig (1970) a établi la fidélité entre espèces sur base d'un facteur écologique: la physionomie végétale (tab. 6).

A partir d'une matrice d'effectifs des espèces de bourdons par physionomie végétale, un indice de fidélité entre les espèces a pu être calculé de la manière suivante:

Matrice d'effectif:

	Milieu 1	Milieu 2	Milieu 3
Espèce A			
Espèce B			

Comparaison des espèces deux à deux:

		Espèce A 1	Espèce A 0
Espèce B	1	a	b
	0	c	d

a: nombre de fois où les 2 espèces sont présentes sur l'ensemble des milieux.
b: nombre de fois où l'espèce A est absente mais l'espèce B est présente.
c: nombre de fois où l'espèce B est absente mais l'espèce A est présente.
d: nombre de fois où les 2 espèces sont absentes sur l'ensemble des milieux.

L'indice de fidélité de l'espèce A envers l'espèce B est calculée comme suit :

$$F(A,B)= a / a+c$$

Cette démarche a permis d'introduire le concept de syntopie, c'est-à-dire le regroupement des espèces de bourdons en fonction de la fréquence à laquelle on les retrouve ensemble dans les différents milieux.

Tableau 6. Classification écologique des bourdons selon Reinig

Espèces	Forêts	Lisières	Zone à allure de parc	Milieux ouverts
B. hypnorum	+			
B. pratorum	+			
B. wurflenii		+		
B. pascurorum		+		
B. lucorum		+		
B. terrestris		+		
B. hortorum		+		
B. lapidarius		+		
B. humilis			+	
B. ruderatus			+	
B. ruderarius			+	
B. soroeensis			+	
B. sylvarum			+	
B. pomorum			+	
B. confusus				+
B. laesus				+
B. muscorum				+
B. subterraneus				+
B. veteranus				+

c. Classification écologique selon Rasmont (1988)

Rasmont (1988) a abouti à une classification similaire à celle de Reinig en utilisant une toute autre analyse: l'analyse en composante principale ou ACP. L'ACP permet de résumer la structure d'une matrice de variables écologiques en mettant en évidence les combinaisons linéaires des variables qui expliquent le mieux l'information commune entre celles-ci. Il dégage de cette analyse la présence de classes voire de sous-classes écologiques (tab. 7).

Tableau 7. Classification écologique des bourdons d'après Rasmont (1988)

Espèces	Groupe forestier	Groupe de lisières forestières	Groupe de lisières ouvertes	Groupe de milieux ouverts	Groupe subalpin
B. cryptarum	+				
B. hypnorum	+				
B. jonellus	+				
B. pratorum	+				
B. lucorum	+				
B. soroeensis	+				
B. wurflenii	+				
B. pascurorum		+			
B. magnus		+			
B. ruderarius		+			
B. veteranus		+			
B. hortorum		+			
B. humilis			+		
B. terrestris			+		
B. lapidarius			+		
B. sylvarum			+		
B. pomorum			+		
B. confusus				+	
B. laesus				+	
B. muscorum				+	
B. subterraneus				+	
B. ruderatus				+	
B. cullumanus				+	
B. mendax					+
B. pyrenaeus					+
B. monticola					+
B. scheli					+
B. mesomelas					+
B. mucidus					+
B. gerstaeckeri					+

d. Selon d'autres auteurs

D'autres auteurs se sont basés sur les différents milieux écologiques identifiés par Reinig pour regrouper les espèces de bourdons en fonction de la région ou des pays étudiés (tab. 8)

Tableau 8. Classification écologique des bourdons d'après d'autres auteurs

Espèces	Forêt	Lisière	Terrain ouvert	Subalpin
B. gerstaeckeri	C			
B. sicheli	G			
B. wurflenii	P D	G		
B. sylvarum	P	T R	L	
B. ruderarius	P	R G T D	L R	
B. hortorum	D P	C G T	L R	
B. lapidarus	P	G T D	L R	
B. soroeensis	T P R G C		L	Z
B. hypnorum	R P T D	T	G L T R	Z
B. lucorum	P R	T R D	G L R D S	L
B. pascuorum	R P D	T R D S	G L R	L
B. pratorum	P T D C	G T R S		L
B. magnus		G		
B. subterraneus		C	G P D	
B. ruderatus		P C	D	
B. humilis		C P	G L	
B. terrestris		P	G L D	
B. monticola		G		S
B. confusus			G P	
B. mesomelas				G D
B. pyrenaeus				G Z D C
B. mendax				G Z D C
B. mucidus				Z D

Abréviations: Z = Pérez (1890); C= Comba (1972); L = Lokën (1973); D = Delmas (1976); S = Svensson (1979); R = Ranta et Tiainen (1982); G = Ornosa Gallego (1984); P = Pekkarinen (1984); T = Teräs (1985).

2. Buts du travail

Les objectifs du présent travail sont :

- présenter une synthèse biogéographique sur la faune des bourdons du vallon d'Eyne ;

- établir leurs affinités écologiques ;

- discuter de la pertinence de la typologie CORINE et d'autres facteurs comme descripteurs écologiques des différentes espèces de bourdons;

- proposer des hypothèses expliquant la grande diversité de la faune des bourdons à Eyne.

3. Matériel et méthodes

3.1. Origine des données

Les données servant à l'élaboration du présent travail ont plusieurs origines. Pour l'essentiel, elles proviennent des récoltes effectuées par le Prof. P. Rasmont en 1998 et 1999, par S. Iserbyt, E.-A. Durieux et J.-F. Godeau durant le mois de juillet 1999. Auparavant, de nombreux auteurs ont contribué aux collectes d'un grand nombre de données sur la commune d'Eyne (tab. 9).

C'est ainsi que le Prof. R. Delmas (Montpellier) a apporté une contribution non négligeable par la quantité de ses récoltes. La faune de bourdons qu'il a observée à Eyne entre 1960 et 1975 révèle en effet la présence notable d'espèces rares (Delmas, 1976). Son objectif étant essentiellement systématique, la localisation de ses données était très approximative et ne mentionnait aucune donnée écologique.

Tableau 9. Liste des principaux contributeurs à la banque de données d'Eyne

Récolteurs	Date des récoltes	Nombre de spécimens	Précision des données
R. DELMAS	1960-1975	1182	10 km
S. ISERBYT	1999	1129	30 m
E.-A. DURIEUX	1999	1121	30 m
P. RASMONT	1978-1999	832	1 km (1978), 100m (1993) 30m (1998 & 1999)
F. LECLANT	1960-1970	316	10 km
J.-F. GODEAU	1999	309	30 m
S. ROUSSEAU	1993	62	100 m
Autres		82	

Les sous-genres inquilins ont été partiellement négligés dans cette étude en raison de l'ambiguité des rapports hôtes-parasites. Toutefois, les données de 1998 et 1999 pour l'essentiel sont présentées et discutées.

3.2. Précision des données

La prise en compte des données accumulées par Delmas, Leclant et Rasmont (1978) ont été ignorées dans le cadre de l'analyse écologique en raison de l'imprécision de leur localisation.

Depuis lors, l'introduction du GPS (Global Positioning System) à partir de 1991 permet une localisation beaucoup plus précise des données. L'évolution technologique des différents GPS a permis au fil des années d'accroître la précision du positionnement. Les stations ont été localisées au moyen de différents types de GPS au cours du temps. En 1993, l'utilisation d'une SONY PYXIS à 4 canaux avait une résolution de 100m. En 1998, la GARMIN GPS II à 8 canaux a augmenté la résolution à 30m. En 1999, l'utilisation de balises GARMIN GPS II à 8 canaux et GPS III à 12 canaux, a permis de localiser les stations dans un rayon de 30m dans les meilleures conditions, grâce à 28 satellites en orbite basse.

Les données retenues pour l'analyse écologique sont réparties en 176 stations dispersées sur l'ensemble du territoire d'Eyne et parfois légèrement au-delà de la limite communale (fig. 8).

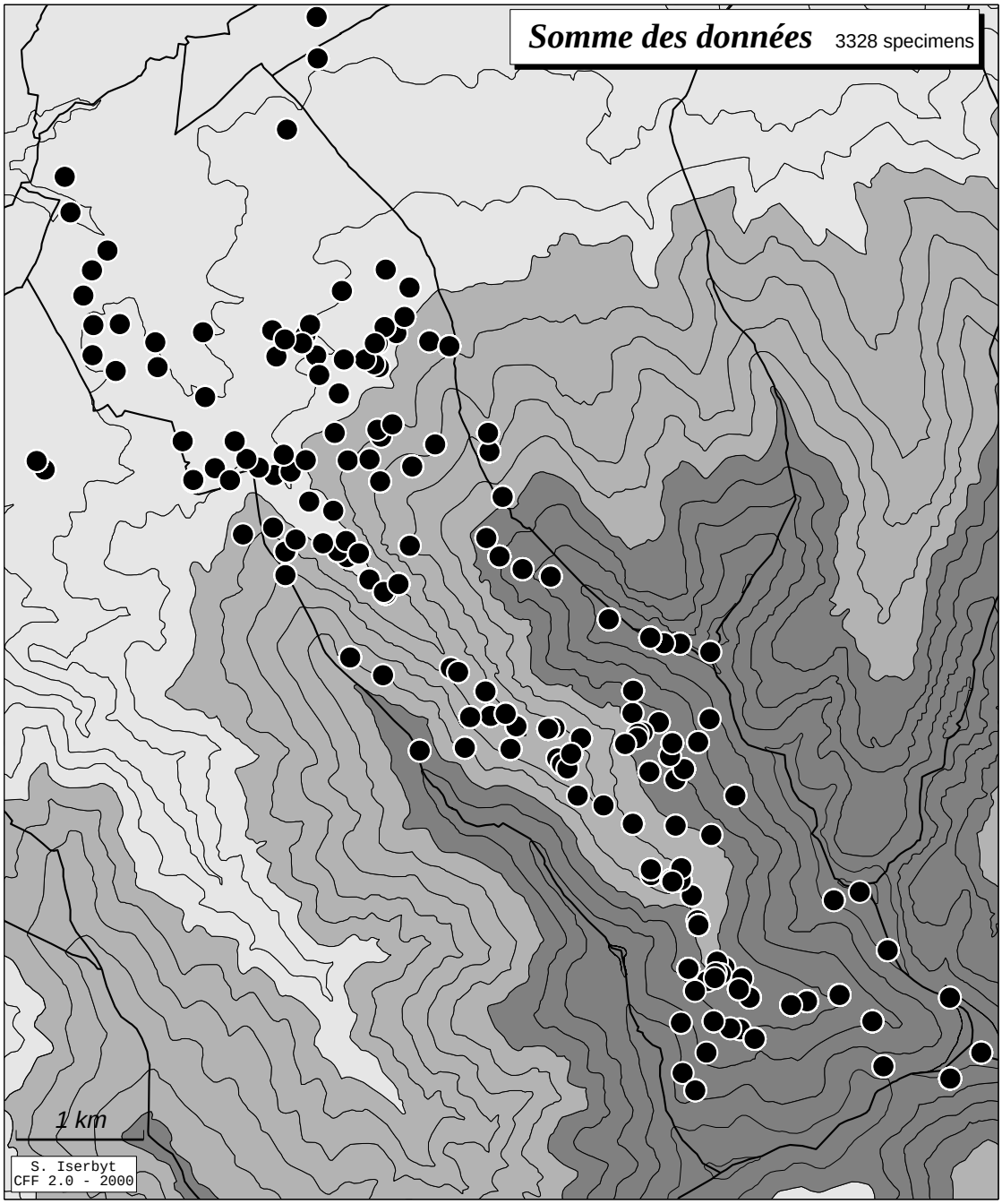

Figure 8. Localisation des 176 stations de récolte sur la commune d'Eyne. Courbes de niveaux équidistantes de 100m. En gris clair, inférieures à 1800m; en gris moyen, 1800-2300m; en gris foncé, supérieur à 2300m. Carte originale.

3.2. Identification des spécimens

La clé de détermination (Rasmont *et al*. en préparation) ainsi que le matériel de comparaison ont permis la détermination des spécimens collectés (Annexe III). L'identification des bourdons récoltés a été effectuée par S. Iserbyt, E.-A. Durieux et par P. Rasmont.

3.3. Herbier

Pour que les relevés phytosociologiques soient le plus complet possible, les plantes butinées ainsi que les plantes descriptives et nominatives des sites étudiés ont été herborisées. Le Prof. J. Lambinon (Université de Liège) a contrôlé l'identification de toutes les plantes collectées.

Les 16 genres de plantes les plus butinés (Durieux, 2000) ont été utilisés pour déterminer leur impact sur la distribution des bourdons. Il s'agit des genres: *Aconitum*, *Carduus*, *Centaurea*, *Eryngium*, *Epilobium*, *Gentiana*, *Minuartia*, *Pedicularis*, *Phyteuma*, *Potentilla*, *Rhinanthus*, *Rhododendron*, *Trifolium* et *Vicia.*

La liste des codes CORINE préétablie pour le vallon a dû être étendue à l'ensemble de la commune en raison des collectes effectuées sur toute la superficie de celle-ci. Les relevés phytosociologiques ont facilité l'attribution d'un code pour chaque site (fig. 9).

Pour établir la possible influence du code CORINE sur la distribution des espèces de bourdons, la liste des 47 codes (Annexe IV) a été réduite à 19, en remontant à des niveaux hierarchiques plus élevés. Cette modification de la liste des codes prend en compte les habitats les plus pertinents et présents sur l'ensemble de la commune (tab. 10).

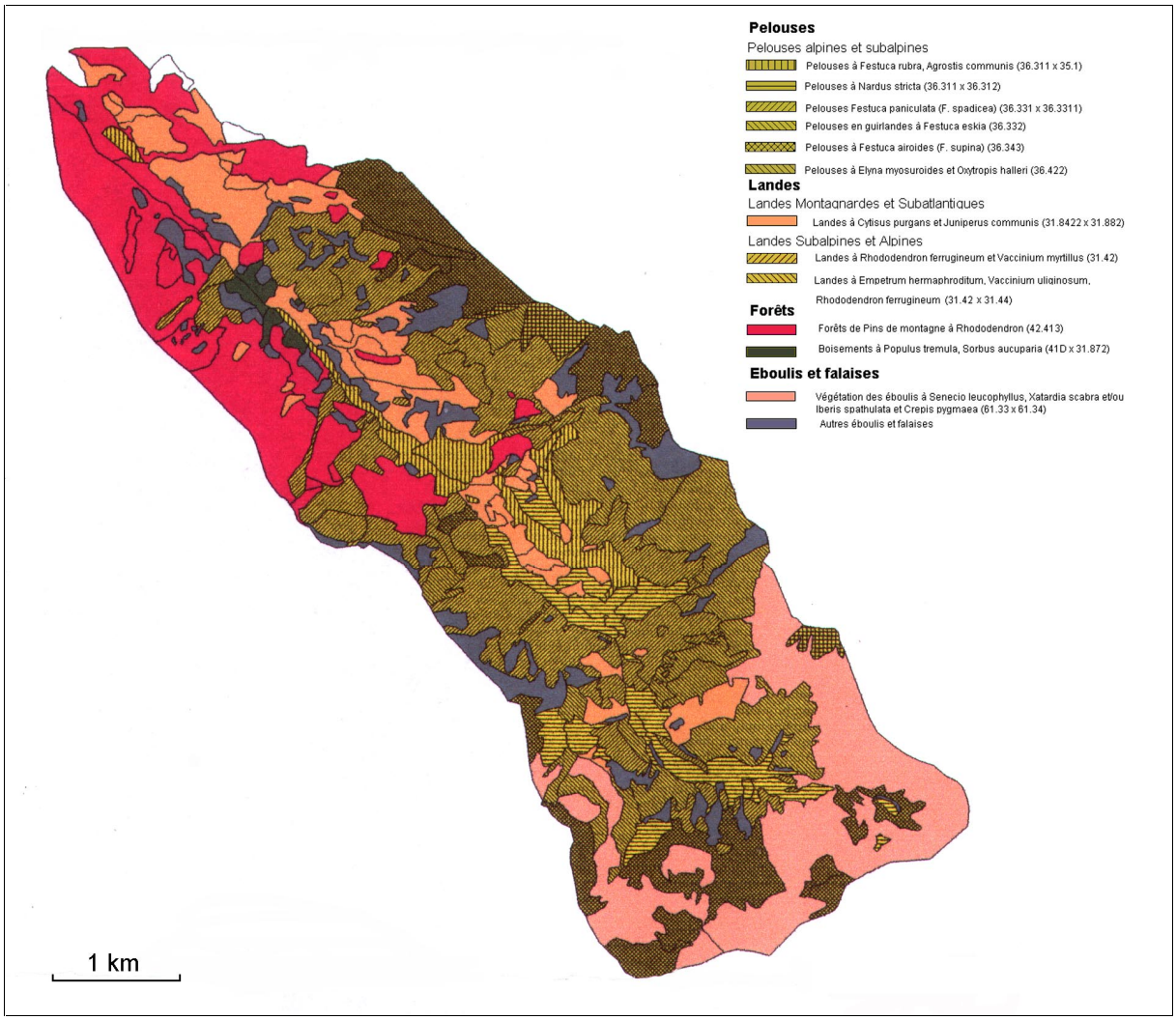

Figure 9. Typologies CORINE identifiées dans la réserve d'Eyne. D'après M. M. Baracetti et collaborateurs.

Tableau 10. Liste des différentes typologies CORINE utilisées pour l'analyse statistique

Typologie CORINE	Descriptif de l'habitat	Traduction française	Abréviation utilisée dans ce travail
31226	Montane Calluna-Genista heaths	Landes à *Calluna sp*, et *Genista sp.*	Lande-Genista
31422	Pyrenean rusty alpenrose (Rhododendron ferrugineum) heaths	Landes pyrénéennes à *Rhododendron ferrugineum*	Lande-Rhodo
31431	Juniperus nana scrub	Buissons de *Juniperus nana*	Buissons-Juniperus
318422	Pyrenean Cytisus purgans fields	Végétations pyrénéennes à *Cytisus purgans*	Cytisus
318711	Willowherb (Epilobium) and foxglove (Digitalis) clearings	Clairières à *Epilobium angustifolium* et *Digitalis purpurea*	Clairière-Epilobium
343261	Pyreneo-Catalonian Mesobromion	Mesobromion pyrénéo-catalan	Mesobromion
34332G	Pyrenean Xerobromion	Xerobromion pyrénéen	Xerobromion
3442	Mesophile forest fringe grasslands	Pelouses mésophiles en lisière de forêt	Pelouse-lisière
363	Alpine and sub-alpine grasslands	Pelouses alpines & subalpines	Pelouse-sub-alpine
36311	Pyreneo-Alpine mesophile mat-grass (Nardus stricta) swards	Pelouses pyrénéo-alpines mesophiles de *Nardus stricta*	Pelouse-Nardus
36331	Festuca paniculata swards	Pelouses à *Festuca paniculata*	Pelouse-F.paniculata
36332	Festuca eskia garland-grasslands	Pelouses en banquette à *Festuca eskia*	Pelouse-F.eskia
36343	Festuca airoides grasslands	Pelouses à *Festuca airoides*	Pelouse-F.airoides
36422	Pyrenean naked-rush swards	Pelouses à *Elyna myosuroides* et *Oxytropis halleri*	Pelouse-Oxytropis
383	Mountain hay meadows	Prés de fauche de montagne	Pré-fauche
424	Mountain pine (Pinus uncinata) forests	Forêts montagnardes de *Pinus uncinata*	Pinède
42413	Pyrenean alpenrose mountain pine forests	Forêts de pins de montagne pyrénéenne à *Rhododendron ferrugineum*	Pinède-Rhodo
424222	Vaccinium mountain pine forests	Forêts de *Pinus uncinata* à *Vaccinium sp.*	Pinède-Vaccinium
872	Ruderal communities	Communautés rudérales	Rudéral

3.4. Gestion des données - Cartographie

Toutes les données du présent travail ont été encodées et gérées par le logiciel Data Fauna Flora (Barbier *et al.*, 2000). DFF est une base de données élaborée spécifiquement pour mettre en relation et organiser les observations de terrain (stations, plantes, spécimens).

La représentation cartographique des données a été réalisée à l'aide des logiciels Carto Fauna Flora version 2.0 (Barbier *et al.*, 2000) et MapInfo Professional version 5.5 (1999). Ceux-ci permettent l'élaboration de cartes de répartition des taxons de la faune comme de la flore.

Les courbes de niveaux ont été tracées afin de distinguer 14 tranches d'altitude de 100m chacunes. Ce fond de carte permet d'apprécier une éventuelle répartition des espèces en fonction du relief et de l'altitude (fig. 10).

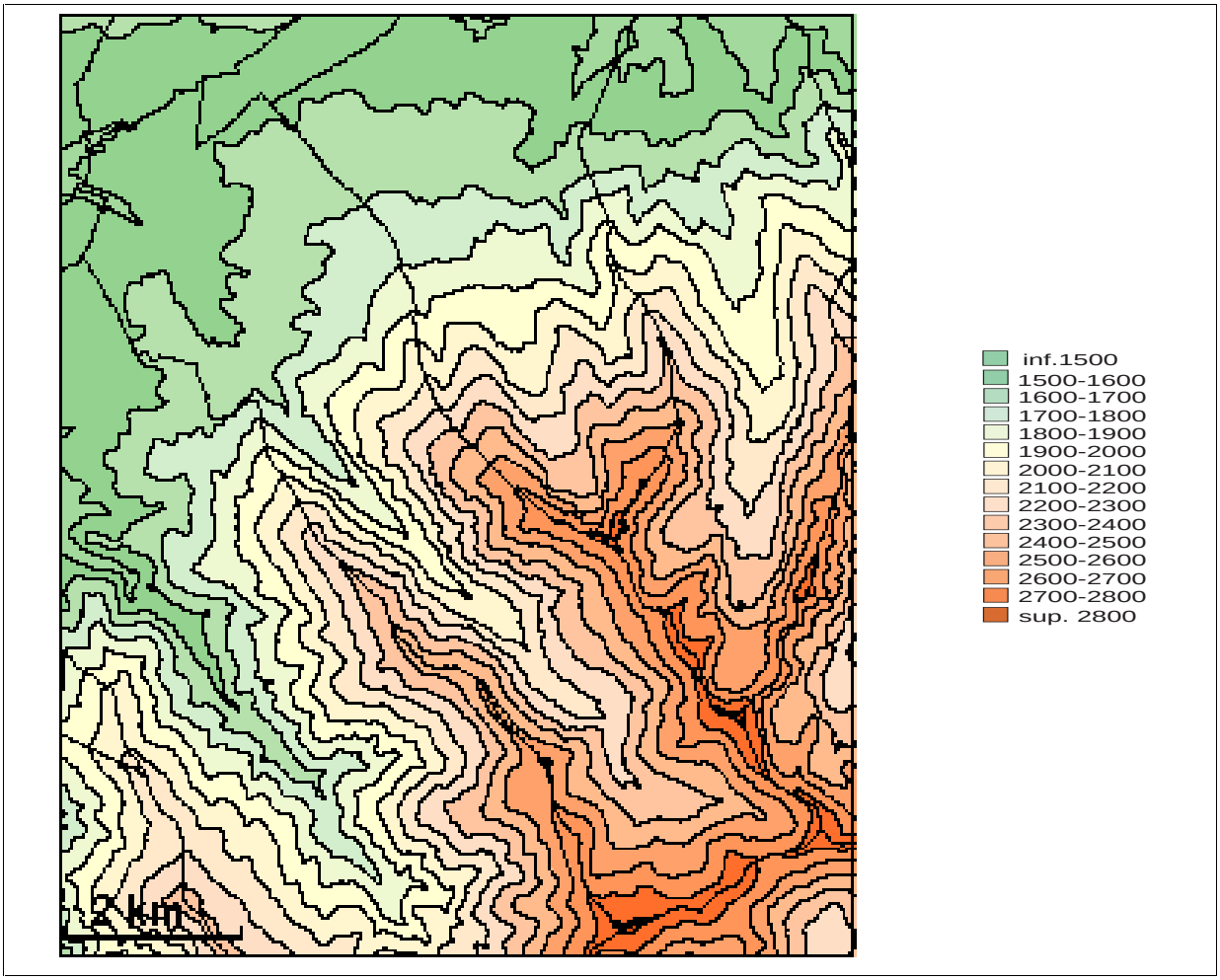

Figure 10. Représentation des 14 tranches d'altitude de 100m entre 1400 et 2800m. Carte originale.

Une fois la forêt représentée, il a été possible de situer les autres physionomies végétales par les relevés effectués et la connaissance du paysage local. Au total, six grands types de physionomie végétale ont pu être identifiés (fig. 11):

- en aval de la forêt, les prés de fauche;
- la forêt subalpine;
- en amont de la forêt, l'étage subalpin qui se termine aux environs de la courbe de niveau 2500m, là où le *Rhododendron ferrugineum* disparaît (Braun Blanquet, 1948);
- au-delà de 2500m d'altitude s'étend l'étage alpin.

On reconnaît en outre deux milieux de transition: la lisière bois/pré de fauche et la lisière bois/subalpin.

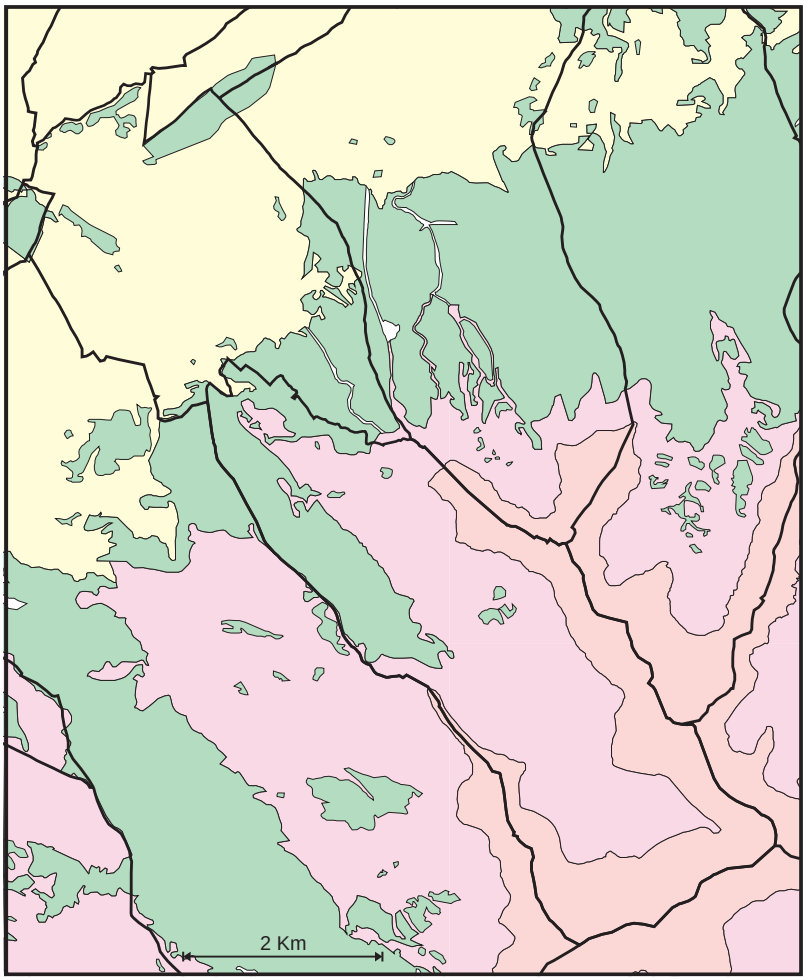

Figure 11. Représentation des principales physionomies végétales. En pointillé, les prés de fauche; en gris foncé, la forêt; en gris clair, les pelouses subalpines; en blanc, les pelouses alpines. Carte originale.

3.5. Méthode d'estimation de la diversité spécifique

Pour quantifier la diversité spécifique, on peut avoir recours à l'utilisation d'indices mathématiques tel que les Indices de Shannon-Weaver, de Hurlbert (Legendre & Legendre, 1984) et de rareté cumulée (Rasmont *et al.*, 1990).

1. L'indice de Shannon-Weaver estime la diversité spécifique. Il s'exprime en bit (mesure de la quantité d'information).

$$Ish = - \sum (P_i * \log_2 P_i)$$

$P_i = N_i / N$
N_i: Nombre d'individus de l'espèce i
N: Nombre d'individus total au sein d'un site

2. L'indice de Hurlbert représente le nombre d'espèces espéré dans un tirage aléatoire et ce pour un site d'échantillonnage donné. Il s'exprime en espèce/spécimens.

$$Es = \sum [1- ((N-N_i)/N)]^{100}$$

N_i: Nombre d'individus de l'espèce i
N: Nombre d'individus total au sein de la station
S: nombre de spécimens (10, 100, 1000, ...) dans un tirage

Cet indice évalue la diversité d'un site mais il ne rend pas compte de la rareté des espèces qui le peuplent. Certains sites présentent une flore et une faune diversifiées tout en étant essentiellement constitués d'espèces banales (Rasmont *et al.*, 1990).

3. L'indice de rareté cumulée mesure la richesse d'un site en espèces rares ou endémiques. Il s'exprime en spécimens $^{-1}$.

$$Rc = \sum_i (1/N_i)$$

N_i: Nombre d'individus de l'espèce i

La rareté cumulée d'un site est d'autant plus élevée que les espèces collectées sont rares.

La diversité spécifique d'un site peut-être visualisée à l'aide d'un histogramme d'abondance–dominance. Il s'agit de la représentation graphique du nombre d'individus pour chaque espèce. La concavité du profil obtenu renseigne sur la

diversité du site.

Un profil très creusé, indique la présence d'une espèce majoritairement présente au sein du site, d'où une diversité faible. Au contraire, une faible concavité reflète la présence d'une diversité importante (fig. 12.).

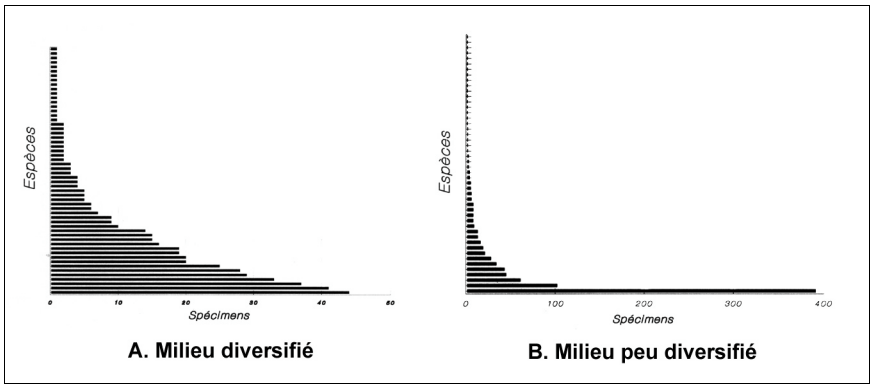

Figure 12. Comparaison des diagrammes d'abondance-dominance de deux stations, l'une présentant une diversité spécifique élevée (A), l'autre une diversité faible, dominée par une espèce (B). D'après Rasmont *et al*. (1990).

3.6. Traitement statistique des données

Les logiciels CANOCO (Ter Braak, 1988) et NTSYS-PC Version 1.8 (Rohlf, 1993) ont été utilisés pour le traitement statistique des données.

1. Le logiciel NTSYS est utilisé pour représenter graphiquement, sous forme d'un dendrogramme, les groupes d'espèces au départ d'une matrice de similarité. La méthode de groupement choisie est le lien UPGMA (*Unweighted pair-group method, arithmetic average*).

2. Une matrice de similarité entre espèces est calculée au départ d'une matrice de fréquences relatives espèces/altitude. Le coefficient de similarité utilisé est le *Percentage overlap* (Renkonen, 1938; cité par Krebs, 1989). Il mesure le recouvrement des niches écologiques, alimentaires ou des aires de distribution entre deux espèces.

Calcul du coefficient de similarité:

$$P_{jk} = (\sum^{n} \min P_{ij}, P_{ik})*100$$

P_{jk}: pourcentage de recouvrement entre les espèces J et K
$P_{ik,}$ P_{jk}: la fréquence des espèces J et K au sein de l'altitude i
n: le nombre total d'altitude différente

3. Le logiciel CANOCO permet de réaliser différents types d'analyse, telles que l'ACP (Analyse en Composantes Principales), l'AFC (Analyse Factorielle des Correspondances) et l'ACC (Analyse Canonique des Correspondances). L'ACC, utilisée dans le présent travail, conduit à la visualisation des interactions entre les facteurs écologiques et le gradient de diversité. Son utilisation a permis de calculer la part de variance expliquée par chaque facteur écologique dans la distribution des espèces. Les facteurs les plus pertinents ont ainsi pu être identifiés (Jongman *et al.*, 1987; Dufrêne, 1992). Ce logiciel permet au préalable la suppression de l'effet de variables environnementales choisies, comme l'altitude, qui masqueraient la véritable relation existant entre les variables écologiques choisies (par exemple, la physionomie végétale) et la distribution des espèces.

4. La méthode Indval est une méthode simple pour mettre en évidence les espèces indicatrices ou caractéristiques d'un groupe de stations. La méthode tient compte à la fois de l'abondance moyenne de chaque espèce dans un groupe de sites (A_{ij}) et de la fréquence relative de ces espèces dans ce groupe de stations (B_{ij}).

L'indice IndVal se calcule de la manière suivante:

$$IndVal = A_{ij} * B_{ij} * 100$$

A_{ij} = $Nindividus_{ij}$ / $Nindividus_{i}$
B_{ij} = $Nsites_{ij}$ / $Nsites_{j}$

Cet indice peut s'apparenter à un indice de spécificité (fidélité) d'une espèce pour un groupe de stations donné.

5. Le coefficient de corrélation de Pearson permet de déterminer les facteurs les plus pertinents, expliquant le mieux la distribution de chacune des espèces. Le coefficient de corrélation a été calculé entre la distribution de chaque espèce et chacun des facteurs, sur base de la matrice Bourdons-Facteurs-Stations. Il traduit l'influence des facteurs étudiés sur la distribution d'une espèce donnée. La valeur de la corrélation ainsi que la détermination du seuil de signification ($P \leq 0.05$, $P \leq 0.001$) informe sur la prépondérance de ce facteur quant à la répartition de l'espèce étudiée.

4. Résultats

4.1. Diversité de la faune des bourdons

4.1.1. A l'échelle locale

Le tableau 11 donne une idée globale de la richesse et du nombre de données relatifs à chaque espèce pour Eyne. La comparaison entre les collectes antérieures à 1999 (Delmas, entre 1960 et 1975; Rasmont, entre 1978 et 1998; …) et celles de juillet 1999 donne également une idée de l'évolution du nombre d'espèces. Deux nouvelles espèces pour Eyne ont été collectées en 1999 (*B. magnus* et *B. norvegicus*). A l'inverse, *B. cullumanus* et une espèce appartenant au sous-genre *Allopsithyrus* n'ont pu être trouvées lors des dernières récoltes. L'ensemble de ces données permet néanmoins de constater à Eyne la présence historique et actuelle de 32 espèces de bourdons.

Tableau 11. Liste des espèces et nombre de spécimens récoltés à Eyne

Espèces	Eyne Avant 1999	Eyne 1999	Total
B. lucorum (L.)	108	828	936
B. ruderarius (Müller)	337	275	612
B. monticola Smith	13	414	427
B. pyrenaeus Pérez	126	279	405
B. soroeensis (Fabricius)	119	241	360
B. hortorum (L.)	130	129	259
B. mesomelas Gerstaecker	119	109	228
B. sichelii Radoszowski	132	85	217
B. mendax Gerstaecker	23	169	192
B. sylvarum (L.)	32	117	149
B. pratorum (L.)	70	77	147
B. sylvestris (Lepeletier)	120	8	128
B. wurflenii Radoszkowski	76	39	115
B. terrestris (L.)	6	108	114
B. bohemicus Seidl	85	20	105
B. pascuorum (Scopoli)	42	38	80
B. lapidarius (L.)	53	20	73
B. humilis Illiger	26	40	66
B. mucidus Gerstaecker	16	39	55
B. rupestris (Fabricius)	50	2	52
B. gerstaeckeri Morawitz	46	3	49
B. subterraneus (L.)	33	16	49
B. quadricolor (Lepeletier)	42	1	43
B. flavidus Eversmann	30	12	42
B. hypnorum (L.)	7	7	14
B. confusus Schenck	6	2	8
B. norvegicus (Sparre Schneider)	-	7	7
B. magnus Vogt	-	6	6
B. campestris (Panzer)	4	1	5
B. ruderatus (Fabricius)	2	3	5
B. (Allopsithyrus) sp.	3	-	3
B. cullumanus (Kirby)	3	-	3
Nombre total de spécimens	**1859**	**3095**	**4954**
Nombre d'espèces	**30**	**30**	**32**

La comparaison entre les effectifs montre que l'abondance des espèces varie selon les périodes de récoltes. Par exemple, *B. sylvestris* était 15 fois plus abondant avant 1999 tandis que *B. monticola rondoui* est environ 32 fois plus abondant à l'heure actuelle. Deux hypothèses pourraient expliquer ces variations :

- soit un effort inégal des récolteurs;
- soit une période de récolte différente dans le temps (saison, année) ou des récoltes variants dans l'espace (stations).

Ainsi le Prof. R. Delmas n'a récolté qu'autour du village et dans la partie basse du vallon. Par conséquent, ses récoltes présentent relativement peu d'individus pour

les espèces à distribution Montane ou Boréomontane. De manière typique, *B. monticola* et *B. mendax*, espèces de haute altitude, sont sous représentées dans ses récoltes.

Il est à remarquer que la liste des espèces récoltées en juillet 1999 est presque analogue à celle établie sur une période de deux décennies par Delmas et Rasmont. Ceci incite à penser que l'échantillonnage est fiable et reproductible. Il représente une image bien réelle de la faune de la commune.

4.1.2. A l'échelle nationale

Le jeu de données actuel montre que 69,6% des espèces de bourdons répertoriés en France sont présents sur la Commune d'Eyne. Malgré sa faible superficie, certaines espèces peu abondantes voire très rares à l'échelle de la France sont bien représentées à Eyne (tab. 12).

Tableau 12. Contribution des récoltes d'Eyne aux données de France

Espèces	France 535285 km²	Eyne 20.18 km²	Contribution d'Eyne à l'effectif total de la France
B. gerstaeckeri	244 spécimens	49 spécimens	20,1%
B. cullumanus	87 spécimens	3 spécimens	3,4%
B. flavidus	201 spécimens	42 spécimens	20,1%
B. quadricolor	217 spécimens	49 spécimens	22,6%
B. norvegicus	91 spécimens	13 spécimens	7,0%

4.1.3. Indice de diversité

Le diagramme d'abondance-dominance d'Eyne (fig. 13) adopte un profil similaire à celui d'un site de diversité élevée (fig. 12). Cependant, une espèce apparaît plus abondante que les autres: *B. lucorum*.

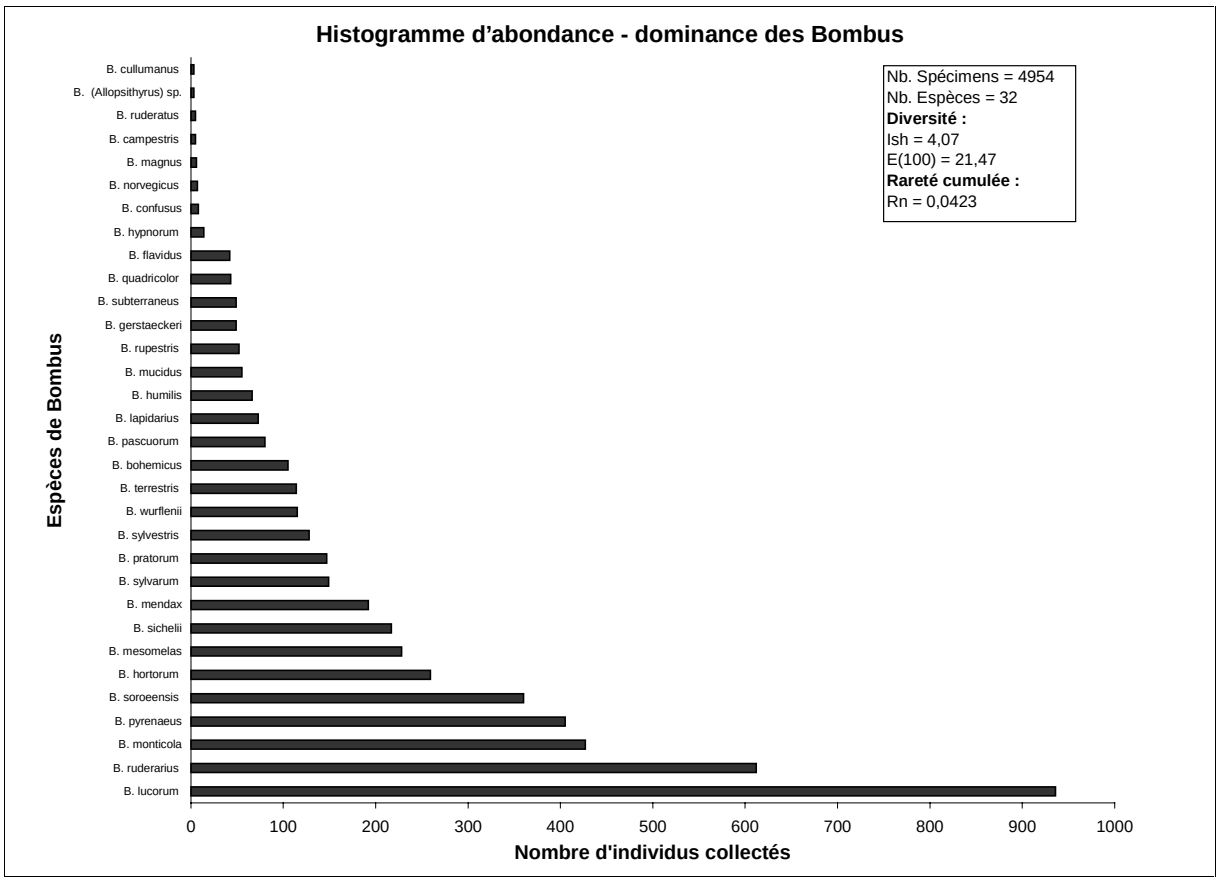

Figure 13. Diagramme d'abondance-dominance de la commune d'Eyne.

Les indices de diversité (Shannon-Weaver, Hurlbert et rareté cumulée) permettent de comparer la diversité d'Eyne à celles d'autres sites (tab. 13): le Larzac et Gembloux (Belgique).

Tableau 13. Valeur des différents indices pour chaque sites

Localisation des stations	I (Shannon) (Bits)	Hurlbert nbre espèces espéré par 100 spécimens	Rareté cumulée (spécimens-1)
Gembloux FS10 (Patiny, 1995)	2,67	9,59	0,012
Larzac (Patiny, 1995) EJ06, EJ07, EJ16 EJ17, EJ26, EJ27	3,28	14,00	0,023
Eyne	4,07	21,47	0,042

Le territoire de référence pour le calcul de l'indice de rareté cumulée est la Gaule (Belgique, France, Grand-Duché du Luxembourg et Suisse)

L'impression de diversité dégagée par le diagramme d'abondance-dominance d'Eyne est confirmée par les valeurs élevées des indices de Shannon-Weaver et d'Hurlbert. Ces mêmes indices comparés à ceux de Gembloux et du Larzac renforcent l'idée d'une grande richesse à Eyne. L'indice de Shannon-Weaver d'Eyne est environ de 1,5 fois plus importante qu'à Gembloux et 1,25 fois plus que dans le Larzac.

Il est étonnant de constater que pour un effort de récolte comparable sur des superficies pouvant être de cinq fois (Gembloux FS10 100 km²) à trente fois plus étendues (Larzac 600 km²), la diversité spécifique d'Eyne (20 km²) reste nettement plus élevée.

L'indice de rareté cumulée plus important, montre la présence de plus d'espèces rares à Eyne que pour les régions de comparaison.

Eyne est donc un milieu exceptionnellement intéressant à la fois par le nombre d'espèces qui s'y concentrent et par la rareté de certaines d'entre elles. A l'exception de deux espèces (*B. muscorum* et *B. mocsaryi*), on trouve à Eyne toutes les espèces du département des Pyrénées-Orientales.

4.2. Espèces satellites et espèces principales

Hanski (1982) a établi la distinction entre les espèces satellites (*Satellite species*) et les espèces principales (*Core species*). Une espèce est dite principale si son effectif pour un site donné est d'au moins 3%. Une espèce est dite satellite si sa représentation n'excède pas 3%. Durant la dernière décennie à Eyne, on a identifié 20 espèces satellites et 10 espèces principales (tab. 14).

Tableau 14. Espèces principales et satellites d'Eyne

Espèces	**Eyne 1993-97-98-99** nombre de spécimens	**Eyne** Fréquence relative %
B. lucorum	868	**28,05 ***
B. monticola	421	**13,60 ***
B. ruderarius	329	**10,63 ***
B. pyrenaeus	298	**9,63 ***
B. soroeensis	282	**9,11 ***
B. hortorum	181	**5,85 ***
B. mendax	168	**5,43 ***
B. mesomelas	138	**4,46 ***
B. sylvarum	130	**4,20 ***
B. terrestris	107	**3,46 ***
B. pratorum	106	**3,42 ***
B. sichelii	90	2,91
B. pascuorum	51	1,65
B. wurflenii	48	1,55
B. humilis	40	1,29
B. mucidus	39	1,26
B. bohemicus	21	0,68
B. lapidarius	21	0,68
B. gerstaeckeri	17	0,55
B. subterraneus	16	0,52
B. sylvestris	14	0,45
B. flavidus	11	0,36
B. hypnorum	10	0,32
B. rupestris	8	0,26
B. norvegicus	7	0,23
B. magnus	6	0,19
B. ruderatus	3	0,10
B. confusus	2	0,06
B. quadricolor	2	0,06
B. campestris	1	0,03
Nombre de spécimens	**3435**	
Nombre total d'espèces	**30**	

* Espèces principales au sens d'Hanski (1982)

4.3. Groupes écologiques

4.3.1. Répartition des bourdons en fonction de l'altitude

La détermination de la gamme d'altitude pour chaque espèces ainsi que l'établissement de son écart interdécile* laisse apparaître un regroupement des espèces en fonction de l'altitude (tab. 15).

* Les quantiles d'ordre k sont les k-1 valeurs qui divisent une distribution de fréquence en k classes de même effectif. Les déciles correspondent à des quantiles d'ordre 10. L'écart interdécile est un paramètre de position tel que les observations considérées sont supérieures au premier décile et inférieures au dernier décile (Dagnelie, 1992). C'est-à-dire que l'on considére 80% des effectifs.

Tableau 15. Paramètres descriptifs de la distribution des bourdons en altitude

Espèces	Nombre de spècimens	Effectifs totaux			80% de l'effectif	
		Minimum	Maximum	Médiane	Minimum	Maximum
B. confusus	2	1586	1600	1586	-	-
B. subterraneus	16	1530	1850	1586	1580	1670
B. humilis	40	1480	1930	1600	1530	1610
B. lapidarius	21	1580	2010	1600	1580	1622
B. ruderatus	3	1530	1600	1600	1530	1600
B. sylvarum	130	1480	1740	1600	1580	1622
B. terrestris	107	1530	2530	1600	1580	2043
B. quadricolor	2	1610	1720	1610	-	-
B. campestris	1	1680	1680	1680	-	-
B. lucorum	868	1480	2820	1680	1580	2320
B. pascuorum	51	1480	2020	1750	1580	1950
B. magnus	6	1600	2160	1790		
B. bohemicus	21	1720	2135	1800	1740	1999
B. soroeensis	282	1480	2490	1800	1590	2050
B. hortorum	181	1580	2600	1810	1600	2190
B. pratorum	106	1530	2320	1810	1720	2020
B. hypnorum	10	1720	2000	1850	1740	2000
B. norvegicus	7	1750	2320	1860	-	-
B. sylvestris	14	1680	2720	1900	1720	2500
B. ruderarius	329	1480	2600	1940	1590	2200
B. gerstaeckeri	17	1830	2180	1950	1900	2180
B. wurflenii	48	1740	2280	1950	1800	2160
B. mesomelas	138	1480	2660	2043	1586	2390
B. rupestris	8	1580	2410	2050	-	-
B. sicheli	90	1720	2530	2050	1950	2330
B. flavidus	11	2043	2740	2135	2135	2740
B. pyrenaeus	298	1630	2740	2190	1740	2450
B. mucidus	39	1670	2450	2280	1975	2330
B. mendax	168	1650	2750	2310	2160	2500
B. monticola	421	1580	2790	2470	1975	2740

Transposée en graphique (fig. 14), la distribution en fonction de l'altitude révèle l'existence de trois groupes d'espèces de bourdons (à l'exception des espèces inquilines). Ceux-ci sont caractérisés par l'altitude maximale à laquelle chaque espèce est présente à raison de 80% de son effectif.

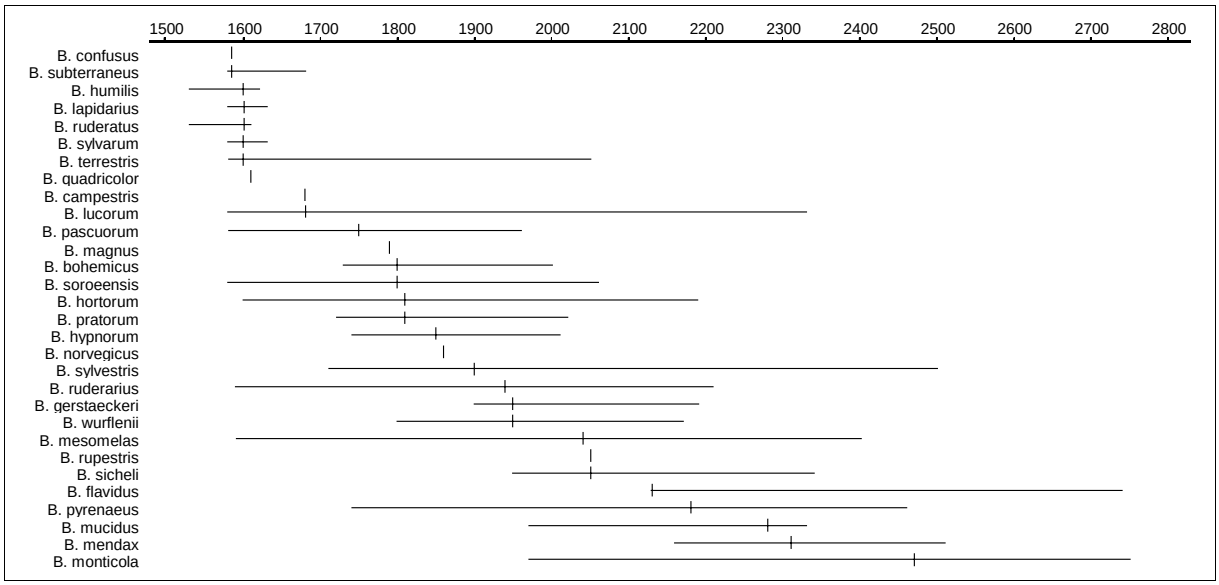

Figure 14. Distribution des espèces en fonction de l'altitude. Les traits maigres représentent l'écart interdécile (80% de l'effectif), les traits verticaux indiquent la médiane.

Le groupe de basse altitude (écart interdécile inférieur à 1800m) est constitué des espèces :

B. confusus
B. ruderatus
B. humilis
B. lapidarius
B. sylvarum
B. subterraneus

Le groupe de moyenne altitude (écart interdécile inférieur à 2300m) comprend les espèces :

B. pascuorum
B. hypnorum
B. pratorum
B. terrestris
B. soroeensis
B. magnus
B. hortorum
B. ruderarius
B. wurflenii
B. gerstaeckeri

Le groupe de haute altitude (écart interdécile supérieur à 2300m) est composé des espèces :

B. lucorum
B. mucidus
B. sicheli
B. mesomelas
B. mendax
B. pyrenaeus
B. monticola

Les histogrammes réalisés (fig. 15) pour chaque niveau d'altitude montrent l'évolution de la distribution altitudinale des différentes espèces. Les 3 graphiques visualisés conjointement permettent d'évaluer les *preferendum* d'altitude de chaque espèce.
Par exemple :
- *B. gerstaeckeri* n'est présent que dans la gamme d'altitude comprise entre 1800 et 2300m
- *B. monticola* quant à lui, se distribue sur l'ensemble de la commune avec un effectif croissant depuis les faibles vers les plus hautes altitudes.

L'histogramme de la gamme d'altitude inférieure à 1800m (fig. 15A) révèle la présence de 22 espèces. Parmi les trois gammes d'altitude déterminées comme reflétant le mieux les groupes de bourdons, les basses altitudes montrent la plus grande diversité spécifique.

Il est à remarquer que la gamme d'altitude comprise entre 1800m et 2300m (fig. 15B) est l'une des mieux représentée en nombre de spécimens. Beaucoup d'espèces y dominent, il s'agit à la fois des espèces de moyenne et de haute altitude.

La dernière gamme d'altitude (au delà de 2300m, fig. 15C) quant à elle ne comprend que les espèces de haute altitude (*B. monticola*, *B. mendax* et *B. pyrenaeus*). L'espèces *B. monticola* domine, en effet son écologie semble indiquer qu'il est le mieux adapté à ces altitudes élevées (maximum d'abondance).

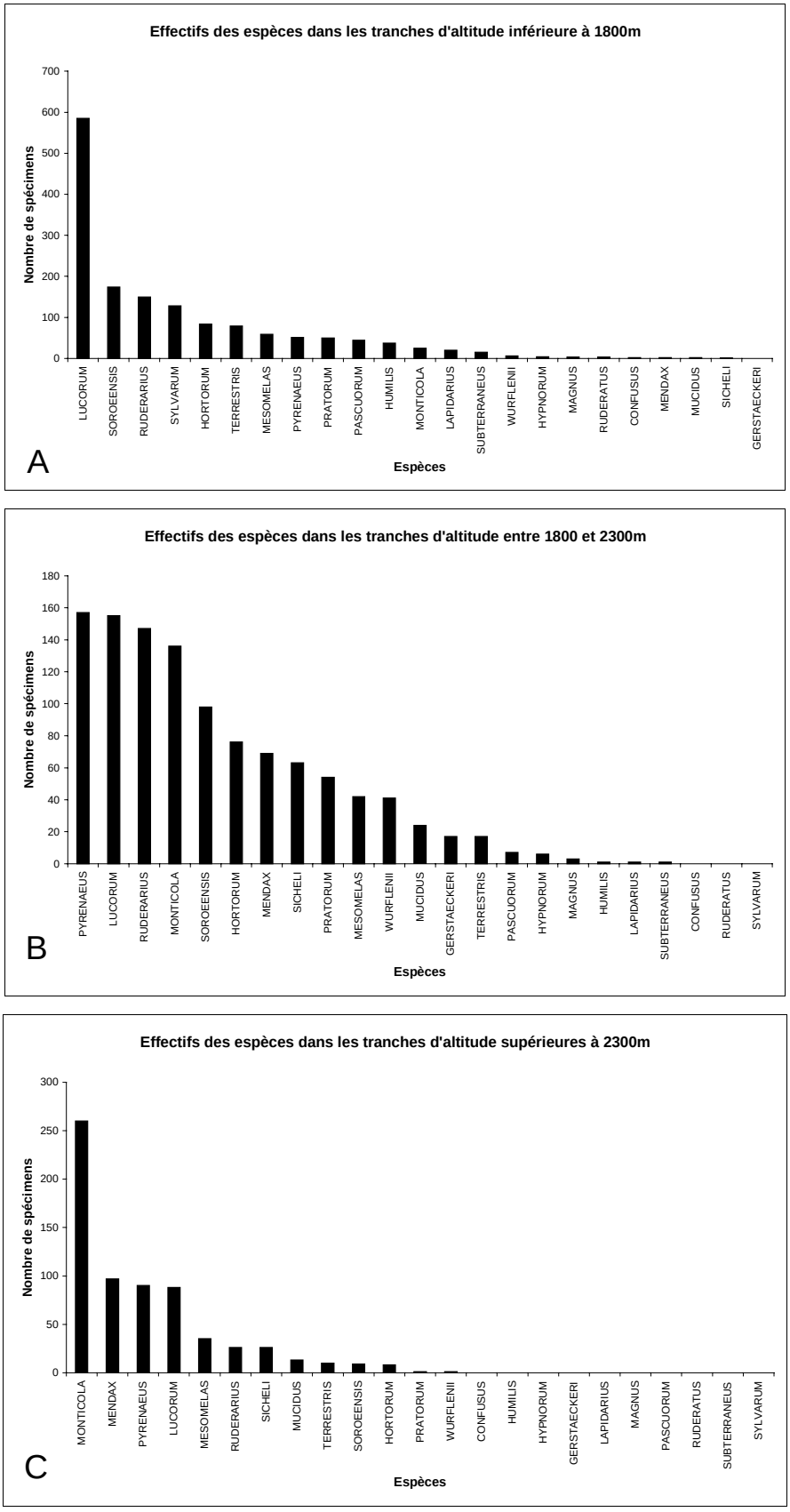

Figure 15 A, B et C. Abondance des espèces par niveau d'altitude.

Les espèces composant le groupe montagnard occupent 53% de la gamme d'altitude inférieure à 1800m. Tandis que, les espèces des groupes subalpins et alpins occupent respectivement 28% et 19%. La même opération peut être effectuée pour les 2 autres gammes d'altitude (fig. 16):

- jusqu'à 2300m : le groupe montagnard couvre 2%
  le groupe subalpin couvre 55%
  le groupe alpin couvre 43%

- au delà de 2300m : le groupe montagnard est absent
  le groupe subalpin est présent à raison de 15%
  le groupe alpin domine avec 85%.

Ceci démontre la pertinence du découpage en gammes d'altitude pour l'établissement des groupes de bourdons.

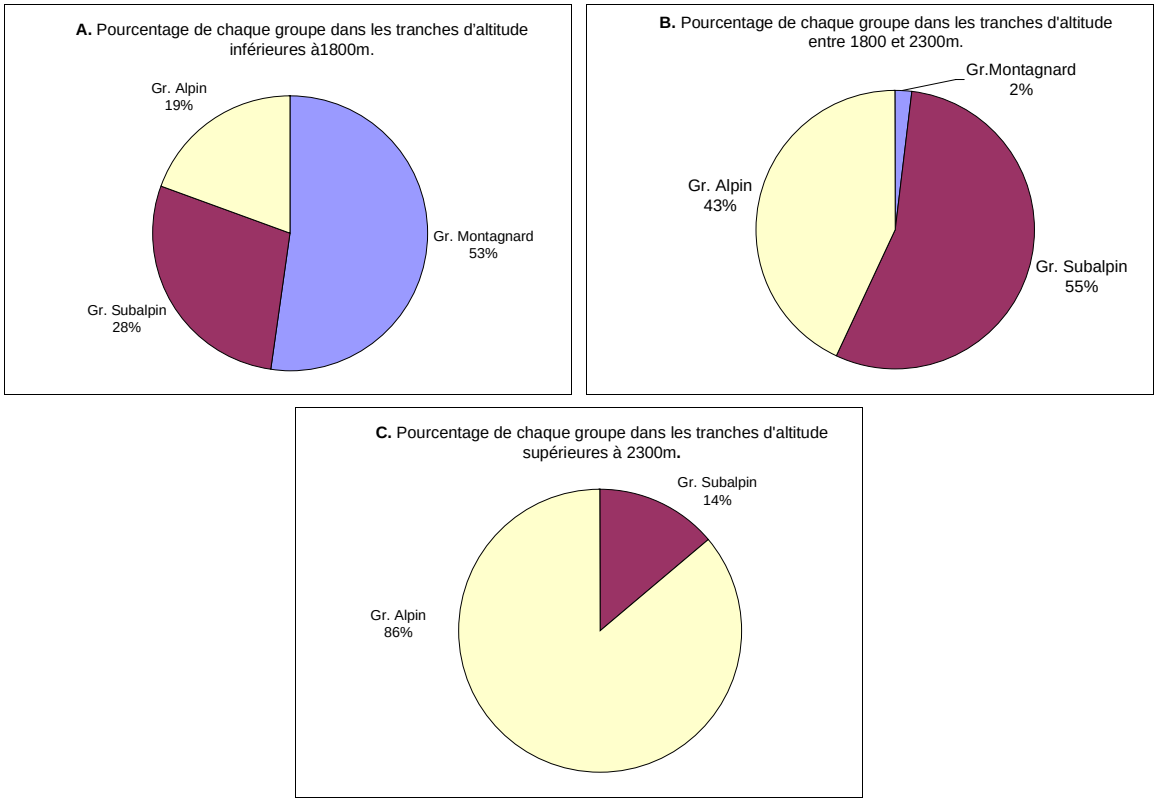

Figure 16A, B et C. Pourcentage des différents groupes en fonction des 3 tranches d'altitude.

L'existence de ces trois groupes a été également mise en évidence par une méthode de groupement. A partir de la matrice de distribution, le dendrogramme (liens UPGMA) a été obtenu en utilisant un indice de recouvrement de niches comme coefficient de similarité (*Percentage overlap*) entre les espèces (fig. 17).

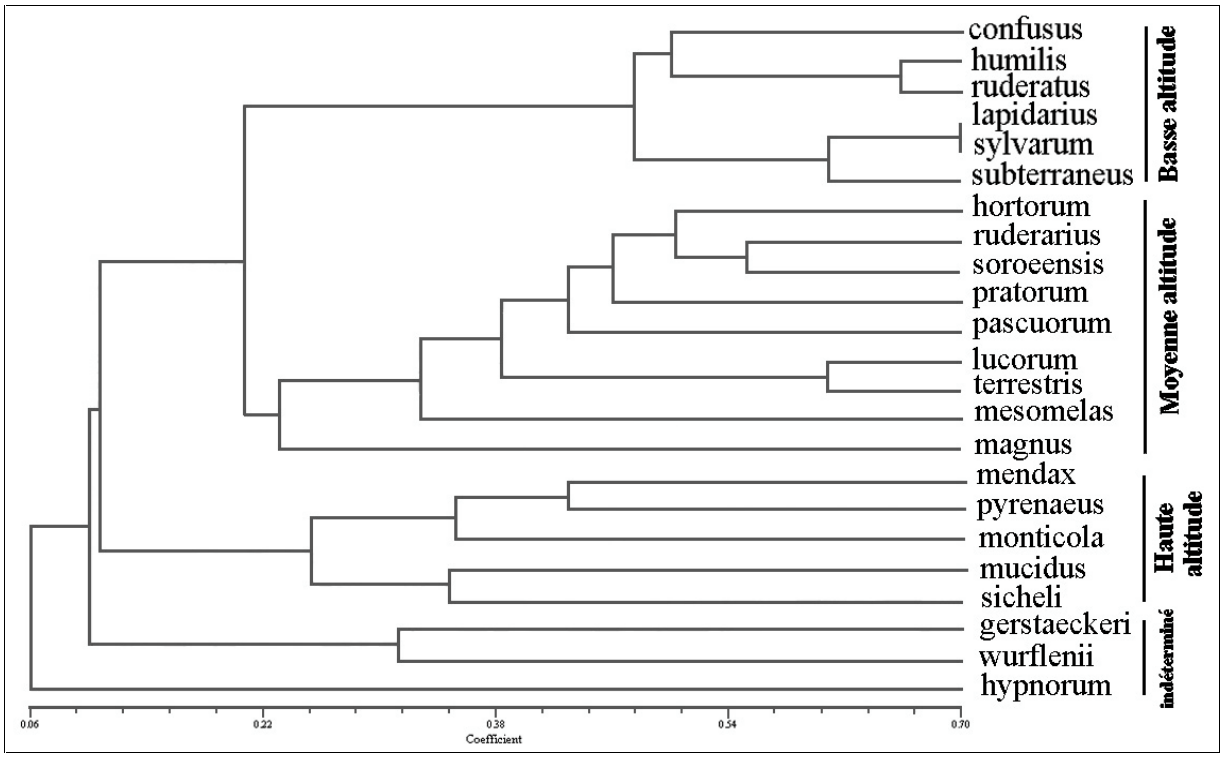

Figure 17. Dendrogramme représentant les similarités des distributions entre espèces (Similarité *Percentage overlap* - liens UPGMA).

Les groupes obtenus en fonction de l'altitude démontrent la cohabitation de certaines espèces à des gammes d'altitude données (basse, moyenne et haute altitude). Cependant trois espèces (*B. gerstaeckeri*, *B. wurflenii* et *B. hypnorum*) ne sont pas intégrées dans un de ces 3 groupes. Ceci est probablement dû à l'influence d'autres facteurs écologiques sur leur distribution.

4.3.2. Cartes de distribution

Une carte de distribution a été établie pour chaque espèce (fig. 18 à 47). La répartition non uniforme des espèces de bourdons sur l'ensemble de la commune laisse présager des différences dans leurs *preferendum* écologiques.

La juxtaposition des cartes de répartition des espèces inquilines et de leurs hôtes permet d'établir une similitude quant à l'occupation des mêmes milieux, des mêmes stations (ex. *B. norvegicus,* fig. 33 et *B. hypnorum*, fig. 25). Les espèces inquilines qui ont plusieurs hôtes (*B. rupestris,* fig. 39) ont une aire de répartition s'étendant sur une plus grande superficie par la nécessité de recouvrement des différentes répartitions de leurs hôtes (*B. lapidarius*, fig. 26 et *B. sicheli,* fig. 41). *B. lapidarius* est une espèce cantonnée aux basses altitudes tandis que *B. sicheli* quant à lui est une espèce de haute altitude. *B. rupestris,* malgré son faible effectif, semble s'étendre des basses vers les plus hautes altitudes.

Il est à noter la présence d'un spècimens de l'espèce *B. mendax* nettement en dehors sa gamme d'altitude de prédilection. Ceci justifie la prise en considération de 80% de l'effectif pour la détermination des *préférendum* d'altitude.

A Eyne, les espèces inquilines sont peu représentées. Leurs distributions collent cependant très bien à la répartition de leurs hôtes respectifs, à l'exception de *B. sylvestris.* Cette espèce inquiline s'étend à plus haute altitude que son hôte potentiel: *B. pratorum.* Ceci peut s'expliquer par la capture de spècimens erratiques.

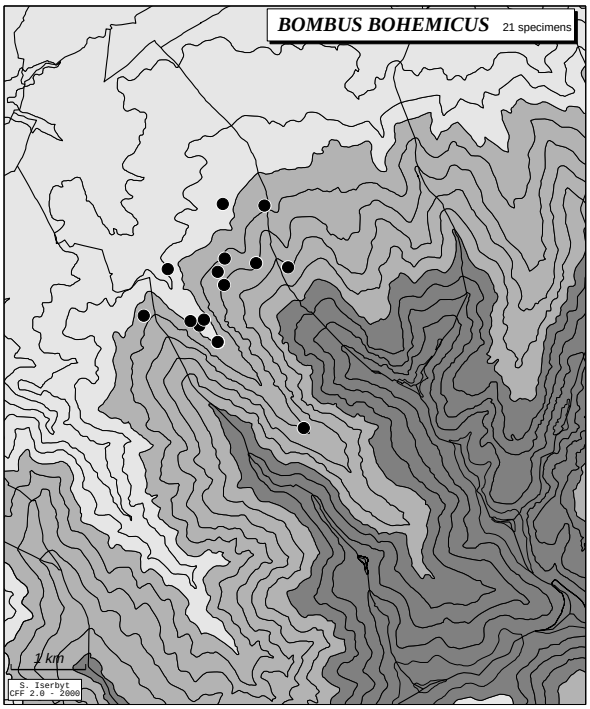

Figure 18. Distribution de *B. bohemicus* Seidl. Cfr fig. 8 pour la légende.

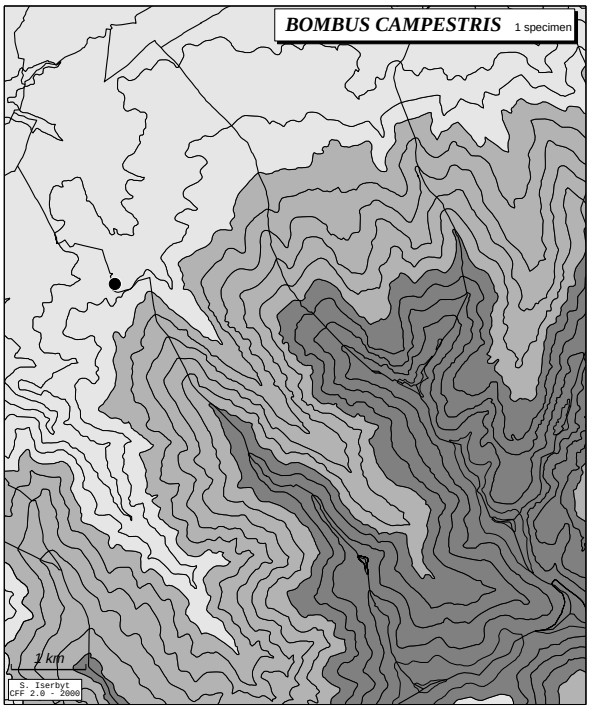

Figure 19. Distribution de *B. campestris* Panzer. Cfr fig. 8 pour la légende.

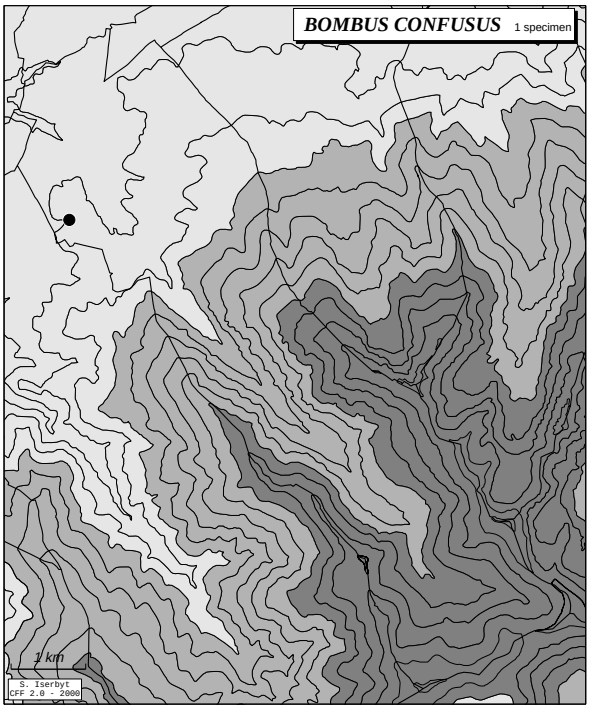

Figure 20. Distribution de *B. confusus* Schenck. Cfr fig. 8 pour la légende.

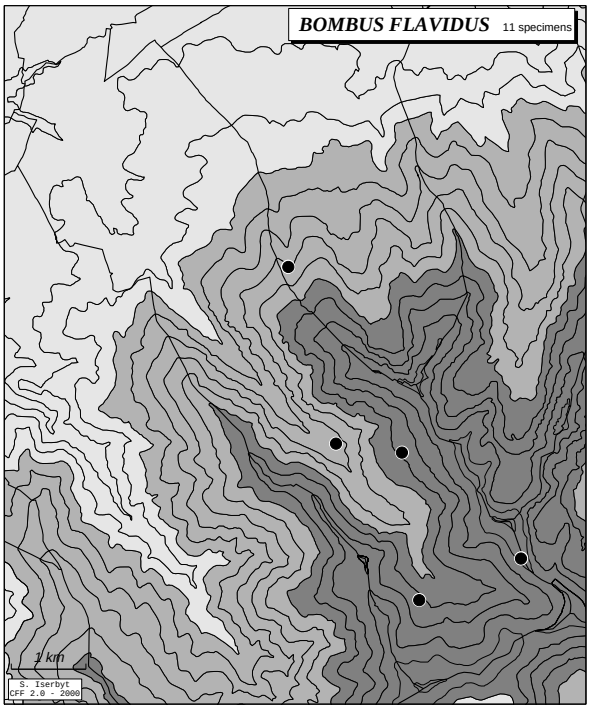

Figure 21. Distribution de *B. flavidus* Eversmann. Cfr fig. 8 pour la légende.

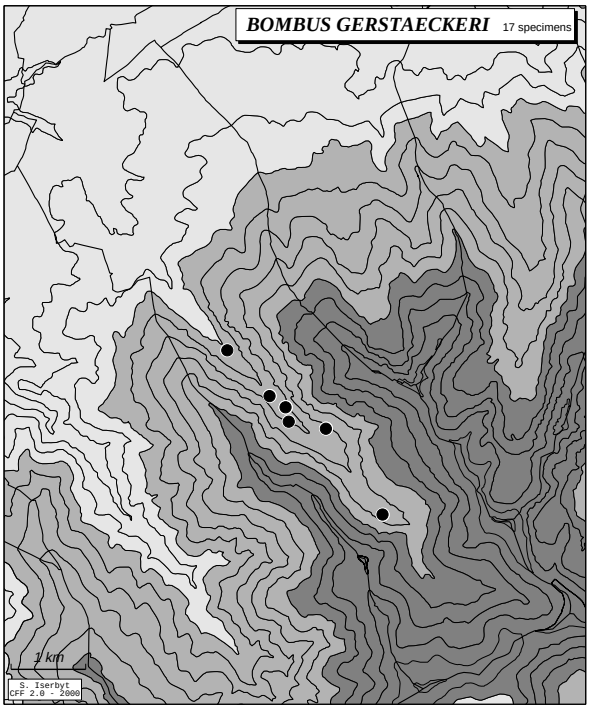

Figure 22. Distribution de *B. gerstaeckeri* Morawitz. Cfr fig. 8 pour la légende.

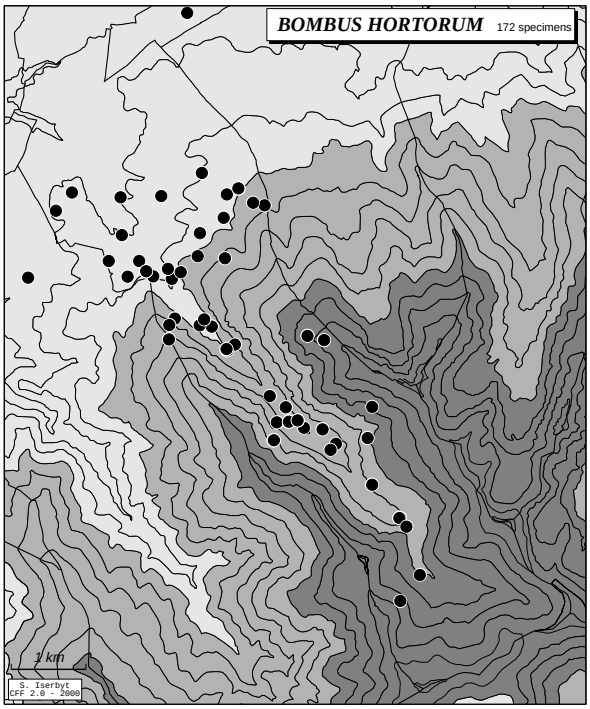

Figure 23. Distribution de *B. hortorum* (L.). Cfr fig. 8 pour la légende.

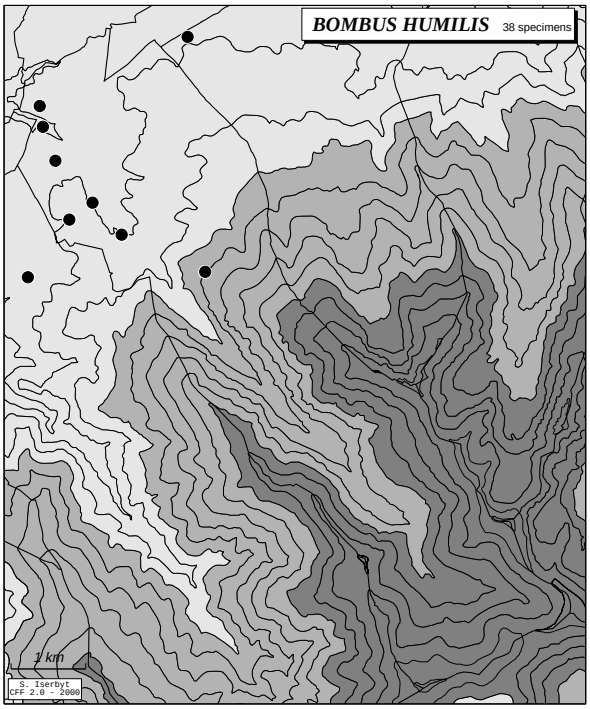

Figure 24. Distribution de *B. humilis* Illiger. Cfr fig. 8 pour la légende.

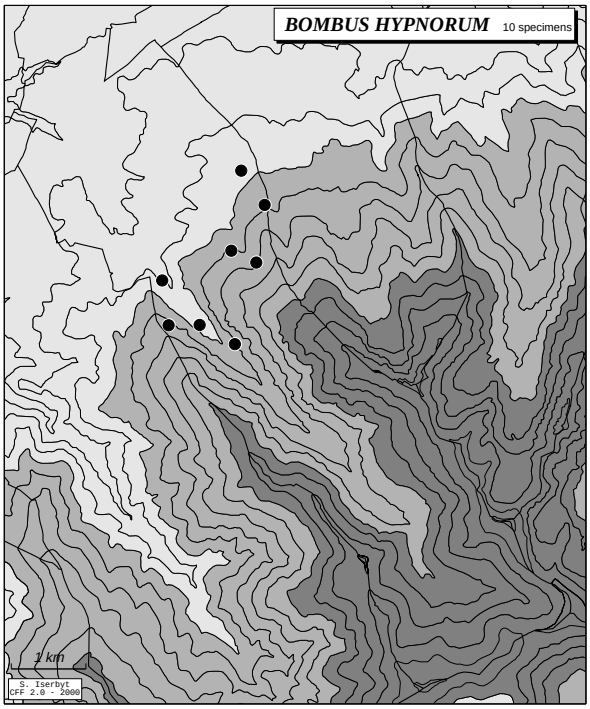

Figure 25. Distribution de *B. hypnorum* (L.). Cfr fig. 8 pour la légende.

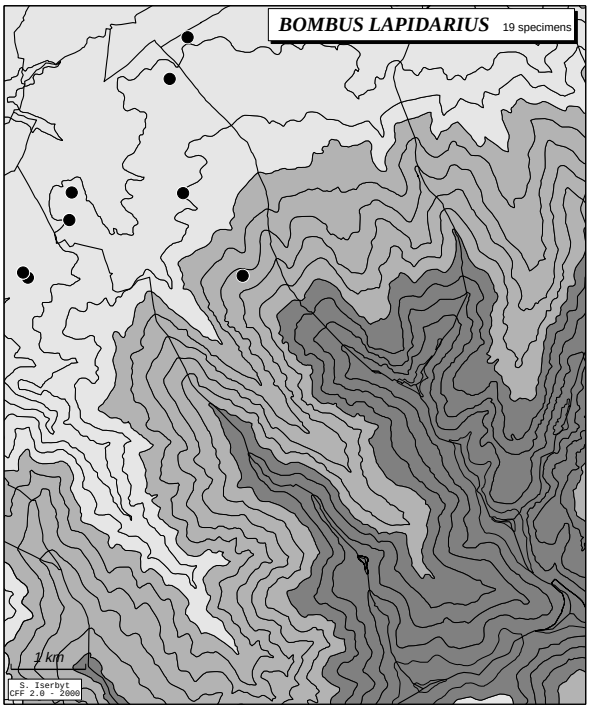

Figure 26. Distribution de *B. lapidarius* (L.). Cfr fig. 8 pour la légende.

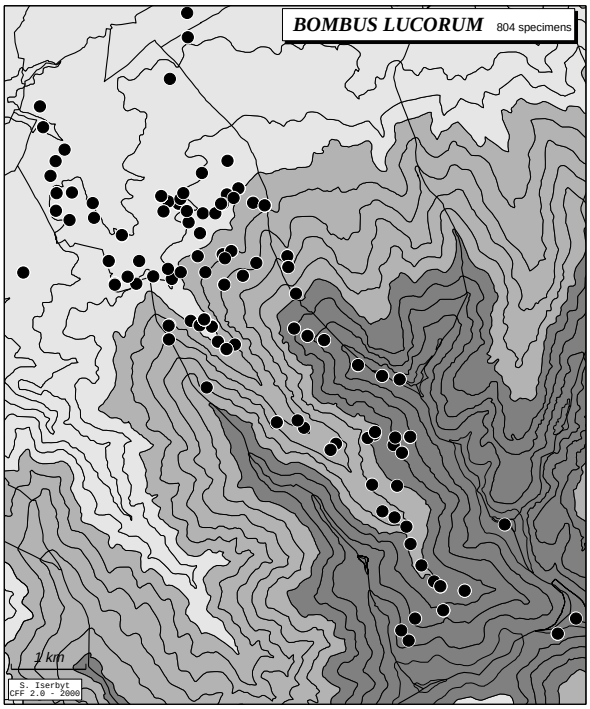

Figure 27. Distribution de *B. lucorum* (L.). Cfr fig. 8 pour la légende.

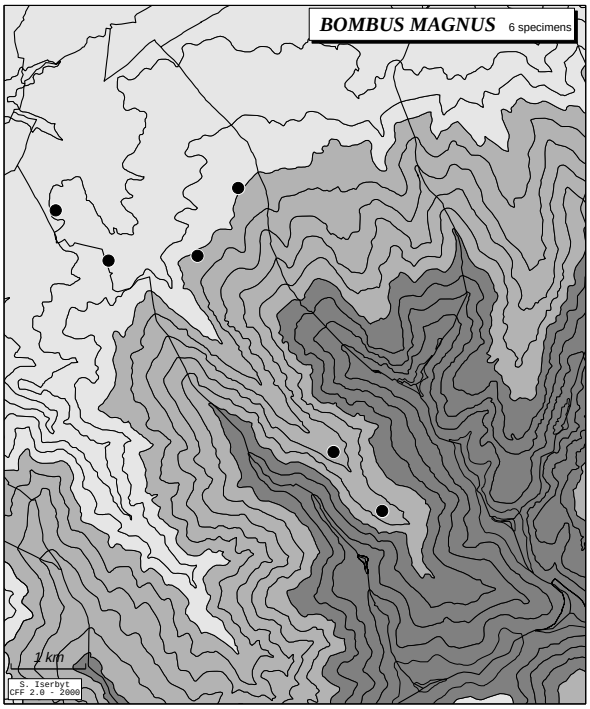

Figure 28. Distribution de *B. magnus* Vogt. Cfr fig. 8 pour la légende.

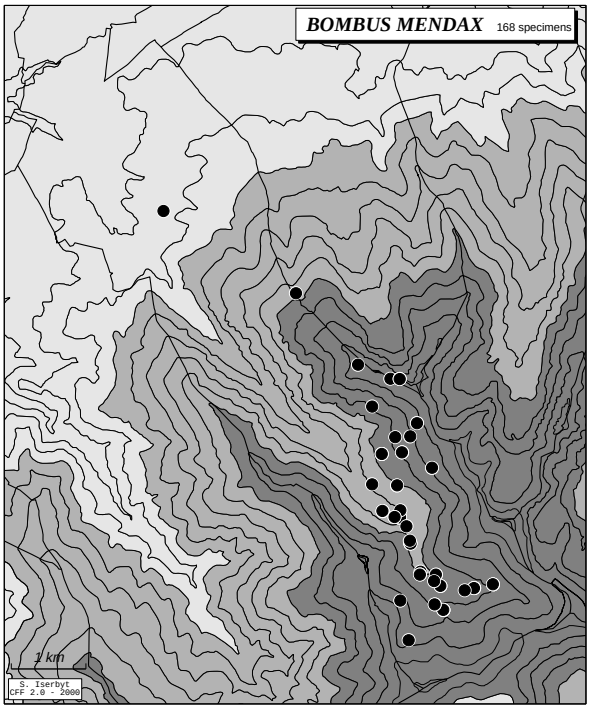

Figure 29. Distribution de *B. mendax* Gerstaecker. Cfr fig. 8 pour la légende.

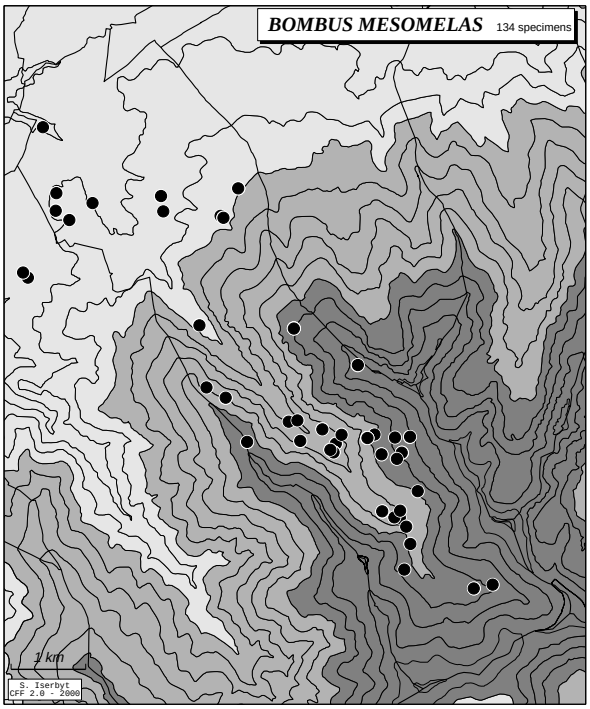

Figure 30. Distribution de *B. mesomelas* Gerstaecker. Cfr fig. 8 pour la légende.

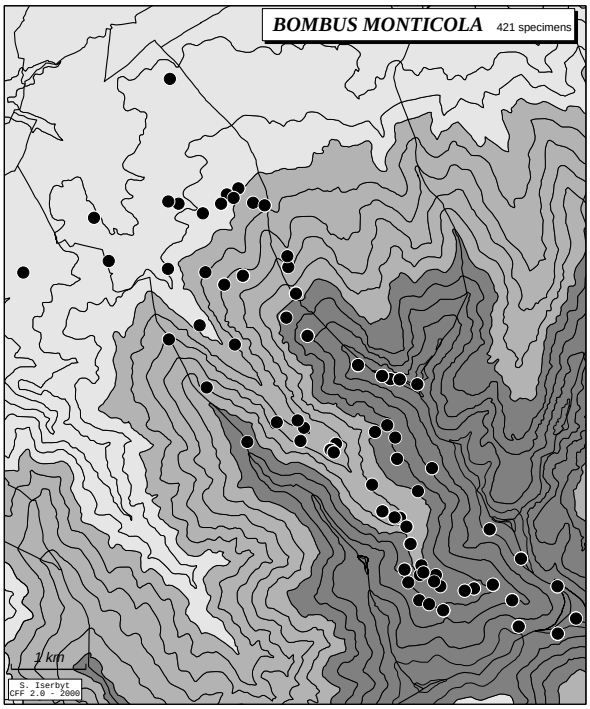

Figure 31. Distribution de *B. monticola* Smith. Cfr fig. 8 pour la légende.

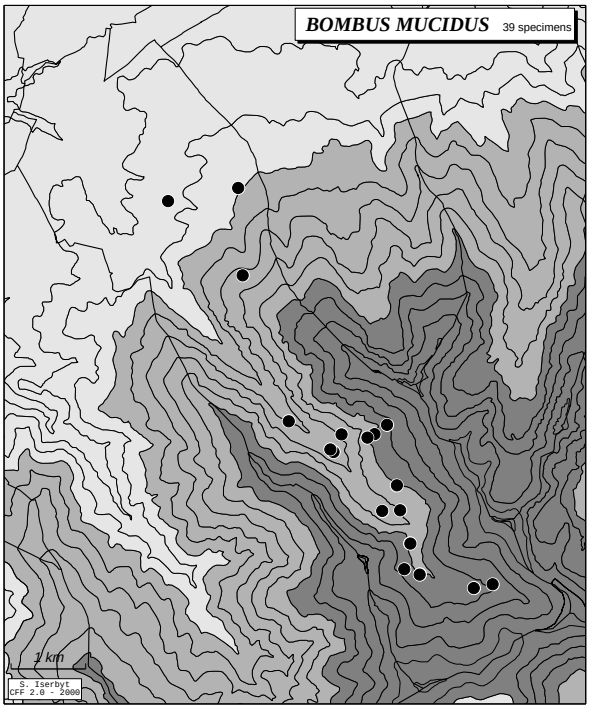

Figure 32. Distribution de *B. mucidus* Gerstaecker. Cfr fig. 8 pour la légende.

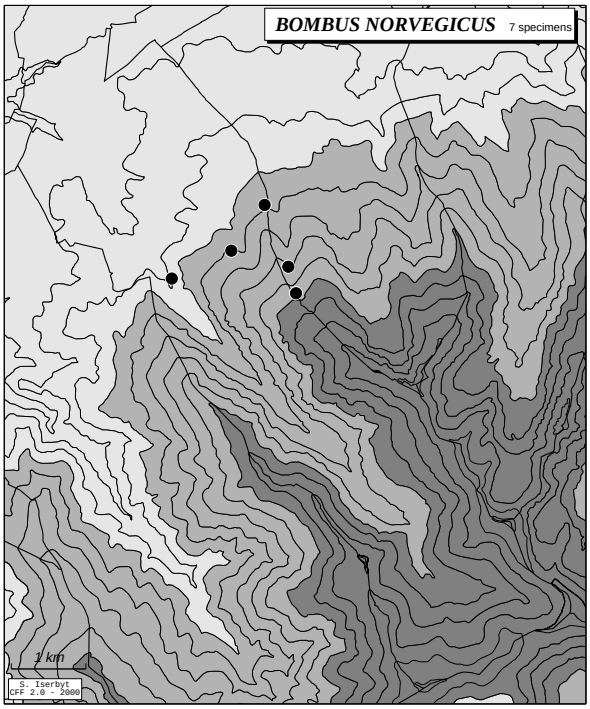

Figure 33. Distribution de *B. norvegicus* Schenck. Cfr fig. 8 pour la légende.

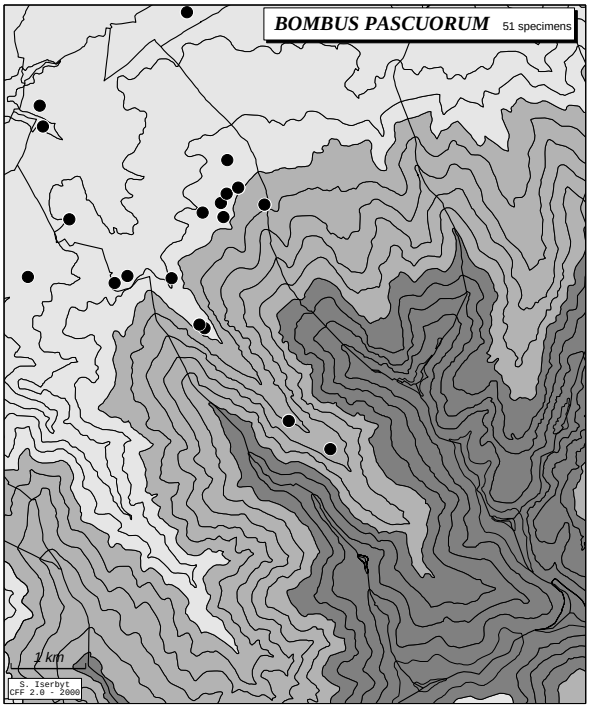

Figure 34. Distribution de *B. pascuorum* (Scopoli). Cfr fig. 8 pour la légende.

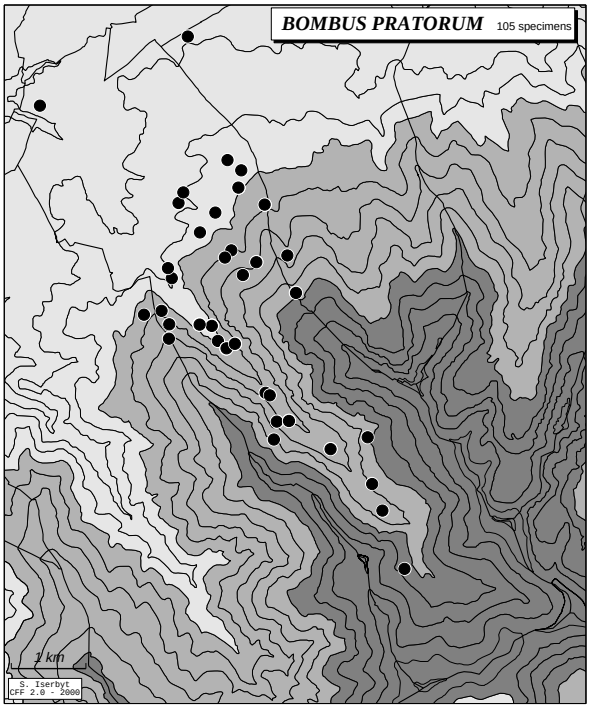

Figure 35. Distribution de *B. pratorum* (L.). Cfr fig. 8 pour la légende.

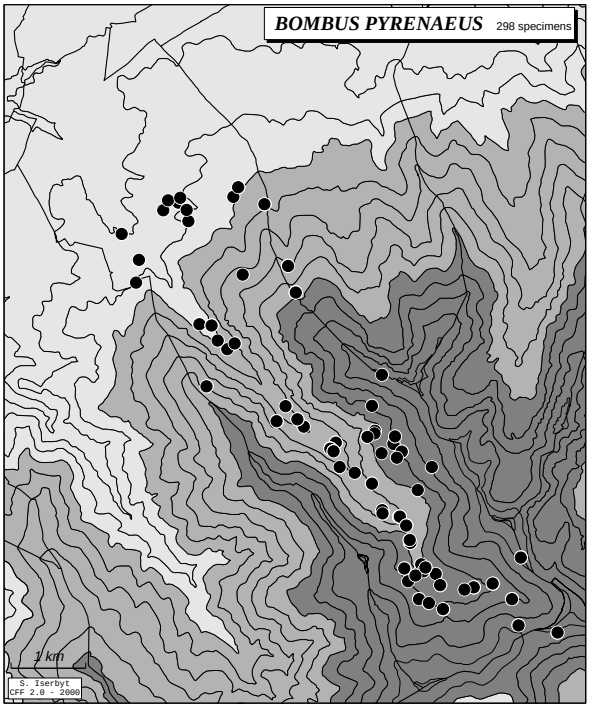

Figure 36. Distribution de *B. pyrenaeus* Pérez. Cfr fig. 8 pour la légende.

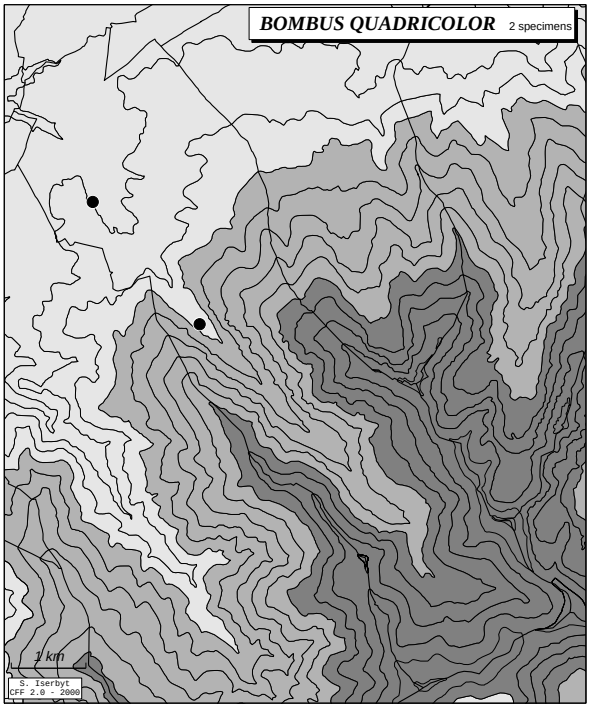

Figure 37. Distribution de *B. quadricolor* Lepeletier. Cfr fig. 8 pour la légende.

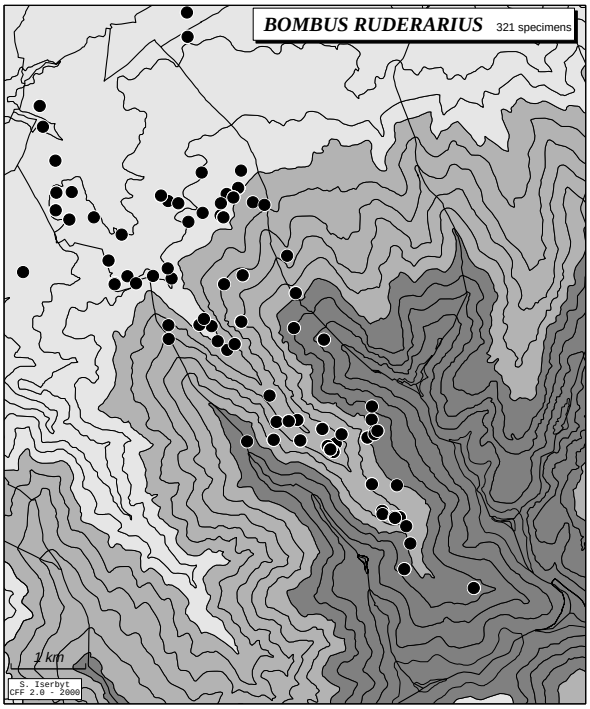

Figure 38. Distribution de *B. ruderarius* Müller. Cfr fig. 8 pour la légende.

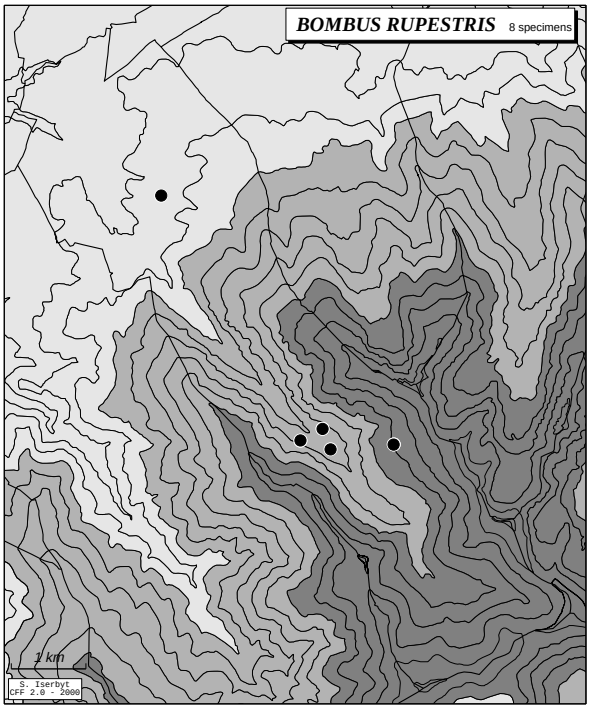

Figure 39. Distribution de *B. rupestris* Fabricius. Cfr fig. 8 pour la légende.

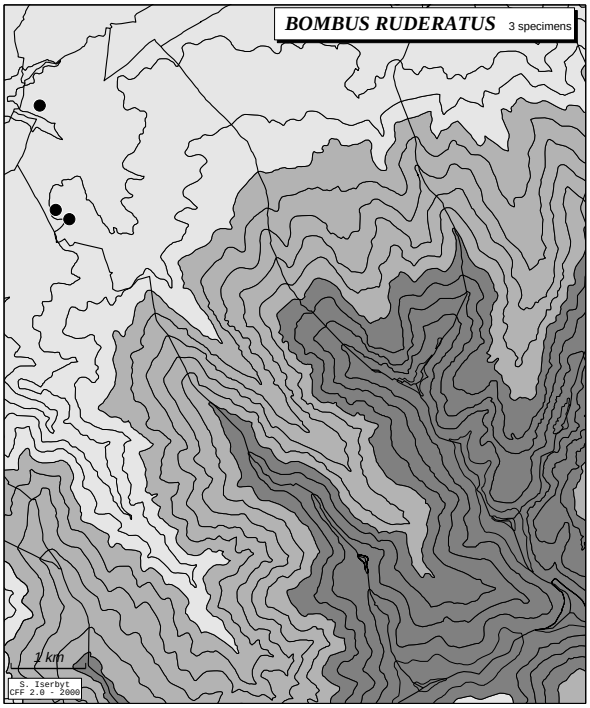

Figure 40. Distribution de *B. ruderatus* (Scopoli). Cfr fig. 8 pour la légende.

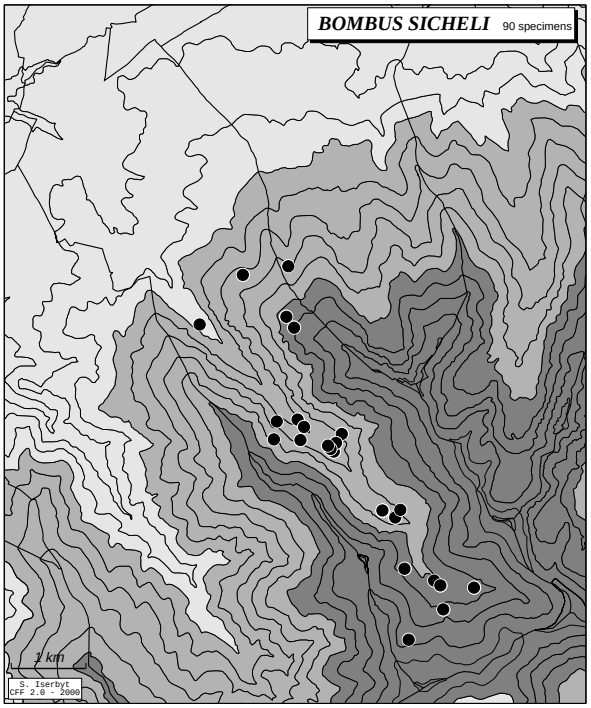

Figure 41. Distribution de *B. sicheli* Radoszkowski. Cfr fig. 8 pour la légende.

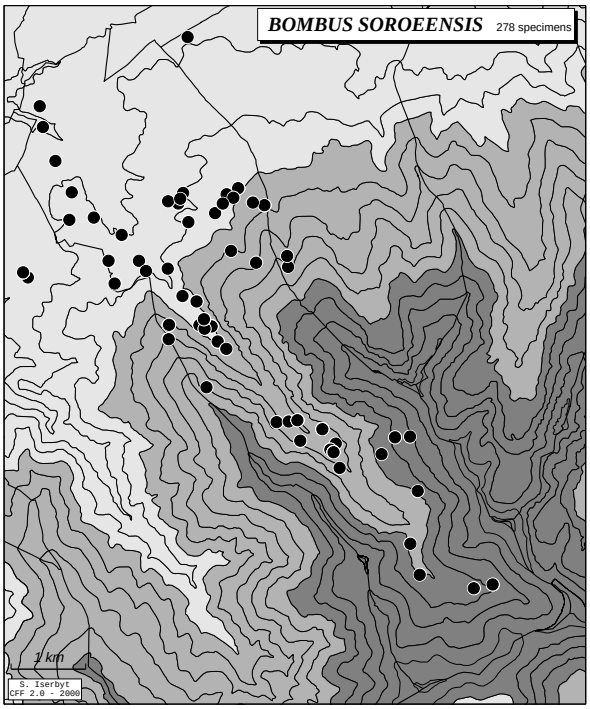

Figure 42. Distribution de *B. soroeensis* Fabricius. Cfr fig. 8 pour la légende.

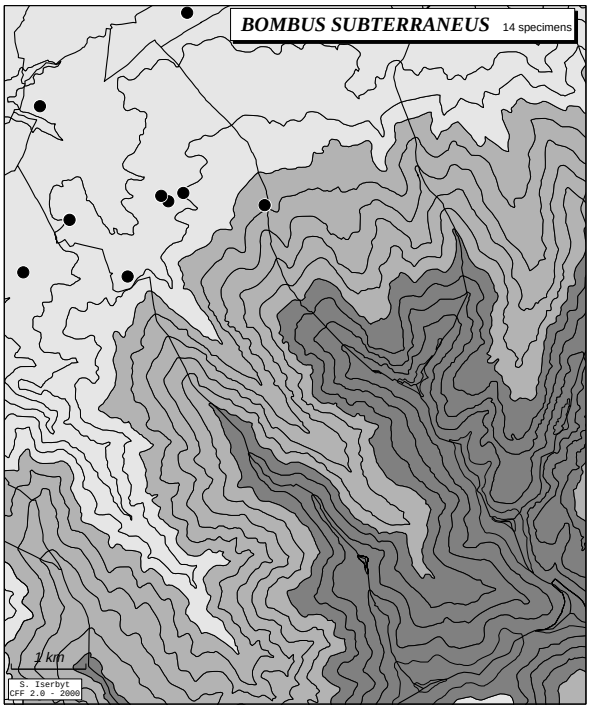

Figure 43. Distribution de *B. subterraneus* (L.). Cfr fig. 8 pour la légende.

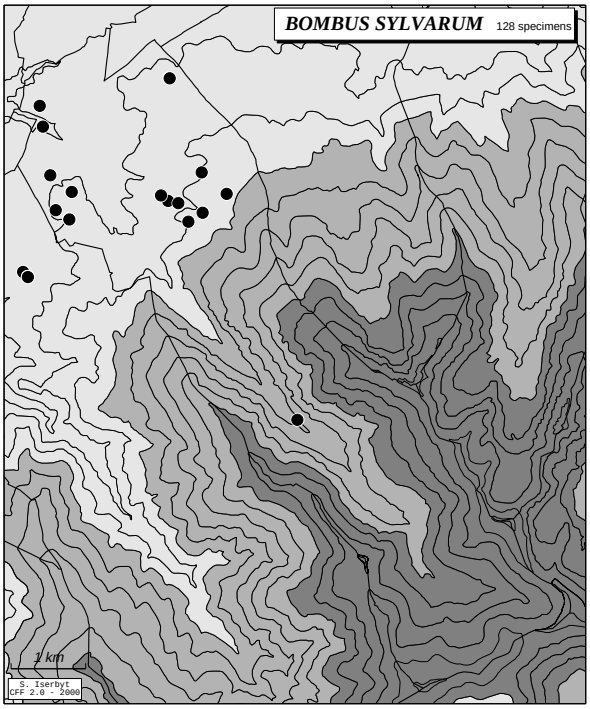

Figure 44. Distribution de *B. sylvarum* (L.). Cfr fig. 8 pour la légende.

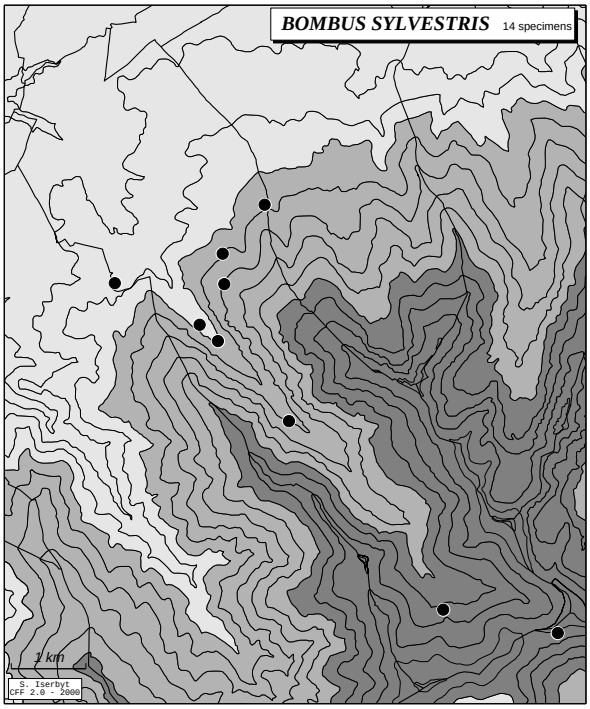

Figure 45. Distribution de *B. sylvestris* Lepeletier. Cfr fig. 8 pour la légende.

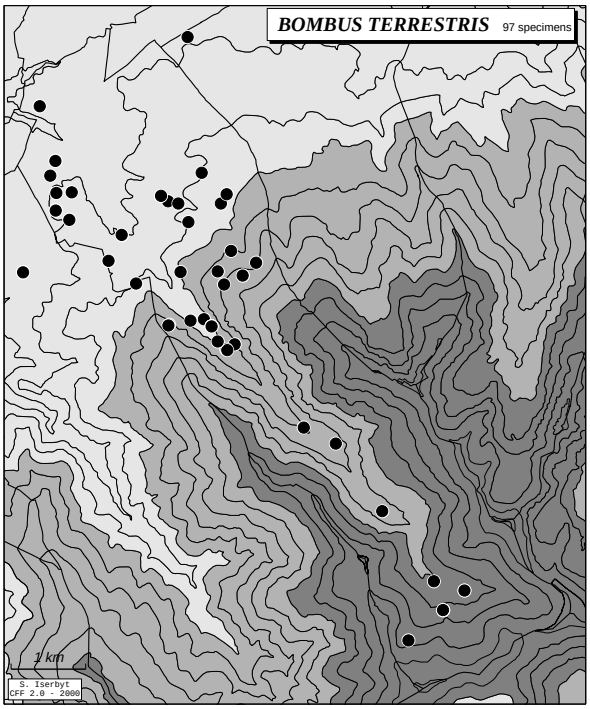

Figure 46. Distribution de *B. terrestris* (L.). Cfr fig. 8 pour la légende.

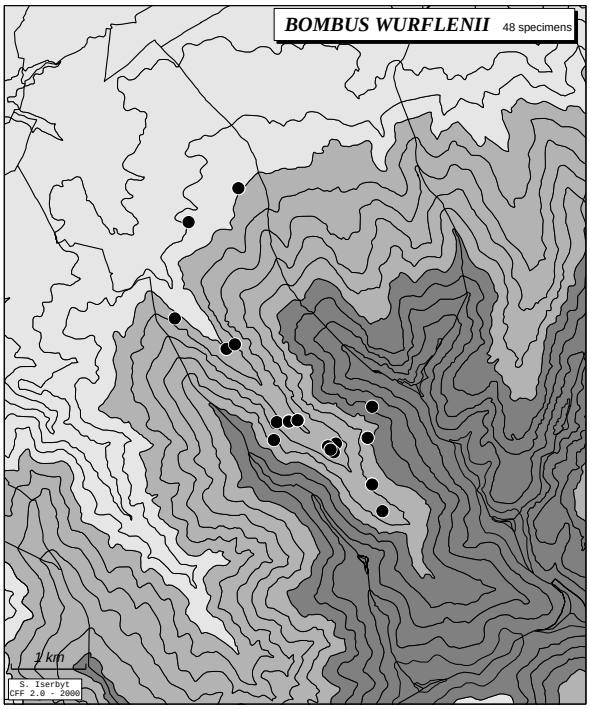

Figure 47. Distribution de *B. wurfleinii* Radoszkowski. Cfr fig. 8 pour la légende.

4.3.3. Répartition des bourdons en fonction de la physionomie végétale

La physionomie végétale joue un rôle important dans la répartition des espèces au sein de groupes écologiques (Reinig, 1970). Parmi les différentes physionomies végétales, le pourcentage des effectifs de chaque espèce permet de mettre en évidence les préférences des espèces pour tel ou tel milieu (tab. 16). La distinction de groupes d'espèces comme celle effectuée en fonction de l'altitude n'est pas évidente. Un groupe d'espèces inféodées aux prés de fauche se distingue. Il se compose de *B. sylvarum*, *B. humilis*, *B. lapidarius*, *B. ruderatus*, *B. confusus* et *B. subterraneus*. Ce groupe est identique à celui des espèces de basse altitude. Les prés de fauche situés essentiellement entre 1450 et 1750m apparaissent être le milieu de prédilection de ces espèces. De même, un groupe d'espèces inféodées aux pelouses subalpine et alpine se distingue (*B. mesomelas*, *B. pyrenaeus*, *B. mucidus*, *B. mendax*, *B. sicheli* et *B. monticola*). Ce groupe à l'exception de *B. mesomelas* est analogue au groupe d'espèces de haute altitude.

Tableau 16. Fréquence relative en % des espèces dans les différents milieux

Espèces	Pré de fauche	Lisière bois/pdf	Forêt	Lisière bois/subalpin	Pelouse subalpine	Pelouse alpine
B. confusus	**100,00**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B. ruderatus	**100,00**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B. sylvarum	**96,90**	2,33	0,00	0,00	0,00	0,00
B. lapidarius	**90,48**	4,76	0,00	4,76	0,00	0,00
B. humilis	**89,47**	7,89	0,00	2,63	0,00	0,00
B. subterraneus	**75,00**	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B. terrestris	**64,15**	3,77	0,94	19,81	10,38	0,94
B. lucorum	**52,66**	13,41	3,02	18,48	8,09	4,35
B. soroeensis	**38,08**	13,88	2,49	27,40	18,15	0,00
B. magnus	**33,33**	16,67	16,67	0,00	33,33	0,00
B. pascuorum	25,49	**47,06**	7,84	17,65	1,96	0,00
B. hypnorum	0,00	20,00	30,00	**50,00**	0,00	0,00
B. pratorum	5,71	17,14	9,52	**60,00**	7,62	0,00
B. hortorum	19,64	21,43	1,79	**44,05**	13,69	2,38
B. wurflenii	2,08	10,42	0,00	**58,33**	29,17	0,00
B. gerstaeckeri	0,00	0,00	0,00	**76,47**	23,53	0,00
B. ruderarius	25,16	19,25	0,62	14,29	39,75	1,24
B. mesomelas	33,82	5,15	0,00	8,82	**50,74**	1,47
B. pyrenaeus	9,40	4,36	0,00	19,46	**61,74**	5,03
B. mucidus	2,56	2,56	0,00	7,69	**87,18**	0,00
B. mendax	1,19	0,00	0,00	1,19	**92,26**	5,36
B. sicheli	0,00	0,00	0,00	25,56	**73,33**	1,11
B. monticola	4,75	3,80	0,00	10,69	33,49	**47,27**

Les fréquences soulignées sont les plus représentatives pour l'espèce.

4.3.4. Détermination des affinités écologiques

D'autres facteurs, en dehors de l'altitude et de la physionomie végétale, peuvent influencer la distribution des bourdons sur le territoire de la commune. Toutefois, ces facteurs sont eux-mêmes étroitement liés à l'altitude. Pour mesurer l'influence des divers facteurs sur la distribution des espèces, tout en supprimant l'influence de l'altitude, une analyse canonique des correspondances est réalisée.
Les 4 variables écologiques supposées influencer la structure de la faune de bourdons sont :

- physionomie végétale (6 facteurs);
- typologie CORINE (19 facteurs);
- principaux genres de plantes butinées (16 facteurs);
- altitude (1 voire 14 facteurs, selon que l'on travaille respectivement avec l'altitude exacte ou les tranches d'altitude).

Au total, ce sont 42 facteurs pour l'ensemble des variables écologiques qui sont pris en compte dans ce travail.

4.3.4.1. Analyse canonique des correspondances

1. Décomposition de la variance

La décomposition de la variance a permis de quantifier l'effet des différents facteurs sur l'ensemble de la distribution des bourdons (Dufrêne, 1992).

La figure 48 présente la décomposition de la variance d'une matrice de distribution des espèces de bourdons (A) expiquée par deux groupes de facteurs écologiques (B et C). Il est possible de quantifier la part de variance expliquée soit par l'un des deux groupes (B ou C), soit par l'interaction des deux groupes (B et C) de facteurs écologiques choisis.

La physionomie végétale, la typologie CORINE ainsi que les plantes (facteurs B) se répartissent différemment à Eyne, en fonction de l'altitude (facteur C). L'élimination du rôle de l'altitude permet dès lors de mesurer le rôle exact de tel ou tel facteur B dans la distribution des bourdons.

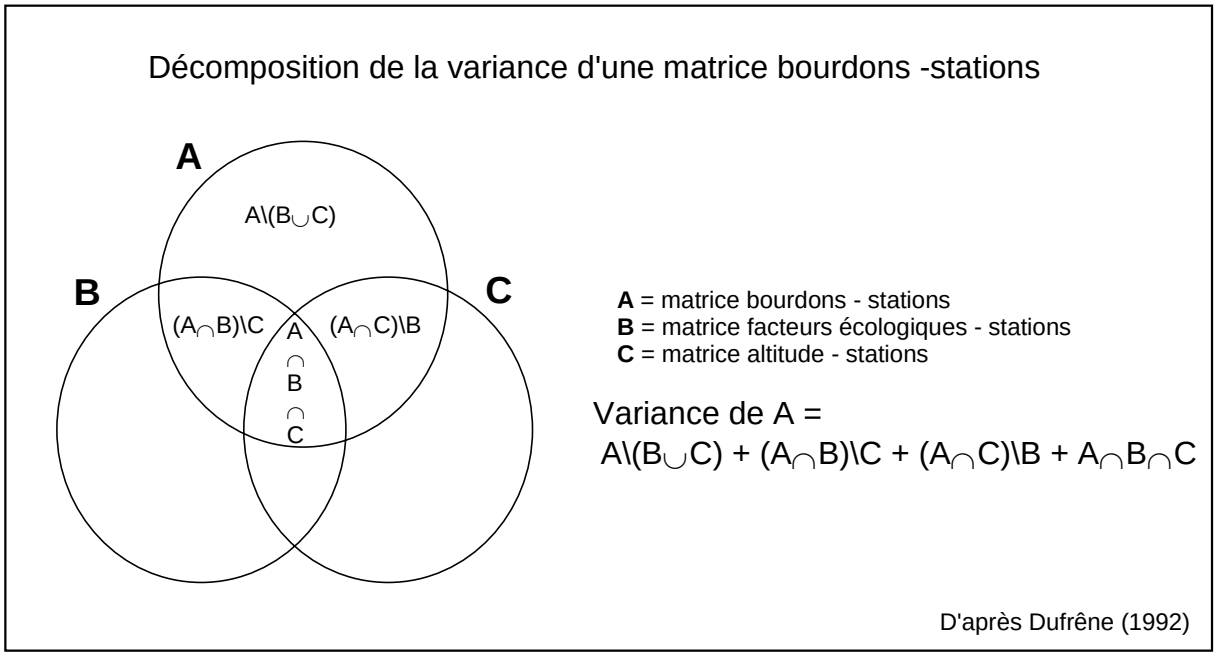

Figure 48. Représentation de la décomposition de la variance d'une matrice bourdons stations (d'après Dufrêne, 1992).

- (A∩B)\C: mesure de la variance des espèces qui est expliquée uniquement par les variables écologiques B.
- A∩B∩C: mesure de la variance commune aux matrices Bourdons-Stations (A), Stations-Facteurs écologiques (B) et Stations-Altitude (C)
- (A∩C)\B: mesure de la variance des espèces expliquée par l'altitude seule.
- A\(B∩C): mesure de la variance des espèces qui n'est expliquée ni par les variables écologiques (B), ni par l'altitude (C).

La proportion de variance expliquée par une matrice de données dépend du nombre de variables explicatives. La considération d'un trop grand nombre de facteurs pourrait créer de l'information redondante, aléatoire quant à la distribution des bourdons. Canoco fourni de meilleurs résultats quant à l'explication de la variance de bourdons lorsque le nombre de variables est inférieur à 1/3 du nombre de stations (Dufrêne, comm. pers.). Suivant que l'on considère l'altitude exacte (1 facteur) ou des tranches d'altitude (14 facteurs), la proportion de variance expliquée par l'altitude est différente. En considérant tous les autres facteurs, les parts de variance expliquées sont respectivement de 11% et 29% pour l'altitude et les tranches d'altitude.

L'ensemble des facteurs, en dehors de l'altitude (physionomie végétale, code CORINE et plantes butinées) explique 48% de la variance entre les distributions de bourdons. Les 16 principaux genres de plantes butinées expliquent à eux seuls 35% de la variance. Les 19 habitats CORINE et les 6 physionomies végétales expliquent quant à eux moins d'1/3 de la variance (respectivement 29% et 22%). L'altitude explique environ 11% selon les covariables considérées(A∩C, tab. 17). Quel que soit la variable considérée, la variance expliquée par les tranches d'altitude (A∩C, tab. 18) est proche de 29%.

Tableau 17. Variance expliquées par les différents facteurs écologiques, l'altitude codée en valeurs exactes

Décomposition de la variance	Ensemble des facteurs (41)		Plantes butinées (16)		Code CORINE (19)		Physionomie végétale (6)	
	Valeur propre	%	Valeur propre	%	Valeur propre	%	Valeur propre	%
A\B∩C	2,130	50,35	2,410	61,97	2,902	68,61	3,245	76,71
A∩B\C	1,635	38,65	0,998	25,66	0,862	20,38	0,520	12,29
A∩C\B	0,053	1,25	0,131	3,37	0,122	2,88	0,072	1,70
A∩B∩C	0,412	9,74	0,350	9,00	0,344	8,13	0,393	9,29
Factoriel	2,100	49,65	1,479	38,03	1,328	31,39	0,985	23,29
A	4,230	100,00	3,889	100,00	4,230	100,00	4,230	100,00
A∩B	2,047	**48,39**	1,348	**34,66**	1,206	**28,51**	0,913	**21,58**
A∩C	0,465	**10,99**	0,481	**12,37**	0,466	**11,02**	0,465	**10,99**

Par factoriel, on entend la variance de la distribution des bourdons expliquée par l'ensemble des facteurs écologiques (B et C). Les termes A∩B et A∩C se réfèrent à la variance expliquée uniquement par les facteurs écologiques (B) d'une part et l'altitude (C) d'autre part.

Tableau 18. Variance expliquées par les différents facteurs écologiques, l'altitude codée par tranches d'altitude

Décomposition de la variance	Ensemble des facteurs (41)		Plantes butinées (16)		Code CORINE (19)		Physionomie végétale (6)	
	Valeur propre	%	Valeur propre	%	Valeur propre	%	Valeur propre	%
A\B∩C	1,866	44,11	1,979	50,89	2,480	58,63	2,889	68,30
A∩B\C	1,153	27,26	0,671	17,25	0,547	12,93	0,139	3,29
A∩C\B	0,317	7,49	0,562	14,45	0,544	12,86	0,428	10,12
A∩B∩C	0,894	21,13	0,677	17,41	0,659	15,58	0,774	18,30
Factoriel	2,364	55,89	1,910	49,11	1,750	41,37	1,341	31,70
A	4,230	100,00	3,889	100,00	4,230	100,00	4,230	100,00
A∩B	2,047	**48,39**	1,348	**34,66**	1,206	**28,51**	0,913	**21,58**
A∩C	1,211	**28,63**	1,239	**31,86**	1,203	**28,44**	1,202	**28,42**

Par factoriel, on entend la variance de la distribution des bourdons expliquée par l'ensemble des facteurs écologiques (B et C). Les termes A∩B et A∩C se réfèrent à la variance expliquée uniquement par les facteurs écologiques (B) et l'altitude (C).

Les tableaux 17 et 18 montrent l'existence de relations entre la distribution des bourdons et les facteurs écologiques. Environ 50% de la variance totale de la répartition des bourdons est directement interprétée par l'ensemble des facteurs écologiques (altitude non comprise). Les 50% de la variance résiduelle devraient être expliqués par d'autres facteurs que ceux étudiés (climat, phénologie, quantité de nectar par plantes, ...). Parmi les facteurs étudiés, les genres de plantes butinées sont la principale variable structurant la distribution des espèces. Elles expliquent à elles seules, plus de 1/3 de la variance. En revanche, dans une telle région montagneuse, la contribution de l'altitude à l'explication de la répartition des bourdons est plus faible qu'attendu (environ 11%).

2. Résultats de l'ACC

Trois des tableaux issus de l'ACC sont importants pour la représentation graphique des résultats. Il s'agit des coordonnées des espèces et des stations sur les 4 principaux axes canoniques ainsi que la contribution des facteurs écologiques à ces mêmes axes (Annexes V à VII). L'ACC considère que les espèces réagissent aux mêmes combinaisons linéaires que les variables écologiques. Ces combinaisons sont représentés par les axes canoniques principaux. La visualisation des relations espèces-milieux est ainsi simplifiée. La projection des espèces et des facteurs écologiques sur les 4 axes principaux suggère l'existence de groupes robustes d'espèces de bourdons, quel que soit le type de variable pris en compte. Par facilité, seuls les résultats de l'ACC relatifs à l'analyse simultanée des facteurs écologiques sont présentés ci-dessous.

La représentation en 2 dimensions ne permet pas de visionner conjointement les 4 axes canoniques. Toutefois, la projection des espèces sur les deux premiers axes laisse apparaître l'existence de groupes de bourdons (fig. 49).

Les facteurs qui contribuent le plus à la définition de l'axe 1 sont positivement l'altitude et négativement les prés de fauche (Tob). L'axe 2 quant à lui est défini positivement par le Mesobromion (code 343261) et négativement par *Aconitum* (Annexe VI).

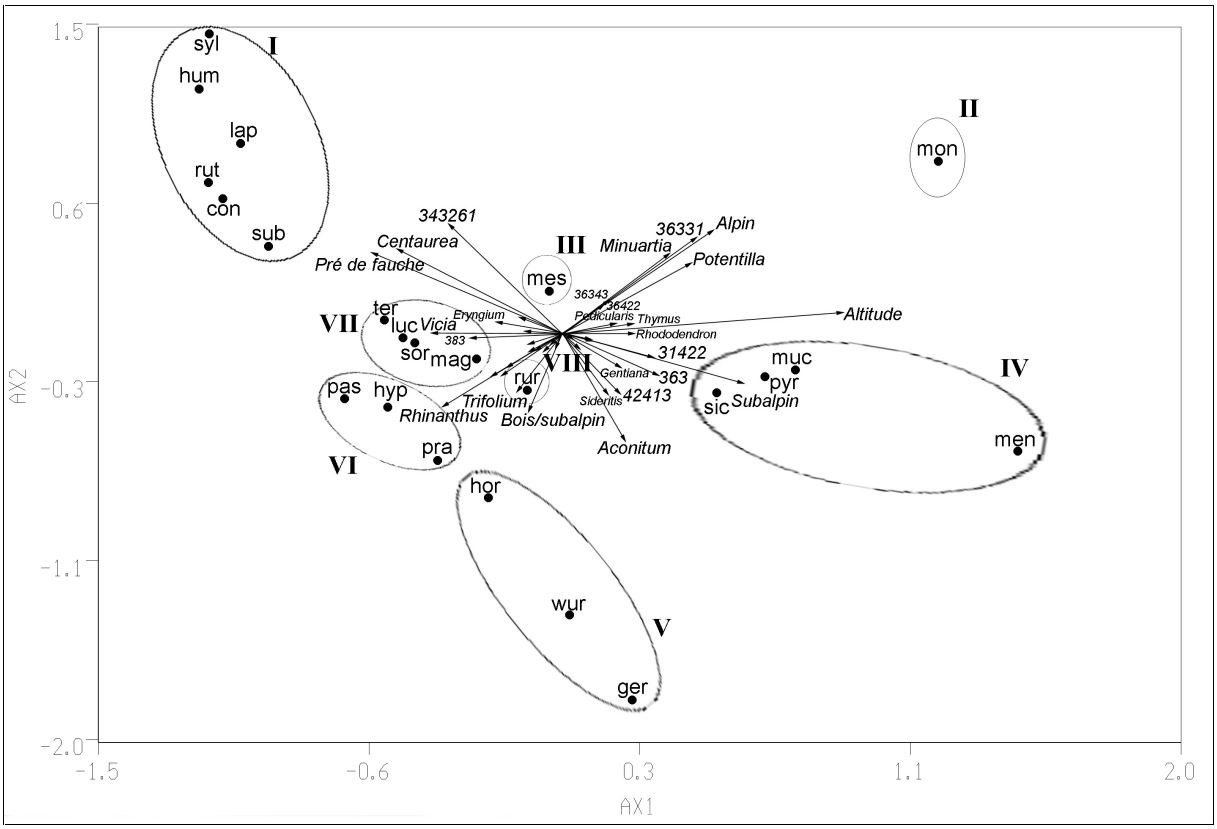

Figure 49. Projection des espèces et des facteurs sur les deux premiers axes canoniques en tenant compte de tous les facteurs écologiques.

Groupe I: *B. sylvarum* (syl), *B. humilis* (hum), *B. lapidarius* (lap), *B. ruderatus* (rut), *B. confusus* (con), *B. subterraneus* (sub).

Groupe II: *B. monticola* (mon).

Groupe III: *B. mesomelas* (mes).

Groupe IV: *B. mendax* (men), *B. mucidus* (muc), *B. pyrenaeus* (pyr), *B. sicheli* (sic).

Groupe V: *B. gerstaeckeri* (ger), *B. wurflenii* (wur), *B. hortorum* (hor).

Groupe VI: *B. pratorum* (pra), *B. hypnorum* (hyp), *B. pascuorum* (pas).

Groupe VII: *B. terrestris* (ter), *B. lucorum* (luc), *B. soroeensis* (sor), *B. magnus* (mag).

Groupe VIII: *B. ruderarius* (rur).

Ces groupes sont plus ou moins caractérisés par les facteurs écologiques qui les influencent. Cependant, la pertinence de l'influence de tel ou tel facteur n'est pas démontré dans cette analyse.

- Le groupe I (*B. sylvarum*, *B. humilis*, *B. lapidarius*, *B. ruderatus*, *B. confusus*, *B. subterraneus*) se distingue par les facteurs: prés de fauche (Tob), Mesobromion (code 343261) et *Centaurea*.

- Le groupe II constitué par la seule espèce *B. monticola* se distingue des autres groupes par son étroite relation avec les facteurs: altitude, la pelouse alpine (Toc), *Potentilla*, *Minuartia* et Pelouse-F.paniculata (code 36331).

- Le groupe III (*B.mesomelas*) est trop proche de l'origine des axes 1 et 2 pour être caractérisé.

- Le groupe IV (*B. mendax*, *B. mucidus*, *B. pyrenaeus*, *B. sicheli*) se distingue surtout par les facteurs: altitude et pelouse subalpine (Toa).

- Le groupe V (*B. gerstaeckeri*, *B. wurflenii*, *B. hortorum*) se caractérise par les facteurs: lisière bois/subalpin (Lb) et *Aconitum*.

- Le groupe VI (*B. pratorum*, *B. hypnorum*, *B. pascuorum*) semble se distinguer principalement par le *Rhinanthus* et secondairement par *Epilobium*.

- Le groupe VII (*B. terrestris*, *B. lucorum*, *B. soroeensis*, *B. magnus*) se distingue par les facteurs: *Vicia*, pré de fauche (code 383) et *Eryngium*.

- Le groupe VIII constitué par la seule espèce *B. ruderarius* se distingue par le seul facteur *Trifolium.*

La figure 50 met en évidence l'importance de la relation qui existe entre les espèces et le facteur altitude. Trois groupes d'espèces peuvent être distingués:

- les espèces de basse altitude (Ba): *B. sylvarum*, *B. humilis*, *B. lapidarius*, *B. ruderatus*, *B. confusus*, *B. subterraneus*.

- les espèces de moyenne altitude (Ma): *B. pascuorum*, *B. terrestris*, *B. lucorum*, *B. hypnorum*, *B. pratorum*, *B. soroeensis*, *B. magnus*, *B. hortorum*, *B. ruderarius*, *B. mesomelas*, *B. wurflenii*, *B. gerstaeckeri*.

- les espèces de haute altitude (Ha): *B. mendax*, *B. mucidus*, *B. pyrenaeus*, *B. sicheli*, *B. monticola*.

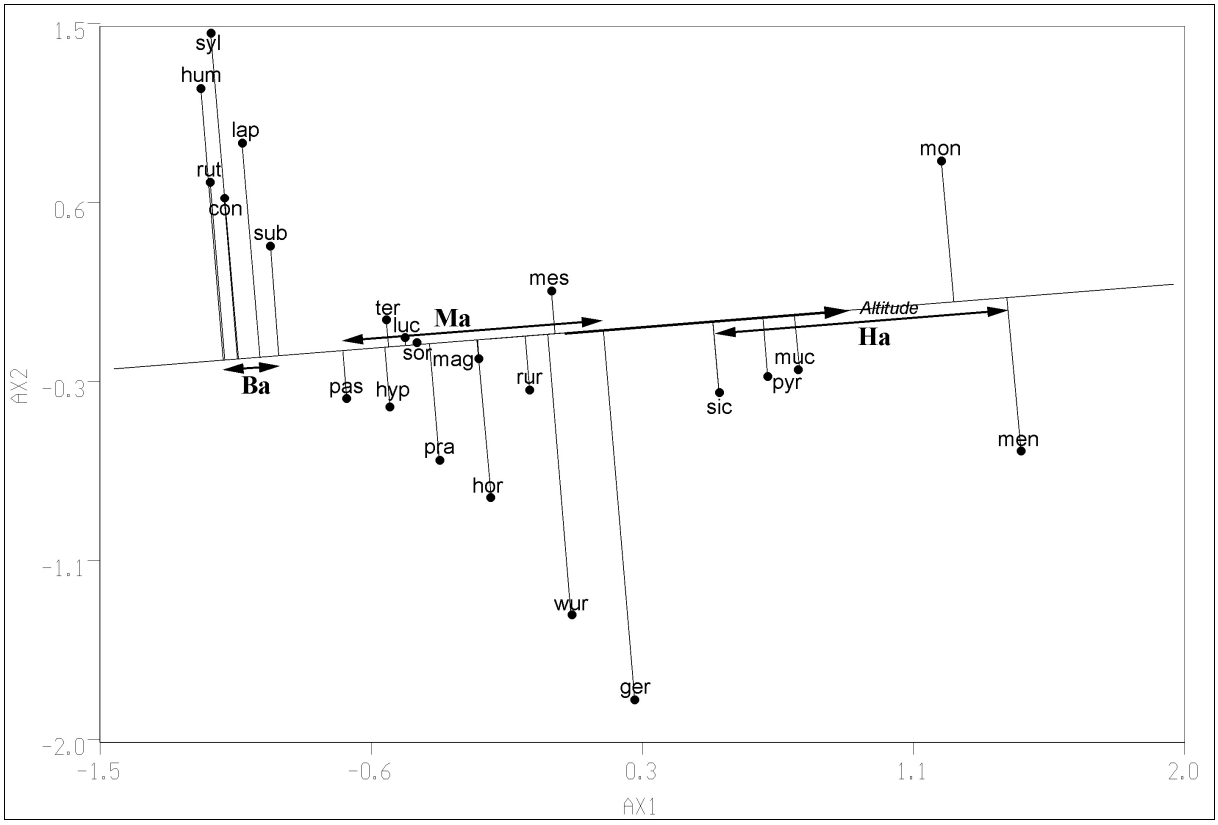

Figure 50. Mise en évidence de la relation entre les distributions de bourdons et l'altitude par la projection orthogonale des espèces sur une droite qui prolonge le vecteur "altitude".

La réalisation d'une ACC en supprimant l'effet de l'altitude donne des résultats différents (fig. 51). On observe des changements majeurs dans les ordinations du fait de l'existence de relations entre l'altitude et les autres variables. Les facteurs qui contribuent le plus à la définition de l'axe 1 sont positivement les prés de fauche (Tob) et les pelouses alpines (Toc) et négativement *Aconitum*.. L'axe 2 quant à lui est défini positivement par les pelouses subalpines et négativement par *Rhinanthus*.

L'impression de groupes subsiste mais beaucoup plus disparates, plus étalés. *B. monticola* semble néanmoins toujours être séparé des autres espèces par les facteurs qui l'influencent. De même, le groupe 1 reste constant et semble toujours être influencé par les prés de fauche (Tob), *Centaurea* et la typologie CORINE Mesobromion (code 343261). La distribution de *B. mesomelas* apparaît dès à présent comme dépendante de la présence de *Carduus.* La distribution de *B. ruderarius* par cette analyse semble difficilement caractérisable par l'un ou l'autre facteur (proximité de l'origine des 2 axes).

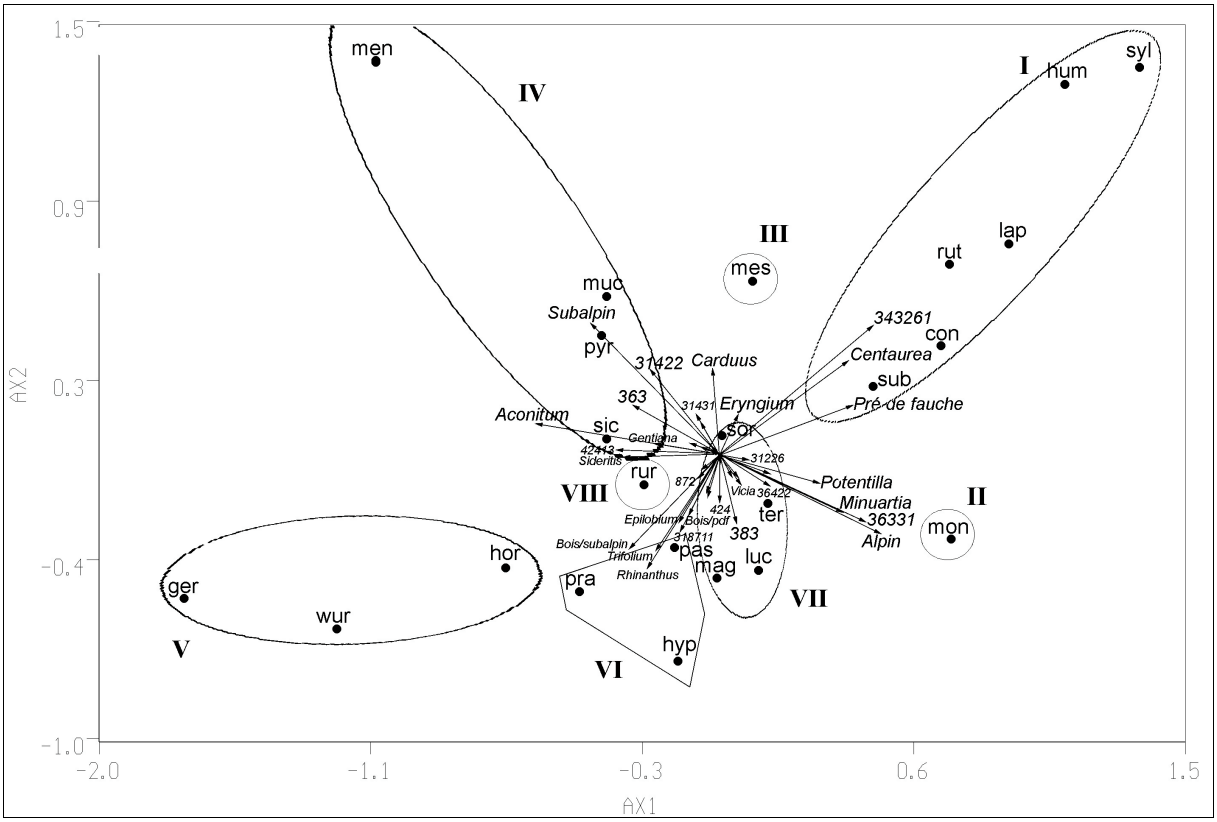

Figure 51. Analyse Canonique des correspondances. Projection des espèces et des facteurs sur les deux premiers axes en tenant compte de tous les facteurs écologiques à l'exception de l'altitude.

Le graphique des projections est en réalité difficilement interprétable: seules quelques impressions en ressortent. La distinction et la caractérisation des groupes doivent être considérées avec précautions pour deux raisons. Tout d'abord, les groupes ci-dessus sont établis à partir de la projection des espèces sur les deux premiers axes de l'ACC. D'autre part, la position relative des espèces par rapport à un facteur environnemental est fonction de la tendance moyenne (centrale) de leur distribution par rapport à ce facteur.

De ce fait, il est préférable de réaliser la projection des 176 stations sur les axes canoniques (Annexe VIII). Toutefois, la complexité de ce graphique en rend difficile l'interprétation. La réalisation d'un dendrogramme (à partir de la matrice Stations - 4 axes de l'ACC) permet de visualiser plus facilement les groupes (fig. 52). C'est ainsi qu'il a été possible de déterminer des groupes de bourdons syntopiques (Reinig, 1970) sur base de l'analyse Indval.

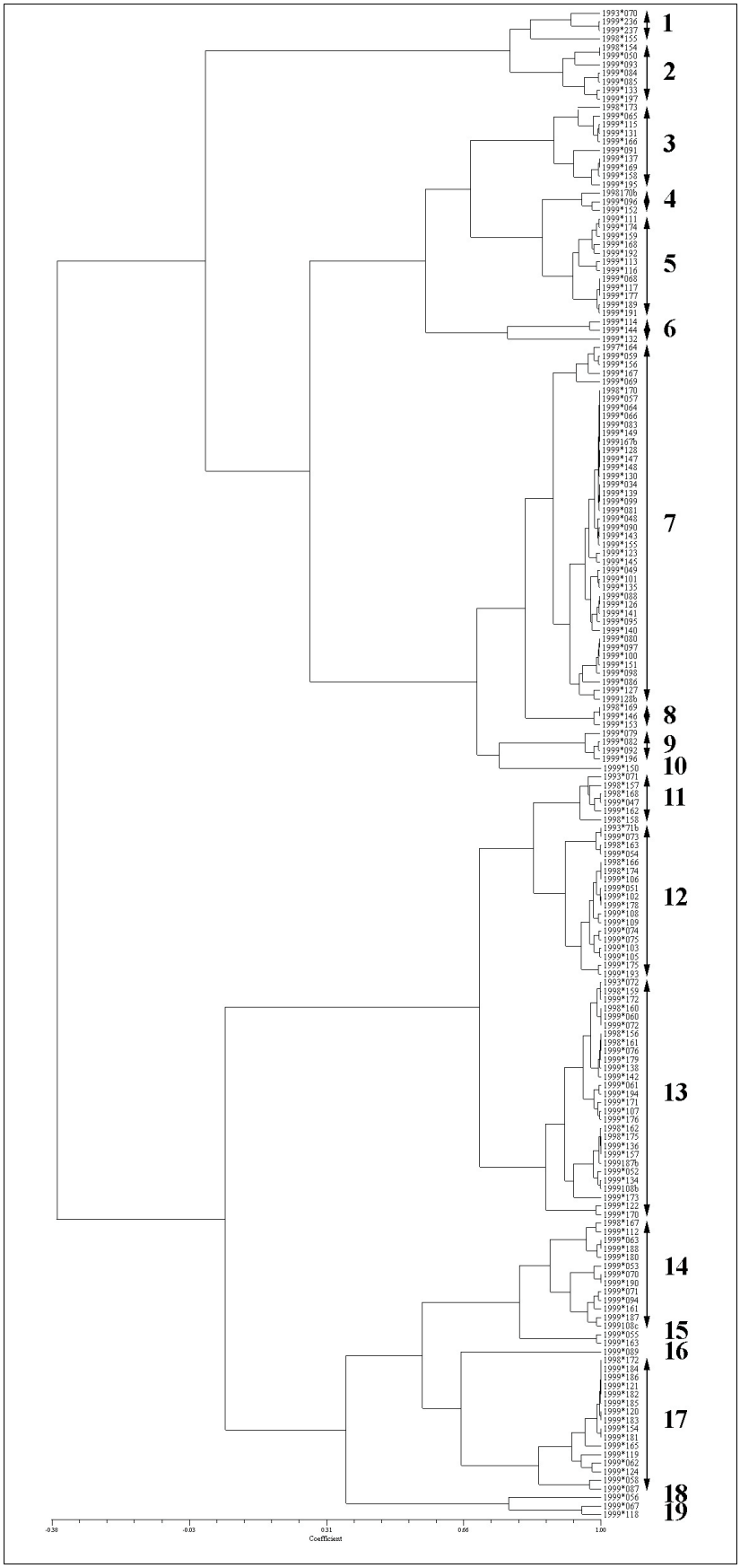

Figure 52. Groupements des 176 stations en 19 groupes sur base de la matrice de projection des stations sur les 4 axes canoniques de l'ACC.

4.3.4.2. Indval

Les groupes de stations établis ci-dessus (fig. 52) sont caractérisés par la présence d'espèces indicatrices (fig. 53).

19 groupes de stations peuvent facilement être mis en évidences. Certains de ces groupes peuvent être caractérisés par une ou plusieurs espèces indicatrices. L'indice Indval maximum et sa probabilité associée (calculé par un test de rang) pour chaque espèce est repris dans le tableau 19.

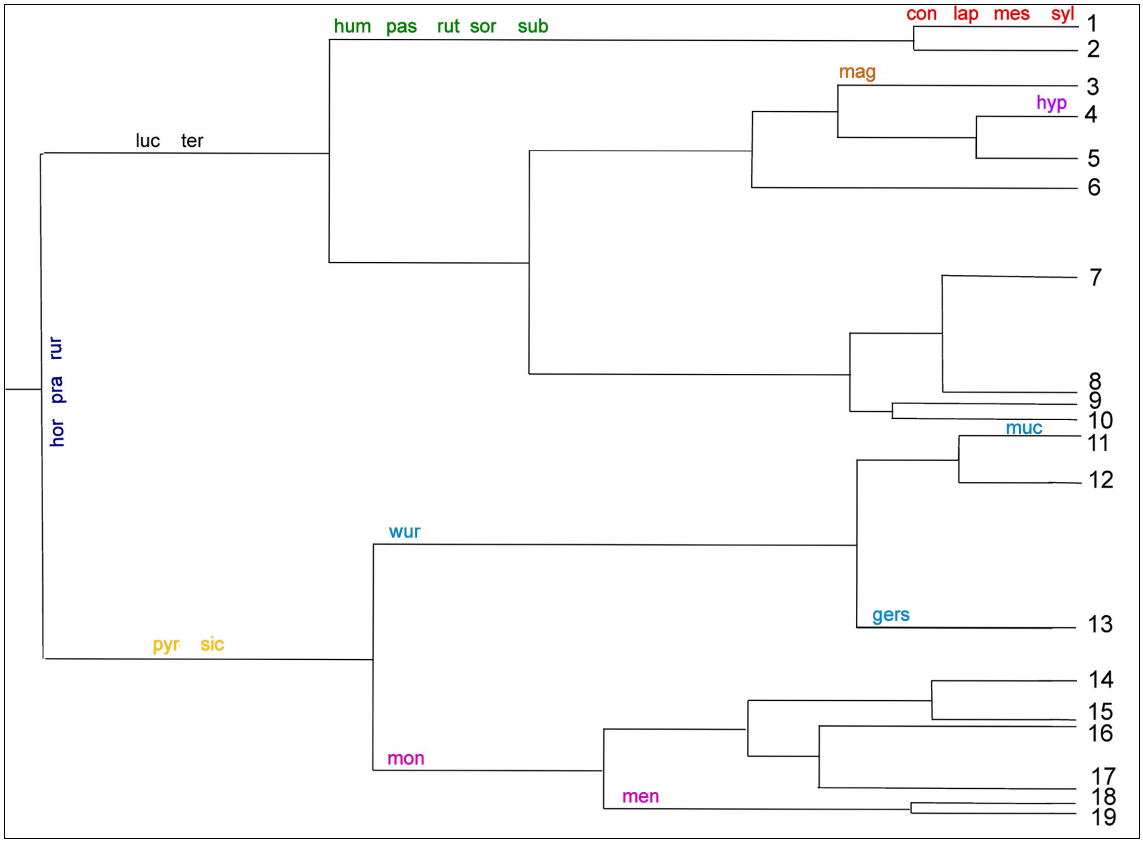

Figure 53. Espèces indicatrices des groupes de stations. Gris-bleu: espèces non indicatrices; noir, espèces indicatrices des groupes de stations 1 à 10; vert, espèces indicatrices des groupes de stations 1 et 2; rouge, les espèces indicatrices du groupe de station 1; orange, l'espèce indicatrice du groupe de station 3; mauve, l'espèce indicatrice du groupe de station 4; bleu clair, espèces indicatrices des groupes de stations 11 à 13; rose, espèces indicatrices des groupes de stations 14 à 19; jaune, espèces indicatrices des groupes de stations 11 à 19.

Les espèces *B. hortorum*, *B. pratorum* et *B. ruderarius*, ne sont indicatrices d'aucun groupe de stations , on les retrouve dès-lors à la base du dendrogramme.

Les espèces indicatrices des stations de moyenne à haute altitude (groupes 11 à 19) sont *B. sicheli* et *B. pyrenaeus*.

La distinction plus précise de deux sous-groupes de stations peut être faite:

- les stations subalpines (groupes 10 à 13) caractérisées par *B. gerstaeckeri*, *B. wurflenii* et *B. mucidus*.
- les stations alpines (groupes 14 à 19) caractérisées par *B. monticola* et *B. mendax*, ce dernier plus caractéristique des groupes de stations 18 et 19.

Les espèces indicatrices de plus basse altitude (groupes 1 à 10). Au sein de ce groupe, *B. terrestris* et *B. lucorum* semblent être ubiquistes. Les espèces *B. humilis*, *B. soroeensis*, *B. ruderatus*, *B. pascuorum* et *B. subterraneus* sont caractéristiques des groupes de stations 1 et 2. Le groupe 1 est défini plus précisément par *B. confusus*, *B. mesomelas, B. lapidarius* et *B. sylvarum.* Les espèces *B. magnus* et *B. hypnorum* caractérisent quant à eux respectivement les groupes de stations 3 et 4.

Tableau 19. Valeur Indval maximale de chaque espèces et groupe(s) de stations caractérisé(s).

Groupe caractérisé Cfr fig. 53	Espèces	Indval	Probabilité associée
1	*B. confusus*	22,96	0,116
1	*B. lapidarius*	3,29	0,020
1	*B. lapidarius*	3,29	0,020
1	*B. sylvarum*	66,46	0,016
1 - 2	*B. humilis*	44,50	0,002
1 - 2	*B. pascuorum*	31,54	0,004
1 - 2	*B. ruderatus*	16,98	0,016
1 - 2	*B. soroeensis*	48,76	0,002
1 - 2	*B. subterraneus*	22,08	0,001
3	*B. magnus*	4,07	0,616
4	*B. hypnorum*	16,36	0,358
1 - 10	*B. lucorum*	75,34	0,002
1 - 10	*B. terrestris*	31,02	0,002
11	*B. mucidus*	30,04	0,140
13	*B. gerstaeckeri*	21,43	0,056
11 - 13	*B. wurflenii*	19,28	0,016
18 - 19	*B. mendax*	48,47	0,008
14 - 19	*B. monticola*	83,09	0,002
11 - 19	*B. pyrenaeus*	41,89	0,002
11 - 19	*B. sicheli*	22,83	0,002
-	*B. hortorum*	30,68	1,000
-	*B. pratorum*	21,59	1,000
-	*B. ruderarius*	43,73	1,000

La présence simultanée d'espèces indicatrices d'un même groupe de stations révèle leurs affinités communes pour certains facteurs écologiques présents dans ces stations. Les groupes d'espèces indicatrices ressemblent d'ailleurs à ceux qui ressortent de la projection des espèces sur les deux premiers axes de l'ACC (fig. 54).

La caractérisation des groupes de stations par les facteurs écologiques permet en théorie de caractériser en même temps les espèces indicatrices. Cependant, définir 176 stations (réunies en 19 groupes) par 42 facteurs s'avère difficile.

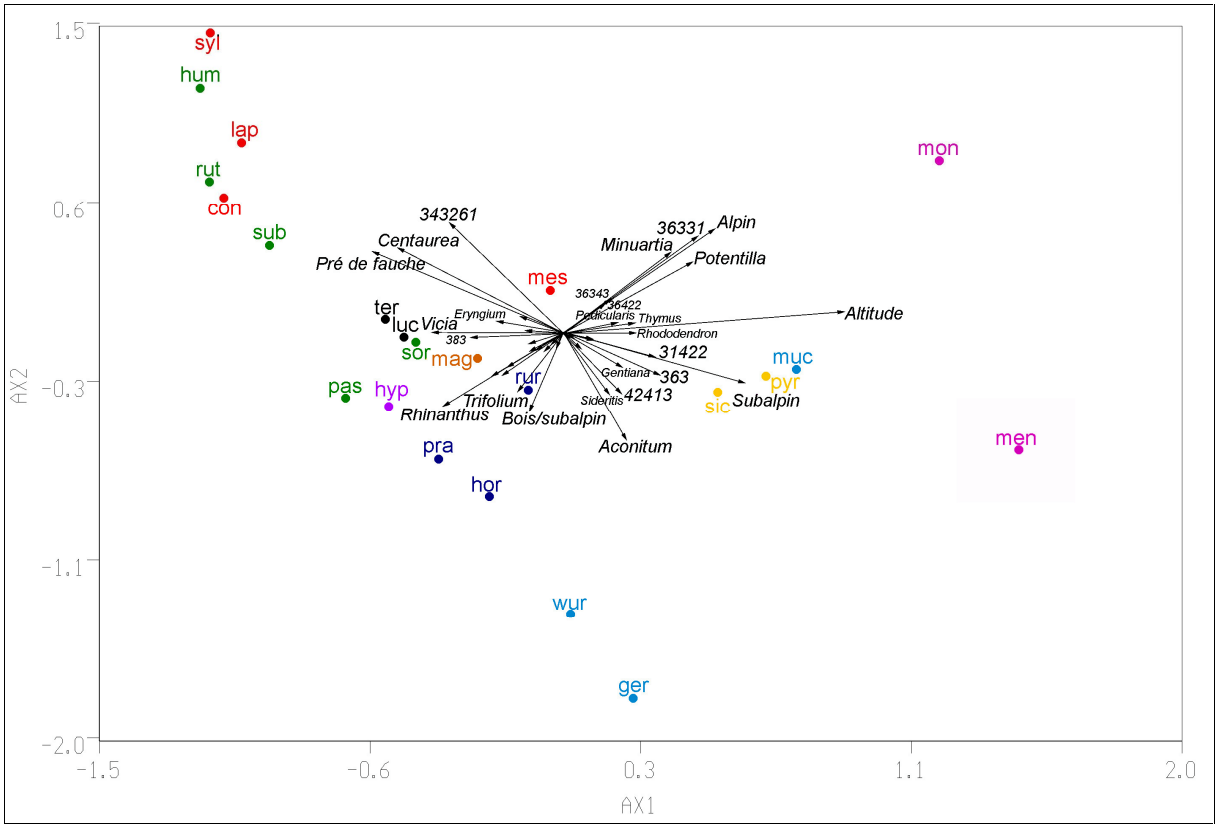

Figure 54. Mise en évidence des espèces indicatrices des groupes de stations sur la projection des deux premiers axes canoniques de l'ACC. Les couleurs se rapportent à celles de la fig. 53.

4.3.4.3. Corrélations de Pearson

Les coefficients de corrélations entre espèces et facteurs écologiques significatifs (P□0,05) figurent dans les tableaux 20 et 20 suite.

Tableau 20. Coefficients de corrélation de Pearson entre les distributions des espèces et les facteurs écologiques caractéristiques des stations

	CONFUSUS	GERSTAECKERI	HORTORUM	HUMILIS	HYPNORUM	LAPIDARIUS	LUCORUM	MAGNUS	MENDAX	MESOMELAS	MONTICOLA	MUCIDUS
Effectif	**2**	17	181	40	10	21	868	**6**	168	138	421	39
Altitude	-	-	-0,19	-0,17	-	-0,19	-0,33	-	0,18	-	0,41	-
Forêt	-	-	-	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-
Lisière Bois/ Pdf	-	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lisière Bois/ subalpin	-	0,22	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse subalpine	-	-	-0,16	-	-	-	-0,25	-	0,30	-	-	0,25
Pré de fauche	0,22	-	-	0,24	-	0,28	0,40	-	-	-	-	-
Pelouse alpine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	-
Lande-Genista	-	-	-	-	-	-	0,19	0,28	-	-	-	-
Lande-Rhodo	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	-	-	-
Buissons-Juniperus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Champ-Cytisus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clairière-Epilobium	-	-	0,19	-	0,17	-	0,17	-	-	-	-	-
Mesobromion	0,18	-	-	0,37	-	0,32	0,16	-	-	0,24	-	-
Xerobromion	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-lisière	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-sub-alpine	-	-	-	-	-	-	-0,19	-	-	-	-	0,23
Pelouse-Nardus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-F.paniculata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	-
Pelouse-F.eskia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-F.airoides	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	-
Pelouse-Oxytropis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pré-fauche	-	-	-	-	-	-	0,28	-	-	-	-	-
Pinède	-	-	-	-	0,24	-	-	-	-	-	-	-
Pinède-Rhodo	-	0,27	0,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pinède-Vaccinium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rudéral	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TRIFOLIUM	-	-	-	-	-	-	0,22	-	-	-	-	-
RHINANTHUS	-	0,16	0,28	-	-	-	0,41	-	-	-	-	-
EPILOBIUM	-	-	0,17	-	0,28	-	-	-	-	-	-	-
VICIA	-	-	-	-	-	-	0,26	-	-	-	-	-
RHODODENDRON	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CENTAUREA	0,16	-	-	0,39	-	0,36	0,37	0,17	-	0,22	-	-
ACONITUM	-	0,43	0,32	-	-	-	-	-	0,29	-	-	-
ERYNGIUM	-	-	-	-	0,16	-	-	-	-	-	-	-
GENTIANA	-	-	-	-	-	-	-	0,15	-	-	-	0,23
SIDERITIS	-	0,18	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33
PHYTEUMA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
THYMUS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,18
POTENTILLA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52	0,23
CARDUUS	0,19	0,19	0,28	0,26	-	0,24	-	-	-	0,29	-	0,28
PEDICULARIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MINUARTIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50	-

Seuls les valeurs significatives ($P \leq 0,05$) sont indiquées. Les valeurs soulignées sont très hautement significatives à $P \leq 0,001$.

Tableau 20(suite). Coefficients de corrélation de Pearson entre les distributions des espèces et les facteurs écologiques caractéristiques des stations

	PASCUORUM	PRATORUM	PYRENAEUS	RUDERARIUS	RUDERATUS	SICHELI	SOROEENSIS	SUBTERRANEUS	SYLVARUM	TERRESTRIS	WURFLENII
Effectif	51	106	298	329	**3**	90	282	16	130	107	47
Altitude	-0,22	-0,18	-	-0,20	-0,18	-	-0,31	-0,25	-0,18	-0,28	-
Forêt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lisière Bois/ Pdf	0,36	-	-	0,20	-	-	-	-	-	-	-
Lisière Bois/ subalpin	-	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18
Pelouse subalpine	-0,16	-0,17	0,29	-	-	0,26	-	-	-	-0,16	-
Pré de fauche	-	-	-	-	0,27	-0,15	0,21	0,29	0,27	0,37	-
Pelouse alpine	-	-	-	-0,15	-	-	-0,16	-	-	-	-
Lande-Genista	-	-	-	-	0,40	-	-	-	-	-	-
Lande-Rhodo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Buissons-Juniperus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cytisus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clairière-Epilobium	0,23	0,30	-	0,16	-	-	0,29	-	-	-	-
Mesobromion	-	-	-	-	-	-	0,26	0,25	0,41	-	-
Xerobromion	-	-	-	0,25	0,18	0,16	-	-	-	-	-
Pelouse-lisière	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-sub-alpine	-	-	0,21	-	-	0,21	-	-	-	-	-
Pelouse-Nardus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-F.paniculata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-F.eskia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-F.airoides	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-Oxytropis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pré-fauche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	-
Pinède	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pinède-Rhodo	-	0,28	0,19	-	-	-	-	-	-	-	-
Pinède-Vaccinium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rudéral	-	-	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-
TRIFOLIUM	-	-	-	0,23	-	0,16	-	-	-	0,18	0,17
RHINANTHUS	0,17	-	-	0,26	-	-	0,26	-	-	0,24	0,32
EPILOBIUM	0,20	0,46	-	-	-	-	0,30	-	-	-	-
VICIA	0,20	-	-	-	0,15	-	-	0,18	-	0,22	-
RHODODENDRON	-	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-
CENTAUREA	-	-	-	-	0,43	-	0,48	0,26	0,40	0,43	-
ACONITUM	-	0,20	0,22	-	-	-	-	-	-	-	0,31
ERYNGIUM	-	0,30	0,28	-	-	-	0,26	-	0,17	-	-
GENTIANA	-	-	0,21	0,16	-	0,25	-	-	-	-	0,18
SIDERITIS	-	-	0,16	0,19	-	0,24	-	-	-	-	0,28
PHYTEUMA	-	-	0,19	-	-	-	-	-	-	-	-
THYMUS	-	-	-	-	-	0,16	-	-	-	-	-
POTENTILLA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CARDUUS	0,18	-	-	-	-	-	-	0,16	0,18	-	0,33
PEDICULARIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MINUARTIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Seuls les valeurs significatives (P 0,05) sont indiquées. Les valeurs soulignées sont très hautement significatives à P 0,001.

Du fait de l'intercorrélation de certains facteurs (voir ci-dessous), il est préférable de considérer des coefficients de corrélation très hautement significatifs ($P \leq 0,001$). En effet, ils traduisent une corrélation plus fiable entre le facteur considéré et la distribution de l'espèce. La probabilité d'observer une telle association entre les deux variables par le hasard d'échantillonnage est inférieure à 0,1%. Néanmoins, certaines espèces (*B. confusus*) ne peuvent alors être caractérisées qu'en considérant un seuil de signification moindre ($P \leq 0,05$). Ceci peut être expliqué par le faible nombre de spécimens pour ces espèces.

La considération du seuil de signification 0,001 est préférée pour limiter les "corrélations *artefacts*". Un exemple typique: *B. gerstaeckeri* semble dépendre de la présence d'*Aconitum* et de la typologie CORINE Pinède-Rhodo (code 42413) ($P \leq 0,001$). Les autres facteurs qui lui sont corrélés significativement (*Carduus*, *Sideritis* et *Rhinanthus*; $P \leq 0,05$) sont des *artefacts.* En effet, ces genres ne sont pas butinés par cette espèce oligotrophe (observations de terrain) mais sont présents dans les mêmes stations qu'*Aconitum*.

La lecture du tableau 20 montre les facteurs écologiques pertinents pour chacune des espèces. Par exemple, *B. confusus* est une espèce influencée par les prés de fauches (Tob), la typologie CORINE Mesobromion (code 343261), *Centaurea* et *Carduus*. De même, *B. monticola* est une espèce influencée par le milieu alpin (Toc), les typologies CORINE Pelouse-F.paniculata (code 36331) et Pelouse-F.airoides (code 36343), *Potentilla*, *Minuartia* et *Thymus*.

La réalisation d'un dendrogramme (fig. 54) sur base des valeurs des corrélations Bourdons-Facteurs révèle des groupes grossièrement analogues à ceux déjà observés en fonction de l'altitude (*Percentage Overlap*).

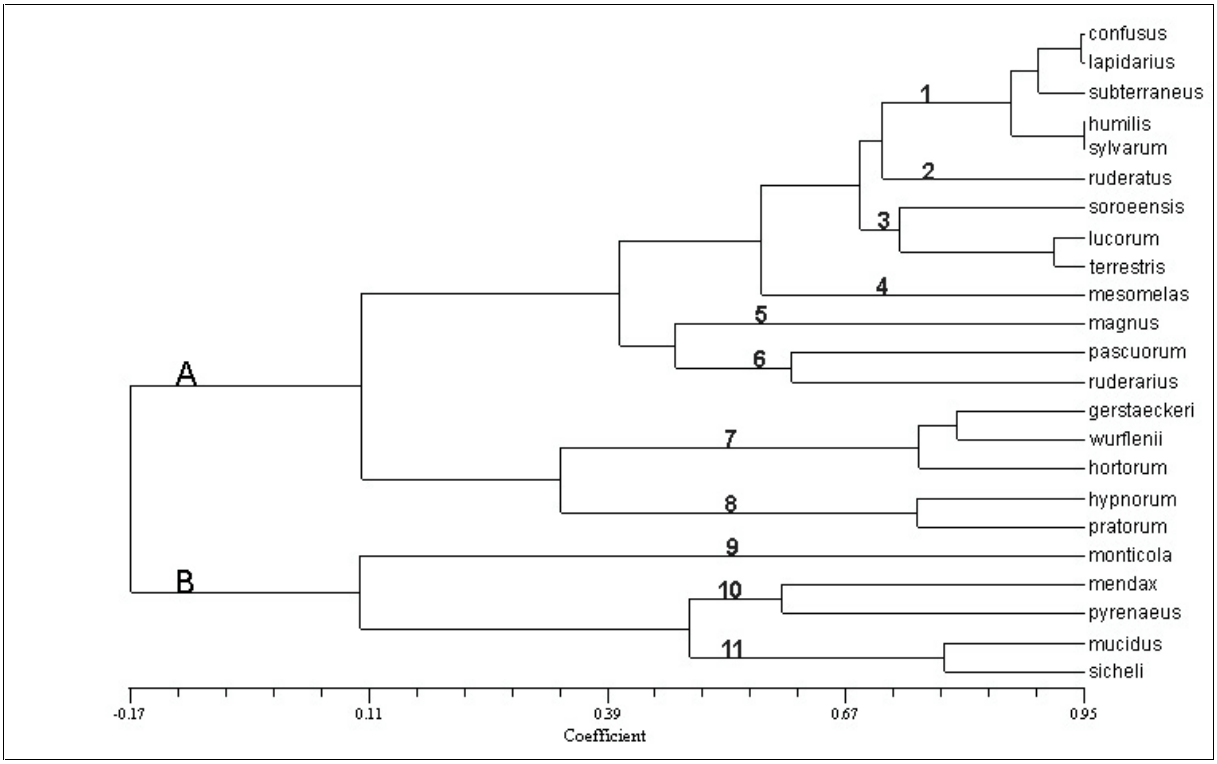

Figure 54. Groupement (UPGMA) des espèces selon leurs affinités communes pour les facteurs écologiques (coefficients de corrélation de Pearson). Pour les numéros de branches voir tab. 21.

En considérant, toutefois les coefficients significatifs (P□0,05; tab. 20), les groupes d'espèces définis sur la figure 14 peuvent être facilement caractérisés par les facteurs qui les influencent (tab. 21).

Tableau 21. Résumé des facteurs influençant les différents groupes

Branche Cfr fig. 54	Physionomie végétale	Habitat CORINE	Plantes	Altitude
1	Pré de fauche	Mesobromion	*Centaurea Carduus*	-
2	Pré de fauche	Lande-Genista Xerobromion	*Centaurea*	-
3	Pré de fauche		*Centaurea Rhinanthus Epilobium*	-
4	Pré de fauche	Mesobromion	*Centaurea Carduus*	-
5		Lande-Genista	*Centaurea Gentiana*	-
6	Lisière Bois/ pdf	Clairière-Epilobium	*Rhinanthus*	-
7	Lisière Bois/ subalpin		*Aconitum Carduus*	
8		Clairière-Epilobium	*Epilobium Eryngium*	
9	Pelouse alpine	Pelouse-F.paniculata	*Thymus Potentilla Minuartia*	+
10	Pelouse subalpine		*Aconitum*	
11	Pelouse subalpine	Pelouse-sub-alpine	*Sideritis Thymus*	

La comparaison de ces résultats avec les analyses précédentes (*Percentage overlap*) montre à nouveau une distinction grossière entre les principaux groupes de bourdons. L'altitude semble être le facteur prépondérant en distinguant les espèces de basse et moyenne altitudes (groupe A, sous-groupes 1 à 9), des espèces de haute altitude (groupe B. sous-groupes 10 à 12). Ces deux groupes se distinguent nettement sur le dendrogramme (fig. 14).

L'altitude influence indirectement la plupart des espèces à l'exception de *B. monticola* et des sous-groupes 1 à 4. Les sous-groupes 10 et 11 ne sont pas corrélés significativement à l'altitude mais par le milieu qu'ils occupent (pelouses subalpines, Toa). Ils sont bien composés des espèces de haute altitude.

Les sous-groupes se distinguent ensuite par les plantes ou les physionomies végétales pour l'essentiel. Sur base des plantes butinées, il est possible de caractériser la plupart des groupes de bourdons.

Les différents descripteurs (physionomies végétales, habitat CORINE et plantes butinées) constituent des informations différentes mais ils illustrent toujours les mêmes stations. Ce fait induit l'existence de corrélations significatives entre

certains facteurs (tab. 22).

Tableau 22. Coefficients de corrélation de Pearson entre les principaux facteurs écologiques

	Altitude	Forêt	Lisière Bois/ Pdf	Lisière Bois/ subalpin	Pelouse subalpine	Pré de fauche	Pelouse alpine
Altitude	1						
Forêt	-	1					
Lisière Bois/ Pdf	-0,27	-	1				
Lisière Bois/ subalpin	-	-	-	1			
Pelouse subalpine	0,45	-	-	-0,36	1		
Pré de fauche	-0,57	-	-	-0,25	-0,34	1	
Pelouse alpine	0,62	-	-	-	-0,25	-	1
Lande-Genista	-	-	-	-	-	-	-
Lande-Rhodo	-	-	-	-	0,28	-	-
Buissons-Juniperus	-	-	-	-	-	-	-
Cytisus	-	-	-	-	-	-	-
Clairière-Epilobium	-	-	0,38	0,26	-	-	-
Mesobromion	-0,28	-	-	-	-	0,27	-
Xerobromion	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-lisière	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-sub-alpine	0,27	-	-	-	0,44	-	-
Pelouse-Nardus	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-F.paniculata	0,31	-	-	-	-	-	0,48
Pelouse-F.eskia	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-F.airoides	-	-	-	-	-	-	-
Pelouse-Oxytropis	0,39	-	-	-	-	-	0,57
Pré-fauche	-0,40	-	-	-	-0,25	0,64	-
Pinède	-	0,56	-	-	-	-	-
Pinède-Rhodo	-	-	-	0,26	-	-	-
Pinède-Vaccinium	-	0,36	-	-	-	-	-
Rudéral	-	-	-	-	-	-	-
TRIFOLIUM	-	-	-	-	-	-	-
RHINANTHUS	-0,36	-	-	-	-	0,34	-
EPILOBIUM	-	-	0,40	0,26	-	-	-
VICIA	-0,40	-	-	-	-	0,46	-
RHODODENDRON	-	-	-	-	0,29	-	-
CENTAUREA	-0,36	-	-	-	-	0,52	-
ACONITUM	-	-	-	0,31	-	-	-
ERYNGIUM	-	-	-	-	-	-	-
GENTIANA	-	-	-	-	-	-	-
SIDERITIS	-	-	-	-	-	-	-
PHYTEUMA	-	-	-	-	-	-	-
THYMUS	-	-	-	-	-	-	-
POTENTILLA	0,33	-	-	-	-	-	0,43
CARDUUS	-	-	-	-	-	-	-
PEDICULARIS	0,37	-	-	-	-	-	0,40
MINUARTIA	0,30	-	-	-	-	-	0,43

Seuls les valeurs très hautement significatives (P 0,001) sont représentées.

On constate l' existence d'intercorrélations très hautement significatives.

- L' altitude est positivement corrélée aux facteurs: Pelouse subalpine, Pelouse alpine, pelouse-sub-alpine, Pelouse-F.paniculata, Pelouse-Oxytropis, *Potentilla*, *Pedicularis*, *Minuartia*; et négativement à Lisière bois/subalpin, Pré de fauche, Mesobromion, Pré-fauche (383), *Rhinanthus, Vicia* et *Centaurea*.
- La forêt est corrélée positivement à Pinède et Pinède-Vaccinium.
- La lisière bois/pré de fauche est corrélée positivement à Clairière-Epilobium et *Epilobium.*
- La lisière bois/subalpin est corrélée positivement aux facteurs Clairière-Epilobium, Pinède-Rhodo, *Epilobium*, *Aconitum*; et négativement à Pelouse subalpine et Pré de fauche.
- La pelouse subalpine est corrélée positivement à Lande-Rhodo, pelouse-sub-alpine, *Rhododendron*; et négativement à Pré de fauche, Pelouse alpine et Pré-fauche (383).
- Les prés de fauche sont corrélés à Mesobromion, Pré-fauche (383), *Rhinanthus*, *Vicia* et *Centaurea.*
- La pelouse alpine est corrélée à Pelouse-F.paniculata, Pelouse-Oxytropis, *Potentilla*, *Pedicularis* et *Minuartia*.

Si la distribution d'une espèce est influencée par l'un des facteurs intercorrélés, elle est obligatoirement corrélée aux autres.

La corrélation parfois, voire souvent, significative entre les facteurs explique la difficulté d'établir une relation de cause à effet entre la répartition d'une espèce et un type de facteurs.

Néanmoins, la décomposition de la variance (ACC) entre les différents facteurs indique que les plantes butinées ont une contribution majeure (+ de 33%) pour expliquer les distributions spécifiques.

Il est à noter que les coefficients de corrélation sont relativement faibles (maximum: 0,57 pour *B. monticola* - Pelouse-F.paniculata). Ceci peut-être mis en relation avec le fait qu'au plus 50% de la variance des distributions de bourdons peut être expliquée par tous les facteurs environnementaux.

5. Discussion

5.1. Diversité d'Eyne

La commune d'Eyne est un site reconnu depuis longtemps pour sa grande richesse botanique. Cette diversité botanique a d'ailleurs contribué au classement de la réserve naturelle en 1993. De 1950 à 1970, 30 espèces de bourdons ont été observées à Eyne (Kruseman, 1958; Delmas, 1976; Rasmont, 1989). Les collectes effectuées en juillet 1999 confirment cette importante diversité. Deux nouvelles espèces pour la commune (*B. magnus* et *B. norvegicus*) ont été ajoutées à l'inventaire tandis que deux espèces rares (*B. cullumanus* et une espèce du sous-genre *Allopsithyrus*) n'ont pas été revues. Le fait que 30 des 32 espèces connues de la commune ont pu être observées en seulement un mois montre que cette diversité exceptionnelle est bien conservée à l'heure actuelle.

Beaucoup de territoires doivent encore être prospectés dans le monde. Toutefois, deux autres régions sont bien connues pour leur diversité faunique: *western Himalayas* (Williams, 1991) et la Californie (Thorp *et al.*, 1983). Leur richesse spécifique reste cependant inférieure à celle observée à Eyne. La région d'Erzurum (Turquie) présente également 30 espèces de bourdons (Özbek, 1990) mais sur une superficie comparable à la Cerdagne. A l'échelle mondiale, il n'a jamais été constaté une aussi grande diversité sur une si faible superficie (Pekkarinen & Teräs, 1993 cités par Rasmont *et al.*, 1999; Durieux, 2000).

La comparaison des indices de diversité (indice de Shannon-Weaver et indice de Hurlbert) à ceux d'autres régions (Gembloux et le Larzac) (Patiny, 1995) montrent que le site étudié est l'un des plus riche de la Gaule. L'indice de rareté cumulée, par sa valeur élevée en comparaison à celle d'autres sites indique la présence notable d'espèces rares au niveau de la commune. En outre, certaines espèces telles que *B. gerstaeckeri*, *B. flavidus* et *B. quadricolor* contribuent à Eyne pour une part non négligeable (plus de 20%) à l'effectif total de ces espèces à l'échelle du territoire français.

Eyne est donc un milieu exceptionnellement intéressant à la fois par le nombre d'espèces qui s'y côtoyent et par la rareté de certaines de celles-ci. Le nombre important d'espèces satellites (20) au sens d'Hanski (1982) suggère l'existence de mécanismes écologiques qui empêcheraient la domination du milieu par quelques espèces dites principales (cfr 5.3.2.). Le fait que la richesse spécifique de la vallée

d'Eyne a été constaté depuis un demi-siècle (Kruseman, 1958; Delmas, 1976; …) indique que les causes de cette diversité ne sont pas transitoires ou saisonnières mais bien structurelles. On peut donc supposer à Eyne l'existence de conditions particulières qui soutiennent cette grande diversité.

Quatre hypothèses peuvent être suggérées pour tenter d'expliquer les causes de la si grande richesse spécifique d'Eyne: l'origine du peuplement, le climat, la diversité des habitats et les ressources florales. Les ressources florales font l'objet d'un travail réalisé en parallèle (Durieux, 2000) et ne sont pas discutées dans le présent mémoire.

5.2. L'origine du peuplement

Site refuge pour les espèces périglaciaires, les Pyrénées abritent des espèces reliques telles que *B. monticola*, *B. sicheli* et *B. flavidus*. Ces espèces boréomontanes inféodées à la toundra froide se sont réfugiées en haute montagne dès les déglaciations (Rasmont *et al.*, en préparation). Ces espèces reliques, confinées actuellement aux grandes chaînes des montagnes, sont limitées dans leur propagation à plus basse altitude par le climat tempéré.

La situation géographique de la Cerdagne, au carrefour entre la France et l'Espagne, pourrait suggérer une possible invasion d'espèces de la péninsule ibérique. L'inventaitre faunique établi n'en révèle cependant aucune trace.

Le peuplement d'Eyne comporte 11 sous-espèces endémiques pyrénéennes soit 36,6% des taxons qui y ont été observés. Toutefois, il n'existe aucune espèce, ni sous-espèce, endémique de la Cerdagne et *a fortiori* de la vallée d'Eyne.

Ni un endémisme particulier, ni des origines biogéographiques diverses ne distinguent Eyne de la chaîne des Pyrénées (Rasmont *et al.*, en préparation). Ce n'est donc pas dans l'origine du peuplement qu'il faut chercher l'explication de la richesse faunique particulière de la commune.

5.3. Le climat

5.3.1. Les vents

En Cerdagne, les effets de versants et les vents essentiellement induisent l'existence d'une mosaïque de climats. Dans une certaine mesure, ces microclimats permettent la subsistance à Eyne d'espèces hors de leur gamme d'altitude (*B. terrestris*, *B. ruderatus*, *B. confusus*; Comba, 1960; Ornosa Gallego, 1984; Rasmont, 1988). Leur présence à plus de 1600 mètres laisse entrevoir dès lors des conditions particulières sur le territoire de la commune. Il existe en effet une composante thermophile dans le climat cerdan qui permet une remontée en altitude de certaines espèces.

La situation géographique d'Eyne à la croisée de différents vents (Marinade, Tramontane, Carcanet et les vents du sud-ouest) permet le développement de pelouses xériques voire substeppiques avec les espèces inféodées à ces milieux (*B. confusus*, *B. sylvarum*, *B. subterraneus* et *B. humilis*). L'installation de ces pelouses xériques dépend de l'exposition au vent chaud et sec (sud-ouest) par rapport aux autres vents. L'influence variable de ce vent d'une année à l'autre peut expliquer les variations de l'abondance de certaines espèces. La présence des espèces rares *B. cullumanus* et *B. magnus* (distribution atlantique; De Lattin, 1967) résulte de l'influence atlantique sur le climat local.

5.3.2. Instabilité climatique

Les changements climatiques considérables et brutaux (par exemple, chute de température de 25°C en 24 heures) sont l'une des causes de la diversité spécifique.

Ranta & Vespsalaïnen (1981) expliquent que la diversité spécifique résulte de la rudesse du climat. Les catastrophes météorologiques (ex.: gelées tardives) éliminent une forte proportion de la population et contribuent dès lors à diminuer les concurrences inter- et intraspécifiques pour les ressources florales. Les ressources ne sont alors plus un élément limitant, déterminant l'abondance spécifique. De ce fait, la théorie d'Hanski (1982) qui établit la compétition interspécifique pour les ressources comme facteur limitant du nombre d'espèces n'est plus que secondaire dans de telles conditions.

De par la rudesse du climat d'Eyne, la théorie de Ranta & Vespsäläinen (1981) semble très bien s'y appliquer (Rasmont *et al.*, 1999).

La comparaison des récoltes de 1999 d'une part et de 2000 d'autre part montre une différence dans les proportions d'effectifs entre les espèces printanières (*B. terrestris* et *B. pratorum*) et les espèces à phénologie tardive (*B. subterraneus* et *B. confusus*) (Rasmont, comm. pers.). Ces différences semblent essentiellement être marquées par les variations climatiques annuelles. Les précipitations de neige en juin 2000 peuvent avoir modifiés la faune de bourdons et réduit fortement l'effectif des espèces printannières (Rasmont, comm. pers.). A titre d'exemple, en juillet 1999, 16 spécimens de *B. subterraneus*, 106 spécimens de *B. terrestris* et 76 spécimens de *B. pratorum* ont été récoltés contre respectivement 40, 4 et 4 spécimens en juillet 2000.

L'explication de la diversité faunique d'Eyne par les variations climatiques est à approfondir durant les prochaines années en mettant en relation d'une part les effectifs des espèces et d'autre part les relevés météorologiques. Les relations entre le climat et la flore ont déjà fait l'objet d'études approfondies, notamment par Dr. H. Brisse. Le comportement climatique d'une plante (ou comportement phyto-climatique) décrit le climat qui convient à une plante. Il exprime la relation qui existe entre la plante et le climat. Pour être identifiée, cette relation nécessite l'étude conjointe des plantes et des climats, dans les mêmes milieux, de façon à attribuer aux plantes les valeurs climatiques qui leur correspondent le plus exactement possible. Le lien écologique entre une plante et une variable n'est pas autre chose que la fréquence relative dans une classe de variables. C'est également la probabilité de connaître le climat d'un lieu lorsqu'on se trouve en présence de la plante. En un mot, c'est la transposition à l'écologie de la notion de fidélité de Braun Blanquet (1932; cité par Brisse, 2000). Un parallèle pour les espèces de bourdons serait très intéressant vu leurs intéractions avec les plantes.

5.4. Diversité des habitats

Le travail de cartographie montre que les distributions locales des espèces de bourdons ne sont pas uniformes et homogènes sur l'ensemble de la commune. Des éléments liés à l'habitat interviennent donc pour expliquer ces différences. Dans ce travail, quatre variables (altitude, physionomie végétale, typologie CORINE et plantes butinées) ont été choisies pour caractériser les habitats et déterminer leurs impacts sur la structure faunique.

5.4.1. L'altitude

La distinction de trois groupes de bourdons selon leur étagement en fonction de l'altitude est en accord avec ce que de nombreux auteurs (Pérez, 1890; Dylewska, 1966; Svensson, 1979; Lundberg & Ranta, 1980; Rasmont, 1988) ont observé: les espèces de basse montagne (jusque 1800 mètres), les espèces de moyenne montagne (jusque 2300 mètres) et les espèces de haute montagne (au-delà de 2300 mètres). Suivant les sites étudiés (France, Espagne, Europe Centrale et du sud, Allemagne, Suisse) la latitude induit des différences mineures quant au *preferendum* d'altitude des espèces. A Eyne, certaines espèces (*B. confusus*, *B. terrestris*, *B. ruderatus*) sont ainsi présentes à une altitude plus élevée que ce qui est reconnu par ailleurs (Ornosa Gallego, 1984; Rasmont, 1988).

La distribution en altitude des espèces au sein du site étudié est en accord avec la distribution géographique des bourdons. Les espèces montanes ou boréomontanes (*B. monticola*, *B. sicheli*, *B. mucidus*, *B. pyrenaeus*….) sont restreintes aux zones de haute montagne. Les espèces eurosibériennes (*B. humilis*, *B. sylvarum*….) ainsi que les espèces médioeuropéennes (*B. confusus*, *B. lapidarius*….) sont restreintes quant à elles aux basse et moyenne altitudes.

La structure de la végétation étagée en fonction de l'altitude renforce l'impression que ce facteur règle dans les grandes lignes la distribution de la plupart des espèces. Dans une région de haute montagne, il est banal d'observer que l'altitude est un facteur essentiel dans la structuration de la végétation et de la faune. La difficulté est que ce facteur est à ce point prépondérant qu'il est difficile de distinguer l'influence d'autres variables. Il faut donc utiliser des méthodes qui permettent d'extraire l'influence de l'altitude de la variance des distributions d'espèces (CANOCO; ter Braak, 1988).

5.4.2. Contribution de chacune des variables structurant la faune

L'analyse canonique des correspondances a permis de décomposer la variance des distributions spécifiques et de montrer que le rôle de l'altitude n'est finalement que mineur (environ 11%). Par ordre décroissant d'influence, on trouve tout d'abord que les principales plantes butinées expliquent le mieux la structure faunique (environ 35% de la variance). Viennent ensuite la typologie CORINE (28,5%) et la physionomie végétale (21,5%). L'ensemble de ces facteurs n'explique au plus que 50% de la variance, ce qui signifie que d'autres facteurs non considérés dans cette analyse (ex.: climat, concurrence et variations aléatoires) influencent au moins pour autant la répartition des bourdons à Eyne.

5.4.2.1. La physionomie végétale

La classification écologique des bourdons, présentée par Pittioni & Schmidt (1942), Reinig (1970), Rasmont (1988), Rasmont *et al.* (en préparation) et d'autres auteurs (cfr tab. 8), en fonction de la physionomie végétale n'a pu être aussi clairement établie à Eyne. Seuls quelques groupes en ressortent avec parfois des différences notables par rapport aux autres études. A Eyne, la forêt est peu fréquentée par les bourdons et les espèces généralement associées à ce milieu ne ressortent pas de l'analyse. Par exemple, *B. hypnorum* reconnu comme espèce forestière par la plupart des auteurs nommés ci-dessus, est ici caractéristique des lisières. A Eyne, le glissement des espèces forestières en lisière peut s'expliquer par le fait du manque de ressources dans le sous-bois (fleurs fanées durant la période de récolte en 1999).

Les études qui ont servi à établir la classification écologique des bourdons (Pittioni & Schmidt, 1942; Reinig , 1970; Delmas, 1976; Pekkarinen, 1984; Teräs, 1985; Rasmont, 1988; Rasmont *et al.*, en préparation;) ont été réalisées sur de vastes territoires géographiques. A cette échelle, la caractérisation écologique des bourdons par la physionomie végétale semble être une bonne approche. Cependant, suivant les régions étudiées, certaines espèces particulièrement ubiquistes telles que *B. lapidarius* et *B. terrestris* entre autres, changent d'habitat (physionomie végétale). A l'échelle locale, au sein de la commune d'Eyne, la physionomie végétale n'apparaît pas être un facteur particulièrement déterminant quant à la distribution des bourdons. La variance expliquée par cette variable n'excède pas à Eyne 1/4 de la variance du jeu de données. D'autres facteurs plus "subtils" interviennent dans la complexité de la relation entre la distribution d'une espèce considérée et le milieu.

5.4.2.2. Les plantes butinées

La grande part de variance (35%, tab. 17 et 18) expliquée par les plantes dans la distribution des bourdons résulte du fait que ces derniers ont besoin des plantes pour s'alimenter. Ceux-ci sont inféodés aux fleurs par leur régime alimentaire (nectar et pollen). Il existe une relation étroite entre les genres de plantes butinées et la distinction des trois grands groupes altitudinaux de bourdons. En effet, les plantes limitées aux basses altitudes ne peuvent attirer que les bourdons susceptibles de les butiner à cette altitude. C'est ainsi que le genre *Centaurea*, limité à Eyne aux prés de fauche, ne peut être pollinisé essentiellement que par le groupe de bourdons de basse altitude (*B. confusus*, *B. sylvarum*, *B. lapidarius*,…). De même, les genres *Minuartia* et *Potentilla* présents dans les pelouses alpines ne peuvent être butinés que par l'espèce présente à cette altitude: *B. monticola*. La relation étroite voire extrême entre un pollinisateur et une espèce de plante (oligolectisme) telle que *B. gerstaeckeri* pour *Aconitum vulparia* est l'exemple type de la dépendance du bourdon pour sa plante nourricière (Frey Gessner, 1898-1899 et 1912; Delmas, 1975; Rasmont, 1988; Rousseau, 1994). De ce fait, il est logique que la distribution de *B. gerstaeckeri* coïncide à Eyne avec la répartition d'*Aconitum vulparia*.

Pour le partage des ressources, la règle d'Inouye (1977a, 1977b, 1978) établit la coexistence d'un maximum de trois types d'espèces en fonction de la longueur de leur langue (espèces à langue courte, moyenne et longue) et d'une espèce voleuse de nectar dans un même milieu. A Eyne, dans les seuls prés de fauche, 20 espèces de bourdons ont été observées. Parmi ces 20 espèces, il n'y a pas une représentation unique de chaque type de langue. Rasmont (Rasmont,1988 et Rasmont *et al.*, 1999) a démontré que la règle d'Inouye ne peut s'appliquer dans les régions à climat instable suite aux extinctions aléatoires d'espèces à cause du mauvais temps (cfr instabilité climatique). Ces conditions instables sont présentes à Eyne.

5.4.2.3. Typologie CORINE

La variance expliquée par cette variable démontre son influence sur la répartition des bourdons. Son rôle intermédiaire entre la physionomie végétale et les plantes permet une certaine caractérisation de la distribution des espèces. Le Mesobromion pyrénéo-catalan et la clairière à *Epilobium angustifolium* et *Digitalis purpurea* (codés respectivement 343261 et 318711) caractérisent notamment certains groupes de bourdons (*B. confusus*, *B. sylvarum*, *B. lapidarius*, *B. uderatus*,…).

5.4.3. Relations espèces-habitats

Caractérisant différemment une station donnée, les trois variables considérées dans ce travail (physionomie végétale, typologie CORINE, et principales plantes butinées) sont corrélées entre elles. L'existence de ces intercorrélations rend difficilement compte de la prépondérance d'un des facteurs dans la distribution d'une espèce. Par exemple, il est ainsi peu aisé de connaître le facteur le plus pertinent pour décrire la distribution de *B. monticola* entre: l'altitude, la pelouse alpine (Toc), la pelouse à Festuca paniculata (typologie CORINE 36331) et les genres *Potentilla* ou *Minuartia*. De même pour *B. sylvarum* où les facteurs sont: les prés de fauche, le Mesobromion pyrénéo-catalan (typologie CORINE 343261) et le genre *Centaurea* (cfr tableau 19).

Les coefficients de corrélation relativement peu élevés (au maximum: 0,57 pour la corrélation entre *B. monticola* - Pelouse-F.paniculata) sont à mettre en parallèle avec les variables canoniques qui n'expliquent jamais plus de 50% de la variance (ACC). Ceci permet néanmoins de dégager certaines relations entre les espèces et leur milieu. Des groupes écologiques cohérents peuvent être mis en évidence sur base des affinités communes des espèces pour certains facteurs.

Dans ce travail, les *preferendum* écologiques ont été établis en considérant globalement les individus sans distinction de castes ou de sexes. En effet, le manque de données n'a pas permis de déterminer les niches écologiques spécifiques pour les différents sexes. Des différences dans les préférences d'habitats entre les sexes ont néanmoins été constatées par Svensson (1979), Pekkarinen (1984) et Teräs (1985). De plus, d'après Lundberg & Ranta (1980), la complexité de la détermination des habitats résulte en montagne des différences de localisation des sites saisonniers de butinage (étagement des floraisons en fonction de l'altitude). Selon Svensson & Lundberg (1977), l'étude des sites de nidification est une meilleure approche pour la détermination des niches écologiques des bourdons. *B. hypnorum* est considéré par beaucoup d'auteurs comme une espèce de forêt (Pittioni & Schmidt, 1942; Reinig, 1970; Delmas, 1976; Teräs, 1985; Pekkarinen, 1984; Rasmont, 1988). Cette espèce, en effet, niche dans les cavités des arbres. A Eyne, l'observation de *B. hypnorum* en lisière suggère que la détermination des habitats sur base des spécimens collectés est une moins bonne approche. Les individus apparaissent plus erratiques du point de vue de leur distribution du fait qu'ils se déplacent selon la disponibilité des ressources (femelles et ouvrières) ou l'activité reproductrice (femelles et mâles). La détermination écologique de l'espèce n'est donc pas aisée.

Les bourdons vivent dans un environnement complexe où de nombreux facteurs (le climat, l'altitude, la flore et le type de sol notamment) exercent leurs influences. Cette grande complexité engendre dès lors une grande diversité d'habitats qui permet le développement d'un nombre important d'espèces. Le maintien du nombre important d'espèces à Eyne est assuré par les variations climatiques brutales.

5.5. Conservation du patrimoine faunique

Reconnu depuis plus de deux siècles comme site botanique exceptionnel (Amigo & Berlic, 1984), Eyne est également pourvu d'une grande richesse faunique due à la grande diversité d'habitats concentrée sur une faible superficie. Cette diversité spécifique élevée, caractérisée à la fois par des espèces rares et des espèces plus banales constitue l'originalité d'Eyne. La présence notable d'espèces rares à l'échelle nationale voire européenne suscite plus encore la conservation et la gestion de ce site à grand intérêt biologique. Dans l'immédiat, il n'y a pas de menace pesant sur le vallon. Celui-ci étant classé réserve naturelle, il est soumis à un mode de gestion essentiellement pastorale. Le pâturage limite l'expansion de plantes telles que *Rhododendron ferrugineum*, *Cytisus purgans* qui ont tendance à envahir plus ou moins rapidement le milieu. L'ouverture du milieu permet le maintien voire le développement de plantes plus rares (ex.: *Aconitum vulparia*). En résumé, la pâturage aide aussi à maintenir la biodiversité en garantissant l'ouverture des milieux.

B. gerstaeckeri est une espèce à haute valeur patrimoniale à l'échelle européenne. La relation étroite qui le lie à *Aconitum vulparia* réclame un suivi de l'évolution de la distribution locale de la plante nourricière.

Au niveau du village, un habitat ressort comme porteur d'une grande diversité: le mesobremion pyrénéo-catalan (code 343261). Ce code CORINE repris dans la liste des types d'habitats naturels d'intérêt communautaire (Annexe I de la Directive 92/43/CE, 6520) n'est pas à négliger. Ce type de milieu nécessite d'ailleurs la désignation de zones spéciales de conservation (Directive 97/62/CEE). Il renferme de plus des espèces telles que *B. sylvarum*, *B. confusus*, *B. humilis* et *B. subterraneus* à haute valeur patrimoniale à l'échelle européenne. Certaines de ces espèces d'ailleurs (*B. sylvarum*, *B. humilis* et *B. subterraneus*) sont en régression dans plusieurs pays européens et font l'objet d'un programme de conservation au Royaume-Uni (Alford, 1975; Williams, 1982; Rasmont *et al.*, en préparation).

En dehors du vallon, l'agriculture traditionnelle mixte, toujours d'actualité à Eyne, a contribué au maintien de la grande diversité florale depuis des siècles. Une banalisation de celle-ci par des modifications des pratiques agricoles aurait une conséquence néfaste sur la diversité des bourdons (Mänd *et al.*, 1999). La biodiversité florale ainsi que l'existence de conditions particulières (climat, vents.…) induisent la formation de nombreux microhabitats. Leur permanence est l'un des facteurs principaux affectant la diversité faunique de bourdons (Banaszak, 1966), tout comme l'instabilité climatique (Rasmont, 1988; Rasmont *et al.*, 1999).

6. Conclusion

La faune de bourdons très diversifiée et originale qui se rencontre à Eyne rend compte du caractère exceptionnel de ce milieu. A l'échelle de la commune, il n'a pas été possible d'établir des groupes écologiques sur base d'un seul facteur comme cela a été réalisé lors d'études antérieures. La complexité du milieu impose la considération de nombreuses variables pour tenter d'expliquer les distributions spécifiques. L'influence relative des différents facteurs varie selon l'espèce considérée. La présence de nombreux paramètres (altitude, climat, vents, fleurs.…) induit l'existence de nombreux microhabitats. Cette diversité d'habitats ainsi que l'instabilité semblent être les éléments prépondérants expliquant la grande diversité faunique des bourdons à Eyne. L'influence des vents ainsi que l'étagement en altitude ne semblent jouer qu'un rôle secondaire ou indirect.

7. Bibliographie

Alford, D.V., 1975. *Bumblebees*. Davis-Poynter, London, XII + 352 pp., 16 pls.

Amiet, F., 1977. Die Bienenfauna in der Umgebing von Solothurn. *Bulletin de la société entomologique suisse*, 50:307-320.

Amiet, F., 1996. *Hymenoptera Apidae, 1. Teil. Allgemeiner Teil, Gattungsschlüssel, die Gattungen Apis, Bombus und Psithyrus*. Insecta Helvetica, 12,:Neuchâtel, 98 pp.

Amigo, J.-J. & G. Berlic, 1984. *Réserve naturelle de la Vallée d'Eyne (Département des Pyrénées-Orientales) étude scientifique.* Association C.-H. Flahaut, Perpignan, 16 pp.

Banaszak, J., 1966. Effects of habitat heterogeneity on the diversity and density of pollinating insects. I*n: Interchanges of Insects*, 2000 Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp.123-140.

Barbier, Y. & P. Rasmont, 2000. *Carto Fauna-Flora, logiciel de cartographie de données biogéographiques. Version 2.0*. Université Mons-Hainaut, 59 pp. 1 CD-ROM.

Barbier, Y., P. Rasmont, M. Dufrêne & J.-M. Sibert, 2000. *Data Fauna-Flora. Version 1.0*. Université Mons-Hainaut, 106 pp. 1CD-ROM

Beaumont, J. de, 1958. Les Hyménoptères aculéates du Parc National Suisse et des régions limitrophes. *Ergebnisse des Wissenschaftliche Untersuchungen der Schweizerischen Nationalparks*, 6:146-233.

Braun-Blanquet, J., 1948. *La végétation alpine des Pyrénées-Orientales.* Consejo superior de investigaciones cientificas, Barcelona, 307 pp.

Brisse, H., 2000. *Comportement climatique des plantes*. http://jupiter.u-3mrs.fr/~msc41www/Compcli.htm, 3 pp.

Centre National de la Recherche Scientifique, 1970. *Carte de la végétation n° 78, 2ème édition, Perpignan.*

Comba, M., 1960. Contributo alla conoscenza dei Bombus Latr. e Psithyrus Lep. delle Valli del Pellice, Angrogna, Germanasca (Alpi Cozie) (Hymenoptera, Apoidea). *Fragmenta Entomologica Italiana*, 3(8):163-201.

Comba, M., 1972. Bombus e Psithyrus delle regioni alpine occidentali. *Memorie della Scieta Entomologica Italiana*, 51:39-70.

Dagnelie, P., 1992. *Statistique Théorique et Appliquée Tome 1.* Les Presses Agronomiques de Gembloux. 492 pp.

Delmas, R., 1976. Contribution à l'étude de la faune française des Bombidae (Hymenoptera, Apoidea, Bombidae). *Annls Soc. ent. Fr. (N.S.),* 12: 247-290.

Directive 92/43/CEE du conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages. *Journal officiel des Communautés européennes numéro*, L206 du 22.7.1992 p.7

Directive 97/62/CE du Conseil du 27 octobre 1997 portant adaptation au progrès technique et scientifique de la directive 92/43/CEE concernant la conservation des habitats naturels ainsi que la faune et de la flore sauvages. *Journal officiel des Communautés européennes*, numéro L305 du 8.11.97, p. 42.

Dufrêne, M., 1992. *Biogéographie et Ecologie des communautés de Carabidae en Wallonie*. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, 197 pp.

Durieux, E.-A., 2000. *Etude des choix floraux des bourdons (Hymenoptera, Apidae) de la vallée d'Eyne (France, Pyrénées-Orientales)*. Mémoire de licence, Université de Mons-Hainaut, 101 pp.

Dylewska, M., 1957. The distribution of the species of genus *Bombus* Latr. in Poland. *Acta Zoologica Cracoviensa*, 2(12):259-278.

Dylewska, M., 1966. The Apoidea of the Babia Gora Montain. *Acta Zoologica Cracoviensia*, .11(5):111-175.

Frey-Gessner, E., 1898-1899. Fauna insectorum helvetiae. Hymenoptera Apidae. Vol. I. Gesellig lebende Bienen, Urbienen und Schenkelsemmler. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*., 10: 1-52 (1898), 53-84 (1899).

Frey-Gessner, E., 1912. Fauna insectorum helvetiae. Hymenoptera Apidae. Vol. II. Bauchsammler und Schmarotzerbienen. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*., 11:257-319.

Hanski, I., 1982. Communities of bumblebees: testing the core-satellite species hypothesis. *Annales Entomologici Fennici*, 19:65-73.

Heinrich, B., 1979. *Bumblebee economics*. Harvard University Press, Cambridge, 246 pp.

Inouye, D., 1977a. Species Structure of Bumblebee Communities in North America and Europe. *The role of Arthropods in forest ecosystems.* In: Mattson, W. J., Berlin, Heidelberg; New-York, Springer, 35-49

Inouye, D., 1977b. Ressource partitioning in bumblebees. New York Entomological Society, 85(4):253-254.

Inouye, D., 1978. Ressource partitioning in bumblebees: experimental studies of foraging behavior. *Ecology*, 59(4):672-678.

Jongman, R.H.G.; C.J.F. ter Braak & O.F.R. van Tongeren, 1987. *Data analysis in community and landscape ecology*. Pudoc, Wageningen, 299 pp.

Krebs, C.J. 1989. *Ecological Methodology*. Harper & Row Publishers, New York., 654 pp.

Kruseman, G., 1958. Notes sur les bourdons pyrénéens du genre *Bombus* dans les collections néerlandaises. *Beaufortia*, 6(72):161-170.

Lattin, G. de, 1967. *Grundriss der Zoogeographie*. Gustav Fischer, Jena, 602 pp.

Legendre, L. & P. Legendre, 1984. *Ecologie numerique*. Presses de l'Université du Québec, Québec, 335 pp.

Löken, A., 1973. Studies on Scandinavian Bumble Bees (Hymenoptera, Apidae). *Norsk entomologisk Tidsskrift*, 20(1):1-218.

Löken, A., 1984. Scandinavian species of the genus *Psithyrus* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae). *Entomologica Scandinavica, suppl*. 23:1-45.

Lundberg, H. & E. Ranta, 1980. Habitat and food utilization in a subarctique bumblebee community. *Oikos*, 35:303-310.

Mänd, M., H. Kaaviste, K. Kase, R. Mänd, 1999. Cultivated land as habitat for Bumblebees in Estonia. H. Kaaviste, K. Kase et R. Mänd. *Proceedings of the XXIV Nordic Congress of Entomology*, 83-86

MapInfo Professional version 5.5, 1999. MapInfo Corporation Troy, New-York.

Moczar, 1953. Magyarorszag es a környezö területek dongoméheinek (*Bombus* Latr.) rendzere és ökologiaja (Système et écologie des bourdons (*Bombus* Latr.) de la Hongrie et de ces régions voisines). *Annales Historico Naturales Musei Nationalis Hungarici*, 4:131-149.

Ornosa Gallego, C., 1984. *La subfamilia Bombinae (Hym., Apidae) de la fauna espanola*. Thèse, Universidad Complutense de Madrid, 333 pp.

Özbek, H., 1990. Palandöken ve Kargapazari daglari ari (Hymenoptera: Apoidea) faunasi. *In: X. Ulusal Biyoloji Kongrei 18-20 Temmuz 1990, Erzurum*, 153-162.

Patiny, S., 1995. *Biogéographie et écologie des bourdons (Hymenoptera, Apidae) des départements de Lozère et d' Aveyron (France, Massif Central)*. Mémoire de licence, Université de Mons-Hainaut, 82 pp.

Pekkarinen, A. 1984. Resource partitioning and coexistence in bumblebees (Hymenoptera, Bombinae). *Annales Entomologici Fennici* 50:97-107.

Pekkarinen, A. & Teräs, I., 1993. Zoogeography of *Bombus* and *Psithyrus* in northwestern Europe (Hymenoptera, Apidae). *Annales Entomologici Fennici*, 30:187-208.

Pekkarinen, A., 1984. Resource partitioning and coexistence in bumblebees (hymenoptera, Bombinae). *Annales Entomologici Fennici*, 50:97-107.

Pekkarinen, A., I. Teräs, J. Viramo & J. Paatela, 1981. Distribution of bumblebees (Hymenoptera, Apidae: Bombus and Psithyrus) in eastern fennoscandia. *Notulae Entomologicae*, 61:71-89.

Pérez, J., 1890. Catalogue des Mellifères du Sud-Ouest. *Acta Soc. Linn. Bordeaux*, 44:133-200.

Pittioni, B. & R. Schmidt, 1942. Die Bienen des südöstlichen Niederdonau. I: Apidae, Podaliriidae, Xylocopidae und Ceratinidae. *Niederdonau, Natur und Kultur*, 19:1-69.

Ranta, E. & M. Tiainen, 1982. Structure in seven bumblebee communities in eastern Finland in relation to resource avilability. *Holarctic Ecology*, 5: 48-54.

Ranta, E. & K., Vespsäläinen, 1981. Why are there so many species? Spacio-temporal heterogeneity and northern bumblebee communities. *Oikos*, 36:28-34.

Rasmont, P., 1988. *Monographie écologique et zoogéographique des Bourdons de France et de Belgique (Hymenoptera, Apidae, Bombinae).* Thèse de doctorat, Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, 309 + LXII pp.

Rasmont, P., 1989. Espèces de Bourdons en expansion en Belgique (Hymenoptera, Apidae). *Notes fauniques de Gembloux*, 18: 57-64.

Rasmont, P., 1989. Centres de richesse et centres de pauvreté de la faune des Bourdons de France (Hymenoptera, Apidae). Théorie d'Inouye contre théorie de Ranta & Vespäläinen. *In: L'utilisation des Inventaires informatisés d'Invertébrés pour l'Identification et la Surveillance d'espaces de grand intérêt faunistique*. J. de Beaufort & H. Maurin, Paris, novembre 1987, ca 12 pp.

Rasmont P., Barbier Y., Pauly A., 1990. Faunistique comparée des Hyménoptères Apoïdes de deux terrils du Hainaut occidental. *Notes fauniques de Gembloux,*. 21: 39-58.

Rasmont, P., P.A. Ebmer, J. Banaszak & G. van der Zanden, 1995. Hymenoptera Apoidea Gallica. Liste taxonomique des abeilles de France, de Belgique, de Suisse et du Grand-Duché de Luxembourg. *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 100(H.S.):1-98.

Rasmont, P., 1998. *Rapport préliminaire sur la faune des bourdons (Hymenoptera, Bombinae) des Pyrénées-Orientales; réserves de la Massane et du Vallon d'Eyne.* Université de Mons-Hainaut, Mons, 18 pp.

Rasmont P., Durieux E-A, Iserbyt S. & Baracetti M., 1999. Why are there so many bumblebees species in Eyne (France, Pyrénées-Orientales, Cerdagne)? *In: Proceedings of the first Specialists'Meeting on Insect Pollination in Greenhouses, Soesterberg, The Netherlands, 29 September to 3 October.* Sous presse.

Rasmont, P., J.-C. Verhaeghe, R. Rasmont & M. Terzo, en préparation. *West-Palearctic Bumblebees*. Apollo, Stenstrup, 400 + 40 pp.

Reinig, W. F., 1970. Ökologische Studien an mittel- und südosteuropäischen Hummeln (*Bombus* Latr., 1802; Hym., Apidae). *Mitteilungen der Münchner Entomologischen Gesellschaft*, 60:1-56.

Rohlf, F.J., 1993. *NTSYS-pc version 1.8. Numerical and Multivariate Analysis System*. Applied Biostatistic Inc., New-York, 242 pp.

Rousseau, S., 1994. *Les relations coadaptatives des Aconites (Ranunculaceae, Aconitum L.) de Belgique et des Pyrénées avec leurs bourdons polynisateurs (Hymenoptera, Apidae, Bombinae).* Mémoire de Licence, Université de Mons-Hainaut, 52 pp.

Svensson, Bo G., 1979. Patrolling behaviour of bumble bee males in a subalpine / alpine Area, Swedish Lapland. *Zoon*, 7:67-94.

Svensson, Bo. G.& H. Lundberg, 1977. Distribution of bumble bees nests in a Subalpine / alpine area in relation to altitude and habitat. *Zoon*, 5:63-72.

ter Braak, C.J.F., 1988. *CANOCCO - a FORTRAN program for canonical community ordination by (partial) (detrended) (canonial) correspondence analysis, principal components and redundancy analysis (version 2.1) - Updated in 1990 (version 3.1).* Agricultural Mathematics Group, Ministry of Agriculture and Fisheries, Wageningen, 130 pp.

Teräs, I., 1985. Food plants and flowers visits of bumblebees (Bombus: Hymenoptera, Apidae) in southern Finland. *Acta Zoologica Fennica*, 179:1-120.

Thorp, R.W., D.S. Horning Jr & L.L. Dunning, 1983. *Bumble Bees and Cuckoo Bees of California (Hymenoptera: Apidae).* University of California Press, Berkeley, 79 pp.

Williams, P.H., 1982. The distribution and decline of British bumble bees (*Bombus* Latr.). *Journal of Apicultural Research*, 21(4):236-245.

Williams, P.H., 1991. The bumble bees of the Kashmir Himalaya (Hymenoptera: Apidae, Bombini). *Bulletin of the British Museum (Natural History) (Entomology)*, 60(1):1-204.

Annexe I
Relation entre la superficie et le nombre d'espèces de bourdons

Territoires		Surface (km²)	Nombre d'espèces
Fennoscandie	Danemark	43075	28
	Finlande	337030	38
	Norvège	323895	36
	Suède	449790	39
Iles britanniques	Angleterre	130360	26
	Ecosse	78750	19
	Eire	68895	21
	Irlande du Nord	14150	15
	Pays de Galle	20760	23
Benelux	Belgique	30520	30
	Pays-Bas	41160	29
	G-D Luxembourg	2585	15
Europe occidentale du sud	Espagne continentale	492590	40
	France continentale	535285	46
	Pyrénées-Orientales	4116	34
	Eyne	**20,18**	**32**
	Italie continentale	251445	42
	Suisse	41285	41
Europe centrale	Allemagne	356840	40
	Autriche	83855	45
	Hongrie	93030	31
	Pologne	312685	37
	Tchéquie- Slovaquie	127899	39
Balkans	Albanie	28750	25
	Bosnie	51130	19
	Bulgarie	110910	36
	Croatie	56540	21
	Grèce	131985	25
	Macédoine-Skopje	25715	34
	Monténégro	13810	28
	Serbie-Kosovo	88360	30
	Slovénie	20250	21
	Ancienne Yougoslavie	235555	41
Europe de l'est	Lituanie	65200	32
	Roumanie	237500	41
	Ukraine	603700	28
	Biélorussie	208000	31
	Estonie	45100	25
Proche-Orient	Turquie	779450	49
	Iran	1648000	36
Maghreb	Algérie	2381745	4
	Maroc	710850	5
	Tunisie	164150	3
	Libye	1759540	1
	Ile de la Manche	194	15
	Ile d' Ouessant	17	6

Annexe II
Associations végétales reconnues à Eyne par Braun-Blanquet (1948)

Présentation des différents groupements observés dans le Vallon	
Groupement rupicole	Saxifragetum media Artenisieto drobetum
Groupements des pierriers-éboulis	Crepidetum pygmaea Iberidetum sphathulatae Galeopsideto Poetum Fontquerii Senecietum leucophullae
Groupement des combes à neige	Salicetum retusae
Groupements fontinaux	Bryetum Schleicheri Montio-cardaminetea Cratoneureto-Arabidetum
Groupements des bas marais à laiches	Caricetum Davallianea Caricetum fuscae
Groupement nitrophiles rudéraux	Chenopodium Taraxacetum
Pelouses calcicoles orophiles et nordiques	Elyno-sesleietea Elyneto-Oxytropidetum Festuceto-Trifolietum thalii
Groupements des pelouses sèches acidophiles et microthermes	Caricetea curvulae Curvuleto Leontidetum pyrenaici Trifolieto-Phlectum nardetosum
Groupements à hautes herbes (Mégaphorbiées)	Delphinieto-Trollietum
Landes et forêts de conifères acidophiles	Vaccinio-picaetalia Saxifrageto-Rhodoretum Empetreto-Vaccinietum Loiseleurieto-Cetrarietum Genisteto-Arctostaphyletum Juniperion nanae

La localisation imprécise des associations végétales de Braun-Blanquet (1948) n'a pas permis l'utilisation de celles-ci comme facteurs susceptibles de structurer la faune des bourdons.

Annexe III
Liste des sous genres, des espèces et des sous espèces de bourdons à Eyne

Exclusivement inquilines	Autres
Bombus (Psithyrus) rupestris (Fabricius, 1793) ssp. vasco (Lepeletier, 1832)	Bombus (Confusibombus) confusus Schenck, 1859 ssp. confusus Schenck, 1859
Bombus (Allopsithyrus) sp. (Popov, 1931)	Bombus (Mendacibombus) mendax Gerstaecker, 1869 ssp. latofasciatus Vogt, 1909
Bombus (Aschtonipsithyrus) bohemicus Seidl, 1837 ssp. bohemicus Seidl, 1837	Bombus (Bombus) terrestris (L., 1758) ssp. lusitanicus Krüger, 1951 ssp. terrestris (L., 1758)
Bombus (Metapsithyrus) campestris (Panzer, 1801) ssp. campestris (Panzer, 1801)	Bombus (Bombus) lucorum (L., 1761)
	Bombus (Bombus) magnus Vogt, 1911
Bombus (Fernaldaepsithyrus) quadricolor (Lepeletier, 1832) ssp. quadricolor (Lepeletier, 1832)	Bombus (Apligenobombus) wurflenii Radoszkowski, 1859 ssp. pyrenaicus Vogt, 1909
Bombus (Fernaldaepsithyrus) flavidus Eversmann, 1852 ssp. lutescens Pérez, 1890	Bombus (Pyrobombus) hypnorum (L., 1758) ssp. hypnorum (L., 1758)
	Bombus (Pyrobombus) pratorum (L., 1761)
Bombus (Fernaldaepsithyrus) sylvestris (Lepeletier, 1832)	Bombus (Pyrobombus) pyrenaeus Pérez, 1879 ssp. pyrenaeus Pérez, 1879
Bombus (Fernaldaepsithyrus) norvegicus (Sparre Schneider, 1918) ssp. norvegicus (Sparre Schneider, 1918)	Bombus (Pyrobombus) monticola Smith, 1849 ssp. rondoui Vogt, 1909
	Bombus (Melanobombus) lapidarius (L., 1758) ssp. lapidarius (L., 1758) ssp. decipiens Pérez, 1879
	Bombus (Melanobombus) sicheli Radoszkowski, 1859 ssp. flavissimus Tkalcu, 1974
	Bombus (Cullumanobombus) cullumanus (Kirby, 1802)
	Bombus (Kallobombus) soroeensis (Fabricius, 1793) ssp. lectitatus Kruseman, 1958
	Bombus (Megabombus) ruderatus (Fabricius, 1775) ssp. ruderatus (Fabricius, 1775)
	Bombus (Megabombus) hortorum (L., 1761) ssp. hortorum (L., 1761) ssp. asturiensis Tkalcu, 1974
	Bombus (Megabombus) gerstaeckeri Morawitz, 1882
	Bombus (Subterraneobombus) subterraneus (L., 1758) ssp. tectosagorum Kruseman, 1958
	Bombus (Rhodobombus) mesomelas Gerstaecker, 1869 ssp. mesomelas Gerstaecker, 1869
	Bombus (Thoracobombus) sylvarum (L., 1761) ssp. sylvarum (L., 1761)
	Bombus (Thoracobombus) ruderarius (Müller, 1776) ssp. ruderarius (Müller, 1776) ssp. montanus Lepeletier, 1836
	Bombus (Thoracobombus) humilis Illiger, 1806 ssp. quasimuscorum Vogt, 1909
	Bombus (Thoracobombus) pascuorum (Scopoli, 1793) ssp. rufocitrinus Krüger, 1931
	Bombus (Thoracobombus) mucidus Gerstaecker, 1869 ssp. mollis Pérez, 1879

Rasmont *et al;*, 1995; Rasmont *et al., en préparation.*

Annexe IV
Liste des 47 codes CORINE établie sur l'ensemble de la commune d'Eyne

Code Natura 2000	Code CORINE	Descriptif de l'habitat	Traduction française
	31226	Montane Calluna-Genista heaths	Landes à *Calluna sp.* et *Genista sp.*
	3122A	Genista sagittalis heaths	Landes à *Genista sagittalis*
	3142	Alpenrose (Rhododendron) heaths	Landes à *Rhododendron ferrugineum*
	31422	Pyrenean rusty alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*) heaths	Landes pyrénéennes à *Rhododendron ferrugineum*
	3143	Dwarf juniper scrub	Buissons de Juniperus bas
	31431	*Juniperus nana* scrub	Buissons de *Juniperus nana*
	3144	Empetrum-Vaccinium heaths	Landes à *Empetrum sp.*et *Vaccinium sp.*
	318422	Pyrenean *Cytisus purgans* fields	Végétations pyrénéennes à *Cytisus purgans*
	318711	Willowherb (Epilobium) and foxglove (Digitalis) clearings	Clairières à *Epilobium angustifolium* et *Digitalis purpurea*
	31872	Shrubby re-colonizing woodland clearings	Clairières recolonisées par des arbustes
	3188	Common juniper (*Juniperus communis*) scrub	Buissons de *Juniperus communis*
	343261	Pyreneo-Catalonian Mesobromion	Mesobromion pyrénéo-catalan
	34332G	Pyrenean Xerobromion	Xerobromion pyrénéen
	3442	Mesophile forest fringe grasslands	Pelouses mésophiles en lisière de forêt
	36	Alpine and sub-alpine grasslands	Pelouses alpines & subalpines
	361	Snow-patch communities	Végétations de plaques à neige
	363	Alpine and sub-alpine acidophilous grasslands	Pelouses acidophiles alpines & subalpines
	3631	Mat-grass swards and related communities	Pelouses à *Nardus stricta* et communautés voisines
6230 *	36311	Pyreneo-Alpine mesophile mat-grass (*Nardus stricta*) swards	Pelouses pyrénéo-alpines mésophiles de *Nardus stricta*
	36331	*Festuca paniculata* swards	Pelouses à *Festuca paniculata*
	363311	Xerophile rocky slope *Festuca paniculata* swards	Pelouses xérophiles rocailleuses en pente à *Festuca paniculata*
6140	36332	*Festuca eskia* garland-grasslands	Pelouses en banquettes à *Festuca eskia*
	36343	*Festuca airoides* grasslands	Pelouses à *Festuca airoides*
	36422	Pyrenean naked-rush swards	Pelouses à *Elyna myosuroides* et *Oxytropis halleri*
	371	Meadowsweet (Filipendula) stands and related communities	Pelouses humides à *Filipendula sp.* et communautés voisines
	37215	Bistort (*Polygonum bistorta*) meadows	Prairies à *Bistorta*
	381	Mesophile pastures	Pâtures mésophiles
6520	383	Mountain hay meadows	Prés de fauche de montagne
	413	Ash (*Fraxinus excelsior*) forests	Forêts de *Fraxinus excelsior*
	41B33	Pyrenean birch woods	Bois pyrénéens de *Betula sp.*
	41C2	Alnus glutinosa woods	Bois d' *Alnus glutinosa*
	424	Mountain pine (*Pinus uncinata*) forests	Forêts montagnardes de *Pinus uncinata*

Liste des 47 codes CORINE établie sur l'ensemble de la commune d'Eyne (suite)

Code Natura 2000	Code CORINE	Descriptif de l'habitat	Traduction française
	4241	Rusty alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*) mountain pine forests	Forêts de *Pinus uncinata* à sous-bois de *Rhododendron ferrugineum*
	42413	Pyrenean alpenrose mountain pine forests	Forêts de pin de montagne pyrénéennes à *Rhododendron ferrugineum*
	424222	Vaccinium mountain pine forests	Forêts de *Pinus uncinata* à *Vaccinium sp.*
	42424	Pyrenean adret mountain pine forests	Forêts pyrénéennes d'adret à *Pinus uncinata*
	4243	Mountain pine reforestation	Reforestation de Pin de Montagne
	44A3	Mountain pine (*Pinus uncinata*) bog woods	Bois marécageux de *Pinus uncinata*
	543	Arcto-alpine riverine swards	Pelouses de berges arcto-alpines
	5458	Sphagnum and cottongrass (Eriophorum) rafts	Communautés de Sphaignes et linaigrettes
8130	6133	Pyreneo-Alpine thermo-siliceous screes	Éboulis thermo-siliceux pyreneo-alpins
	6134	Pyrenean calcareous screes	Éboulis calcaires pyrénéens
	8211	Field crops	champs cultivés
	83311	Native conifer plantations	Plantations de conifères
	871	Fallow fields	Friches
	872	Ruderal communities	Communautés rudérales

Le signe "*" indique que c'est un type d'habitat prioritaire

Annexe V
Projection des espèces sur les 4 axes canoniques (ACC)

	AXE 1	AXE 2	AXE 3	AXE 4
1 CONFUSUS	-1.0978	0,6495	0,3619	0,1703
2 GERSTAECKERI	0,2223	-1.8048	-0,0919	-0,9610
3 HORTORUM	-0,2444	-0,8081	-0,1846	-0,3503
4 HUMILIS	-1.1892	1.2086	1.2287	-0,5329
5 HYPNORUM	-0,5695	-0,3716	-0,5837	0,3111
6 LAPIDARIUS	-1.0454	0,9374	0,6600	-0,0016
7 LUCORUM	-0,5164	-0,0238	-0,3760	0,4990
8 MAGNUS	-0,2785	-0,1269	-0,4100	0,1152
9 MENDAX	1.4694	-0,5930	1.3240	1.1003
10 MESOMELAS	-0,0485	0,2001	0,6078	-0,3806
11 MONTICOLA	1,2110	0,8228	-0,6760	-0,1144
12 MUCIDUS	0,7461	-0,1772	0,5454	-1.0751
13 PASCUORUM	-0,7050	-0,3171	-0,1658	-0,3810
14 PRATORUM	-0,4085	-0,6233	-0,2786	-0,3247
15 PYRENAEUS	0,6544	-0,2154	0,3904	-0,1818
16 RUDERARIUS	-0,1134	-0,2819	-0,0318	-0,3634
17 RUDERATUS	-1.1464	0,7295	0,6507	-0,0226
18 SICHELI	0,4975	-0,2985	0,0837	-0,8252
19 SOROEENSIS	-0,4812	-0,0503	0,1462	-0,0370
20 SUBTERRANUS	-0,9546	0,4263	0,2434	0,0607
21 SYLVARUM	-1.1370	1.4730	1.2122	-0,3158
22 TERRESTRIS	-0,5771	0,0529	-0,1527	0,3600
23 WURFLENII	0,0206	-1.3833	-0,2697	-1.0833

Annexe VI
Projection des facteurs écologiques sur les 4 axes canoniques (ACC)

		AXE 1	AXE 2	AXE 3	AXE 4
1	Alti	0,9136	0,1015	-0,1296	-0,0824
2	F	-0,1151	-0,0918	-0,1141	0,0737
3	La	-0,1868	-0,1686	-0,1594	-0,0422
4	Lb	-0,1097	-0,3885	-0,2191	-0,2304
5	Toa	0,5939	-0,2436	0,4676	-0,1100
6	Tob	-0,6235	0,4015	0,1455	0,3154
7	Toc	0,4941	0,5132	-0,4728	-0,0084
8	31226	-0,1428	0,0817	-0,0271	0,1474
9	31422	0,3020	-0,1168	0,2917	0,4146
10	31431	0,0888	-0,0401	0,1578	0,0576
11	318422	-0,0238	-0,0801	-0,0274	-0,0274
12	318711	-0,2025	-0,2134	-0,2037	0,0228
13	343261	-0,3731	0,5417	0,3933	-0,1070
14	34332G	-0,0398	-0,0662	0,0599	-0,2525
15	3442	0,0410	-0,0290	0,0233	-0,0405
16	363	0,3161	-0,2079	0,2020	-0,3258
17	3631	0,0036	-0,0105	-0,0216	0,0984
18	36331	0,4406	0,4750	-0,4177	-0,0938
19	36332	0,1029	-0,0314	0,1227	0,1665
20	36343	0,1529	0,1701	-0,1299	-0,0132
21	36422	0,1411	0,1437	-0,1491	0,0306
22	383	-0,3055	-0,0200	-0,2318	0,4101
23	424	-0,1167	-0,0582	-0,1409	0,1535
24	42413	0,1927	-0,3034	0,0663	-0,2168
25	42422	-0,0917	-0,0902	-0,1053	0,0631
26	872	-0,0616	-0,0957	-0,0599	-0,0933
27	TRIFOLIUM	-0,1513	-0,2943	-0,2653	0,0257
28	RHINANTHUS	-0,3949	-0,3641	-0,2824	0,0671
29	EPILOBIUM	-0,2351	-0,2132	-0,1629	-0,0176
30	VICIA	-0,4287	0,0034	-0,0661	0,0762
31	RHODODENDRON	0,2400	0,0029	0,0099	-0,0739
32	CENTAUREA	-0,5405	0,4193	0,3138	0,0948
33	ACONITUM	0,2079	-0,5344	0,2144	-0,0231
34	ERYNGIUM	-0,2184	0,0637	0,1691	-0,0789
35	GENTIANA	0,1950	-0,1694	0,0455	-0,0897
36	SIDERITIS	0,1548	-0,3041	0,0623	-0,4763
37	PHYTEUMA	0,0621	-0,0809	0,0583	-0,0570
38	THYMUS	0,2397	0,0528	-0,1218	-0,1376
39	POTENTILLA	0,4213	0,3521	-0,2429	-0,0719
40	CARDUUS	-0,1275	0,0102	0,3578	-0,4423
41	PEDICULARIS	0,1808	0,0550	-0,1072	0,0632
42	MINUARTIA	0,3511	0,3970	-0,3535	-0,0661

Annexe VII
Projection des stations sur les 4 axes canoniques (ACC)

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
1993*070	-1,3624	2,6482	1,5527	0,0535
1993*071	-0,4858	-0,7231	0,1934	-1,4880
1993*072	-0,3229	-2,7649	-0,5501	-2,5005
1993*71b	-0,3247	-0,9180	-0,0488	-0,9376
1997*164	-1,0469	-1,1526	-1,9256	1,3827
1998*154	-0,8846	-0,1559	0,4823	-0,1644
1998*155	-1,0904	-0,5697	-0,0324	-0,9291
1998*156	0,2243	-3,3756	-0,1073	-2,4934
1998*157	-0,4583	-0,3534	0,5643	-1,0649
1998*158	-0,1887	-0,3102	0,1152	-1,1999
1998*159	0,6515	-1,9523	0,5420	-1,8760
1998*160	1,2029	-0,6683	1,2881	-0,8082
1998*161	0,4087	-5,5984	-0,3032	-4,2721
1998*162	-0,4493	-2,5065	-0,6090	-1,5572
1998*163	-0,3963	-1,2644	-0,0876	-1,6132
1998*166	-0,2084	-0,8743	-0,1049	-1,6154
1998*167	1,5704	0,8132	-0,9770	-2,0883
1998*168	-0,0997	0,0395	0,9835	-1,4600
1998*169	-0,0930	0,2786	-1,4090	1,0645
1998*170	-0,8011	-0,2339	-1,0134	1,4513
1998*172	2,2261	2,5522	-2,2302	-0,5085
1998*173	0,1268	-0,3710	0,0238	0,7049
1998*174	-0,2084	-0,8743	-0,1049	-1,6154
1998*175	-0,7510	-1,9333	-0,9192	-1,4434
1998170b	-0,5357	-1,1515	-0,6515	-0,3182
1999*034	-0,8835	-0,0742	-0,8961	1,6145
1999*047	-0,1488	-0,1268	0,9501	-1,6536
1999*048	-0,7618	-0,6243	-1,1366	1,1218
1999*049	-0,8198	-0,8054	-0,7844	0,7537
1999*050	-0,8846	-0,1559	0,4823	-0,1644
1999*051	0,0655	-1,5679	-0,1857	-2,6660
1999*052	0,8860	-0,4068	0,9171	0,3626
1999*053	1,4525	0,3570	-0,0090	-0,3764
1999*054	1,2245	-0,6736	2,1122	-1,3120
1999*055	0,6138	0,5872	0,3863	-0,7933
1999*056	2,2157	0,8374	0,1576	0,9914
1999*057	-0,9493	-0,0738	-1,2405	2,2180
1999*058	0,8101	0,9170	-0,9782	0,9360
1999*059	-0,0680	-0,2547	-0,3682	1,4940
1999*060	1,2029	-0,6683	1,2881	-0,8082
1999*061	0,9066	-0,1574	0,3822	-0,1197
1999*062	0,8266	0,6034	-0,7275	0,3004
1999*063	1,7145	0,9420	-0,4711	-0,6584
1999*064	-0,9493	-0,0738	-1,2405	2,2180
1999*065	0,4014	-0,6688	0,7250	1,2603
1999*066	-0,9493	-0,0738	-1,2405	2,2180
1999*067	0,8011	0,3557	-0,3067	1,0313
1999*068	2,7011	-1,8395	4,3679	4,8912
1999*069	0,4804	-0,0328	-0,0951	1,1251
1999*070	1,5440	0,4052	0,1153	-0,7083
1999*071	0,8400	-0,2148	-0,3394	-2,4204
1999*072	1,2029	-0,6683	1,2881	-0,8082
1999*073	0,5071	-0,4975	1,0195	-0,5936
1999*074	0,6025	-0,1494	0,3574	-1,2090
1999*075	0,1127	-0,8618	-0,1796	-1,8208
1999*076	-0,2237	-3,0741	-0,5265	-2,4340
1999*079	-1,0121	0,6791	0,1828	0,8019
1999*080	-1,0177	0,2547	-0,6417	1,5858
1999*081	-1,0015	0,1296	-0,9915	2,0414
1999*082	-0,8571	0,0091	-0,1185	0,3718
1999*083	-0,9493	-0,0738	-1,2405	2,2180
1999*084	-1,1064	0,5585	0,4323	-0,0014
1999*085	-0,8848	0,1510	0,0821	-0,1136
1999*086	-0,8557	0,1996	-0,3526	0,5824
1999*087	0,3491	0,8294	-1,3798	0,2911
1999*088	-0,8947	-0,4111	-0,6127	0,8136
1999*089	0,2062	1,6541	-0,2920	-0,7548
1999*090	-0,5189	-0,1927	-0,7348	1,6128
1999*091	-0,2103	-0,2993	0,1766	0,4151
1999*092	-1,1306	0,2204	-0,0870	0,6431
1999*093	-0,7028	-0,3635	-0,1694	-0,2478
1999*094	0,0952	-0,2304	-0,2650	-0,7156
1999*095	-0,9277	-0,1011	-0,6662	1,4239
1999*096	-0,6893	-1,4734	-0,9673	-0,7799
1999*097	-0,9547	0,1791	-0,5568	1,4376
1999*098	-1,0279	0,2640	-0,4002	1,3144
1999*099	-0,7635	-0,1501	-0,7532	1,2101
1999*100	-0,8531	0,0448	-0,5919	1,2013
1999*101	-0,8041	-0,5805	-0,6820	0,7853
1999*102	0,0752	-1,3152	-0,0242	-2,2830
1999*103	0,1675	-0,4416	0,3400	-1,7641
1999*105	0,5230	-0,7181	0,4871	-2,9658
1999*106	-0,2084	-0,8743	-0,1049	-1,6154
1999*107	0,8119	-0,3180	0,4574	-0,3461
1999*108	-0,0089	-1,2093	0,4043	-1,9799
1999*109	0,4217	-0,3689	0,8392	-1,2475
1999*111	1,1232	-1,0353	1,8380	1,1211
1999*112	1,3915	1,2642	-0,2918	-0,8793
1999*113	0,6544	-0,4048	1,6359	0,9335
1999*114	-0,1624	-0,0443	0,8930	0,7882
1999*115	0,3649	-0,2041	0,5908	1,2091
1999*116	1,3302	-0,7913	2,6835	1,3993
1999*117	2,7011	-1,8395	4,3679	4,8912
1999*118	1,8552	0,6506	0,1341	1,7458
1999*119	2,3449	1,4543	-0,5807	0,8414
1999*120	1,8574	2,1286	-1,9553	-0,2509
1999*121	1,7883	1,9894	-1,5198	-0,1549
1999*122	0,8923	-0,3204	0,2473	0,1584
1999*123	-0,4900	0,0585	-1,0390	1,5635
1999*124	0,4740	0,6369	-1,3611	-0,0463
1999*126	-0,8196	-0,2746	-0,5408	0,9661
1999*127	-0,8957	-0,5690	-0,5368	-0,1390
1999*128	-0,8005	-0,2909	-0,8886	1,1110
1999*130	-0,7913	-0,3435	-0,9743	1,3149
1999*131	-0,5396	-0,7639	-0,4689	-0,2581
1999*132	-0,8454	-0,9878	-0,3343	-0,8250
1999*133	-0,7360	-0,3249	-0,1795	-0,3552
1999*134	-0,5364	-2,0364	-0,3908	-1,2787
1999*135	-0,3930	-0,3052	-0,3603	0,7225
1999*136	-0,7510	-1,9333	-0,9192	-1,4434
1999*137	-0,8350	-0,8336	-0,5584	0,1579
1999*138	-0,2869	-3,1013	-0,7027	-2,6434
1999*139	-0,9865	0,0055	-0,9949	2,0121
1999*140	-0,6943	-0,4439	-0,3816	0,5919
1999*141	-0,6542	-0,2545	-0,4668	1,0070
1999*142	-0,0927	-1,9983	-0,1403	-1,3683
1999*143	-0,8356	-0,6763	-0,9967	0,8639
1999*144	-0,5399	-0,4029	0,2572	-0,0041
1999*145	-0,3314	-0,0457	-0,5490	0,3848
1999*146	-0,1837	0,1199	-1,0894	0,6736
1999*147	-0,9668	-0,3996	-1,1211	1,3271
1999*148	-0,9439	-0,3520	-1,0309	1,4683
1999*149	-0,9493	-0,0738	-1,2405	2,2180
1999*150	-0,5616	1,2160	-0,3796	0,7553
1999*151	-1,0609	0,1640	-0,5037	1,6003
1999*152	-0,6497	-1,7550	-0,8444	-0,5850
1999*153	-0,3083	0,3094	-1,2382	1,2495
1999*154	0,9345	0,9352	-1,1432	-0,6236
1999*155	-0,9211	-0,5958	-0,9509	0,9316
1999*156	-0,7011	-0,7204	-0,8871	0,6963
1999*157	-0,7510	-1,9333	-0,9192	-1,4434
1999*158	-0,8171	-0,7644	-0,5811	0,0462
1999*159	-0,4707	-0,8055	-0,3910	-0,5198
1999*161	0,4515	0,2678	0,2655	-0,2939
1999*162	-0,0891	0,6207	2,0052	-1,6919
1999*163	0,4599	0,7298	0,4188	-1,3769
1999*165	0,3961	0,8904	-0,8716	-0,0811
1999*166	0,4357	-0,5211	0,9284	1,7051
1999*167	-0,7747	-1,1468	-1,0023	0,3588
1999*168	-0,5001	-1,0679	-0,4646	-0,6318
1999*169	-0,7959	-0,8409	-0,5344	0,1874
1999*170	-0,1675	-1,1278	-0,5569	-0,6602
1999*171	-0,1007	-0,8827	-0,3227	-0,7668
1999*172	-0,2698	-2,0138	-0,4440	-1,9493
1999*173	1,9123	-0,3792	1,4388	1,2582
1999*174	1,9520	-1,2539	2,8280	2,0415
1999*175	1,4188	-0,2282	1,1534	-0,8994
1999*176	1,2016	-0,5381	0,7932	-0,4525
1999*177	2,6511	-1,6363	4,0357	4,5545
1999*178	1,2257	-0,2961	1,1134	-1,3394
1999*179	1,4196	-0,3421	1,3206	0,0928
1999*180	1,7998	1,2103	-0,7642	-0,6334
1999*181	2,0401	1,9666	-1,5905	-0,5630
1999*182	2,0262	2,2738	-2,0155	-0,3930
1999*183	1,8976	2,2805	-2,1278	-0,2265
1999*184	2,2261	2,5522	-2,2302	-0,5085

Projection des stations sur les 4 axes canoniques (ACC) (suite)

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
1999*185	2,1331	2,2594	-1,9103	-0,5358
1999*186	2,2261	2,5522	-2,2302	-0,5085
1999*187	1,2530	0,4225	-0,2915	-1,5154
1999*188	1,7145	0,9420	-0,4711	-0,6584
1999*189	1,6510	-2,0618	2,7089	2,7417
1999*190	1,5440	0,4052	0,1153	-0,7083
1999*191	2,2730	-1,5048	3,4879	3,2628
1999*192	1,3482	-1,3079	1,4496	1,1659
1999*193	0,6984	-0,3819	0,3863	-0,6743
1999*194	0,5791	-0,4061	0,1817	-0,3789
1999*195	-0,1933	-0,2921	0,0570	0,4676
1999*196	-0,6469	-0,0533	-0,0878	0,3773
1999*197	-0,6839	0,1275	0,2960	-0,0417
1999*236	-1,8021	3,5369	3,3576	-1,4307
1999*237	-1,4064	2,2355	2,3237	-1,0885
1999108b	0,3408	-2,1704	0,4049	-1,0028
1999108c	1,7988	1,0012	-0,2154	-2,6439
1999128b	-0,8157	-0,2233	-0,3399	0,6493
1999167b	-0,9493	-0,0738	-1,2405	2,2180
1999187b	1,2739	-0,4023	0,8924	0,2723

Annexe VIII
Projection des 176 stations sur les 2 premiers axes canoniques (ACC)

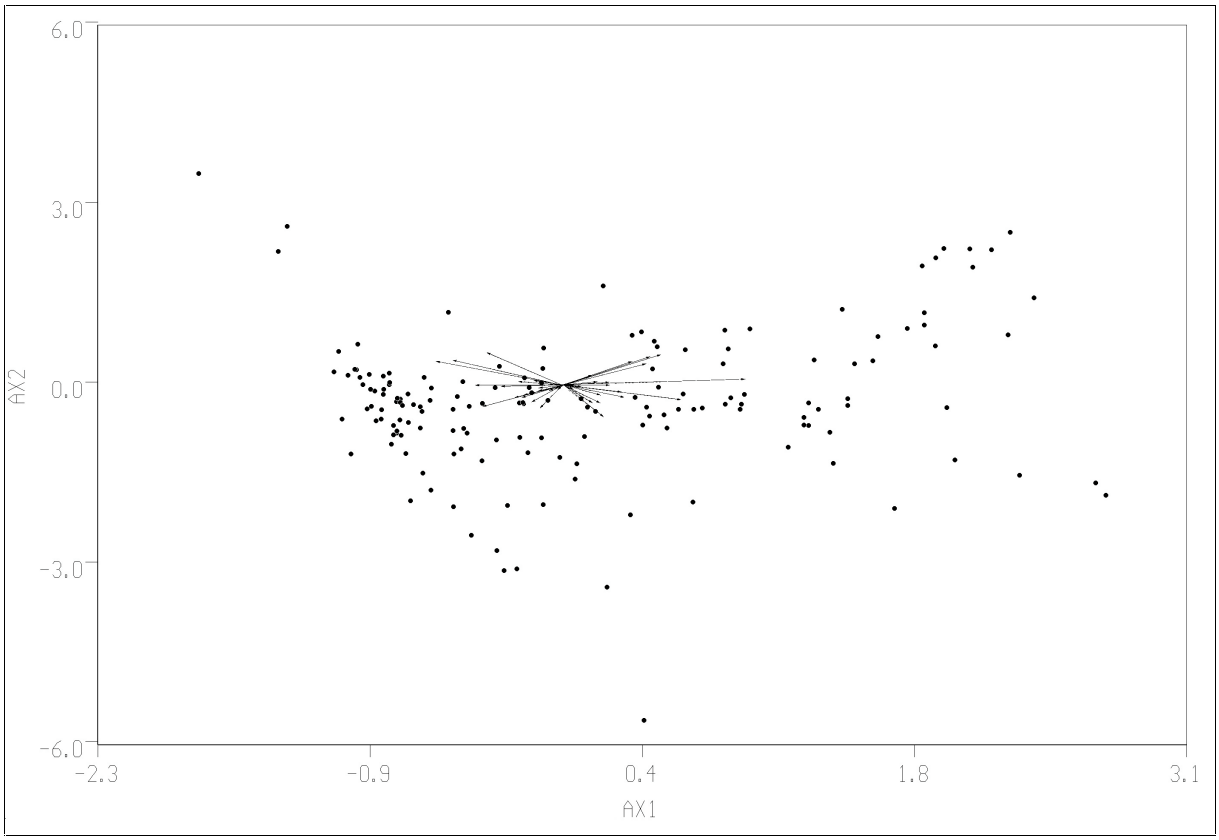

Photo 1. Eyne: pré de fauche aux Pasquerests (1520 m) (Photo P.Rasmont)

Photo 2. Vallon d'Eyne: pinède au Bosc del Quer (1900 m) (Photo P. Rasmont)

Photo 3. Vallon d'Eyne: paturâge subalpin (2350 m) (Photo P. Rasmont)

Photo 4. Vallon d'Eyne: étage alpin aux Pic et coll d'Eina (2683 m)
(Photo P. Rasmont)

Photo 5. Vallon d'Eyne: pelouse alpine à la Torre d'Eina (2850 m)
(Photo P. Rasmont)