



Conservatoire Botanique National



RAPPORT DE STAGE :

CARACTERISATION DE POPULATIONS DE *GENTIANA LUTEA* ET *RHODIOLA ROSEA* DANS LES PYRENEES

DUREE DU STAGE : DU 06/06/2017 AU 08/09/2017

ENSEGID – BORDEAUX INP :

REMI DAVID
Elève ingénieur – ENS 2

SANDRINE GOMBERT-COURVOISIER
Responsable pédagogique

CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL
DES PYRENEES ET DE MIDI-PYRENEES :

BEATRICE MORISSON
Coordinatrice du pôle ethnobotanique

BRUNO DURAND
Chargé de mission, Botaniste

Table des matières

Remerciements	3
1. Introduction.....	4
2. Gentiana lutea.....	5
2.1. Contexte.....	5
2.1.1. Description, répartition et écologie	5
2.1.2. Usages	6
2.1.3. Menaces et protections.....	6
2.2. Inventaire.....	7
2.2.1. Travail de terrain	7
2.2.2. Cartographie des peuplements	9
2.2.3. Analyse des relevés	11
2.2.4. Traitement statistique des données.....	15
3. Rhodiola rosea	28
3.1. Contexte.....	28
3.1.1. Description, répartition et écologie	28
3.1.2. Usages	29
3.1.3. Menaces et protections.....	30
3.2. Inventaire.....	30
3.2.1. Travail de terrain	30
3.2.2. Cartographie des peuplements	32
3.2.3. Analyse des relevés	33
3.2.4. Traitement statistique des données.....	34
4. Chapitre « Développement durable » : propositions en vue d'établir une gestion durable de la cueillette....	48
4.1. Gentiana lutea	48
4.2. Rhodiola rosea	52
5. Conclusion	56
6. Bibliographie	57
7. Annexes.....	60
8. Portfolio	64
9. Cartes	Erreur ! Signet non défini.
Liste des figures :.....	85
Liste des tableaux :.....	87
Liste des annexes :	88
Liste des Photographies :	89
Liste des cartes.....	90

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier Béatrice Morisson qui est à l'origine de ce sujet et qui m'a très bien accueilli au conservatoire.

Un grand merci aussi à Bruno Durand qui m'a fait perdre quelques kilos et surtout m'a appris comment mieux apprécier la bière.

Je remercie également Raphaële Garreta qui, comme chacun sait, ne m'a pas lâché !

Je pense aussi à Jocelyne Cambecèdes qui s'est toujours intéressée à mon travail et m'a même expliqué le khi-deux, en vain.

Merci mille fois à Lionel Gire pour m'avoir fait économiser 15 jours de galère sur modem 56K.

Merci à Anne-Sophie, Anouar et Elodie qui m'ont aidé sur QGis.

Merci à Fabrice qui m'a tout de suite mis dans le bain de la gentiane.

Enfin, un grand merci à tous les stagiaires, les permanents, les contractuels et, en particulier, à tous ceux qui ont fait des gâteaux tout l'été alors que moi je n'en ai fait qu'un seul, et pour mon départ qui plus est.

1. Introduction

La cueillette des plantes aromatiques et médicinales est un domaine assez peu connu du grand public. Des images de sorties dans les bois en famille, de sorcière à la recherche d'une plante vénéneuse ou encore de druide armé d'une petite serpe nous viennent spontanément en tête. Pourtant, c'est dans les faits une activité nettement plus prosaïque qui constitue le gagne-pain d'un nombre non négligeable de personnes. Elle peut par ailleurs s'avérer majeure en terme d'impact sur le milieu naturel. Les moyens employés pour récolter les plantes peuvent en effet aller du plus basique au plus mécanisé, avec d'autant plus de risque pour les populations naturelles. C'est pourquoi en matière de conservation des espèces, à côté des grands chantiers d'aménagement du territoire, il est nécessaire de suivre et d'accompagner les évolutions des pratiques de cueillette.

La gentiane jaune (*Gentiana lutea*) fait actuellement l'objet d'un arrachage dans des quantités assez considérables, essentiellement pour la liquoristerie. Cette pratique remonte à très longtemps dans le Massif central mais n'a commencé que récemment dans les Pyrénées, où elle n'était traditionnellement que très peu récoltée. On recherche son rhizome et ses racines qui contiennent des agents amers très puissants, donnant leur goût aux fameuses liqueurs de gentiane et servant aussi d'amérisant alimentaire.

L'orpin rose (*Rhodiola rosea*) est beaucoup moins connu mais depuis qu'on lui prête des propriétés adaptogènes, c'est-à-dire tonifiantes pour le corps et l'esprit, les laboratoires pharmaceutiques ont commencé à manifester de l'intérêt et le prix au kg de ses racines est monté en flèche. Cette plante de climats froids que l'on retrouve essentiellement dans le grand nord est également présente dans les Pyrénées qui constituent très probablement une zone refuge depuis la fin de la dernière période glaciaire.

Dans le cadre du projet européen ValuePAM, qui vise à mieux connaître et à valoriser les plantes aromatiques et médicinales, le Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées (CBNPMP) a lancé un inventaire de ces deux espèces afin de mieux connaître la répartition, les effectifs et la structure des populations sur la chaîne des Pyrénées.

La présente étude s'inscrit dans le cadre de ce projet. Son originalité pour le conservatoire réside dans l'approche quantitative qui n'est pas systématiquement recherchée pour des plantes qui ne figurent pas sur la liste des plantes menacées et dont les effectifs sont donc relativement importants. Si des cartes de présence/absence de ces plantes basées sur la base de données du CBNPMP existaient déjà, elles provenaient essentiellement de relevés botaniques et/ou phytosociologiques dont l'objectif n'est généralement pas de quantifier les effectifs des populations.

Pour réaliser cet inventaire, nous avons donc effectué de nombreuses sorties de terrain qui nous ont permis d'accumuler suffisamment de données pour créer des cartes des populations et mener à bien une étude statistique des peuplements de chaque espèce.

2. *Gentiana lutea*

2.1. Contexte

2.1.1. Description, répartition et écologie

Gentiana lutea est une plante vivace, c'est-à-dire que sa partie souterraine peut vivre de nombreuses années (source : Tela Botanica), de la famille des Gentianacées. Son âge peut dans certains cas atteindre une soixantaine d'années (Garreta *et al.* 2014) et, même si la partie centrale la plus ancienne du rhizome nécrose, les périphéries peuvent continuer à s'étendre et à générer de nouveaux pieds en surface, formant ainsi une touffe.

La partie aérienne de la plante est glabre et glauque, avec parfois une hampe florale composée d'une tige robuste, cylindrique et creuse (source : Tela Botanica) qui porte des fleurs jaunes disposées en verticilles. Les feuilles sont amples, ovales et assez épaisses, avec cinq à sept nervures convergentes. Elles sont disposées de façon opposée décussée le long de la tige centrale, c'est-à-dire en face à face avec une rotation de 90 degrés à chaque niveau, et une plus grande concentration au pied de la plante. Un pied avec une hampe florale bien développée peut facilement dépasser un mètre à un mètre vingt de haut.



Figure 1 : Pieds de *Gentiana lutea* au col de Chioula, Ariège
(crédits photo : R.David)

On la retrouve dans toute l'Europe centrale et méridionale et jusqu'en Asie Mineure. Elle affectionne particulièrement les zones de basse à moyenne montagne (800 à 2300 mètres d'altitude)

correspondant aux étages montagnards et subalpins (Garreta *et al.* 2014). On la trouve sur des types de sols très variés, du moment que l'ensoleillement est suffisant. C'est en effet une plante qualifiée d'héliophile qui supporte mal l'ombre des arbres et arbustes. Pour cette raison, on la trouve généralement sur les prairies d'estives ou dans les clairières de la hêtraie pyrénéenne (Saulé 1991).

On dénombre 315 stations de *Gentiana lutea* dans le territoire d'agrément du CBNPMP (Garreta *et al.* 2014), qui s'étend cependant sur un territoire plus vaste que celui des Pyrénées mais ne comprend pas les Pyrénées-Orientales. Ces stations correspondent généralement à des mentions de présence/absence sur des relevés botaniques et ne peuvent donc pas fournir une réelle image des effectifs de la population.

2.1.2. Usages

L'écrasante majorité des quantités de racine extraites chaque année en France est destinée à la production de liqueurs de gentiane (Photo 8), principalement distillées dans le Massif central qui possède une longue tradition de cette pratique.

La médecine, traditionnelle ou moderne, fait également usage des propriétés amérisantes de la racine de gentiane jaune. On lui prête des vertus tonifiantes, dépuratives, anti-infectieuses et antiparasitaires (Garreta *et al.* 2014). Elle trouve aussi des applications du même ordre en médecine vétérinaire et stimulerait également la rumination chez les bovins.

L'industrie alimentaire profite également des amers produits par la plante. Elle participerait de la composition de certains plats cuisinés du fait de ses propriétés appétentes, et de celle de certains sodas afin de limiter la sensation de sucré (Garreta *et al.* 2014).

Enfin, on retrouve également la gentiane jaune dans les domaines du cosmétique et de la parfumerie. Elle intervient comme tonifiant dans certains gels pour sportifs et comme démêlant dans certains shampoings. Son odeur particulière est recherchée pour la création de parfums (Garreta *et al.* 2014).

2.1.3. Menaces et protections

Actuellement, la gentiane jaune ne fait pas partie des plantes considérées comme menacées sur le territoire national. A ce titre, elle ne fait pas l'objet d'une protection stricte. L'arrêté ministériel du 13 octobre 1989 mentionne cependant qu'elle peut faire l'objet d'arrêtés préfectoraux visant à encadrer toutes les pratiques qui la concernent (source : Tela Botanica). Elle ne fait pas non plus l'objet d'une protection stricte au niveau communautaire européen (Directive 92/43/CEE du 21 mai 1992, modifiée par la directive 97/62/CEE du 27 octobre 1997).

Deux phénomènes semblent toutefois se conjuguer pour menacer les effectifs de *Gentiana lutea* dans les Pyrénées.

D'une part, la cueillette (Photo 12) qui jusqu'au dernières décennies était considéré dans la région comme une pratique plutôt marginale en terme de volumes a connu depuis quelques années une croissance importante. Ce changement s'explique, au moins en partie, par les mesures de protection et interdictions d'arrachage adoptées dans la plupart des régions de cueillette traditionnelle en France (Massif central, Vosges, Alpes, Corse) et sur l'ensemble du territoire espagnol. Ces mesures

étaient généralement justifiées par une pression trop forte sur la ressource, mettant en danger des populations locales fragilisées.

Dans ce contexte, les Pyrénées, peu impactées par la récolte et dépourvues de contraintes réglementaires, ont pu apparaître pour les gentianaires comme un nouvel eldorado. Cette impression a par ailleurs pu être confortée par le fait que, dans bien des cas, la coutume consistant à verser au propriétaire du terrain un pourcentage des gains de la récolte n'était pas connue des locaux. Les droits d'arrachage s'échangeaient alors contre des forfaits modiques, rarement en lien avec les réels profits réalisés, ou même gratuitement dans le meilleur des cas pour les gentianaires. La plante est en effet parfois considérée comme nuisible par certains paysans qui y voient des surfaces inexploitées pour le pâturage.

D'autre part, un autre facteur fait peser une réelle menace sur les populations de *Gentiana lutea*, cette fois de manière indirecte mais peut-être aussi plus difficile à éviter. Il s'agit du recul du pastoralisme dans les zones les moins faciles d'accès. En broutant les jeunes pousses des arbres et arbustes, le bétail maintient en effet le milieu à l'état ouvert et permet de « nettoyer », comme disent les paysans, de vastes zones de prairies qui sinon seraient sujettes à l'embroussaillage. C'est donc bien cette dynamique de fermeture des milieux par recolonisation des prairies par la lande et la forêt qui fait pour l'instant peser sur la gentiane jaune la menace la plus pressante.

Dans ce contexte, six communes d'Ariège, fortement pourvues en populations de gentiane jaune, ont choisi réglementer l'arrachage sur leur territoire. Cette mesure a pris la forme d'un arrêté préfectoral, le 4 juillet 2012, qui stipule que les exploitants devront respecter certaines normes pour pouvoir continuer à récolter les racines de gentiane. Notamment, ils devront fournir une autorisation écrite du propriétaire du terrain, n'arracher qu'un pied sur deux, remettre en l'état les zones d'extraction et limiter la saison de récolte à la période allant du 31 août au 1^{er} janvier.

Le CBNPMP a été invité à émettre un avis préalable sur cet arrêté (avis du 14 juin 2012). Il en ressort notamment que la contrainte de temps devrait porter sur la périodicité de l'arrachage sur une parcelle, plutôt que sur des considérations visuelles (éviter de confronter les touristes à la vision des chantiers de récolte) ou d'usage agricole (périodes de pâturage). Parallèlement, la nécessité de contrôle et d'enregistrement des zones exploitées est soulignée, pour permettre à terme de proposer des plans de gestion des parcelles sur le temps long. Ces remarques n'ont cependant pas été intégrées au texte final de l'arrêté préfectoral.

C'est donc dans le cadre de ces questionnements que s'inscrit notre inventaire des populations de *Gentiana lutea* dans les Pyrénées françaises (France 3, 2017).

2.2. Inventaire

2.2.1. Travail de terrain

Au total, nous avons effectué 9 sorties de terrain pour réaliser des relevés de population de *Gentiana lutea*. Chacune de ces sorties représentait une journée complète mais certaines ont vu leur durée limitée par le temps de trajet qui pouvait parfois s'avérer conséquent. Cinq sorties notamment ont eu lieu en Ariège et deux dans la région du Luchonnais en Haute-Garonne. Les deux sorties restantes ont été effectuées dans les Hautes-Pyrénées, non loin du Conservatoire botanique.

2.2.1.1. Préparation des sorties

Avant de se rendre sur le terrain, une partie du travail a consisté à interroger la base de données cartographique du conservatoire « Geoflora », basée sur le logiciel MapInfo, afin de récupérer les informations relatives aux relevés phytosociologiques déjà réalisés sur ces sites par les botanistes du CBNPMP. En parallèle, des séries de scans IGN et d'orthophotos ont été rassemblées et imprimées pour pouvoir nous servir de support cartographique sur le terrain. Dans le cas de la gentiane jaune, seules les zones situées à une distance raisonnable d'une route, piste forestière ou chemin d'exploitation ont été recensées, du fait de la nécessité pour les exploitants d'extraire leur récolte à l'aide d'un engin motorisé (généralement une camionnette). Une fiche de relevé type pour *Gentiana lutea* a aussi été réalisée (Annexe 1), afin de faciliter la prise de notes sur le terrain.

Cette recherche préalable résidait également dans des aspects plus pratiques comme la réservation d'un lieu où dormir et se restaurer, le contact des différentes mairies ou organismes publics (ONF) qui gèrent les autorisations d'emprunter certaines pistes interdites au public, la mise en place de plannings sur trois jours (en fonction de la météo et des durées de trajet notamment), ou encore la recherche de solutions de secours en cas d'absence de populations satisfaisantes de gentiane jaune.

2.2.1.2. Méthodes d'inventaire sur site

2.2.1.2.1. Délimitation des zones de peuplement

L'un des objectifs principaux de cet inventaire consistait affiner la connaissance de la répartition et de l'étendue des populations de *Gentiana lutea*. Pour remplir cette mission, nous avons dû procéder de différentes façons en fonction des configurations particulières de chacun des sites. En effet, certaines populations présentaient des limites bien définies, sur des surfaces pouvant raisonnablement être parcourues à pied.

Dans ce cas de figure, c'est généralement la méthode du contour réalisé à l'aide de pointages GPS *in situ* qui a été favorisé. Dans d'autres cas, les populations pouvaient s'étendre parfois sur des zones beaucoup plus vastes et pentues, ce qui interdisait leur parcours, faute de temps nécessaire. C'est alors la technique du tracé des contours directement sur les impressions de scans IGN ou d'orthophotos qui a été privilégiée. Enfin, dans certains cas, la prise de photos sur site a permis d'affiner les contours des populations sur SIG une fois de retour au bureau.

2.2.1.2.2. Estimation du recouvrement

Une fois les limites des zones de peuplement définies, nous avons cherché à déterminer la densité de ces populations en estimant de visu un taux de recouvrement représentatif de chacune des zones recouvertes de gentiane jaune.

Pour cela, nous nous sommes appuyés sur des mosaïques types, représentant des surfaces de recouvrement bien définies (Delassus 2015 ; Agence de Services et de Paiement 2015). L'objectif était de limiter, autant que faire se peut, la part de subjectivité qui demeure toujours non négligeable pour ce genre d'estimations. En plus de ces premières précautions, nous avons également associé ces taux estimés à des gammes de recouvrement plus générales. Celles-ci ont été reprises et adaptées à partir des classes définies par Braun-Blanquet (Chicouène 1999, 2000, 2014).

Cinq classes de taux de recouvrement ont été utilisées :

Classe 1 : inférieur à 5 % de recouvrement

Classe 2 : 5 à 25 % de recouvrement

Classe 3 : 25 à 50 % de recouvrement
Classe 4 : 50 à 75 % de recouvrement
Classe 5 : 75 à 100 % de recouvrement

Sur la plupart des sites, nous disposons donc des résultats des deux méthodes, mais certaines zones cartographiées de visu à une certaine distance n'ont pas permis de fournir d'estimations du recouvrement précise. Nous nous en sommes alors tenus à la définition de classes.

2.2.1.2.3. Structure des populations

Enfin, 52 transects de 20 mètres sur 2 mètres (soit 40 m²) ont été effectués pour caractériser la structure de ces populations (Photo 7). Les pieds de gentiane jaune ont été dénombrés en fonction de classes de taille préalablement définies par des études menées sur placettes-test par les membres du CBNPMP (Garcia 2013). Ces études visaient à catégoriser les plants en fonction de leur niveau de développement, en lien avec la maturité reproductrice (sexuée ou végétative) de la plante et avec le potentiel de cueillette (rapport partie aérienne de la plante vs partie souterraine récoltée).

Cinq gammes de développement ont ainsi été définies et les pieds isolés ont été distingués des touffes rassemblant plusieurs pieds. Dans le cas des touffes, c'est le niveau de développement du pied le plus gros qui a été associé à la classe de l'ensemble de la motte.

On a donc 10 classes de taille, 5 en touffes et 5 en pieds isolés (Annexe 3 et Annexe 4):

F : touffe dont au moins un pied est fleuri	f : pied isolé fleuri
D : touffe de gros pieds non fleuris	d : gros pied isolé non fleuri
C : touffe de pieds moyens non fleuris	c : pied moyen isolé non fleuri
B : touffe de petits pieds non fleuris	b : petit pied isolé non fleuri
A : tapis de très jeunes pousses	a : très jeune pousse isolée

En parallèle, les diamètres des pieds/touffes ont également été mesurés pour chaque individu, sur 14 des 52 transects, afin de déterminer un diamètre moyen pour les pieds/touffes de chaque classe.

2.2.2. Cartographie des peuplements

2.2.2.1. Méthodes

Pour réaliser la cartographie des peuplements de *Gentiana lutea*, nous avons fait le choix de travailler à partir du logiciel QGIS (v2.18). C'est un logiciel libre et éprouvé par la communauté, ce qui en fait le favori de bon nombre de petites structures ne disposant pas du budget nécessaire pour s'offrir les licences de ses concurrents payants. De plus, on trouve sur internet de nombreuses vidéos d'explication, des tutoriels en version écrite et des conseils pratiques sur la toile qui permettent de se familiariser rapidement avec son interface.

Une demande de création de compte gratuit « étudiant/recherche » émise sur le site de l'IGN via mon adresse mail de l'ENSEGID, et acceptée, nous a permis de récupérer l'ensemble des versions numérisées et géolocalisées des Scan25© IGN et des orthophotographies de la base de données BD ORTHO© IGN pour l'ensemble de la région Occitanie.

En reliant les « waypoints » GPS réalisés sur le terrain et importés sur SIG, nous avons pu retracer les contours des zones de peuplement en créant des shapefiles polygones. Lorsque nous ne disposions

pas de ces « waypoints » GPS, les polygones ont été tracés « à main levée » sur QGIS, à partir de nos relevés de terrain effectués sur des impressions de cartes IGN ou des photos aériennes. Les polygones ainsi créés ont été colorisés par catégories, selon les classes de taux de recouvrement allant de 1 à 5, et des étiquettes indiquant les valeurs estimées *in situ* pour ces mêmes taux ont été ajoutées lorsqu'elles étaient disponibles.

Les métadonnées associées aux shapefiles et la calculatrice de champs du logiciel QGIS, nous ont également permis d'obtenir des informations complémentaires sur les zones cartographiées, notamment la surface exacte de chacun des patchs de végétation.

2.2.2.2. Résultats

De la cartographie des populations de *Gentiana lutea* inventoriées lors de cette étude, on peut retirer quelques grandes lignes d'interprétation. Tout d'abord, on constate que les peuplements denses et étendus, c'est-à-dire ceux qui seraient susceptibles d'être cueillis, se trouvent plutôt à l'est et au centre du massif pyrénéen, dans les départements de l'Ariège et de la Haute-Garonne.

Deux secteurs paraissent particulièrement fournis. Celui des cols et montagnes de basse altitude (1600-1800 mètres) situées à la jonction des territoires des communes de Sorgeat, Ignaux, Vaychis, Causou, Prades, Montailou, Merial, La Fajolle, Mijanés et Ascou, à l'est de l'Ariège et à la frontière de l'Aude (Carte 9), correspond à peu près à l'emprise de l'arrêté préfectoral de 2012 qui régit la récolte de *Gentiana lutea*. Ce secteur apparaît comme le plus important des Pyrénées en terme de quantité potentielle de racines extraites. L'autre secteur qui attire l'attention est celui du Luchonnais (Carte 5), sur les communes de Bagnères-de-Luchon, Saint-Aventin et Castillon-de-l'Arboust. On distingue un premier regroupement autour de la station de ski de Superbagnères (Carte 7) et un second au niveau du plateau du Campsaure (Carte 6). On pourrait prolonger ce secteur jusqu'à la commune de Mont dans les Hautes-Pyrénées (Carte 4) qui présente elle aussi des populations assez conséquentes, et ce sur des surfaces relativement importantes.

Cet inventaire s'est limité aux trois départements du centre des Pyrénées (Ariège, Haute-Garonne et Hautes-Pyrénées) et n'a donc pas concerné les Pyrénées-Orientales ou les Pyrénées-Atlantiques. Cependant, on sait que des populations ont été observées dans ces deux départements et que de la cueillette a déjà eu lieu dans la partie orientale. On suppose les populations de gentiane jaune plus importantes dans la partie est des Pyrénées, celle qui par ailleurs est également la plus proche du Massif Central, haut lieu de la cueillette et de la transformation de gentiane pour la liquoristerie.

Si l'impression de populations denses et nombreuses peut ressortir du temps passé sur le terrain, la représentation cartographique des zones de peuplement à l'échelle de cette partie centrale des Pyrénées (Carte 2) oblige à porter un tout autre regard aux effectifs de cette plante. Même si la durée restreinte de cette inventaire (2 mois) aboutit mécaniquement à une très probable sous-estimation des populations, il ne ressort pas moins de cette carte que les zones couvertes apparaissent à la fois très restreintes à cette échelle et peu nombreuses. Ce constat est d'autant plus saisissant que les zones qui ont été prospectées correspondent aux populations les plus connues et donc logiquement les plus importantes de la chaîne.

Des populations de *Gentiana lutea* ont aussi été rencontrées lors de sorties dans des zones non accessibles avec un véhicule et ne figurent pas dans cet inventaire. Elles pourraient constituer une réserve potentielle dans le cas d'une exploitation de la plante qui viendrait à menacer les populations

ciblées. Cependant, de notre impression générale, aucune de ces zones plus reculées ne présentait des densités comparables à celles que nous avons pu inventorier en basse et moyenne altitude.

Un autre problème a été rencontré lors de notre travail de terrain. Il s'agit de celui de la prospection négative. En effet, nous avons plusieurs fois été confrontés à l'absence de populations conséquentes de gentiane jaune (souvent seulement quelques pieds qui avaient été recensés lors de relevés botaniques) mais, compte-tenu du temps dont nous disposions, nous avons préféré nous reporter sur d'autres zones où la recherche s'est avérée plus fructueuse, plutôt que de persister dans ces endroits pauvres ou dénués de gentiane. En effet, comment poser la limite d'une zone d'absence lorsque le terrain à parcourir correspond à l'étendue d'une vallée ou d'un plateau comme celui du plateau de Beille (Carte 8) ? Nous ne répondons pas ici à cette question et avons fait le choix de ne pas représenter les zones en question dans notre cartographie pour en conserver la clarté.

2.2.3. Analyse des relevés

2.2.3.1. Effectifs des classes

Sur les 52 transects réalisés, le dénombrement des pieds de chaque classe de taille a permis d'établir un tableau des effectifs de pieds isolés (5 classes) et de pieds en touffes (5 classes).

Tableau 1 : Effectifs des différentes classes de *Gentiana lutea*

	F	D	C	B	A	f	d	c	b	a
R1a_Peyras	10	5	1	0	0	0	1	7	13	2
R1b_Peyras	33	39	13	1	0	2	2	3	2	0
R2_Chioula	27	14	3	0	0	1	1	3	0	0
R3a_Chioula	3	3	3	8	2	1	0	4	18	8
R3b_Chioula	10	9	7	7	17	1	7	12	22	35
R4_Pla7cases	18	8	4	1	0	0	11	2	3	2
R5_Pla7cases	18	9	7	10	2	0	5	21	39	12
R6_Pla7cases	13	19	9	2	0	1	1	4	0	0
R7_Pla7cases	9	21	11	1	0	0	6	8	4	1
R8_Pla7cases	5	7	37	4	0	0	1	7	7	3
R9_Pla7cases	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
R10a_Campsau	7	42	12	2	0	0	12	12	6	0
R10b_Campsau	2	5	14	1	0	3	10	22	4	0
R11a_Campsau	2	8	17	6	0	1	1	3	4	0
R11b_Campsau	3	6	48	12	1	0	1	28	20	30
R12_Campsau	8	10	14	4	0	0	0	7	7	9
R13_ColBareges	4	14	23	5	0	0	0	0	4	0
R14_ColBareges	2	8	26	7	0	1	2	14	3	1
R15_ColBareges	3	4	24	6	0	0	3	2	2	0
R16_SuperBagneres	5	11	19	14	0	2	0	17	8	17
R17a_SuperBagneres	3	5	23	6	0	1	2	14	3	0
R17b_SuperBagneres	2	16	11	1	0	2	10	12	0	0
R18_SuperBagneres	1	9	13	3	0	0	3	9	9	1
R19_SuperBagneres	4	8	6	0	0	1	5	11	3	5
R20a_SuperBagneres	4	37	11	0	0	1	13	16	6	2
R20b_SuperBagneres	0	4	23	11	5	0	6	26	40	36
R21_Mont	4	18	8	0	0	0	10	12	6	1
R22_Mont	2	25	21	0	1	0	1	7	6	3
R23_Mont	2	27	22	1	1	0	3	18	6	0
R24_Mont	4	31	27	3	0	1	6	25	7	0
R25a_Mire	4	7	15	3	0	0	0	12	10	1
R25b_Mire	1	0	11	2	0	0	0	10	12	0
R26_Pailheres	0	7	41	19	8	0	0	8	11	23
R27a_Pailheres	4	18	27	17	30	0	0	11	10	10
R27b_Pailheres	37	26	5	0	0	0	2	0	0	0
R28_Pailheres	3	4	10	3	0	0	2	3	3	0
R29_Pailheres	18	10	33	26	29	0	2	7	12	13
R30_Pailheres	5	10	24	10	2	0	1	4	5	17
R31_Pradel	10	6	21	7	4	3	5	3	8	4
R32_Beille	14	20	31	5	1	4	5	11	7	1
R33_Beille	14	6	14	9	0	2	1	9	3	0
R36a_Astou	11	26	2	0	0	1	4	3	0	0
R36b_Astou	15	29	20	2	1	0	6	11	4	0
R37_Astou	6	22	17	0	2	1	6	9	2	5
R38_Pradel	42	23	6	7	0	4	8	22	17	4
R39_RefugeChioula	10	18	48	10	0	2	9	37	21	1
R40a_Assaladou	14	20	9	2	0	4	8	11	11	1
R40b_Assaladou	8	31	28	0	0	4	10	20	4	0
R41_PierreBlanche	25	16	10	1	0	9	8	18	4	1
R42_Orrilgnaux	6	10	2	1	0	0	5	4	2	0

Ces résultats ne seront pas commentés à ce stade de l'étude mais plus loin, au travers de l'analyse statistique du jeu de données.

2.2.3.2. Taux de recouvrement estimés et calculés

A partir des diamètres mesurés pour les individus des différentes classes sur les 14 relevés « complets », on va chercher à extrapoler ces résultats aux relevés pour lesquels aucune mesure de diamètre des pieds de gentiane n'a été réalisé.

On va pour cela chercher à définir un diamètre « type » pour chaque classe de pied. On fait la moyenne des valeurs de diamètre obtenus pour les pieds de chaque classe sur l'ensemble des 14 relevés « complets ». On peut également comparer ces moyennes avec les médianes.

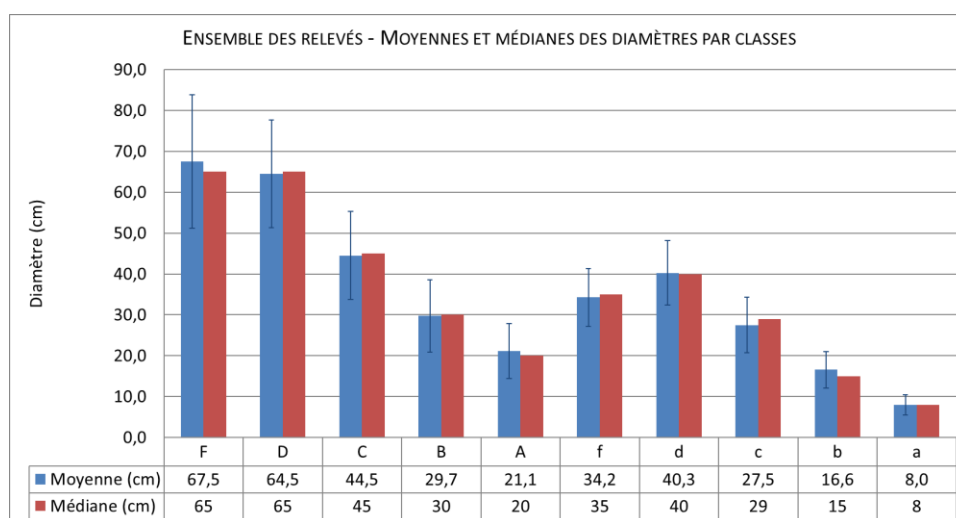


Figure 2 : Moyennes et médianes des diamètres de *Gentiana lutea* par classes

On observe des résultats assez semblables entre les deux méthodes. C'est néanmoins la moyenne que l'on utilisera par la suite car elle permet quand même de différencier légèrement les classes F et D.

On peut ensuite entreprendre de calculer un taux de recouvrement théorique pour chacun des 52 transects réalisés, en considérant chaque pied comme un disque de surface :

$$Surface = \pi \times \left(\frac{Dx}{2}\right)^2 \quad \text{avec : } Dx = \text{diamètre moyen de la classe } x$$

On appliquera ensuite la formule aux individus de chaque classe. La somme des surfaces théoriques de l'ensemble de ces individus pour un relevé permet enfin d'obtenir une valeur pour la surface recouverte de gentiane sur les 40 m² représentant un transect et d'en déduire un taux de recouvrement calculé pour ce relevé.

$$Recouvrement_{calc} = \sum_{n=1}^x \left(\pi \times \left(\frac{Dx}{2}\right)^2 \times N_x \right) / 40$$

Avec : x = classe de pieds ou touffes

Dx = diamètre moyen de la classe x (en mètres)

Nx = effectifs de la classe x

On obtient alors un premier taux de recouvrement calculé qui peut être comparé à celui estimé *de visu* sur le terrain.

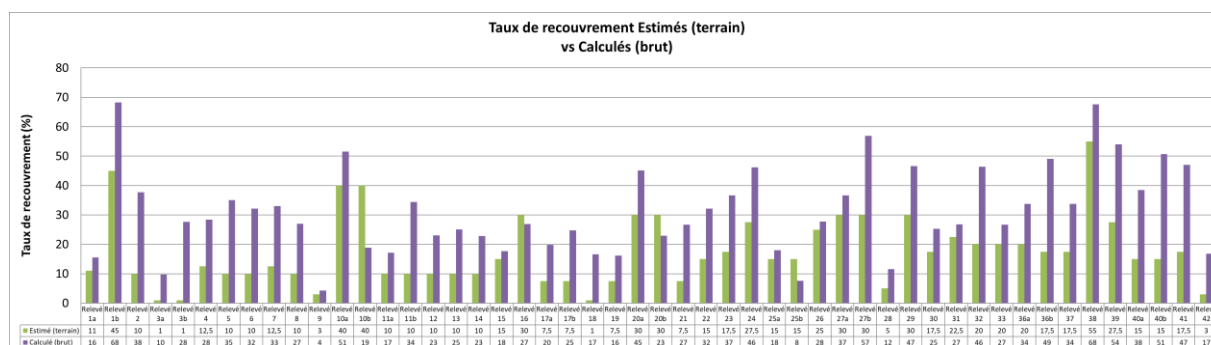


Figure 3 : Taux de recouvrement de *Gentiana lutea* estimés sur le terrain et calculés sans pondération

On constate un écart relativement important entre les résultats obtenus avec chacune des deux méthodes. La méthode du calcul aboutissant à une surestimation du taux de recouvrement. Compte-tenu de la méthode de mesure des diamètres, cette surestimation était tout à fait attendue. En effet, lorsque l'on réalise ces mesures à l'aide d'un mètre sur le terrain, la routine fait que l'on mesure en général plutôt la diagonale d'extension maximale du pied ou de la touffe que son réel diamètre. De plus, les pieds (et d'autant plus les touffes) de gentiane sont en fait rarement de forme circulaire et l'assimilation de leur surface à celle d'un disque ne peut également qu'aboutir à une surestimation de la surface recouverte. Enfin, les feuilles de deux pieds peuvent parfois se superposer sur la verticale.

La disposition irrégulière des pieds de gentianes au sein des touffes, et des feuilles au sein des pieds, rend donc le calcul du taux recouvrement plus difficile. Cependant, une certaine proportionnalité peut être mise en évidence entre les recouvrements estimés et les ceux issus du calcul brut.

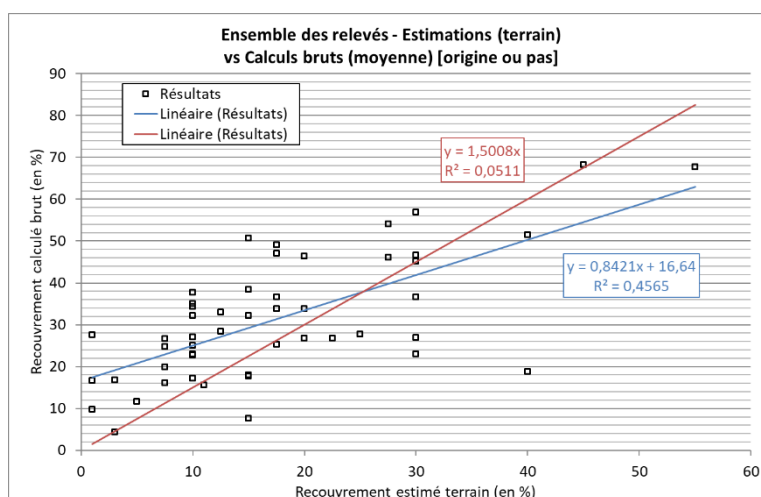


Figure 4 : Relations entre les taux de recouvrement de *Gentiana lutea* estimés sur le terrain et calculés sans pondération (origine ou pas)

Une régression linéaire des données permet d'obtenir une droite de pente 0.8421 et d'ordonnée à l'origine 16.64, avec un coefficient R^2 relativement moyen de 0.4565. En forçant le passage de cette

droite de régression par l'origine du graphique, on obtient cette fois une pente de 1.5008 et un coefficient, forcément beaucoup plus faible, de 0.0511.

Si l'on utilise ces facteurs pour calculer de nouveau des taux de recouvrement pour chacun des relevés, on pondère ces taux et ceux-ci peuvent être une nouvelle fois comparés aux estimations de terrain.

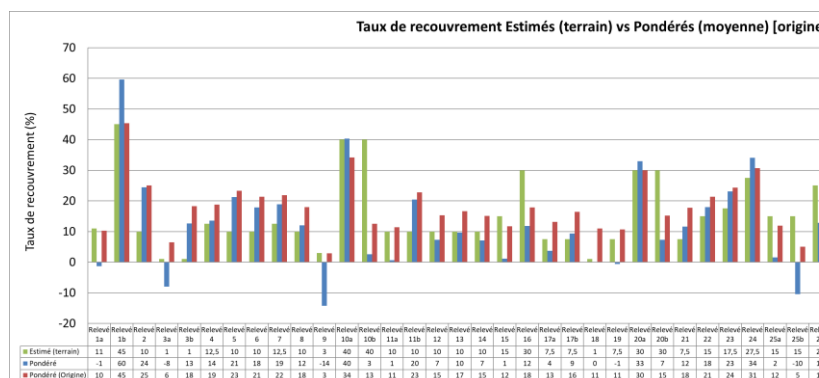


Figure 5 : Relations entre les taux de recouvrement de *Gentiana lutea* estimés sur le terrain et calculés avec pondération

Le calcul de pondération réalisé à partir des valeurs de la droite de régression d'ordonnée à l'origine non nulle aboutit dans certains cas à des taux de recouvrements négatifs. On utilisera donc plutôt l'autre méthode, même si le coefficient R^2 de la droite de régression passant par l'origine est très faible.

Si l'on compare maintenant les résultats du calcul pondéré (origine) avec les estimations de terrain, on constate une assez bonne concordance des valeurs obtenues avec les deux méthodes, même si le coefficient R^2 est toujours moyen.

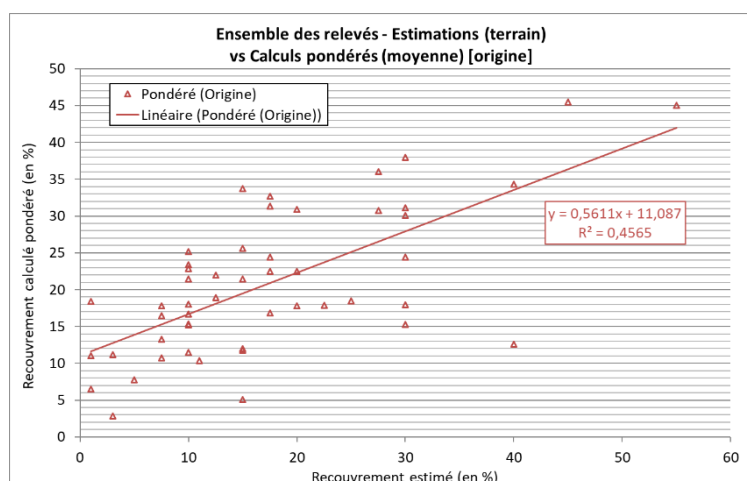


Figure 6 : Relations entre les taux de recouvrement de *Gentiana lutea*

	Recouvrement estimé	Recouvrement calculé
R1a_Peyras	11	10,3
R1b_Peyras	45	45,3
R2_Chioula	10	25,1
R3a_Chioula	1	6,5
R3b_Chioula	1	18,3
R4_Pla7cases	12,5	18,8
R5_Pla7cases	10	23,3
R6_Pla7cases	10	21,3
R7_Pla7cases	12,5	21,9
R8_Pla7cases	10	18,0
R9_Pla7cases	3	2,9
R10a_Campsauze	40	34,2
R10b_Campsauze	40	12,5
R11a_Campsauze	10	11,4
R11b_Campsauze	10	22,8
R12_Campsauze	10	15,3
R13_ColBareges	10	16,6
R14_ColBareges	10	15,1
R15_ColBareges	15	11,7
R16_SuperBagneres	30	17,9
R17a_SuperBagneres	7,5	13,2
R17b_SuperBagneres	7,5	16,4
R18_SuperBagneres	1	11,0
R19_SuperBagneres	7,5	10,7
R20a_SuperBagneres	30	30,0
R20b_SuperBagneres	30	15,2
R21_Mont	7,5	17,7
R22_Mont	15	21,4
R23_Mont	17,5	24,3
R24_Mont	27,5	30,6
R25a_Mire	15	11,9
R25b_Mire	15	5,1
R26_Pailheres	25	18,4
R27a_Pailheres	30	24,3
R27b_Pailheres	30	37,8
R28_Pailheres	5	7,7
R29_Pailheres	30	31,0
R30_Pailheres	17,5	16,8
R31_Pradel	22,5	17,8
R32_Beille	20	30,8
R33_Beille	15	17,7
R36a_Astou	20	22,4
R36b_Astou	17,5	32,6
R37_Astou	17,5	22,4
R38_Pradel	55	44,9
R39_RefugeChioula	27,5	35,9
R40a_Assaladou	15	25,5
R40b_Assaladou	15	33,6
R41_PierreBlanche	17,5	31,2
R42_Orrilgnaux	3	11,1

Tableau 2 : Taux de recouvrements de *Gentiana lutea* estimés sur le terrain et calculés avec pondération pour l'ensemble des relevés

2.2.4. Traitement statistique des données

2.2.4.1. Choix d'une méthode statistique

Les analyses multivariées se prêtent bien au traitement de jeux de données présentant de nombreuses variables. Elles permettent non seulement de faire ressortir les variables ou individus qui contribuent le plus à la variance globale, mais aussi de relier des variables ou individus entre eux selon qu'ils sont considérés comme proches, opposés ou sans lien.

Il existe de nombreuses variantes de ces méthodes avec chacune leurs spécificités. On retiendra que l'utilisation d'une ACP (Analyse en Composantes Principales) est appropriée lorsque l'on cherche à traiter des données quantitatives. L'ACM (Analyse de Correspondances Multiples) en revanche se rapporte à l'analyse de données qualitatives et l'AFC (Analyse Factorielle des Correspondances) à l'exploration de tableaux de contingence.

Certaines méthodes permettent cependant de traiter en simultané des données de type quantitatif et qualitatif. C'est notamment le cas de l'AFDM (Analyse Factorielle de Données Mixtes) et de l'AFM (Analyse Factorielle Multiple). Cette dernière autorise en outre la création de groupes de variables qui seront eux-mêmes projetés sur les différentes dimensions de l'analyse.

Compte-tenu de la nature à la fois qualitative et quantitative des informations recueillies lors de l'inventaire des populations de gentiane jaune, c'est vers l'AFDM ou l'AFM que devait se porter notre choix. La possibilité d'associer des variables entre elles nous a finalement fait opter pour l'AFM.

Nous avons par ailleurs fait le choix de centrer et réduire les valeurs des différentes variables quantitatives afin de donner la même importance à toutes ces variables et de ne pas accorder plus de valeur à celles présentant une amplitude de variation plus importante (Husson 2016a).

L'analyse a été conduite sous R avec le package Factominer (Lê, Josse & Husson 2008 ; CRAN). Il s'agit d'un module développé en grande partie par F. Husson, professeur de mathématiques appliquées de l'Agrocampus de Rennes. Le package est libre et éprouvé par la communauté. Il est par ailleurs appuyé par de nombreuses vidéos de cours généraux sur les analyses multivariées et par des tutoriels pratiques concernant son utilisation.

2.2.4.2. Analyse Factorielle Multiple des relevés de *Gentiana lutea*

2.2.4.2.1. Choix des variables

Dans une AFM, certaines variables sont considérées comme « actives » et participeront à la construction des dimensions de l'analyse, d'autres peuvent être définies comme « illustratives » et ne seront donc pas prises en compte à ce stade. En revanche, les variables illustratives seront projetées sur ces dimensions au même titre que les variables actives. Ceci autorise alors des

interprétations des variables actives en fonction des variables illustratives, du fait de leur indépendance au sein de l'AFM.

Dans notre étude, les variables quantitatives et qualitatives ont été regroupées comme suit :

	Groupes de variables	Variables
variables quantitatives actives	Recouvrement	Estimé
		Calculé
	Classes_touffes	F
		D
		C
		B
		A
	Classes_isolés	f
		d
		c
		b
		a
variables quantitatives illustratives	Lieu	Latitude
		Longitude
		Altitude
variables qualitatives illustratives	Topographie	Topographie
	Milieu	Milieu
	Pâturage	Pâturage
	Exposition	Exposition

Tableau 3 : Choix des groupes de variables quantitatives et qualitatives, actives et illustratives pour l'AFM de *Gentiana lutea*

Les variables quantitatives associées au sein des groupes « Recouvrement », « Classes_touffes », et « Classes_isolés » ont été sélectionnées pour participer à la construction des dimensions de l'AFM car ce sont les variables qui permettent de décrire la structure des populations.

Le groupe de variables quantitatives « lieu » et les groupes de variables qualitatives « topographie », « milieu », « pâturage » et « exposition » sont définis comme illustratifs, c'est à dire que les variables qu'ils incluent ne participent pas à la construction des dimensions mais sont tout de même projetées sur celles-ci afin de tester leurs liens éventuels avec les variables décrivant la structure des populations. Elles permettront ainsi d'interpréter les taux de recouvrement et les effectifs des différentes classes en fonction du lieu, du type de pâturage, du milieu, de l'exposition au soleil, etc.

Une fois les variables actives et illustratives définies, il est nécessaire de mettre en forme le jeu de données sous la forme d'un tableau où les individus sont disposés en lignes et les variables en colonnes.

	Recouvr_Estim	Recouvr_Calc	F	D	C	B	A	f	d	c	b	a	Surface	Latitude	Longitude	Altitude	Pente	Exposition	Topographie	Milieu	Paturage	
R1a_Peyras	11	103	10	5	1	0	0	0	0	1	7	13	2	9338	42,988726	0,195406	1090	forte	nord-est	versant	prairie	moutons
R1b_Peyras	45	45,3	33	39	13	1	0	2	2	3	2	0	9338	42,988852	0,195211	1090	forte	nord-est	versant	prairie	moutons	
R2_Chioula	10	25,1	27	14	3	0	0	1	1	3	0	0	10466	42,756411	1,840425	1450	faible	nord-ouest	plateau	prairie	vaches	
R3a_Chioula	1	6,5	3	3	3	8	2	1	0	4	18	8	118780	42,754391	1,836678	1460	faible	nord-ouest	plateau	prairie	vaches	
R3b_Chioula	1	18,3	10	9	7	17	1	7	12	22	38	118780	42,75371	1,836485	1445	faible	nord-ouest	plateau	prairie	vaches		
R4_Pla7cases	12,5	18,8	18	8	4	1	0	0	11	2	3	2	3575	42,772275	1,854173	1460	nulle	complete	combe	clairiere	vaches	
R5_Pla7cases	10	23,3	18	9	7	10	2	0	5	21	39	12	1704	42,771863	1,854922	1455	nulle	complete	combe	clairiere	vaches	
R6_Pla7cases	10	21,3	13	19	9	2	0	1	1	4	0	0	9572	42,772584	1,850356	1460	nulle	complete	combe	prairie	vaches	
R7_Pla7cases	12,5	21,9	9	21	11	1	0	0	6	8	4	1	7704	42,772442	1,849271	1460	nulle	complete	combe	prairie	vaches	
R8_Pla7cases	10	18,0	5	7	37	4	0	0	1	7	7	3	1777	42,773532	1,848372	1470	faible	sud	combe	prairie	vaches	
R9_Pla7cases	3	2,9	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	23757	42,774632	1,849017	1475	faible	sud	combe	prairie	vaches	
R10a_Campsaura	40	34,2	7	42	12	2	0	0	12	12	6	0	297220	42,735563	0,649915	1690	moenne	nord-ouest	versant	prairie	vaches	
R10b_Campsaura	40	12,5	2	5	14	1	0	3	10	22	4	0	297220	42,735563	0,649915	1700	moenne	nord	versant	clairiere	vaches	
R11a_Campsaura	10	11,4	2	8	17	6	0	1	1	3	4	0	1168325	42,723057	0,66261	1690	moenne	ouest	versant	prairie	vaches	
R11b_Campsaura	10	22,8	3	6	48	12	1	0	1	28	20	30	1168325	42,723047	0,662886	1690	moenne	ouest	versant	prairie	vaches	
R12_Campsaura	10	15,3	8	10	14	4	0	0	7	7	9	9	1168325	42,718489	0,667707	1745	faible	sud-ouest	versant	prairie	vaches	
R13_CollBareges	10	16,6	4	14	23	5	0	0	0	0	4	0	282478	42,752263	0,645206	1780	forte	sud-est	versant	prairie	chevaux	
R14_CollBareges	10	15,1	2	8	26	7	0	1	2	14	3	1	282478	42,75227	0,645203	1790	forte	sud-est	versant	prairie	chevaux	
R15_CollBareges	15	11,7	3	4	24	6	0	0	3	2	2	0	194589	42,748474	0,659427	1745	moenne	ouest	versant	prairie	chevaux	
R16_SuperBagnieres	30	17,9	5	11	19	14	0	2	0	17	8	17	68882	42,764316	0,575988	1805	forte	est	versant	prairie	pas pature	
R17a_SuperBagnieres	7,5	13,2	3	5	23	6	0	1	2	14	3	0	1060397	42,762751	0,574447	1795	forte	sud	versant	prairie	vaches	
R17b_SuperBagnieres	7,5	16,4	2	16	11	1	0	2	10	12	0	0	1060397	42,762843	0,572084	1810	forte	sud	versant	prairie	vaches	
R18_SuperBagnieres	1	11,0	1	9	13	3	0	0	3	9	9	1	1060397	42,765522	0,560485	1835	forte	sud	versant	prairie	vaches	
R19_SuperBagnieres	7,5	10,7	4	8	6	0	0	1	5	11	3	5	13950	42,76873	0,579466	1780	forte	nord-est	versant	prairie	vaches	
R20a_SuperBagnieres	30	30,0	4	37	11	0	0	1	13	16	6	2	217819	42,767715	0,574883	1770	moenne	ouest	versant	prairie	vaches	
R20b_SuperBagnieres	30	15,2	0	4	23	11	5	0	6	26	40	38	217819	42,767726	0,574915	1760	moenne	ouest	versant	prairie	vaches	
R21_Mont	7,5	17,7	1	18	8	0	0	0	10	12	6	1	26988	42,809061	0,433513	1450	forte	nord-ouest	versant	prairie	cervides	
R22_Mont	15	21,4	2	25	21	0	1	0	1	7	6	3	93962	42,806581	0,433634	1500	forte	nord-ouest	versant	prairie	cervides	
R23_Mont	17,5	24,3	2	27	22	1	1	0	3	18	6	0	32931	42,807825	0,43726	1550	forte	nord-ouest	versant	prairie	cervides	
R24_Mont	27,5	30,6	4	31	27	3	0	1	6	25	7	0	81418	42,809226	0,439406	1550	forte	nord-ouest	versant	prairie	cervides	
R25a_Mire	15	11,9	4	7	15	3	0	0	0	12	10	1	104110	42,711397	2,002047	1590	faible	nord-est	plateau	clairiere	vaches	
R25b_Mire	15	5,1	1	6	11	2	0	0	0	10	12	0	104110	42,712174	2,019871	1585	faible	nord-est	plateau	clairiere	vaches	
R26_Pailheres	25	18,4	0	7	41	19	8	0	0	8	11	23	29884	42,7277	2,002203	1645	nulle	complete	combe	clairiere	pas pature	
R27a_Pailheres	30	24,3	4	18	27	17	30	0	0	11	10	10	12032	42,723682	2,000793	1695	faible	sud-est	combe	prairie	pas pature	
R27b_Pailheres	30	37,8	37	26	5	0	0	0	2	0	0	0	12032	42,72456	2,001843	1690	faible	sud-est	combe	prairie	pas pature	
R28_Pailheres	3	5	7,7	3	4	10	3	0	3	3	3	0	475406	42,734813	1,983598	1625	moenne	sud	versant	lande	pas pature	
R29_Pailheres	30	31,0	18	10	33	26	29	0	2	7	12	13	2228	42,729545	1,956779	1525	faible	sud-ouest	combe	prairie	vaches	
R30_Pailheres	17,5	16,8	5	10	24	10	2	0	1	4	5	17	72106	42,724045	1,939543	1405	moenne	sud-est	versant	lande	vaches	
R31_Pradel	22,5	17,8	10	6	21	7	4	3	5	3	8	4	986790	42,742655	1,932102	1600	moenne	sud-ouest	versant	prairie	vaches	
R32_Belle	20	30,8	14	20	31	5	1	4	5	11	7	1	10033	42,748495	1,602015	1605	faible	nord-est	plateau	clairiere	vaches	
R33_Belle	15	17,7	14	6	14	9	0	2	1	9	3	0	10372	42,748908	1,682202	1540	faible	nord-est	plateau	clairiere	vaches	
R36a_Astou	20	22,4	11	26	2	0	0	1	4	3	0	0	11810	42,70333	2,013045	1560	nulle	complete	plateau	clairiere	vaches	
R36b_Astou	17,5	32,6	15	29	20	2	1	0	6	11	4	0	11810	42,703519	2,014447	1565	nulle	complete	plateau	clairiere	vaches	
R37_Astou	17,5	22,4	6	22	17	0	2	1	6	9	2	5	5371	42,704515	2,010294	1500	faible	ouest	combe	clairiere	pas pature	
R38_Pradel	99	46,8	48	22	6	7	0	4	8	22	17	4	986790	42,748496	1,940233	1655	faible	sud-est	versant	prairie	vaches	
R39_RefugeChioula	27,5	36,9	10	18	48	10	0	2	9	37	21	1	1009131	42,751761	1,864096	1590	moenne	ouest	versant	prairie	vaches	
R40a_Assaladou	15	25,5	14	20	9	2	0	4	8	11	11	1	195304	42,743749	1,860142	1565	nulle	complete	plateau	prairie	vaches	
R40b_Assaladou	15	33,6	8	31	28	0	0	4	10	20	4	0	195304	42,742962	1,861088	1570	nulle	complete	plateau	prairie	vaches	
R41_Pierreblanche	17,5	31,2	25	16	10	1	0	8	8	18	4	1	1009133	42,752464	1,860049	1600	moenne	est	versant	clairiere	pas pature	
R42_Ortigaux	3	11,1	6	10	2	1	0	0	5	4	2	0	1009131	42,747123	1,870552	1570	moenne	nord-est	versant	prairie	vaches	

Tableau 4 : Jeu de données de *Gentiana lutea* mis en forme pour l'AFM

2.2.4.2.2. Résultats détaillés

2.2.4.2.2.1. Dimensions

Chaque dimension résume une partie de la variance totale du jeu de données. Dans le cas des informations collectées lors de l'inventaire de *Gentiana lutea*, il aura fallu douze dimensions pour arriver à décrire 100 % de la variance totale.

Les deux premières dimensions totalisent 55 % du total, ce qui est relativement correct mais pas suffisant pour résumer toute la variabilité du jeu de données. Il faut prendre en compte les cinq premières dimensions pour dépasser les 80%.

Tableau 5 : Pourcentages de variance pour les dimensions de l'AFM de *Gentiana lutea*

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8	Dim.9	Dim.10	Dim.11	Dim.12
Variance	1,764	1,525	0,725	0,515	0,418	0,324	0,246	0,16	0,121	0,074	0,052	0
% of var.	29,782	25,746	12,233	8,702	7,065	5,466	4,146	2,695	2,043	1,245	0,878	0
Cumulative % of var.	29,782	55,528	67,761	76,463	83,527	88,994	93,14	95,835	97,878	99,122	100	100

2.2.4.2.2.2. Groupes de variables

2.2.4.2.2.2.1. Groupes actifs

Chaque groupe actif contribue à la construction des dimensions (ctr) avec une proportion comprise entre 0 et 100%. La première dimension dépend ici essentiellement du groupe « Recouvrement » (50%) et, dans une moindre mesure, des groupes « Classes_touffes » et « Classes_isolés », à égalité (25%). La deuxième dimension dépend de ces deux groupes de classes à égalité (45%) et très peu du groupe « Recouvrement » (5%)

Tableau 6 : Contributions des groupes actifs aux dimensions de l'AFM de *Gentiana lutea*

	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2	Dim.4	ctr	cos2	Dim.5	ctr	cos2
Recouvrement	0,859	48,704	0,712	0,062	4,042	0,004	0,053	7,258	0,003	0,005	1,022	0	0,002	0,435	0
Classes_touffes	0,491	27,829	0,153	0,748	49,071	0,356	0,239	32,918	0,036	0,354	68,587	0,08	0,124	25,562	0,01
Classes_isolés	0,414	23,467	0,096	0,715	46,886	0,287	0,434	59,825	0,106	0,156	30,291	0,014	0,293	70,082	0,048

Les troisième et cinquième dimensions dépendent plutôt du groupe « Classes_isolés » et la quatrième plutôt du groupe « Classe_touffes ». Les projections de ces groupes demeurent néanmoins mauvaises car les cos² associés sont très faibles.

Les coefficients $\cos^2$ peuvent être considérés comme des indicateurs de la qualité de la projection des groupes, variables et individus sur chacune des dimensions de l'AFM. On considère qu'un $\cos^2$ d'une valeur supérieure à 0.4 indique une bonne qualité de projection sur une dimension (Husson 2016b, 2016c).

Grâce au graphique de représentation des groupes (Figure 7), produit par l'AFM, on peut visualiser simplement les projections de chacun de ces groupes sur les deux premières dimensions construites par le calcul. On retrouve le lien très fort entre la première dimension et le taux de recouvrement. Il apparaît toujours significatif mais néanmoins plus faible avec les classes de pieds isolés ou de touffes qui sont très proches l'une de l'autre. Celles-ci semblent le facteur influant le plus sur la deuxième dimension, tandis que le taux de recouvrement ne joue cette fois quasiment aucun rôle.

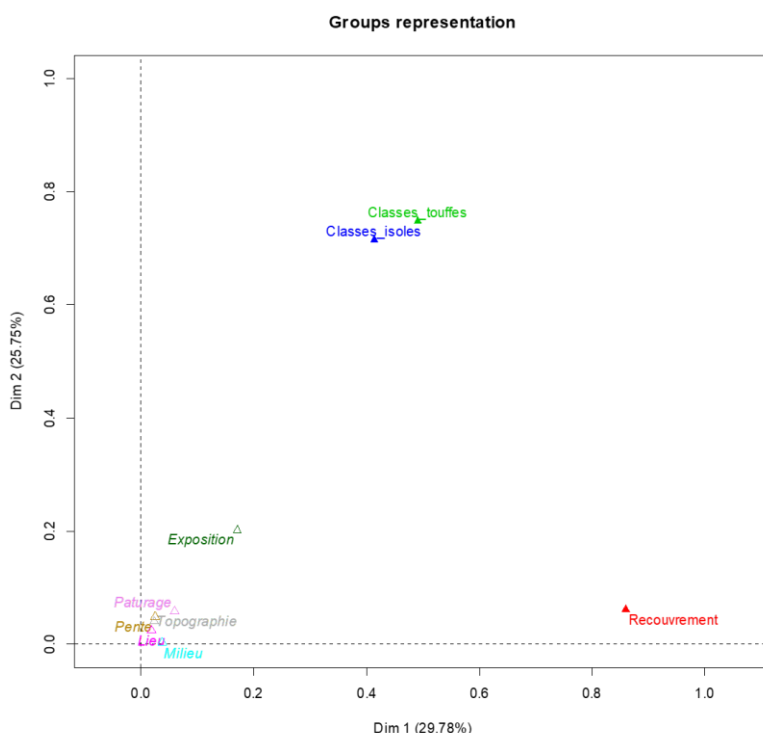


Figure 7 : Graphique de représentation des groupes de l'AFM de *Gentiana lutea*

2.2.4.2.2.2. Groupes illustratifs

Les groupes supplémentaires ne participant pas à la construction des dimensions, ils ne sont pas assortis d'un pourcentage de contribution (ctr). Ils y sont tout de même projetés et l'AFM indique donc un coefficient de la qualité de projection ($\cos^2$).

Aucun groupe illustratif ne semble être bien projeté sur les deux premières dimensions car les $\cos^2$ apparaissent tous très faibles. Ils sont relativement moins mauvais pour l'Exposition en dimensions 3 et 5 et pour la pente en dimension 3 uniquement. Dans l'ensemble, on observe quand même des valeurs de $\cos^2$ toujours très faibles pour les groupes illustratifs (aucun n'atteint 0,4). On en conclut donc que leur qualité de représentation est très mauvaise (Figure 7). Ainsi, ni le lieu, ni la pente, ni la topographie, ni le milieu ou le pâturage ne semblent à première vue expliquer la répartition des classes de pieds ou le taux de recouvrement de la gentiane jaune.

Tableau 7 : Projections des groupes illustratifs sur les dimensions de l'AFM de *Gentiana lutea*

	Dim.1	cos2	Dim.2	cos2	Dim.3	cos2	Dim.4	cos2	Dim.5	cos2
Lieu	0,019	0	0,025	0	0,073	0,004	0,09	0,006	0,04	0,001
Pente	0,025	0	0,049	0,001	0,197	0,013	0,107	0,004	0,03	0
Exposition	0,171	0,004	0,202	0,005	0,368	0,017	0,097	0,001	0,39	0,019
Topographie	0,023	0	0,041	0,001	0,14	0,005	0,045	0,001	0,019	0
Milieu	0,037	0,001	0,003	0	0,023	0	0,021	0	0,022	0
Pâturage	0,059	0,001	0,059	0,001	0,093	0,002	0,183	0,008	0,139	0,005

2.2.4.2.2.2. Individus

Les individus contribuent tous à la construction des dimensions. Chacun est donc assorti d'un pourcentage de contribution (ctr). S'ils sont bien projetés dans chaque dimension (cos² grand), ils présenteront des valeurs absolues fortes sur les axes correspondants (Dim).

Pour la première dimension, les relevés qui contribuent le plus en positif sont 1b_Peyras, 10a_Campsau, 20a_SuperBagneres, 38_Pradel, 39_RefugeChioula, 40b_Assaladou et 41_PierreBlanche. Il s'agit des relevés qui présentent les plus forts taux de recouvrement et/ou des proportions importantes pour les classes F, f, D et d. A l'inverse, le relevé 3a_Chioula contribue lui aussi assez fortement mais en négatif. C'est le relevé qui présente les taux de recouvrement les plus faibles et des proportions des classes F, f, D et d très faibles également.

Il semblerait donc que cette dimension oppose des relevés réalisés sur des populations denses de gros pieds à des relevés de populations plus clairsemées et relativement pauvres en grosses plantes bien développées.

Tableau 8 : Projections et contributions des individus sur les dimensions de l'AFM de *Gentiana lutea*

	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2	Dim.4	ctr	cos2	Dim.5	ctr	cos2
R1a_Peyras	-1,213	1,667	0,434	-0,725	0,69	0,155	0,052	0,007	0,001	0,837	2,722	0,207	-0,299	0,428	0,026
R1b_Peyras	3,002	10,22	0,636	-0,77	0,777	0,042	-1,829	9,231	0,236	0,09	0,031	0,001	-0,162	0,126	0,002
R2_Chioula	0,118	0,016	0,003	-1,396	2,554	0,441	-1,008	2,803	0,23	0,812	2,56	0,149	0,156	0,116	0,006
R3a_Chioula	-0,003	4,547	0,008	0,057	0,004	0,001	0,088	0,021	0,001	1,034	4,072	0,184	0,165	0,033	0,001
R3b_Chioula	-0,863	0,844	0,065	1,845	4,463	0,295	0,271	0,203	0,004	1,727	11,577	0,259	-1,001	4,788	0,087
R4_Pla7cases	-0,037	0,002	0	-1,191	1,861	0,338	0,033	0,003	0	0,73	2,065	0,127	-0,626	1,873	0,093
R5_Pla7cases	-0,068	0,005	0	1,611	3,402	0,277	0,891	2,189	0,085	1,708	11,317	0,311	-0,844	3,403	0,076
R6_Pla7cases	-0,234	0,062	0,027	-1,121	1,647	0,619	-0,647	1,155	0,206	0,018	0,001	0	0,095	0,043	0,004
R7_Pla7cases	0,069	0,005	0,004	-0,863	0,976	0,097	0,037	0,004	0,001	-0,188	1,137	0,028	-0,616	1,811	0,304
R8_Pla7cases	-0,944	1,009	0,319	0,137	0,024	0,007	-0,109	0,033	0,004	-0,869	2,931	0,271	0,424	0,858	0,064
R9_Pla7cases	-2,175	5,363	0,638	-1,514	3,005	0,309	-0,267	0,197	0,01	0,356	0,491	0,017	0,042	0,008	0
R10a_Campsau	2,333	6,173	0,574	-0,465	0,283	0,023	0,124	0,043	0,002	-0,829	2,667	0,072	-1,536	11,275	0,249
R10b_Campsau	0,733	0,609	0,08	-0,168	0,037	0,004	1,312	4,751	0,256	-0,1	0,038	0,001	0,546	1,426	0,044
R11a_Campsau	-1,256	1,788	0,584	-0,533	0,373	0,12	-0,239	1,156	0,024	-0,27	0,283	0,031	0,474	1,072	0,094
R11b_Campsau	-0,697	0,551	0,039	2,853	10,677	0,624	0,995	2,731	0,079	-0,569	1,254	0,026	0,245	0,288	0,005
R12_Campsau	-1,059	1,27	0,688	-0,175	0,04	0,019	-0,27	0,201	0,045	0,119	0,055	0,009	-0,068	0,022	0,003
R13_CollBareges	-1,038	1,22	0,415	-0,531	0,369	0,109	-0,656	1,189	0,166	-0,645	1,616	0,161	0,136	0,089	0,007
R14_CollBareges	-0,832	0,785	0,38	0,01	0	0	0,272	0,204	0,041	-0,705	1,931	0,273	0,661	2,086	0,24
R15_CollBareges	-1,387	1,596	0,518	-0,395	0,205	0,057	-0,306	0,256	0,034	-0,581	1,312	0,124	0,32	0,489	0,038
R16_SuperBagneres	-0,123	0,017	0,004	1,304	2,228	0,408	-0,107	0,031	0,003	-0,004	0	0	0,676	2,185	0,11
R17a_SuperBagneres	-1,032	1,208	0,495	-0,17	0,038	0,013	0,344	0,327	0,055	-0,501	0,975	0,117	0,694	2,303	0,224
R17b_SuperBagneres	-0,058	0,004	0,001	-1,051	1,45	0,351	0,963	2,559	0,294	-0,202	0,158	0,013	-0,003	0	0
R18_SuperBagneres	-1,419	2,283	0,728	-0,546	0,391	0,108	0,459	0,582	0,076	-0,083	0,027	0,002	-0,164	0,128	0,01
R19_SuperBagneres	-0,942	1,006	0,373	-0,861	0,971	0,311	0,612	1,033	0,157	0,27	0,284	0,031	-0,062	0,018	0,002
R20a_SuperBagneres	1,906	4,119	0,51	-0,559	0,41	0,044	0,833	1,917	0,098	-0,594	1,371	0,05	-1,22	7,112	0,209
R20b_SuperBagneres	-0,431	0,21	0,011	3,424	15,371	0,668	1,529	6,451	0,133	1,039	4,19	0,062	-1,018	4,955	0,059
R21_Mont	-0,15	0,025	0,008	-0,901	1,066	0,284	0,88	2,138	0,271	-0,076	0,023	0,002	-0,855	3,495	0,255
R22_Mont	-0,244	0,068	0,032	-0,469	0,288	0,117	-0,23	0,146	0,028	-0,805	2,514	0,345	-0,447	0,954	0,106
R23_Mont	0,125	0,345	0,095	-0,201	0,053	0,019	0,317	0,278	0,047	-1,042	4,216	0,505	-0,465	1,034	0,1
R24_Mont	1,481	2,487	0,471	0,255	0,086	0,014	0,697	1,34	0,104	-1,207	5,649	0,312	-0,279	0,373	0,017
R25a_Mire	-1,07	1,298	0,588	-0,18	0,043	0,017	0,128	0,045	0,008	-0,115	0,052	0,007	0,065	0,02	0,002
R25b_Mire	-1,652	3,092	0,65	-0,316	0,131	0,024	0,308	0,261	0,023	0,151	0,089	0,005	0,11	0,058	0,003
R26_Pailheres	-0,953	1,029	0,097	2,484	8,089	0,685	-0,842	1,957	0,076	-0,758	2,228	0,061	0,354	0,6	0,013
R27a_Pailheres	-0,079	0,007	0	2,489	8,132	0,447	-1,885	10,877	0,285	-0,575	1,285	0,024	-0,246	0,249	0,004
R27b_Pailheres	1,693	3,251	0,293	-1,241	2,018	0,157	-1,893	9,887	0,365	0,619	1,488	0,039	-0,493	1,163	0,025
R28_Pailheres	-1,692	3,247	0,78	-0,935	1,148	0,229	-0,072	0,014	0,001	0,011	0	0	0,075	0,027	0,001
R29_Pailheres	0,289	0,095	0,004	3,182	13,279	0,528	-2,561	18,1	0,342	-0,035	0,005	0	0,162	0,125	0,001
R30_Pailheres	-0,944	1,01	0,33	0,696	0,635	0,179	-0,633	1,105	0,148	-0,263	0,268	0,026	0,029	0,004	0
R31_Pradel	-0,056	0,004	0,002	0,104	0,014	0,006	-0,259	0,186	0,037	0,302	0,353	0,05	0,837	3,349	0,382
R32_Belle	1,237	1,735	0,466	0,052	0,004	0,001	0,043	0,005	0,001	-0,289	0,323	0,025	1,059	5,357	0,341
R33_Belle	-0,404	0,185	0,096	-0,267	0,093	0,042	-0,431	0,512	0,109	0,255	0,252	0,038	0,959	4,395	0,539
R36a_Astou	0,402	0,183	0,057	-1,364	2,44	0,663	-0,539	8,801	0,103	0,051	0,01	0,001	-0,458	1,002	0,075
R36b_Astou	1,102	1,176	0,447	-0,499	0,126	0,092	-0,287	0,278	0,03	-0,573	1,265	0,12	-0,613	1,797	0,138
R37_Astou	0,311	0,109	0,092	-0,577	0,436	0,319	0,096	0,025	0,009	-0,419	0,681	0,168	-0,334	0,533	0,107
R38_Pradel	3,899	17,233	0,768	0,652	0,557	0,021	-0,381	0,401	0,007	1,572	9,583	0,124	0,355	0,601	0,006
R39_RefugeChioula	1,987	4,477	0,298	1,968	5,082	0,292	1,591	6,987	0,191	-1,034	4,146	0,081	0,544	1,412	0,022
R40a_Assaladou	1,02	1,179	0,349	-0,616	0,497	0,127	0,603	1,003	0,122	0,708	1,945	0,168	0,404	0,778	0,055
R40b_Assaladou	1,868	3,955	0,52	-0,405	0,215	0,024	1,093	3,299	0,178	-0,717	1,994	0,077	0,442	0,934	0,029
R41_PierreBlanche	2,236	5,666	0,343	-0,789	0,817	0,043	0,87	2,09	0,052	-1,369	7,368	0,129	2,244	26,035	0,346
R42_Orrignaux	-1,178	1,572	0,385	-1,329	2,315	0,49	0,11	0,034	0,003	0,278	0,299	0,021	-0,381	0,693	0,04

Pour la deuxième dimension, les relevés qui contribuent le plus sont 3b_Chioula, 11b_Campsau, 20b_SuperBagneres, 26_Pailheres, 27a_Pailheres, 29_Pailheres et 39_RefugeChioula. Ils contribuent tous de façon positive. Il se trouve que ce sont les relevés qui présentent les plus fortes proportions des classes A, a, B, b, C et/ou c.

Cette dimension opposerait donc des relevés réalisés sur des populations de petits pieds à des relevés de populations relativement moins pourvues en jeunes pousses.

Pour la troisième dimension, les relevés qui contribuent le plus en positif sont 20b_SuperBagneres et 39_RefugeChioula. Ce sont les relevés qui présentent les plus fortes proportions des classes de pieds isolés. A l'opposé, les relevés 1b_Peyras, 27a_Pailheres, 27b_Pailheres et 29_Pailheres contribuent eux négativement et présentent de faibles proportions de pieds isolés.

Cette dimension traduit donc l'opposition entre des populations de pieds isolés et d'autres plutôt caractérisées par une disposition en touffes des pieds de gentiane.

Pour la quatrième dimension, les relevés qui contribuent le plus en positif sont 3b_Chioula, 5_Pla7cases, 38_Pradel et 41_PierreBlanche. 23_Mont est le relevé qui contribue le plus en négatif.

Pour la cinquième dimension, les relevés qui contribuent le plus en positif sont 32_Beille, 33_Beille et 41_PierreBlanche. 3b_Chioula, 10a_Campsau, 20a_SuperBagneres, 20b_SuperBagneres contribuent le plus en négatif.

A première vue, il semble plus difficile de trouver des liens entre ces différents relevés à partir des tableaux de données bruts. L'analyse des résultats pour les variables nous permettra peut-être de comprendre un peu mieux les résultats obtenus pour ces deux dimensions.

Le graphique des individus (Figure 8), produit par l'AFM, permet d'observer la projection de l'ensemble des relevés selon les deux premières dimensions. Si l'on ne sélectionne que la moitié des individus qui a le plus contribué à la création des dimensions 1 et 2 (Figure 9), on retrouve aux extrémités des axes, la plupart des relevés précédemment cités.

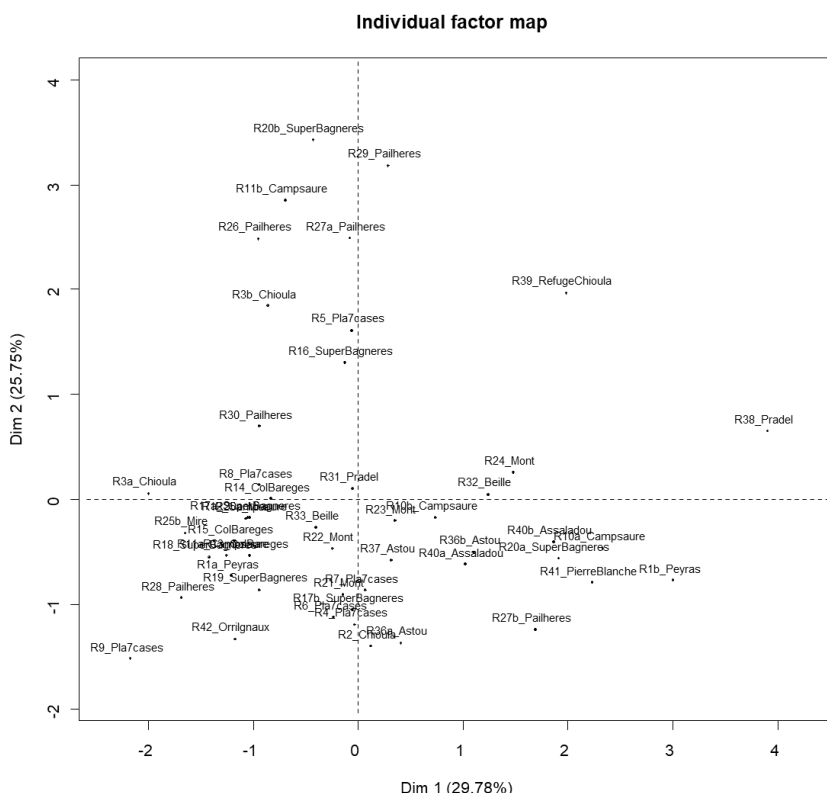


Figure 8 : Graphique des individus de l'AFM de *Gentiana lutea*

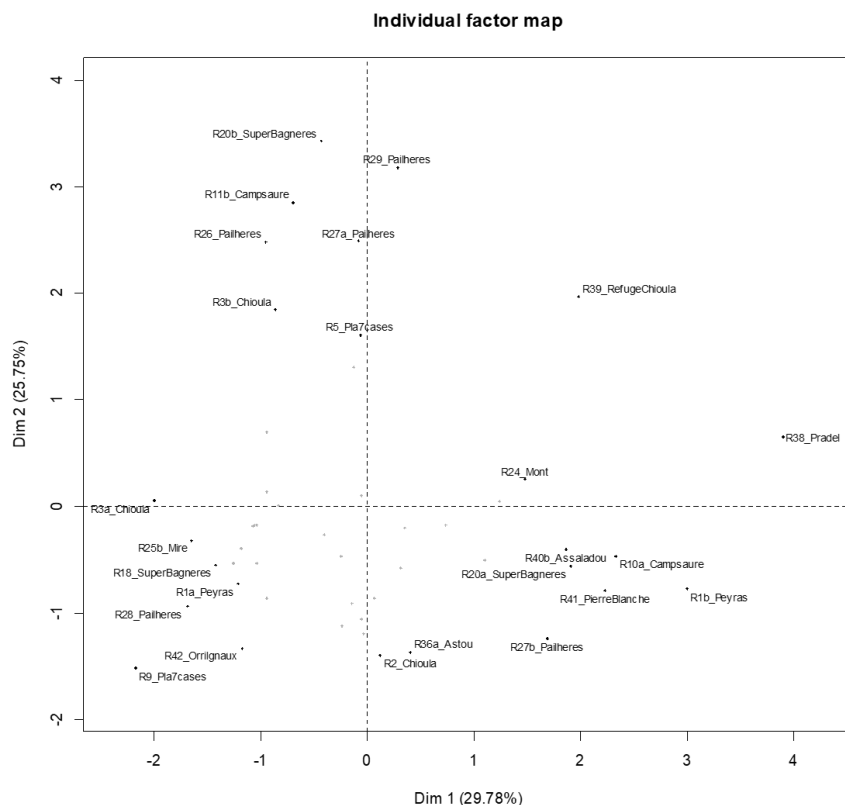


Figure 9 : Graphique des 25 individus les plus contributeurs aux dimensions de l'AFM de *Gentiana lutea*

2.2.4.2.2.3. Variables quantitatives

2.2.4.2.2.3.1. Variables quantitatives actives

De même que pour les individus, les variables actives bien projetées dans chaque dimension ($\cos^2$ grand) ont des valeurs absolues fortes sur les axes correspondant (dim). Elles contribuent donc fortement (ctr) à la construction de celles-ci.

Pour la dimension 1, les variables quantitatives qui contribuent le plus le font avec des valeurs positives. Il s'agit des variables Recouvr_estim, D et Recouvr_calc, et dans une moindre mesure des classes F, d, f et c.

Ce résultat pour la première dimension vient conforter ceux déjà obtenus pour les individus sur cette même dimension. On constate qu'elle est positivement associée à de forts taux de recouvrement et, parallèlement, à d'importantes proportions de gros pieds de gentiane.

Pour la dimension 2, ce sont les classes B, a et b puis C, A et c qui contribuent avec des valeurs positives, tandis que la classe f contribue également mais avec des valeurs négatives. Le Recouvr_estim participe lui aussi un peu en positif, mais faiblement.

Là encore, on retrouve la relation entre cette deuxième dimension et de fortes proportions de petits pieds de *Gentiana lutea*, qu'ils soient isolés ou en touffes.

Il ressort assez clairement que la troisième dimension est corrélée positivement avec des proportions importantes de pieds isolés et négativement avec la présence de touffes. Les deux variables traitant du taux de recouvrement participent par ailleurs légèrement, avec des valeurs négatives.

D'importantes proportions de pieds isolés seraient donc relativement liées avec des taux de recouvrement plutôt faibles.

La quatrième dimension apparait négativement liée avec les classes C et D et, dans une moindre mesure, positivement corrélée avec de fortes proportions de pieds des classes F, b, f et a. Les relevés présentant de fortes valeurs projetées sur cette dimension doivent donc être composés d'un mélange de gros pieds fleuris et de jeunes pousses, mais ne pas disposer de plantes d'un niveau de développement intermédiaire.

Enfin, la cinquième dimension est très positivement liée à la présence de pieds isolés mais fleuris (classe f) et négativement avec celle de touffes de gros pieds non fleuris (classe D).

Tableau 9 : Projections et contributions des variables quantitatives actives de l'AFM de *Gentiana lutea*

	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2	Dim.4	ctr	cos2	Dim.5	ctr	cos2
Recouvr_Estim	0.758	19,423	0.575	0.291	3,308	0.085	-0.214	3,773	0.046	-0.075	0,658	0.006	-0.03	0,124	0.001
Recouvr_Calc	0.931	29,282	0.888	0.137	0,734	0.019	-0.205	3,485	0.042	-0.056	0,365	0.003	-0.047	0,311	0.002
F	0.649	11,032	0.421	-0.132	0,527	0.017	-0.422	30,843	0.17	0.513	23,37	0.263	0.111	1,356	0.012
D	0.786	16,182	0.518	-0.217	1,431	0.047	-0.102	0,667	0.01	-0.304	8,268	0.092	-0.353	13,741	0.125
C	0.063	0,103	0.004	0.642	2,472	0.412	0.053	0,18	0.003	-0.638	36,504	0.407	0.292	9,425	0.085
B	-0.129	0,435	0.017	0.866	22,697	0.75	-0.317	6,393	0.1	-0.029	0,075	0.001	0.187	3,84	0.035
A	-0.054	0,077	0.003	0.628	11,944	0.394	-0.482	14,834	0.233	0.055	0,271	0.003	-0.104	1,201	0.011
f	0.543	8,105	0.295	-0.103	10,338	0.011	0.248	4,108	0.061	0.275	7,1	0.076	0.672	52,284	0.452
d	0.595	9,714	0.354	-0.121	0,463	0.015	0.535	19,174	0.287	0.059	0,322	0.003	-0.26	7,803	0.067
c	0.408	4,564	0.166	0.528	8,866	0.279	0.654	28,617	0.428	-0.101	0,957	0.01	0.063	0,466	0.004
b	-0.019	0,01	0	0.735	17,159	0.54	0.338	7,636	0.114	0.402	15,164	0.161	-0.219	5,542	0.048
a	-0.198	1,075	0.039	0.795	20,06	0.311	0.066	0,289	0.004	0.268	6,748	0.072	-0.183	3,897	0.034

Le cercle de corrélation produit par l'AFM permet de représenter graphiquement les relations qu'entretiennent chacune des variables au sein des deux premières dimensions de l'analyse (Figure 10).

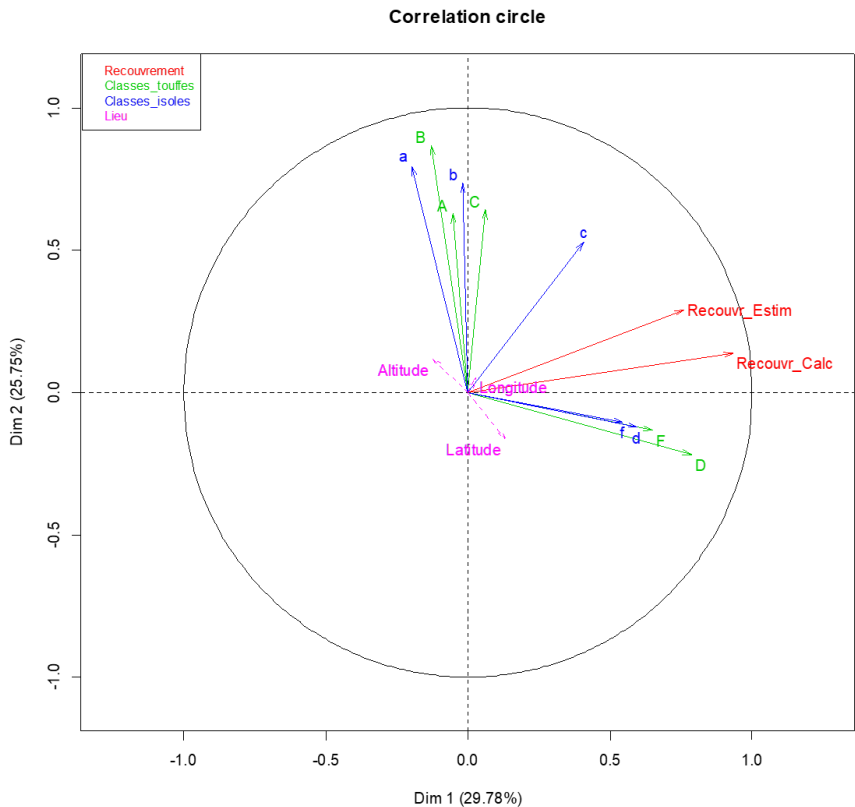


Figure 10 : Cercle de corrélation de l'AFM de *Gentiana lutea*

On retrouve bien les variables Recouvr_Estim, Recouvr_Calc, D, F, d et f alignées le long de l'axe de la première dimension et les variables B, a, b, C et A le long de l'axe de la deuxième dimension. La variable c semble quant à elle montrer une tendance intermédiaire entre ces deux plans.

2.2.4.2.2.3.2. Variables quantitatives illustratives

Certaines variables quantitatives ont été définies comme illustratives dans cette analyse. C'est le cas de la latitude, la longitude et l'altitude qui sont par ailleurs très mal projetées sur les deux premières dimensions (Figure 10), comme en témoignent les coefficients $\cos^2$ très faibles. Le constat est sensiblement le même sur les dimensions 3, 4 et 5. On peut en déduire que l'influence de ces variables sur la répartition des classes de pieds et sur les taux de recouvrement de *Gentiana lutea* est très faible.

Tableau 10 : Projections des variables quantitatives illustratives sur les dimensions de l'AFM de *Gentiana lutea*

	Dim.1	cos2	Dim.2	cos2	Dim.3	cos2	Dim.4	cos2	Dim.5	cos2
Latitude	0,132	0,017	-0,162	0,026	-0,04	0,002	0,099	0,01	-0,134	0,018
Longitude	0,028	0,001	0,051	0,003	-0,27	0,073	0,293	0,086	0,169	0,029
Altitude	-0,122	0,015	0,119	0,014	0,229	0,052	-0,244	0,06	0,148	0,022

2.2.4.2.2.4. Variables qualitatives

Les variables qualitatives disponibles, pour le jeu de données relatif à l'inventaire de *Gentiana lutea*, ont toutes été définies comme illustratives. Pour les catégoriser, on dispose d'un indicateur différent de celui utilisé pour les individus et variables quantitatives, le v-test.

Dans les cas où le coefficient du v-test s'avère supérieur à 1.96, on considère alors que la modalité a une coordonnée significativement supérieure à zéro (Husson 2016b, 2016c). A l'inverse, dans les cas où ce coefficient est inférieur à -1.96, on considère que la modalité a une coordonnée significativement inférieure à zéro. Enfin, si la valeur absolue du v-test est inférieure à 1.96, on peut conclure que cette variable ne présente pas de variations significatives vis-à-vis de la dimension concernée.

Tableau 11 : Projection des variables qualitatives illustratives sur les dimensions de l'AFM de *Gentiana lutea*

	Dim.1	cos2	v.test	Dim.2	cos2	v.test	Dim.3	cos2	v.test	Dim.4	cos2	v.test	Dim.5	cos2	v.test
faible	-0,18	0,07	-0,621	0,183	0,072	0,68	-0,531	0,068	-2,863	0,289	0,18	1,844	0,085	0,015	0,6
forte	-0,171	0,092	-0,534	-0,358	0,406	-1,203	0,136	0,059	0,665	-0,313	0,31	-1,811	-0,044	0,006	-0,281
moyenne	0,135	0,043	0,422	0,298	0,21	1,001	0,45	0,481	2,199	-0,096	0,022	-0,552	0,089	0,019	0,572
nulle	0,352	0,369	0,869	-0,218	0,142	-0,58	0,038	0,004	0,146	0,109	0,035	0,498	-0,207	0,128	-1,049
complète	0,352	0,369	0,869	-0,218	0,142	-0,58	0,038	0,004	0,146	0,109	0,035	0,498	-0,207	0,128	-1,049
est	1,056	0,246	1,136	0,257	0,015	0,298	0,382	0,032	0,641	0,682	0,103	1,358	1,46	0,47	3,225
nord	0,733	0,08	0,552	-0,168	0,004	-0,136	1,312	0,256	1,541	-0,1	0,001	-0,139	0,546	0,044	0,844
nord-est	-0,277	0,137	-0,638	-0,549	0,537	-1,359	-0,126	0,028	-0,451	0,185	0,061	0,786	0,161	0,046	0,761
nord-ouest	0,127	0,025	0,293	-0,159	0,055	-0,394	0,142	0,044	0,511	-0,049	0,005	-0,21	-0,545	0,046	-2,565
ouest	0,09	0,006	0,192	0,893	0,55	2,019	0,643	0,294	2,138	-0,347	0,086	-1,369	-0,141	0,014	-0,617
sud	-1,22	0,708	-2,375	-0,68	0,218	-1,423	0,22	0,023	0,667	-0,215	0,022	-0,773	0,178	0,015	0,711
sud-est	0,45	0,177	0,875	0,346	0,105	0,724	-0,879	0,677	-2,67	0	0	0,001	0,074	0,005	0,294
sud-ouest	-0,275	0,029	-0,366	1,037	0,417	1,485	-1,03	0,412	-2,14	0,129	0,006	0,317	0,31	0,037	0,848
combe	-0,382	0,194	-1,007	0,464	0,285	1,314	-0,535	0,38	-2,208	-0,003	0	-0,016	-0,159	0,033	-0,859
plateau	-0,022	0,002	-0,062	-0,281	0,326	-0,845	0,025	0,002	0,107	0,276	0,315	1,43	0,11	0,05	0,63
versant	0,14	0,224	0,868	-0,053	0,032	-0,356	0,175	0,35	1,694	-0,104	0,122	-1,187	0,013	0,002	0,168
clairière	0,1	0,073	0,264	-0,099	0,071	-0,28	0,197	0,28	0,81	0,205	0,302	0,997	0,044	0,014	0,241
lande	-1,013	0,708	-1,349	-0,169	0,02	-0,242	-0,378	0,099	-0,788	0,001	0	0,003	0,354	0,087	0,969
prairie	0,055	0,218	0,49	0,04	0,117	0,388	-0,023	0,037	-0,313	-0,055	0,22	-0,911	-0,041	0,119	-0,744
cervides	0,358	0,089	0,557	-0,329	0,075	-0,55	0,416	0,12	1,009	-0,783	0,225	-2,25	-0,512	0,182	-1,633
chevaux	-1,019	0,562	-1,357	-0,305	0,05	-0,437	-0,23	0,029	-0,478	-0,644	0,225	-1,586	0,372	0,075	1,018
moutons	0,895	0,26	0,963	-0,747	0,182	-0,865	-0,889	0,257	-1,492	0,464	0,07	0,923	-0,231	0,017	-0,51
pas pasture	-0,05	0,002	-0,098	0,662	0,431	1,387	-0,34	0,114	-1,033	-0,063	0,004	-0,226	0,462	0,209	1,845
vaches	0,004	0	0,031	-0,007	0,002	-0,061	0,081	0,218	1,021	0,129	0,448	1,92	-0,039	0,051	-0,651

Pour la première dimension, seule la variable « sud » présente une valeur de v-test inférieure à -1.96. Ses coordonnées seront donc significativement inférieures à 0 et la variable « sud » considérée comme négativement corrélée à la première dimension. On note que les variables « lande » et « chevaux » s'en approchent également en négatif. Ce sont aussi les trois variables qualitatives illustratives les mieux projetées sur la dimension 1 ($\cos^2 >> 0.4$).

Ainsi, il semblerait que les relevés réalisés sur des sites exposés au sud, et peut-être aussi ceux effectués dans des landes et des zones pâturées par des chevaux, aient des taux de recouvrement généralement faibles et des proportions minimales de gros pieds de gentiane jaune.

Pour la deuxième dimension, c'est la variable « ouest » qui est la seule à présenter des coordonnées significativement différentes de 0. Elle est corrélée positivement avec cette dimension. Sans dépasser le seuil de significativité, les variables « sud-ouest », « combe » et « pas pâturé » s'en approchent avec des valeurs positives. Les variables « sud », « nord-est » et « pente forte » s'en approchent aussi, mais cette fois en négatif. La plupart de ces variables sont par ailleurs bien projetées sur la dimension 2 avec des $\cos^2$ généralement supérieurs à 0.4.

Les relevés effectués sur des sites exposés à l'ouest et peut-être aussi au sud-ouest, sur des zones de combes et/ou des milieux non pâturés se caractériseraient donc par des proportions plus importantes de jeunes pousses. A l'inverse, ceux exposés au sud ou au nord-est et sur des zones de forte pente pourraient être associés à des populations moins fournies en pieds de gentiane de petite taille.

Pour la troisième dimension, les variables « nord », « ouest » et « pente moyenne » présentent des valeurs significativement supérieures à 0. Les variables « versants », pâturage par des « cervidés » et par des « vaches » s'approchent positivement du seuil de significativité sans toutefois l'atteindre. Les valeurs de v -test des variables « sud-est », « sud-ouest », « combes » et « pente faible » sont inférieures à 1.96 et donc significatives. Celles des variables pâturage par des « moutons » ou par des « vaches » s'en approchent avec des valeurs négatives.

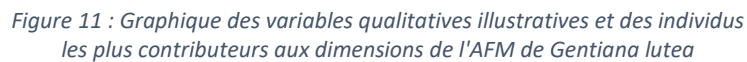
Les sites exposés au nord ou à l'ouest, sur des versants en pente moyenne auraient donc tendance à présenter des proportions de pieds de gentiane isolés relativement importantes, tandis que ceux exposés au sud-est ou sud-ouest, dans des combes où la pente est donc faible marqueraient quant à eux une affinité inverse.

Pour la quatrième dimension, seule la variable pâturage par des « cervidés » dépasse 1.96 en valeur absolue, avec des valeurs négatives. Les variables « pente forte », pâturage par des « chevaux » et exposition à l'« ouest » s'en approchent, négativement. Quant aux variables pâturage par des « vaches », « pente faible », « plateau » et exposition à l'« est », elles s'en approchent aussi mais positivement.

Les relevés réalisés sur des sites pâturés par des cervidés ou des chevaux et présentant des pentes relativement fortes exposées à l'ouest seraient donc associés à des proportions plus fortes de pieds de gentiane de taille moyenne. Ceux provenant de sites pâturés par des vaches sur des plateaux en pente faible exposés à l'est seraient en revanche plutôt caractérisés par des proportions importantes de jeunes pousses associées à des pieds plus matures et fleuris.

Enfin, pour la dimension 5, les variables « est » et « nord-ouest » dépassent largement le seuil de significativité, de façon positive et négative, respectivement. Elles sont suivies des variables « pas pâturé » et pâturé par des « cervidés » qui n'atteignent pas le seuil de 1.96 en valeur absolue mais s'en approchent.

Ainsi, les sites exposés à l'est et non pâturés seraient plus susceptibles de fournir des pieds isolés mais fleuris, tandis que ceux exposés au nord-ouest et pâturés par des cervidés se caractériseraient



2.2.4.3. Synthèse des résultats de l'AFM pour *Gentiana lutea*

Le nombre relativement important de relevés de *Gentiana lutea* mis à contribution lors de cette AFM nous permet d'accorder un certain crédit aux interprétations qui peuvent être faites à partir des résultats de cette analyse statistique. Nous allons donc essayer de mettre en lumière les principales informations obtenues à partir de l'ensemble des éléments rassemblés plus haut. Cette relative confiance dans la robustesse de notre jeu de données n'empêche par ailleurs absolument pas que de nouvelles études de terrain, apportant de nouvelles données, viennent un jour modifier ou même réfuter ces premières conclusions. Ces précautions étant prises, nous allons maintenant pouvoir réaliser la synthèse des résultats de l'AFM réalisée à partir des données de l'inventaire de *Gentiana lutea*.

La première dimension semble illustrer les contrastes entre les relevés en termes de taux de recouvrement et de proportions de pieds de grande taille. Des peuplements denses composés de nombreux gros pieds pourraient être considérés comme relativement plus matures que d'autres, moins denses et plutôt constituées de jeunes pousses. De telles populations arrivées à maturité se retrouveraient plus rarement sur des terrains exposés au sud, en contexte de landes et dans des zones pâturées par des chevaux.

Dans le cas des landes, on peut se demander si la faible densité de pieds de gentiane jaune n'est pas, à l'inverse, plutôt le fait d'une régression du pastoralisme depuis trop longtemps sur ces zones. Ceci aurait alors mené des populations autrefois plus denses à se raréfier, du fait de la confrontation avec des arbustes plus compétitifs (genets à balais, genévriers).

La deuxième dimension oppose des populations très fournies en pieds de petite taille, à d'autres qui en seraient plutôt dépourvues. On peut penser que des peuplements riches en jeunes pousses correspondent à un fort potentiel de régénération et, à terme, de croissance de la population. Selon les résultats de l'AFM, de telles populations se retrouveraient plus fréquemment sur des terrains exposés à l'ouest, à l'intérieur de combes et dans des zones non pâturées. À l'inverse, on les rencontrerait moins dans les zones de forte pente et exposés au sud.

Il paraît assez intuitif que l'absence de pâturage favorise la survie de ces jeunes pousses. En effet, si les vaches ont en général plutôt tendance à délaisser les gros pieds de gentiane (hormis parfois la hampe florale fraîche en début de saison), elles broutent en revanche parfois ces tout petits pieds pris au milieu de l'herbe, sans pour autant les cibler particulièrement.

La troisième dimension semble mettre l'accent sur l'opposition entre des populations plutôt composées de pieds isolés et d'autres où ces derniers ont plutôt tendance à être rassemblés en touffes. On rencontrerait plus de pieds isolés sur les versants en pente moyenne, tandis que les touffes se retrouveraient plutôt sur les terrains exposés au sud, dans des combes et donc sur de faibles pentes.

Il semblerait donc que la pente soit un facteur limitant pour l'expansion végétative des pieds de gentiane, cette dernière intervenant plus fréquemment sur terrain plat ou dans de légères dépressions.

La quatrième dimension sépare des peuplements comptant de nombreux pieds de taille moyenne et d'autres plutôt composés d'un assemblage de gros et de petits pieds mais sans plantes de taille

intermédiaire. D'après les résultats de l'AFM, on trouverait ces populations de pieds taille moyenne dans les zones pâturées par des cervidés ou des chevaux et sur de fortes pentes. Les populations de pieds de tailles très contrastées se répartiraient plutôt sur les plateaux et donc sur des pentes faibles. On peut imaginer que les peuplements de plateaux présentent des plantes qui ont eu le temps d'arriver à maturité et de créer des rejets, tandis que celles pâturées et en pente forte connaîtraient un développement plus contrarié. Les pieds de taille moyenne que l'on y rencontre constitueraient ainsi la partie des plantes les plus matures de ces zones, à défaut de mieux.

Enfin, la cinquième dimension de l'AFM oppose des populations riches en gros pieds isolés et fleuris à d'autres plutôt pourvues de grosses touffes non fleuries. Les premières se développeraient plus fréquemment sur les terrains non pâturés, tandis que les secondes seraient plus présentes dans les zones pâturées par des cervidés.

Compte-tenu de la propension des cervidés à venir consommer les hampes florales des gentianes jaunes en début de saison (information personnelle du maire de la commune de Mont), il ne paraît pas étonnant que leur présence coïncide plutôt avec des pieds non fleuries. Il serait peut-être même plus judicieux de dire « broutés » dans ce cas précis.

Le déterminant majeur dans la catégorisation des sites semble être l'opposition entre des populations denses et riches en pieds de grande taille, et d'autres moins denses et qui en seraient plutôt dépourvus. On peut à gros traits résumer cette alternative entre des peuplements anciens et matures et d'autres plus récents et donc moins développés.

Vient s'ajouter à ce clivage, un deuxième vecteur de catégorisation qui correspond à la présence ou non de jeunes pousses en proportions conséquentes. Ceci peut se traduire par un potentiel plus ou moins important de régénération et de croissance des populations, et ce quel que soit leur niveau de développement actuel.

Si des pistes quant aux facteurs externes et aux conditions du milieu influant sur la dynamique des peuplements peuvent être avancées, nous ne pouvons pas fournir en l'état de cadre déterministe clair qui expliquerait la répartition de tel ou tel type de population à l'échelle des Pyrénées. Nous pouvons tout de même souligner que, si le pâturage semble nuire dans un premier temps à la croissance de nouvelles pousses, une absence totale de bétail sur longue période semble en revanche conduire à la fermeture du milieu et à la disparition à terme de la gentiane jaune. Par ailleurs, les populations de cette plante peuvent coloniser et croître sur des terrains présentant des pentes assez fortes mais il semblerait que des reliefs moins marqués ou mêmes de légères dépressions facilitent la multiplication des jeunes pousses et donc leur régénération.

3. *Rhodiola rosea*

3.1. Contexte

3.1.1. Description, répartition et écologie

Rhodiola rosea est une plante vivace de la famille des Crassulacées dont la partie souterraine peut vivre de nombreuses années (source : Tela Botanica). Certains pieds peuvent atteindre jusqu'à une cinquantaine d'années. Comme dans le cas de la gentiane jaune, même si une partie du rhizome peut mourir et se dessécher, ses prolongations peuvent continuer à créer de nouvelles racines et produire de nouvelles tiges en surface, agrandissant ainsi chaque année la taille du pied.

La partie aérienne de la plante est glabre et glauque, avec une souche tubéreuse épaisse d'où partent des tiges raides et dressées, simples et très feuillées (source : Tela Botanica). *Rhodiola rosea* est une plante dioïque, c'est-à-dire que les fleurs à étamines et celles à pistil sont sur des pieds différents. Les fleurs mâles sont jaunes en début de saison (Photo 19) puis virent à l'orange-rouille (Photo 20). Les fleurs femelles sont tout d'abord vert-glauque (Photo 14) comme le reste de la plante puis mûrissent en devenant d'un rouge-rose assez vif (Photo 21). Les feuilles étroites mais épaisses et dentées à leur extrémité. Elles sont disposées de façon éparses et resserrées le long de chaque tige, c'est-à-dire qu'elles sont disposées sans aucun ordre tout autour de celle-ci.



Figure 12 : Pieds mâles de *Rhodiola rosea* (crédits photo : R.David)

On la retrouve dans les zones froides de l'hémisphère nord, donc principalement autour du cercle polaire arctique et dans les milieux montagnards de plus basse latitude. Les Pyrénées constituent ainsi l'une de ses zones de présence les plus au méridionales d'Europe, avec les Dolomites et les Carpates (György *et al.* 2016). En Asie, elle est très présente au Tibet ce qui en fait son occurrence la plus australe. On la retrouve également en Amérique du nord, où elle serait arrivée par l'ouest au-dessus de la banquise nord-Atlantique sous forme de graines portées par le vent au fil des cycles de glaciation/déglaciation (Archambault 2009). D'autres auteurs voient aussi une arrivée possible par le

Pacifique et la Béringie jusqu'en Alaska (Guest & Allen 2014). D'après des analyses de diversité génétique, certains placent sa région d'origine tout au nord de la Sibérie, autour de la Nouvelle-Zemble (György *et al.* 2012), tandis que d'autres la situeraient plutôt dans les montagnes d'Asie orientale (Archambault 2009).



Figure 13 : Pied femelle de *Rhodiola rosea* (crédits photo : R.David)

Sous nos latitudes, elle se développe généralement dans les zones de moyenne à haute montagne (1500 à 3000 mètres d'altitude) correspondant aux étages subalpins et alpins. On la trouve le plus souvent sur des rochers et éboulis en pied de falaise, mais elle affectionne aussi les berges rocailleuses des torrents de haute montagne. Elle tolère ainsi très bien le milieu minéral et est capable de coloniser ces milieux très pauvres en produisant une racine qui peut s'étendre entre les pierres jusqu'à trouver un sol, ou du moins une source d'humidité suffisante. Elle ne souffre donc généralement que très peu de la concurrence d'autres plantes, tant ses milieux de prédilection paraissent hostiles (Photo 25).

La présence de *Rhodiola rosea* est attestée par des mentions dans des relevés du CBNPMP dans la majeure partie des Pyrénées, des Pyrénées-Atlantiques aux Pyrénées-Orientales, même si on note une plus grande concentration des observations dans la zone centrale de la chaîne. Encore une fois, ces mentions ne correspondent généralement pas à des quantifications des populations mais plutôt à des notifications de présence/absence sur des relevés botaniques. Elles ne peuvent donc pas fournir une réelle image des effectifs de la population.

3.1.2. Usages

Rhodiola rosea est décrit comme un adaptogène, c'est-à-dire une plante qui stimule toutes les fonctions de l'organisme et aide ainsi le corps et l'esprit à faire face aux épreuves (Khanum *et al.* 2005). L'utilisation d'extraits de la plante a été initiée en URSS durant la guerre froide. Elle servait

alors de stimulant pour les cosmonautes soviétiques et était sensée les aider à supporter les difficultés de leur mission (Galambosi 2006).

Bien avant cela, les peuples nordiques d'Eurasie avaient déjà trouvé toutes sortes d'utilisations pour cette plante. Les lapons et les peuples du nord de l'Oural s'en servaient eux-aussi comme tonifiant, contre la fatigue et les maladies nerveuses, notamment pour les chasseurs qui s'éloignaient de chez eux pendant des mois (Galambosi *et al.* 2010). En Norvège, la racine et les feuilles étaient consommées en guise d'antiscorbutique en vue de longues expéditions maritimes (Alm 2004). Outre ces propriétés tonifiantes, *Rhodiola rosea* pouvait aussi être recherchée pour ses vertus apotropaïques, c'est-à-dire pour sa capacité supposée à éloigner les mauvais esprits et/ou la mauvaise fortune. Elle est de ce fait actuellement toujours présente sur certains toits dans des villages de Scandinavie car elle aurait le pouvoir d'éloigner la foudre en calmant la colère de Thor (Alm 2004). On lui prête également de nombreux autres usages comme celui de shampoing pour éviter la chute des cheveux, décoction pour augmenter la fertilité des hommes comme des femmes, aphrodisiaque en Chine et antituberculeux en Mongolie.

Plus récemment, certaines études scientifiques ont montré que des composés chimiques présents en grande quantité dans le rhizome de cette plante (Photo 17 et Photo 30) pourraient effectivement avoir des effets bénéfiques sur la santé, significatifs par rapport à un placebo. Ces molécules amélioreraient donc la forme physique et mentale (Spasov *et al.* 2000) et permettraient de mieux contrôler le stress (Shevtsov *et al.* 2003). D'autres lui attribuent un pouvoir anti-cancérigène et cardioprotecteur (Kelly 2001). Cependant, l'efficacité de ces thérapies est remise en cause par certains (Ishaque *et al.* 2012).

3.1.3. Menaces et protections

On le voit, les apports réels ou supposés de cette plante sont légion et ne manquent donc pas d'attiser les convoitises. Même si certains herboristes tentent de développer la commercialisation de *Rhodiola rosea* sous sa forme *totum* (Astier 2014), c'est-à-dire la plante entière généralement séchée et broyée en poudre, celle-ci est pour l'heure interdite. La forme actuelle la plus courante de consommation reste donc les comprimés et gélules que l'on peut trouver en parapharmacie et dans des boutiques de phytothérapie en ligne.

Dans les faits, des études montrent que *Rhodiola rosea* est très souvent remplacé par d'autres plantes, ou bien présent en de bien moindres quantités qu'annoncé dans ces comprimés (Booker *et al.* 2015). Cela n'empêche pas les populations du nord de l'Europe, de Russie et de Chine de subir une pression de cueillette importante. La plante a donc été placée sur la liste rouge des plantes menacées en Russie (Galambosi *et al.* 2010) et fait l'objet d'interdictions de cueillette dans la plupart des pays nordiques.

En France, elle ne fait pourtant l'objet d'aucune mesure de protection particulière, hormis en Alsace où la cueillette est purement et simplement interdite (Source : Tela Botanica).

3.2. Inventaire

3.2.1. Travail de terrain

Pour l'inventaire des populations de *Rhodiola rosea*, nous avons effectué neuf sorties de terrain qui représentaient une journée complète, dont deux qui se sont avérées infructueuses. Du fait du temps de marche parfois conséquent, nécessaire pour atteindre les habitats propices au développement

des populations de cette plante, nous avons dans la mesure du possible privilégié les journées ne nécessitant pas de long trajet en voiture pour réaliser ces sorties.

Du fait du prix au kg (plus de 100 euros par kg de racine séchée) bien plus élevé que pour la gentiane jaune, aucune zone, si reculée soit-elle, n'apparaissait en effet à l'abri d'une éventuelle cueillette et il nous a donc semblé nécessaire de répertorier un maximum de populations, quelle que soit leur difficulté d'accès.

Quatre journées ont été consacrées à l'Ariège et cinq aux Hautes-Pyrénées. En plus de cela, des relevés de populations de *Rhodiola rosea* ont également été effectués lors de trois sorties dans la région du Luchonnais en Haute-Garonne et trois autres en Ariège, par Bruno Durand seul, dans le cadre d'autres missions du CBNPMP. Au total, nous avons pu rassembler l'équivalent des données obtenues lors de treize journées de terrain pour l'inventaire de cette plante.

3.2.1.1. Préparation des sorties

Comme pour l'inventaire de *Gentiana lutea*, la base de données cartographique du conservatoire « Geoflora » a été interrogée au préalable, afin de récupérer les informations des relevés botaniques disponibles. Cependant, il ne nous a pas paru utile cette fois de réaliser des sélections et impressions de scans IGN et d'orthophotos car, les populations de *Rhodiola rosea* étant bien plus restreintes que celles de gentiane jaune, il a quasiment toujours été possible d'en faire le tour à pied muni d'un GPS. C'est donc cette technique qui a été privilégiée.

Les aspects plus pratiques de la préparation des sorties de terrain ont été à peu près les mêmes que ceux mentionnés pour l'inventaire de la gentiane jaune (gîte, couvert, météo, planning), à cela près qu'il ne nous a pas été nécessaire de demander des autorisations pour emprunter des pistes car toutes les zones ont été rejointes à pied. Et, de ce fait, nous n'avons pas non plus préparé de solutions de replis car le temps de la marche d'approche occupait déjà la majeure partie de la journée et nous aurait fait défaut pour nous rendre ensuite sur un autre site.

3.2.1.2. Méthodes d'inventaire sur site

3.2.1.2.1. Délimitation des zones de peuplement

Comme mentionné ci-dessus, les dimensions généralement réduites des populations de *Rhodiola rosea* nous ont généralement permis d'en faire le tour pour créer des contours à partir de « waypoints » GPS *in situ*. Néanmoins, dans certains cas, notamment pour les torrents de montagne, c'est plutôt une ligne de « waypoints » GPS qui a été réalisée car il aurait été très fastidieux de parcourir le cours d'eau en tous sens en le traversant à chaque fois. Dans ce genre de cas, ce n'est qu'une fois de retour au bureau que les limites des zones de peuplement ont été redéfinies plus précisément à partir de photos aériennes et à l'aide des photos prises sur le site. Dans la mesure du possible, cette opération a été effectuée peu de temps après la phase de terrain, de manière à garder en mémoire la configuration des lieux.

3.2.1.2.2. Effectifs des populations

Afin de déterminer des densités de populations, la totalité des pieds présents sur chaque site a été dénombrée, et ce sur 31 des relevés effectués soit une large majorité.

3.2.1.2.3. Structure des populations

Les diamètres des pieds ont été mesurés sur 9 relevés (près du tiers des relevés), tout comme le nombre de tiges par pied. Ces mesures ont été effectuées sur un minimum de 50 pieds par station, avec un maximum de 97 pieds pour l'une d'elles.

Pour le diamètre comme pour le nombre de tiges par pied, 5 classes ont été définies arbitrairement à partir des impressions de terrain et en fonction de gammes de développement supposé :

D1 : < 10 cm	T1 : < 10 tiges
D2 : 10 à 29 cm	T2 : 10 à 29 tiges
D3 : 30 à 59 cm	T3 : 30 à 59 tiges
D4 : 60 à 90 cm	T4 : 60 à 90 tiges
D5 : > 90 cm	T5 : > 90 tiges

Le sexe des pieds a également été pris en compte car *Rhodiola rosea* est une plante dioïque (Source : Tela Botanica). Lors du relevé du diamètre et du nombre de tiges, le sexe de chaque pied a donc été mentionné. Contrairement à Richards (1988), nous n'avons jamais rencontré de pieds hermaphrodites sur notre secteur d'inventaire. C'est pourquoi, même lorsqu'une seule fleur d'un pied était fleurie, nous avons jugé que l'ensemble du pied était du sexe de la fleur en question. Les tiges non fleuries ont simplement été considérées comme trop récentes pour être en fleur.

3.2.2. Cartographie des peuplements

3.2.2.1. Méthodes

Pour les mêmes raisons que pour la gentiane, nous avons opté une nouvelle fois pour le logiciel QGIS (Cf, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** à Carte 1) pour la réalisation des cartes de peuplements de *Rhodiola rosea*. De plus, ceci nous a permis de visualiser les zones couvertes par ces deux plantes de façon simultanée, ce qui facilite les comparaisons.

Des shapefiles polygones ont été produits à partir des « waypoints » GPS pour illustrer la répartition des populations, ou à partir de photos aériennes comme détaillé précédemment. Grâce aux dénombrements des effectifs de pieds de *Rhodiola rosea* et au calcul de la surface de chaque site de relevé, nous avons pu obtenir une densité de pieds pour 100 m² en passant par la calculatrice de champs de QGIS. Ces densités ont servi de base pour coloriser les polygones par catégories.

Cinq catégories ont ainsi été créées :

- R1 : 0 à 1 pieds pour 100 m²
- R2 : 1 à 10 pieds pour 100 m²
- R3 : 10 à 100 pieds pour 100 m²
- R4 : 100 à 1000 pieds pour 100 m²
- R5 : 1000 à 10000 pieds pour 100 m²

3.2.2.2. Résultats

De la cartographie des populations de *Rhodiola rosea* réalisée dans le cadre de cette étude, il semble ressortir que la plupart des stations où la plante est présente correspond à des toutes petites surfaces relativement clairsemées et disséminées dans le vaste espace que représente chaque vallée. Seuls peut-être certains torrents ariégeois ou luchonnais représentent des surfaces un peu

conséquentes, avec des densités de population plus importantes. S'ajoutent à ces sites, les éboulis d'un des sites d'Ariège qui ont livré des effectifs très nombreux, avec des tailles de pieds généralement importantes elles aussi.

Ces zones de peuplement remarquables semblent, comme pour la gentiane jaune, être plutôt réparties sur la partie orientale de notre secteur d'étude, à savoir l'Ariège et le Luchonnais. Encore une fois, les Pyrénées-Orientales et Atlantiques n'ont pas été prospectées même si la présence de *Rhodiola rosea* dans ces départements est avérée par des relevés botaniques. Toutefois, la partie centrale des Pyrénées apparaît comme la zone cœur des peuplements de cette plante.

Si, au sortir du terrain, l'impression de populations peu nombreuses et relativement faibles était déjà présente, la représentation cartographique à l'échelle des Pyrénées centrales a plutôt tendance à l'accentuer. Cependant, la courte durée de notre inventaire doit de nouveau tempérer ces impressions, d'autant plus pour une plante qui nécessite un temps de marche important pour accéder à ses habitats potentiels et qui ne marque pas le paysage de son empreinte comme peut le faire un pied de gentiane jaune fleuri de près d'un mètre cinquante de haut. De plus, *Rhodiola rosea* n'est certainement pas, à ce jour, une plante aussi renommée auprès du grand public que *Gentiana lutea*. Il nous est arrivé plusieurs fois que des personnes connaissant bien un site nous affirment qu'il en était dépourvu sur la foi de nos descriptions, et pourtant... Un berger nous a par exemple soutenu que la plante était absente des éboulis situés derrière sa cabane ; nous en avons par la suite trouvé plus d'une centaine de pieds, certes petits. Il est donc hautement probable que de nombreuses populations notables de *Rhodiola rosea* restent encore à découvrir.

Enfin, le problème de la prospection négative s'est également posé ici. Même si les populations de *Rhodiola rosea* s'étendent sur des surfaces bien moindres que celles de *Gentiana lutea*, comment limiter une zone d'absence ? Par soucis de clarté, nous avons donc fait de nouveau le choix de ne pas représenter les zones d'absence de *Rhodiola rosea* dans notre cartographie.

3.2.3. Analyse des relevés

3.2.3.1. Effectifs des classes

La mesure du diamètre des pieds sur les 9 relevés « complets » a permis de réaliser un tableau des effectifs de chaque classe (5 classes).

Tableau 12 : Effectifs des classes de diamètres des pieds de *Rhodiola rosea* pour chaque relevé

	R5_	R11_	R18_	R21_	R23_	R24_	R25_	R27_	R31_
< 10 cm	16	3	2	0	10	0	3	5	1
10 à 29 cm	52	20	37	17	22	18	7	22	13
30 à 59 cm	27	25	12	24	12	20	1	17	30
60 à 90 cm	2	1	1	9	4	11	0	6	7
> 90 cm	0	1	0	0	2	1	0	0	0

Un tableau du même type a été réalisé à partir du dénombrement des tiges (5 classes).

Tableau 13 : Effectifs des classes de nombre de tiges par pied de *Rhodiola rosea* pour chaque relevé

	R5_	R11_	R18_	R21_	R23_	R24_	R25_	R27_	R31_
< 10 tiges	57	13	22	13	27	14	7	17	13
10 à 29 tiges	27	23	23	18	10	12	3	17	15
30 à 59 tiges	9	13	6	12	9	12	1	11	5
60 à 90 tiges	2	0	0	6	3	7	0	3	1
> 90 tiges	2	1	1	1	1	5	0	2	2

Enfin, les effectifs des populations des différents relevés ont aussi été recensés en fonction du sexe (3 classes).

Tableau 14 : Effectifs des sexes des pieds de *Rhodiola rosea* pour chaque relevé

	R5_	R11_	R18_	R21_	R23_	R24_	R25_	R27_	R31_
Males	50	34	30	21	12	22	2	11	15
Femelles	11	5	12	15	9	17	1	6	10
Indetermines	36	11	10	14	29	11	8	33	11

Ces résultats ne seront pas commentés à ce stade de l'étude mais plus loin, au travers de l'analyse statistique du jeu de données.

3.2.3.2. Densités de population calculées

Pour la plupart des 31 relevés effectués, nous avons pu calculer des densités de population à partir des effectifs des populations recensées et des surfaces calculées sous QGIS pour chaque zone de relevé. Ceci nous a amené à définir 5 classes de densités croissantes (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** à **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

- 1 : 0 à 1 pieds/100m²
- 2 : 1 à 10 pieds/100m²
- 3 : 10 à 100 pieds/100m²
- 4 : 100 à 1000 pieds/100m²
- 5 : 1000 à 10000 pieds/100m²

Dans le cas des 9 relevés « complets », pour des raisons de simplicité, nous avons préféré adapter cette échelle aux densités calculées pour ces sites. Les densités sont donc ici affichées en nombre de pied pour 10 m², et nombre de tiges pour 10 m² également.

Tableau 15 : Surface, nombre total de plantes et de tiges, densité de pieds pour chaque relevé de *Rhodiola rosea*

	R5_	R11_	R18_	R21_	R23_	R24_	R25_	R27_	R31_
Surface (m ²)	610	141	6794	2002	1144	3886	3886	3787	10023
Nb_Plantes	97	50	52	50	50	50	11	50	36
Nb_Tiges	1462	1462	838	1465	1034	1892	112	1228	763
Plantes/10m ²	15,9	35,5	0,8	2,5	4,4	1,3	0,3	1,3	0,4
Tiges/10m ²	239,7	1036,9	12,3	73,2	90,4	48,7	2,9	32,4	7,6

Là encore, ces résultats ne seront pas commentés à ce stade mais plutôt au travers de l'analyse statistique du jeu de données.

3.2.4. Traitement statistique des données

3.2.4.1. Choix d'une méthode statistique

Le jeu de données rassemblées pour l'inventaire de *Rhodiola rosea* présentait les mêmes caractéristiques que celui obtenu pour la gentiane jaune. Nous avons donc de nouveau fait le choix de l'AFM pour traiter ces informations.

Les données ont là aussi été centrées réduites pour affecter la même importance à toutes les variables et l'analyse a été réalisée sous R avec le package Factominer (Husson 2016a).

3.2.4.2. Analyse Factorielle Multiple des relevés de *Rhodiola rosea*

3.2.4.2.1. Choix des variables

Pour l'AFM du jeu de données issu de l'inventaire de *Rhodiola rosea*, les variables quantitatives et qualitatives ont été regroupées comme suit :

	Groupes de variables	Variables
variables quantitatives actives	Sexe	Mâles
		Femelles
		Indéterminés
	Classes_tiges	< 10
		10 à 29
		30 à 59
		60 à 90
		> 90
	Classes_diamètres	< 10 cm
		10 à 29 cm
		30 à 59 cm
		60 à 90 cm
		> 90 cm
	Densité	Tiges/10m ²
		Plantes/10m ²
	Taille_pop	Nb_tiges
		Nb_plantes
variables quantitatives illustratives	Coordonnées	latitude
		longitude
	Topographie	altitude
		Pente
variables qualitatives illustratives	Habitat	Habitat
	Exposition	Exposition

Tableau 16 : Choix des groupes de variables quantitatives et qualitatives, actives et illustratives pour l'AFM de *Rhodiola rosea*

Les variables quantitatives actives « Sexe », « Classes_tiges », « Classes_diamètre », « Densité » et « Taille_pop » ont été sélectionnées pour participer à la construction des dimensions de l'AFM car ce sont les variables qui permettent de décrire la structure et les effectifs des populations.

Les variables quantitatives « Coordonnées » et « Topographie » ainsi que les variables qualitatives « Habitat » et « Exposition » ont été définies comme illustratives et n'ont donc pas participé à la construction des dimensions. Leur projection sur celles-ci permettra cependant d'interpréter leurs relations avec les variables actives.

Pour mener à bien l'AFM, le jeu de données doit être rangé sous la forme d'un tableau où les individus sont disposés en lignes et les variables en colonnes. Ici, il a été découpé en deux parties pour améliorer la lisibilité de l'ensemble.

Tableau 17 : Jeu de données de *Rhodiola rosea* mis en forme pour l'AFM

	Males	Femelles	Indetermines	< 10_tiges	< 10cm	10 à 29cm	30 à 59cm	60 à 90cm	> 90cm	10-29_tiges	30-59_tiges	60-90_tiges	> 90_tiges
R5	50	11	36	57	16	52	27	2	0	27	9	2	2
R11	34	5	11	13	3	20	25	1	1	23	13	0	1
R18	30	12	10	22	2	37	12	1	0	23	6	0	1
R21	21	15	14	13	0	17	24	9	0	18	12	6	1
R23	12	9	29	27	10	22	12	4	2	10	9	3	1
R24	22	17	11	14	0	18	20	11	1	12	12	7	5
R25	2	1	8	7	3	7	1	0	0	3	1	0	0
R27	11	6	33	17	5	22	17	6	0	17	11	3	2
R31	15	10	11	13	1	13	30	7	0	15	5	1	2
	Nb_Plantes	Plantes/10m²	Nb_Tiges	Tiges/10m²	Surface	Latitude	Longitude	Altitude	Pente	Exposition	Habitat		
R5	97	15,9	1462	240	610			1680	45	nord-est	eboulis		
R11	50	35,5	1462	1037	141			1866	45	nord	megaphorbiaie		
R18	52	0,8	838	12	6794			1552	45	ouest	eboulis		
R21	50	2,5	1465	73	2002			1900	5	sud-est	torrent		
R23	50	4,4	1034	90	1144			1773	35	nord-ouest	eboulis		
R24	50	1,3	1892	49	3886			1892	15	nord-ouest	torrent		
R25	11	0,3	112	3	3886			1920	15	nord-ouest	falaise		
R27	50	1,3	1228	32	3787			1634	20	est	torrent		
R31	36	0,4	763	8	10023			1910	10	nord	torrent		

3.2.4.2.2. Résultats détaillés

3.2.4.2.2.1. Dimensions

Chaque dimension résume une partie de la variance totale. Dans le cas des données de *Rhodiola rosea*, huit dimensions auront été nécessaires pour arriver à décrire 100 % de la variance totale.

Les deux premières dimensions totalisent 65 % du total, ce qui est un peu plus que dans le cas de l'analyse des données de *Gentiana lutea*, mais toujours pas suffisant pour résumer toute la variabilité de l'information contenue dans notre inventaire. Cependant, il suffit de prendre en compte les trois premières dimensions pour quasiment atteindre les 80%.

Tableau 18 : Pourcentages de variance pour les dimensions de l'AFM de *Rhodiola rosea*

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	
Variance	3,658	2,275	1,354	0,895	0,411	0,23	0,186	
% of var.	40,131	24,955	14,857	9,821	4,511	2,527	2,044	

3.2.4.2.2.2. Groupes de variables

3.2.4.2.2.2.1. Groupes actifs

La première dimension dépend (ctr) à la fois des groupes « Taille_pop », « Sexe », « Classes_tiges » et « Classes_diamètres » (19 à 25%) et très peu du groupe « Densité » (5%).

La deuxième dimension dépend quant à elle des groupes « Classes_tiges » et « Classes_diamètres », à parts égales (32-33%) et, dans une moindre mesure, du groupe « Sexe » (20%).

La troisième dimension dépend surtout du groupe « Densité » (50%), et les quatrième et cinquième dimensions plutôt des groupes « Classes_diametre » et « Sexe » mais les projections semblent très mauvaises car les coefficients $\cos^2$ associés sont très faibles ($\cos^2 \ll 0.4$).

Tableau 19 : Contributions des groupes actifs aux dimensions de l'AFM de *Rhodiola rosea*

	Dim.1	ctr'	cos²	Dim.2	ctr'	cos²	Dim.3	ctr'	cos²	Dim.4	ctr'	cos²	Dim.5	ctr'	cos²
Sexe	0,94	25,704	0,536	0,45	19,798	0,123	0,232	17,136	0,033	0,265	29,596	0,043	0,16	38,912	0,016
Classes_tiges	0,874	23,902	0,462	0,739	32,485	0,33	0,196	14,495	0,023	0,143	15,988	0,012	0,027	6,507	0
Classes_diametre	0,725	19,821	0,284	0,755	33,212	0,308	0,223	16,455	0,027	0,439	49,017	0,104	0,224	54,361	0,027
Densité	0,173	4,724	0,03	0,153	6,71	0,023	0,645	47,598	0,415	0,031	3,491	0,001	0,001	0,154	0
Taille_population	0,946	25,85	0,538	0,177	7,796	0,03	0,058	4,316	0,003	0,017	1,918	0	0	0,046	0

Les graphiques de représentation des groupes permettent de visualiser les projections de chacun de ces groupes sur les dimensions de l'AFM. Sur le premier (Figure 14), on peut voir que les groupes en rapport avec la taille des populations, le sexe des pieds et leur nombre de tiges sont très bien

projetés sur la dimension 1, tandis que ceux des classes de diamètres et de tiges le sont sur la dimension 2.

Sur le second graphique (Figure 15), on retrouve le lien entre la troisième dimension et la densité des populations.

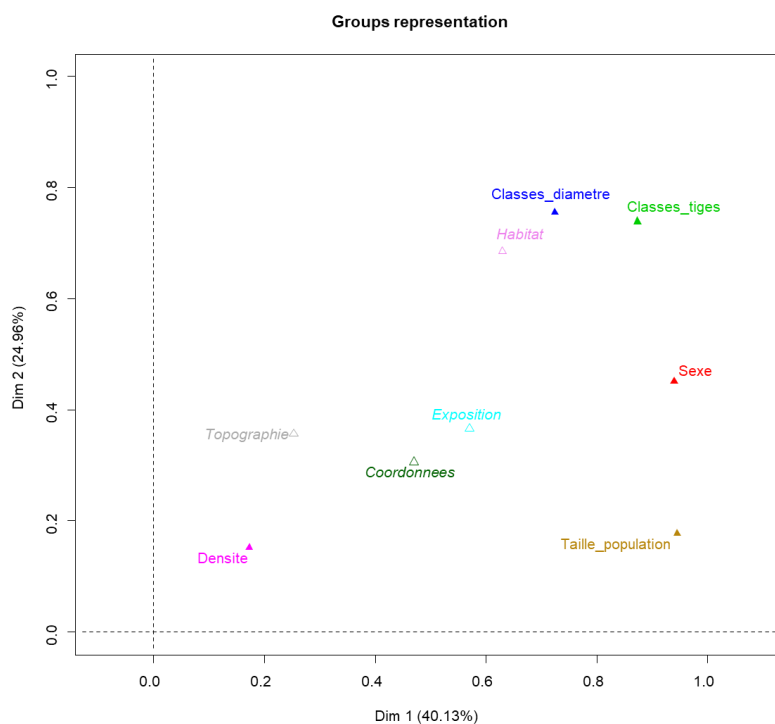


Figure 14: Graphique de représentation des groupes de l'AFM de *Rhodiola rosea* en fonction des dimensions 1 et 2

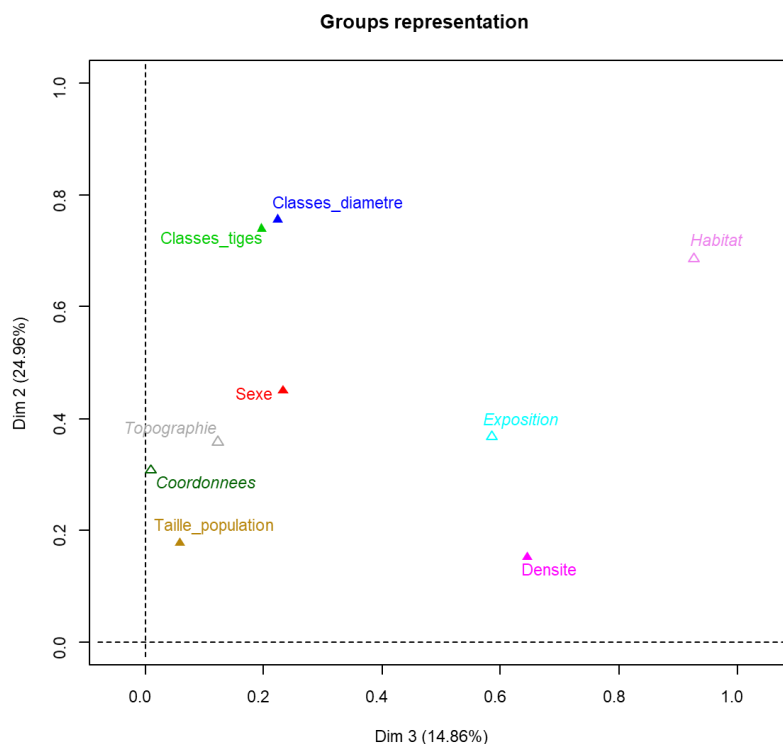


Figure 15 : Graphique de représentation des groupes de l'AFM de *Rhodiola rosea* en fonction des dimensions 3 et 2

3.2.4.2.2.2. Groupes illustratifs

Les groupes supplémentaires, qui ne participent pas à la construction des dimensions, y sont tout de même projetés. On peut ainsi noter que, contrairement au cas de l'analyse des données de l'inventaire de *Gentiana lutea*, certains groupes illustratifs semblent ici assez liés avec les dimensions de l'AFM. En effet, les groupes « Habitat », « Exposition » et « Coordonnées » présentent des valeurs positives assez élevées sur la première dimension même s'ils ne semblent pas très bien projetés car les coefficients $\cos^2$ restent faibles. Pour la dimension 2, c'est de nouveau le groupe « Habitat » qui est associé aux valeurs projetées les plus fortes, même si là aussi le $\cos^2$ ne dépasse pas 0.4. Le constat est le même pour la troisième dimension. Le groupe « Exposition » présente des valeurs projetées importantes sur les dimensions 4 et 5 mais associées à des coefficients $\cos^2$ faibles.

Tableau 20 : Projections des groupes illustratifs sur les dimensions de l'AFM de *Rhodiola rosea*

		Dim.1	cos2		Dim.2	cos2		Dim.3	cos2		Dim.4	cos2		Dim.5	cos2
Coordonnees		0,47	0,166		0,307	0,071		0,01	0		0,029	0,001		0,005	0
Topographie		0,252	0,06		0,357	0,121		0,122	0,014		0,014	0		0,109	0,011
Exposition		0,571	0,065		0,368	0,027		0,585	0,068		0,607	0,074		0,918	0,169
Habitat		0,63	0,132		0,686	0,157		0,926	0,286		0,032	0		0,353	0,042

Dans l'ensemble, l'habitat semble être la variable illustrative majeure permettant d'expliquer la répartition des classes, les proportions des sexes et la taille des populations. L'exposition, les coordonnées et la topographie jouent peut-être aussi rôle, mais apparemment bien moindre.

3.2.4.2.2.3. Individus

Les individus qui contribuent le plus à la construction de la première dimension sont R5 et R25, en positif et négatif, respectivement. Ces relevés s'opposent clairement sur cette dimension. On observe

que R5 correspond à la plus grosse population (97 pieds dans un éboulis), tandis que R25 présente la plus petite (11 pieds sur une falaise).

Les autres relevés présentent des valeurs moyennes et contribuent faiblement car, pour chacun d'eux, on n'a volontairement compté que 50 pieds. Ainsi, les tailles des populations de ces relevés paraissent assez artificielles car elles résultent de la méthode de comptage. Néanmoins, les densités demeurent valables car la surface du relevé a été adaptée en conséquence.

On note également une différence entre ces deux relevés au niveau du sex ratio. En effet, beaucoup de pieds mâles ont été observés pour R5 et peu pour R25. Les autres relevés se retrouvent de nouveau en position intermédiaire, ce qui ne correspond pas cette fois à un artefact de comptage.

La dimension 1 opposerait donc des populations nombreuses constituées majoritairement de pieds mâles à des populations plus restreintes où la proportion de mâles serait moins importante.

Tableau 21 : Projections et contributions des individus sur les dimensions de l'AFM de *Rhodiola rosea*

	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2	Dim.4	ctr	cos2	Dim.5	ctr	cos2
R5_	3.8	48.875	0.993	-1.742	14816	0.158	-1.17	11.229	0.071	-0.312	1.209	0.003	-0.06	0.098	0
R11_	0.891	2.412	0.067	-1.28	7394	0.128	3.056	78.762	0.99	0.398	1.967	0.019	-0.055	0.082	0
R18_	-0.148	0.087	0.005	-0.785	3.01	0.144	-0.359	1.07	0.03	-1.482	27.23	0.514	0.914	22.578	0.156
R21_	0.237	0.17	0.02	1.75	14955	0.837	0.183	0.274	0.007	-0.551	3.771	0.065	-0.425	4.872	0.039
R23_	-0.189	0.109	0.007	-0.334	0.482	0.018	-0.788	5.082	0.115	1.971	48.197	0.719	0.994	9.548	0.065
R24_	0.816	1.133	0.034	3.108	47.181	0.879	0.148	0.179	0.002	0.282	0.988	0.007	0.888	12.784	0.048
R25_	-0.966	46.358	0.998	-1.47	10.563	0.117	-0.335	0.921	0.006	0.023	0.007	0	0.186	0.498	0.001
R27_	-0.09	0.024	0.003	0.138	0.066	0.004	-0.791	4.626	0.184	0.837	9.037	0.133	-1.232	41.076	0.497
R31_	-1.129	3.871	0.314	0.589	1.584	0.08	0.016	0.002	0	-0.966	11.578	0.23	-0.56	8.466	0.077

Pour la deuxième dimension, les relevés qui contribuent le plus en positif sont R24 et dans une moindre mesure R21. Ce sont les relevés qui présentent les plus forts taux de gros pieds femelles. Le relevé R5 contribue lui en négatif et correspond à d'importantes proportions de petits pieds mâles ou de sexe indéterminé. Il semblerait donc que cette dimension oppose des populations pourvues de gros pieds femelles à des populations qui en seraient relativement dépourvues.

Le relevé qui contribue le plus à la construction de la troisième dimension est, de très loin, R11, en positif. R5 contribue encore un peu ici aussi, en négatif. Compte-tenu des caractéristiques de ces deux relevés, l'opposition se ferait cette fois entre des populations plutôt denses et d'autres plus clairsemées.

Les graphiques des individus produits par l'AFM pour chaque paire de dimension permettent d'observer la projection de l'ensemble des relevés. L'habitat ayant été identifié comme un facteur explicatif de la variabilité des données, nous avons fait le choix de colorer les individus en fonction de cette variable illustrative.

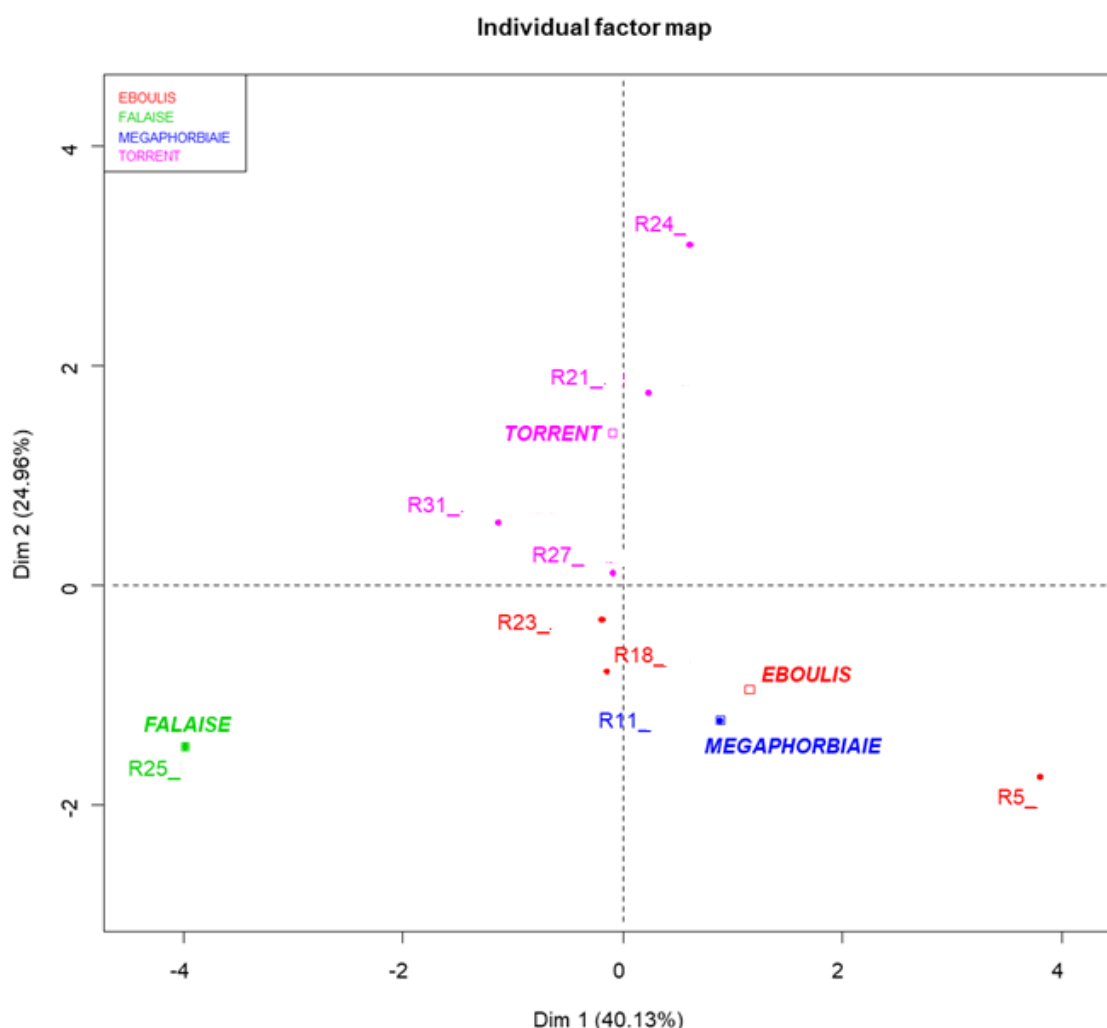


Figure 16 : Graphique des individus projetés sur les dimensions 1 et 2 de l'AFM de *Rhodiola rosea* et colorés en fonction de la variable "Habitat"

Le premier graphique (Figure 16) permet d'observer la répartition des relevés sur les dimensions 1 et 2. On constate que les relevés de torrents sont alignés sur la partie supérieure de l'axe 2 et plutôt regroupés au niveau du zéro de l'axe 1. Ceci indiquerait donc des populations de taille moyenne comportant une proportion plus ou moins importante de gros pieds femelles.

Les relevés d'éboulis quant à eux s'étirent plutôt le long de l'axe 1 et descendent plus ou moins dans la partie inférieure de l'axe 2. Ceci correspond à des populations de taille moyenne à importante, composée d'assez peu de gros pieds femelles.

L'unique relevé de mégaphorbiaie semble présenter des caractéristiques assez proches pour ces deux dimensions de celles des relevés réalisés sur éboulis.

Enfin, le relevé de falaise s'individualise complètement de par sa petite population qui lui vaut une valeur très faible sur l'axe 1. En revanche, ses proportions en gros pieds femelles paraissent comparables à celles des éboulis et de la mégaphorbiaie, c'est-à-dire assez faibles.

Le second graphique (Figure 17) illustre la projection des individus sur les dimensions 2 et 3. Les relevés des torrents sont de nouveau alignés sur la partie supérieure de l'axe 2 et proches du zéro sur l'axe 3. Ces valeurs intermédiaires sur la troisième dimension indiquent des densités de population relativement moyennes. Les relevés relatifs aux éboulis se placent plutôt dans la partie inférieure de

l'axe 3, signifiant des densités faibles dans ces milieux, tout comme pour le relevé réalisé en falaise. Seul, le relevé de mégaphorbiaie se détache vers des valeurs positives fortes, associées à une densité de population importante.

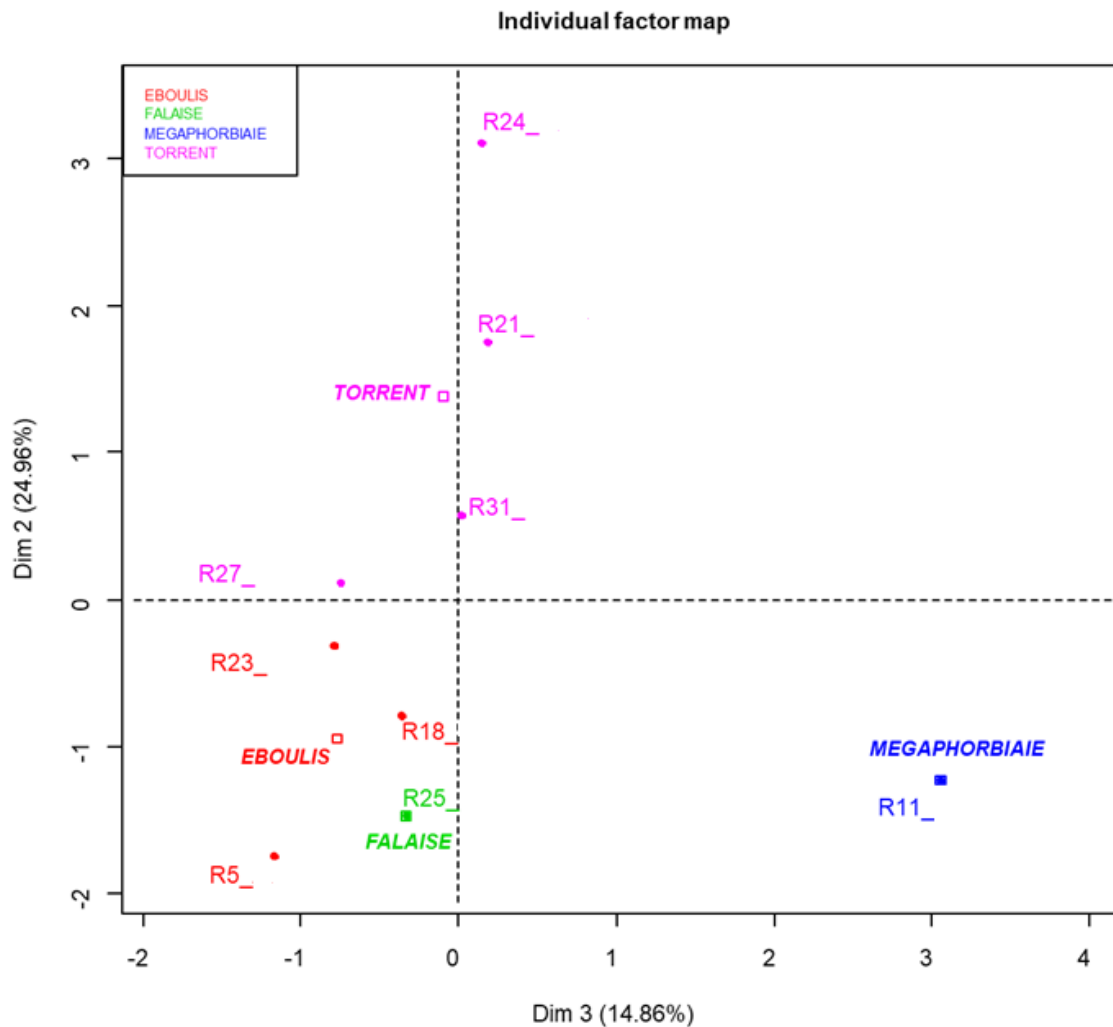


Figure 17 : Graphique des individus projetés sur les dimensions 3 et 2 de l'AFM de *Rhodiola rosea* et colorés en fonction de la variable "Habitat"

3.2.4.2.2.4. Variables quantitatives

3.2.4.2.2.4.1. Variables quantitatives actives

Les variables qui contribuent le plus à la dimension 1 sont le nombre de plantes, la proportion de pieds mâles, le nombre de tiges et la proportion de petits pieds, tous avec des valeurs positives. La première dimension traduit donc bien des populations aux effectifs nombreux, et généralement constituées de petits pieds mâles.

Pour la dimension 2, ce sont les variables correspondant à de gros pieds et de fortes proportions de pieds femelles qui contribuent le plus avec des valeurs positives. Le nombre de tiges influe lui aussi un peu. Un relevé présentant des valeurs de projections fortement positives sur cette dimension sera

donc vraisemblablement riche en pieds femelles de bonne taille, et donc pourvus de nombreuses tiges.

Tableau 22 : Projections et contributions des variables quantitatives actives de l'AFM de *Rhodiola rosea*

		Dim.1	ctr	cos2		Dim.2	ctr	cos2		Dim.3	ctr	cos2		Dim.4	ctr	cos2		Dim.5	ctr	cos2
Males		0.881	14,775	0.977		-0.24	1,76	0.058		0.166	1,411	0.027		-0.308	7,381	0.095		0.181	5,552	0.033
Femelles		0.505	4,847	0.255		0.225	16,074	0.326		-0.137	1,489	0.029		-0.268	5,589	0.072		0.288	14,073	0.083
Indetermines		0.566	6,083	0.32		-0.253	1,963	0.064		-0.526	14,236	0.277		0.462	16,616	0.214		-0.338	19,296	0.114
X..10_tiges		0.774	7,382	0.599		-0.396	3,114	0.157		-0.452	6,795	0.204		0.027	0,036	0.001		0.109	1,306	0.012
X10.29_tiges		0.819	8,269	0.671		-0.227	1,021	0.052		0.192	1,224	0.037		-0.397	7,951	0.158		-0.105	1,205	0.011
X30.59_tiges		0.665	5,447	0.442		0.428	3,626	0.183		0.393	5,147	0.155		0.32	5,147	0.102		-0.161	2,859	0.026
X50.90_tiges		0.269	0,892	0.072		0.862	14,746	0.844		-0.187	1,166	0.035		0.234	2,769	0.055		-0.023	0,059	0.001
X..90_tiges		0.394	1,911	0.155		0.709	9,978	0.503		-0.07	0,164	0.005		0.041	0,084	0.002		0.099	1,079	0.01
X..10cm		0.553	4,263	0.306		-0.581	7,555	0.337		-0.436	7,145	0.19		0.357	7,242	0.127		0.012	0,017	0
X10.à.29cm		0.803	8,979	0.645		-0.38	3,233	0.144		-0.323	3,933	0.105		-0.206	2,421	0.043		0.196	4,74	0.038
X30.à.59cm		0.669	6,227	0.447		0.262	1,538	0.069		0.285	3,053	0.081		-0.249	3,524	0.062		-0.18	17,866	0.144
X50.à.90cm		0.127	0,224	0.016		0.954	20,484	0.918		-0.101	0,387	0.01		0.044	0,11	0.002		-0.209	5,433	0.044
X..90cm		0.096	0,128	0.009		0.134	0,403	0.018		0.227	1,937	0.051		0.792	35,72	0.628		0.461	26,305	0.212
Plantes.10m²		0.475	3,115	0.225		-0.431	4,137	0.186		0.737	20,281	0.543		0.17	1,636	0.029		-0.024	0,069	0.001
Tiges.10m²		0.341	1,608	0.116		-0.34	2,572	0.116		0.855	27,317	0.731		0.181	1,855	0.033		-0.026	0,086	0.001
Nb.Plantes		0.972	15,703	0.996		-0.12	0,385	0.014		-0.196	1,72	0.038		-0.028	0,054	0.001		0.013	0,025	0
Nb.Tiges		0.984	10,147	0.911		0.527	7,411	0.277		0.241	2,596	0.058		0.166	1,865	0.027		-0.012	0,021	0

La troisième dimension est positivement associée aux deux variables renseignant la densité des peuplements, et négativement avec le nombre de pieds indéterminés et/ou de petite taille. Les relevés présentant de fortes densités de pieds fleuris et de bonne taille auront donc des valeurs de projection élevées sur la troisième dimension.

Sur les cercles de corrélation produits par l'AFM, on retrouve bien les relations qu'entretiennent chacune des variables avec les trois dimensions précédemment décrites (Figure 18).

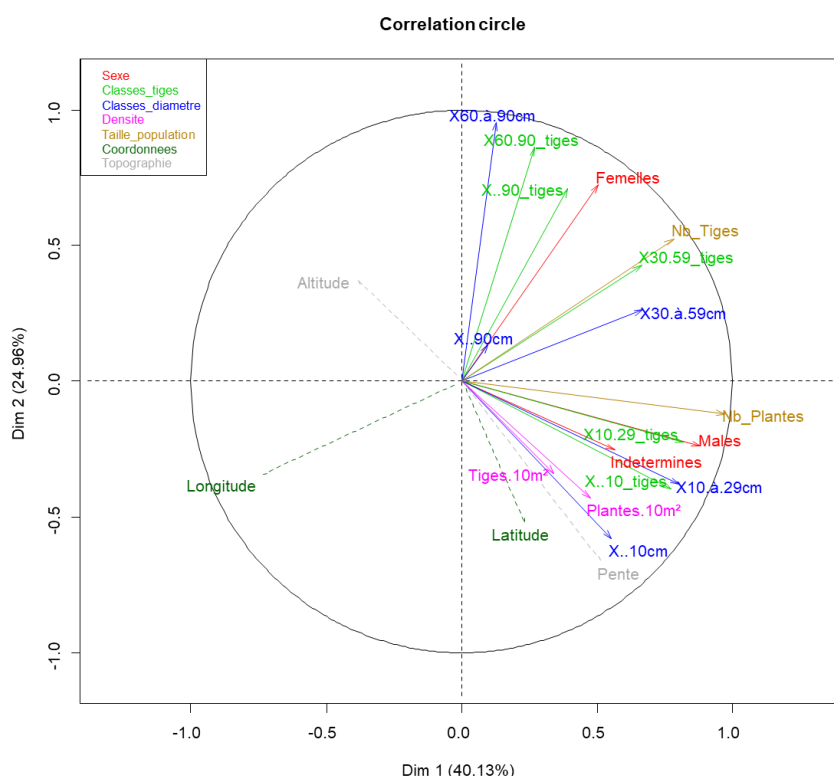


Figure 18 : Cercle de corrélation des dimensions 1 et 2 de l'AFM de *Rhodiola rosea*

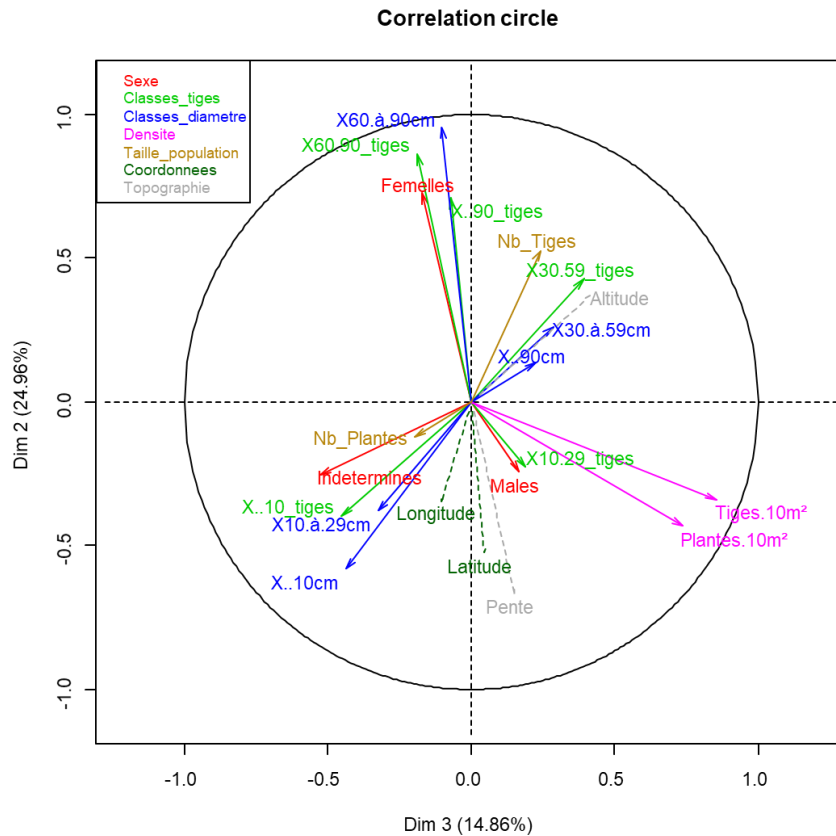


Figure 19 : Cercle de corrélation des dimensions 3 et 2 de l'AFM de *Rhodiola rosea*

3.2.4.2.2.4.2. Variables quantitatives illustratives

Sur ces graphiques (Figure 19), on peut noter que la variable illustrative « Longitude » semble bien projetée ($\cos^2 > 0.4$) sur la dimension 1 en négatif, tandis que la « pente » l'est un peu moins bien et en positif. On trouverait ainsi des populations importantes constituées de petits pieds mâles dans la partie ouest de notre zone d'étude, et peut-être aussi sur de fortes pentes.

La variable « Pente » apparaît plutôt bien projetée sur la deuxième dimension, avec des valeurs négatives, tout comme la « Latitude ». Les populations riches en gros pieds femelles se retrouveraient donc plutôt au sud sur des sites en pente faible, tandis qu'on les retrouverait moins au nord sur des sites en pente forte.

La variable « Altitude » ne semble pas très bien projetée sur la dimension 3, avec des valeurs positives. Ceci indiquerait néanmoins des densités de populations plus fortes en haute montagne. Les autres variables présentent des coefficients $\cos^2$ très faibles.

Tableau 23 : Projections des variables quantitatives illustratives sur les dimensions de l'AFM de *Rhodiola rosea*

	Dim.1	cos2	Dim.2	cos2	Dim.3	cos2	Dim.4	cos2	Dim.5	cos2
Latitude	0,232	0,054	-0,521	0,271	0,045	0,002	-0,191	0,037	-0,023	0,001
Longitude	-0,737	0,544	-0,345	0,119	-0,102	0,01	0,009	0	0,075	0,006
Altitude	-0,385	0,148	0,372	0,139	0,418	0,175	0,126	0,016	-0,078	0,006
Pente	0,51	0,26	-0,663	0,44	0,151	0,023	0,084	0,007	0,413	0,171

3.2.4.2.2.5. Variables qualitatives

Les deux variables qualitatives « Habitat » et « Exposition » ont été définies comme illustratives au sein de l'AFM du jeu de données de l'inventaire de *Rhodiola rosea*.

Tableau 24 : Projection des variables qualitatives illustratives sur les dimensions de l'AFM de *Rhodiola rosea*

	Dim.1	cos2	v.test	Dim.2	cos2	v.test	Dim.3	cos2	v.test	Dim.4	cos2	v.test	Dim.5	cos2	v.test
est	-0,09	0,003	-0,047	0,116	0,004	0,077	-0,751	0,184	-0,645	0,637	0,133	0,673	-1,233	0,497	-1,923
nord	-0,119	0,005	-0,094	-0,33	0,037	-0,331	1,536	0,05	1,996	-0,284	0,027	-0,454	-0,307	0,032	-0,725
nord-est	3,8	0,713	1,987	-1,742	0,158	-1,155	-1,17	0,071	-1,005	-0,312	0,005	-0,33	-0,06	0	-0,093
nord-ouest	-1,187	0,553	-1,242	0,441	0,076	0,584	-0,325	0,041	-0,359	0,759	0,226	1,603	0,473	0,088	1,474
ouest	-0,148	0,005	-0,077	-0,785	0,144	-0,52	-0,359	0,03	-0,308	-1,482	0,514	-1,566	0,914	0,196	1,425
sud-est	0,237	0,012	0,124	1,75	0,557	1,16	0,183	0,007	0,157	-0,551	0,065	-0,583	-0,425	0,039	-0,662
éboulis	1,154	0,43	1,207	-0,947	0,289	-1,256	-0,772	0,192	-1,327	0,059	0,001	0,125	0,483	0,075	1,506
falaise	-3,888	0,698	-2,085	-1,47	0,117	-0,975	-0,335	0,006	-0,288	0,023	0	0,024	0,136	0,001	0,212
mégaphorbiaie	0,891	0,067	0,466	-1,23	0,128	-0,816	3,056	0,791	2,636	0,398	0,013	0,421	-0,055	0	-0,086
torrent	-0,091	0,004	-0,121	1,385	0,51	2,324	-0,101	0,005	-0,22	-0,149	0,011	-0,4	-0,382	0,069	-1,508

Concernant la première dimension, seule la catégorie « nord-est » est associée à une coordonnée significativement supérieure à zéro ($v\text{-test} > 1.96$). La catégorie « falaise » présente quant à elle des valeurs significativement inférieures à zéro ($v\text{-test} < -1.96$). Les catégories « éboulis » et « nord-ouest » s'approchent de seuil de significativité, en positif et en négatif, respectivement. Ces quatre catégories sont également les seules à être bien projetées sur la première dimension ($\cos^2 > 0.4$).

Ainsi, les relevés réalisés sur des sites exposés au nord-est et sur des éboulis seraient associés à d'importantes populations avec de fortes proportions de petits pieds mâles. Inversement, les sites exposés au nord-ouest et sur falaise présenteraient de petites populations avec de faibles proportions de petits pieds mâles.

Ces résultats paraissent néanmoins très liés aux caractéristiques de deux sites (R5 et R25), dont on a vu que le facteur majeur de divergence, la taille de la population, pouvait être lié à la méthode de comptage.

Pour la deuxième dimension, seule la catégorie « torrent » est associée à une coordonnée significativement supérieure à zéro. Les catégories « éboulis », « nord-est » (en négatif) et « sud-est » (en positif) présentent des coefficients $v\text{-test}$ qui approchent de 1.96 en valeur absolue. Seules « torrent » et « sud-est » paraissent bien projetées, les deux autres catégories demeurant en-dessous de 0.4 concernant leur coefficient $\cos^2$.

Les relevés de torrents et exposés au sud-est seraient donc plus riches en gros pieds femelles, et inversement pour ceux exposés nord-est et sur éboulis.

Pour la troisième dimension, les catégories « mégaphorbiaie » et « nord » ont des coordonnées significativement supérieures à zéro. Elles sont également bien projetées sur cette dimension. Les catégories « éboulis » et « nord-est » sont également proches du seuil en négatif mais sans toutefois l'atteindre.

Là encore, si l'on pourrait *a priori* conclure que les relevés de mégaphorbiaie exposés au nord présentent des densités de population plus fortes que ceux issus d'éboulis exposés au nord-est, le fait que ces conclusions reposent sur un unique relevé très caractéristique (R11) nous oblige à tempérer le propos.

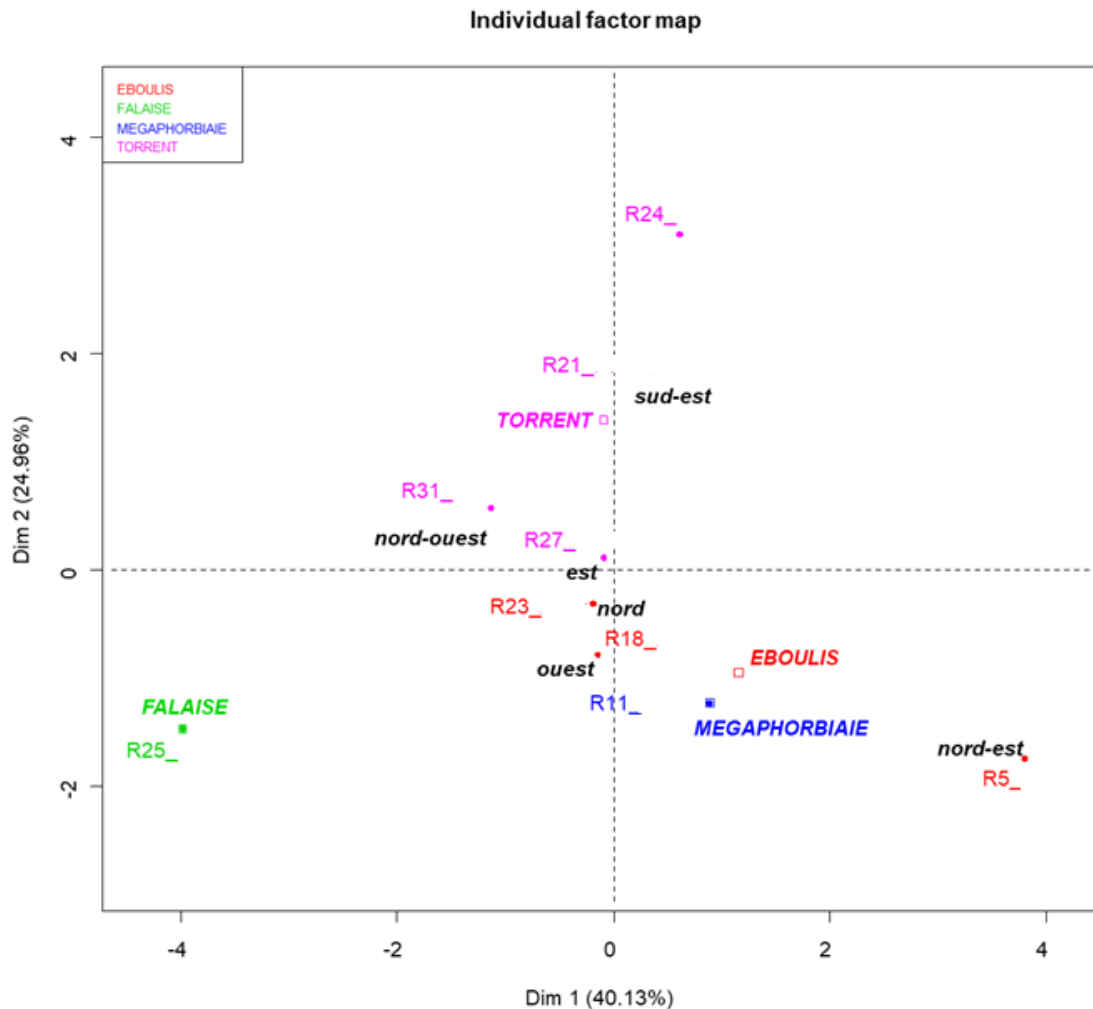


Figure 20 : Graphique des variables qualitatives illustratives et des individus projetés sur les dimensions 1 et 2 de l'AFM de *Rhodiola rosea*

Si l'on projette les variables qualitatives illustratives sur les deux premières dimensions de l'AFM et qu'on les superpose avec les individus (Figure 20), on constate que, si quelques-unes des catégories ayant trait à la variable « Exposition » paraissent bien projetées sur les axes, la plupart semblent cependant directement liées à un unique relevé qui les caractérise. Ceci limite donc de fait les possibilités d'interprétation et relativise leur portée. Le constat est le même pour les catégories « Falaise » et « Mégaphorbiaie » de la variable « Habitat ». Néanmoins, les catégories « Torrent » et « Eboulis » qui reposent sur plus de relevés se détachent elles aussi du point origine des axes et illustrent tout de même des tendances crédibles pour ces milieux.

3.2.4.3. Synthèse des résultats de l'AFM pour *Rhodiola rosea*

Avant de commencer à regrouper les informations obtenues via l'analyse statistique des données de l'inventaire *Rhodiola rosea*, il paraît bon de rappeler que le nombre restreint de relevés (seulement 9 relevés « complets »), particulièrement pour certains milieux comme les falaises et mégaphorbiaies (un seul relevé pour chaque type), vient limiter assez fortement le crédit que l'on peut accorder aux interprétations qui vont suivre. En effet, comment peut-on être certains que les sites inventoriés

dans notre étude aient livré des relevés caractéristiques de chacun des habitats rencontrés ? Sans le poids du nombre, nul ne peut pour l'instant l'affirmer.

Ceci étant dit, nous allons tout de même tenter de dégager les grandes lignes de la somme des éléments rassemblés plus haut, quitte à ce que de nouvelles études de terrain, plus poussées, viennent un jour apporter de nouvelles données qui entraîneront éventuellement des modifications dans ces conclusions.

Nous avons vu que la première dimension de l'AFM mettait en lumière les différences de taille de population entre les relevés. Elle est aussi liée positivement avec de fortes proportions de petits pieds mâles. Ces peuplements constitués de nombreuses jeunes pousses, souvent non fleuries et plutôt de sexe mâle quand c'est le cas, pourraient être vus comme le résultat d'une expansion végétative survenue à partir de quelques pieds d'origine. En effet, on observe que ce genre de relevés se retrouve le plus souvent en zones d'éboulis, là où l'instabilité du support est la plus forte pour ces plantes. On imagine alors aisément tout ou partie d'un pied d'origine se trouvant emporté lors d'un épisode de glissement. La partie du rhizome et les quelques tiges arrachées et déplacées vers l'aval vont alors servir de base pour le développement d'un nouveau pied, clone du pied d'origine. Si le cycle se répète maintes et maintes fois avec une fréquence relativement importante, on aboutit à une dispersion de la plante qui peut éventuellement s'avérer assez rapide. La taille des pieds dépendra alors beaucoup du temps écoulé entre deux événements et donc de la stabilité du sol.

Sur le terrain, il nous a paru assez fréquent que les pieds rencontrés sur des éboulis en forte pente paraissent alignés selon un tracé amont-aval. Par ailleurs, ces pieds étaient souvent proches d'un talweg où l'on suppose que l'eau, ou du moins une humidité plus forte, pouvait être présente, et contribuait peut-être à l'instabilité du substrat. C'est typiquement le cas rencontré dans les Hautes-Pyrénées sur le site 5 (Photo 24) dont la projection sur la première dimension présente les valeurs les plus fortes de l'ensemble des relevés.

A l'inverse, ce genre de structure de population paraît assez opposé à ce que l'on peut trouver sur les gros rochers des berges pérennes de torrents de montagne, comme sur le site 31 ou près du site R21. La dispersion mécanique et gravitaire de morceaux arrachés à la plante paraît, dans ces milieux, beaucoup plus rare.

Le relevé réalisé sur falaise (Photo 27) du site 25 apparaît comme le plus en opposition. On peut penser que, si des fragments de plante doivent pourtant assez fréquemment se détacher et tomber au pied de celle-ci, les nouveaux pieds qui en résulteront ne seront néanmoins pas comptabilisés comme relevant de l'habitat « falaise », mais plutôt comme relevant de l'habitat « éboulis » juste en-dessous.

La deuxième dimension est sensée illustrer l'opposition entre des populations riches en gros pieds femelles et d'autres qui en seraient relativement dépourvues. On peut logiquement supposer que les premières possèdent un meilleur potentiel de reproduction sexuée que les secondes, tout simplement du fait de la présence des deux sexes. L'expansion de ces populations peut alors se faire grâce à la dispersion des graines sur le sol autour des pieds femelles.

Au vu des résultats de l'AFM, ce genre de peuplements se retrouverait plutôt sur des replats en haute montagne et notamment sur les bords des torrents (Photo 26), comme c'est le cas pour le relevé du site 24 et pour celui réalisé en-dessous du site 21.

Ainsi, on imagine pour ces milieux un substrat assez stable permettant aux pieds de croître sur de longues périodes et de produire de nombreuses tiges à partir d'un rhizome étendu. La population va

alors pour s'étendre plutôt compter sur la propagation des graines, assurant ainsi des proportions relativement équilibrées des deux sexes.

Si l'on comprend assez bien que cette dynamique de peuplement sur le long terme puisse intervenir plus aisément sur les berges des cours d'eau qu'au milieu d'éboulis ou sur des falaises, il apparaît à première vue plus étonnant que le relevé de mégaphorbiaie (R11) ne s'inscrive pas lui aussi dans cette trajectoire. Il faut rappeler cependant que ce dernier présentait des pentes très fortes (45°) et donc un fort potentiel de décrochement des minces sols qui ont pu s'y développer.

Enfin, la troisième dimension est apparue assez fortement liée à la densité des peuplements, avec une opposition entre des populations denses, plutôt constituées de pieds de taille au moins moyenne et généralement fleuris, et des populations plus clairsemées, composées de jeunes pousses non fleuries.

On peut donc supposer qu'une forte densité de plantes fleuries et bien développées soit le signe d'une certaine maturité de la population (Photo 15). A l'inverse, des pieds épars et trop jeunes pour avoir eu le temps de fleurir pourraient vraisemblablement être un marqueur de populations plus récemment implantées.

Les résultats de l'AFM semblent indiquer que l'on retrouverait ce genre de populations plutôt matures dans des zones d'altitude relativement élevée. Ce n'est pourtant pas vraiment le cas du relevé de mégaphorbiaie (R11) qui s'élève à 1866 mètres et affiche la plus forte valeur de projection sur cette dimension. En revanche, les relevés R5, R23, R27 et R18 correspondent aux quatre altitudes les plus faibles et sont associés à des valeurs négatives sur cet axe. Il semblerait donc que la haute montagne ne constitue pas une garantie de populations plus matures mais que la basse montagne soit bien le signe de populations plus récentes, ou du moins, moins développées.

L'un des facteurs qui apparaît comme prédominant dans la catégorisation des différents sites semble être l'opposition entre des grosses populations dominées par des pieds mâles de petite taille et d'autres plus restreintes mais relativement bien pourvues en pieds femelles de grande taille. On peut alors se demander pourquoi les plantes mâles seraient généralement nombreuses et petites tandis que les femelles seraient plus grosses mais aussi plus rares ?

A. J. Richards (1988) avance une explication à ce sujet. Les pieds mâles auraient une plus forte capacité de reproduction végétative et seraient plus robustes. Ils prendraient ainsi peu à peu le pas sur les femelles au sein des populations. Celles-ci seraient quant à elles plus nombreuses au départ, du fait d'un sex ratio à leur avantage dans les stocks de graines dispersées. Elles seraient cependant plus fragiles et moins aptes à la reproduction végétative et perdraient ainsi du terrain face aux pieds mâles sur le temps long.

D'où nous vient donc cette impression, ressentie au sortir du terrain, que les populations pérennes sont plutôt constituées de plantes femelles ? On peut en fait penser que, si la reproduction sexuée s'avère le facteur majeur d'expansion dans certains cas, il est alors sans doute vrai que les mâles sont désavantagés au départ et ne finissent par dominer les populations que plus tard. C'est notamment le cas du relevé de mégaphorbiaie (R11) qui présente les plus faibles proportions de plantes femelles associées à des proportions importantes de pieds moyens à gros (Photo 23). Ces derniers seraient donc plutôt des plants mâles plutôt matures qui auraient eu le temps de se développer.

Les populations de torrent qui nous sont à première vue apparues comme les plus pérennes ne le seraient finalement peut-être pas tant que ça, au vu de leurs proportions toujours importantes de pieds femelles. On note tout de même que les mâles sont quand même toujours en majorité, et ce dans l'ensemble des relevés. On peut imaginer que si la reproduction végétative est le facteur majeur d'expansion dans bien des cas, alors les mâles ont de toute façon l'avantage très tôt et l'accroissent par la suite.

4. Chapitre « Développement durable » : propositions en vue d'établir une gestion durable de la cueillette

A partir de ces résultats, nous pouvons maintenant proposer une catégorisation des sites en fonction de leur potentiel de récolte, et donc de leur intérêt pour des cueilleurs éventuels. Ce potentiel sera assorti d'une préconisation quant au bienfondé de l'arrachage dans tel ou tel type de population et au risque qu'il peut présenter pour leur conservation.

4.1. *Gentiana lutea*

Le graphique de synthèse permet de représenter l'ensemble des situations possibles en combinant les dimensions 1 et 2 (Figure 21).

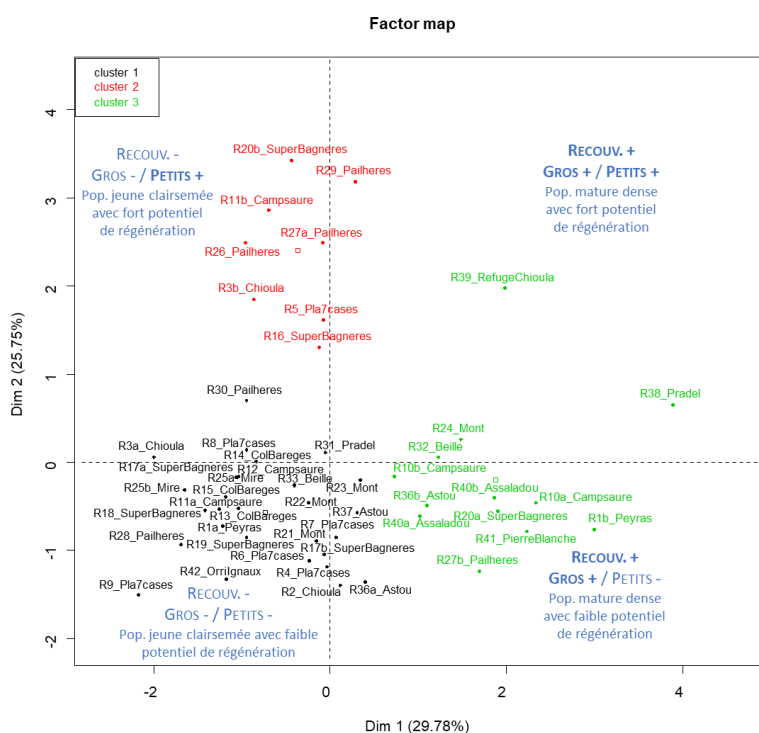


Figure 21 : Graphique de synthèse de l'AFM de *Gentiana lutea*

Les relevés y sont rassemblés par « cluster », c'est-à-dire par groupe d'affinité, issus d'une Classification Ascendante Hiérarchique (Figure 22). Celle-ci a été effectuée à partir des valeurs projetées des relevés sur les différentes dimensions construites lors de l'AFM.

Le jeu de données a ainsi été découpé en trois groupes, car nous avons fait le choix de stopper la catégorisation au niveau du deuxième embranchement. En effet, c'est entre cet embranchement et les suivants que le gain d'inertie était maximal, c'est-à-dire que la partition en trois « clusters » permettait déjà d'expliquer la majeure partie de la variabilité des données.

Le rapport entre la partie aérienne de la plante et sa partie souterraine, c'est-à-dire celle qui fait l'objet d'une récolte, n'est pas encore précisément établi. Des études sont en cours au CBNPMP et une première série de mesures et pesées de racines a d'ores et déjà été réalisée en Ariège mais n'a pas encore permis de fixer une méthode pour déterminer le ratio entre ces deux parties de la plante avec une marge d'erreur raisonnable. Le constat est le même pour une étude menée en Aubrac par

l'association « *Gentiana Lutea* » (Flahaut 2017). Néanmoins, on peut tout de même partir de l'hypothèse que les dimensions des racines et du rhizome sont relativement proportionnelles à la taille du pied ou de la touffe de pieds juste au-dessus. C'est d'ailleurs le principal critère sur lequel se basent les gentianaires pour sélectionner les pieds qu'ils vont arracher.

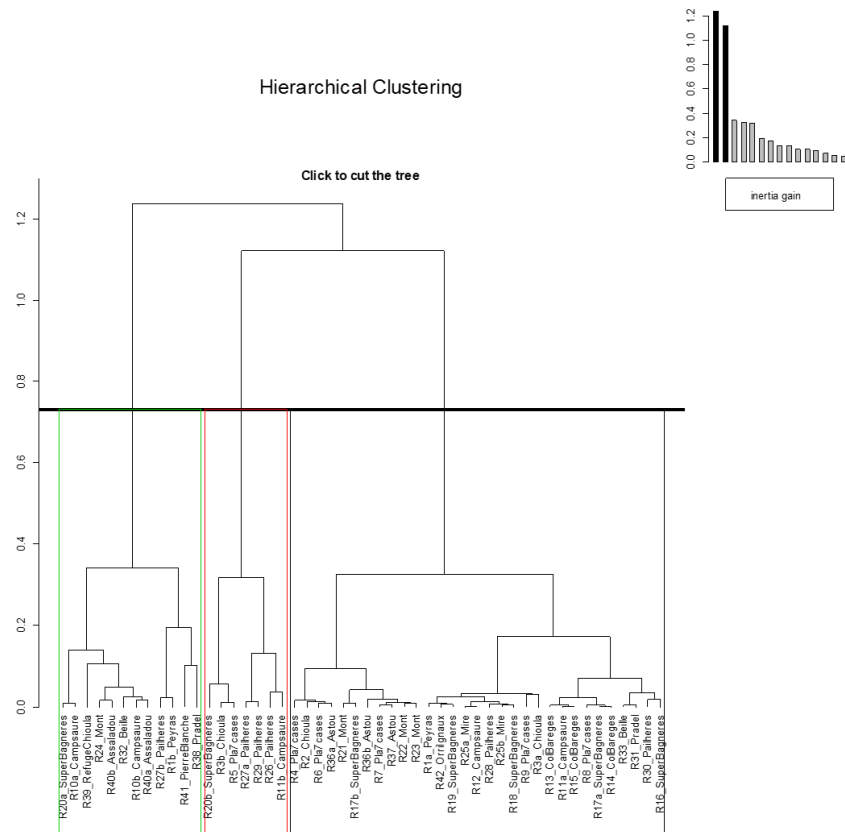


Figure 22 : Classification Ascendante hiérarchique des résultats de l'AFM de *Gentiana lutea*

Les sites les plus recherchés par les cueilleurs car les plus abondants en ressources seront donc ceux que l'on retrouve dans la partie supérieure droite du graphique de synthèse (Figure 21). En effet, ces populations relativement matures présentent de forts taux de recouvrement associés à d'importantes proportions de pieds et touffes de grande dimensions. Elles pourraient également s'avérer plus résilientes vis-à-vis d'une éventuelle récolte car leurs fortes proportions de jeunes pousses leur assurent un bon potentiel de régénération.

Seuls deux relevés rassemblés dans le cluster 3, et réalisés dans la zone de forte densité de gentiane à l'est de l'Ariège (R38_Pradel et R39_RefugeChioula) (Carte 12 et Carte 11), semblent correspondre à cette description. C'est d'ailleurs sur le site du col du Pradel que nous avons eu l'impression de nous retrouver face à la population la plus importante de notre zone d'étude. Celle-ci nous paraissait parfaitement illustrer la définition de la population à même d'être récoltée (Photo 1 et Photo 2).

Les relevés situés dans la partie opposée du graphique, en bas à gauche, correspondent à des populations tout à fait différentes des précédentes. En effet, ils sont associés à des peuplements clairsemés et pauvres en jeunes pousses qui leur permettrait de s'accroître dans le futur. On retrouve ici la grande majorité des relevés associés au cluster 1, le plus emblématique étant R9_Pla7cases

(Carte 10). Ce dernier a été réalisé entre deux patchs plus denses pour illustrer les zones de transitions. On y trouve quelques pieds isolés, parfois fleuris, mais qui ne devraient normalement pas être considérés comme une zone de récolte potentielle. Cependant, compte-tenu des surfaces parfois importantes que peuvent représenter ces zones de faible densité, certains arracheurs de gentiane pourraient les juger dignes d'intérêt. Il y a alors fort à craindre que le prélèvement des quelques pieds qui ont réussi à s'implanter sur ces terrains n'entraîne un fort ralentissement de leur colonisation, voire son arrêt total pour les prochaines années.

Si ces deux premières catégories de sites, totalement antagonistes, ne suscitent pas tellement d'interrogations quant au mode de gestion à préconiser, ce n'est plus vraiment le cas des suivantes qui présentent des caractéristiques plus nuancées.

Ainsi, les relevés se trouvant en partie inférieure droite du graphique de synthèse correspondent à des populations denses et riches en pieds de grande taille. Cependant, de faibles proportions de petits pieds limitent leurs capacités de régénération. Ces peuplements apparaissent pour l'instant bloqués dans leur développement par cette carence en jeunes pousses. Si une récolte intervenait sur ces sites, il est très probable que le temps nécessaire à la population pour se reconstituer soit d'autant plus long que la relève ne semble pas assurée. Les relevés rassemblés dans le cluster 3 correspondent pour la plupart à cette description.

À première vue, ces sites peuvent apparaître comme propices à la cueillette (Photo 4), néanmoins il nous semblerait plus raisonnable de laisser le temps à ces populations de produire les jeunes pousses qui leur font défaut avant d'envisager une récolte qui les impacterait probablement pour de nombreuses années. L'absence, ou du moins les faibles proportions de petits pieds (Photo 6) peuvent, on l'a vu, également provenir d'une situation de surpâturage qui ne permettrait pas aux jeunes pousses d'atteindre une taille suffisante pour échapper au broutage par les vaches (Photo 5). Dans ce cas, une diminution de la pression pastorale pendant quelques temps devrait permettre à ces jeunes pieds de se développer.

Enfin, les relevés qui se retrouvent dans la partie supérieure gauche du graphique sont issus de populations relativement jeunes et clairsemées, et plutôt dépourvues de pieds de grande taille. Du fait de la présence de nombreuses jeunes pousses, leur potentiel d'accroissement paraît important mais leur implantation sur ces sites doit en général être assez récente. On retrouve dans cette catégorie les relevés associés au cluster 2.

La faible proportion de gros pieds et les taux de recouvrements assez minimes eux aussi devraient dissuader la plupart des gentianaires, ce qui semble être une bonne chose car ces populations peuvent être regardées comme des zones de peuplement en devenir (Photo 3). On ne peut que conseiller d'éviter toute récolte sur ces sites tant que les plantes ne seront pas arrivées à maturité et, si possible, n'auront pas émis suffisamment de rejets pour assurer leur renouvellement.

En conclusion de cette étude sur les populations de *Gentiana lutea* dans les Pyrénées, nous pouvons dire que peu de sites nous paraissent exploitables dans l'immédiat sans qu'il n'y ait aucun impact négatif sur le devenir des populations. Toutefois, des zones de plus forte concentration existent tout de même, en Ariège et dans le Luchonnais notamment, pour lesquelles une gestion de la récolte pourrait être mise en place.

Dans ces cas particuliers, la mise en place et le suivi de cette gestion devraient logiquement revenir aux propriétaires des terrains, en général des communes. On peut souhaiter que les mairies de ces communes s'associent pour financer la réalisation d'études plus poussées des populations de gentiane jaune sur leur territoire. Le rôle du CBNPMP serait alors plutôt d'intervenir en tant que

conseiller de ces communes pour la mise en place de plans de gestion et la définition de bonnes pratiques, mais il ne saurait aller jusqu'à diriger les opérations. Les agents du conservatoire peuvent fournir un appui scientifique et technique aux mairies mais ne peuvent prendre eux-mêmes les décisions d'autoriser ou non des récoltes. De même, dans la mesure où l'espèce n'est pas menacée sur le territoire, le contrôle de la réalisation de l'arrachage relève uniquement de la responsabilité des propriétaires des terrains.

Dans une perspective plus large, se pose aussi la question du devenir des parcelles actuellement couvertes de gentiane. En effet, cette plante se développe en contexte pastoral car elle a besoin de milieux ouverts. Or, dans un contexte de diminution constante des surfaces utilisées pour nourrir le bétail, bovin essentiellement, quel peut être le devenir des populations de *Gentiana lutea* ?

A l'horizon de quelques décennies, ce qui est l'échelle adéquate pour parler d'une plante qui n'arrive à maturité qu'au bout d'une vingtaine d'années, il y a fort à craindre que les terrains qui présentent les plus fortes concentrations de gentiane jaune soient devenus des landes, voire des taillis. Si la colonisation par la gentiane s'y poursuit, les bêtes finiront par délaisser ces endroits, ce qui laissera le champ libre aux arbres et arbustes pour s'implanter et à terme remplacer la gentiane. Dans ces conditions, l'arrachage d'une partie des pieds pourrait en fait s'avérer plutôt salutaire pour la population dans son ensemble.

De même, dans des zones déjà colonisées en partie par la lande (Photo 9) car pas ou peu entretenues, on peut se demander quel serait l'intérêt d'empêcher la récolte des quelques pieds épars qui sont toujours présents, étant donné que ces populations sont très probablement déjà condamnées par la déprise agro-pastorale.

Ainsi, si la gentiane jaune bénéficie des effets d'un pastoralisme peu intensif, son devenir semble donc directement lié aux évolutions de celui-ci. Il serait donc salutaire pour ses populations que les différents propriétaires des terrains sur lesquels on la retrouve commencent à la percevoir, non pas seulement comme une nuisance pour le pâturage ou une tirelire que l'on casse tous les vingt ans, mais comme un patrimoine qu'il est nécessaire de gérer de façon raisonnée et d'entretenir.

Dans cette perspective, il serait sans doute très riche en enseignements de croiser les résultats obtenus ici avec un historique des événements de cueillettes qui ont eu lieu sur les différents sites. Ceci nous permettrait alors d'évaluer l'impact des prélèvements sur les populations en les comparant avec celles de sites non récoltés.

4.2. Rhodiola rosea

Les graphiques de synthèse permettent de résumer l'ensemble des cas de figure en combinant, pour le premier les dimensions 1 et 2 (Figure 23), et pour le second les dimensions 2 et 3 (Figure 24).

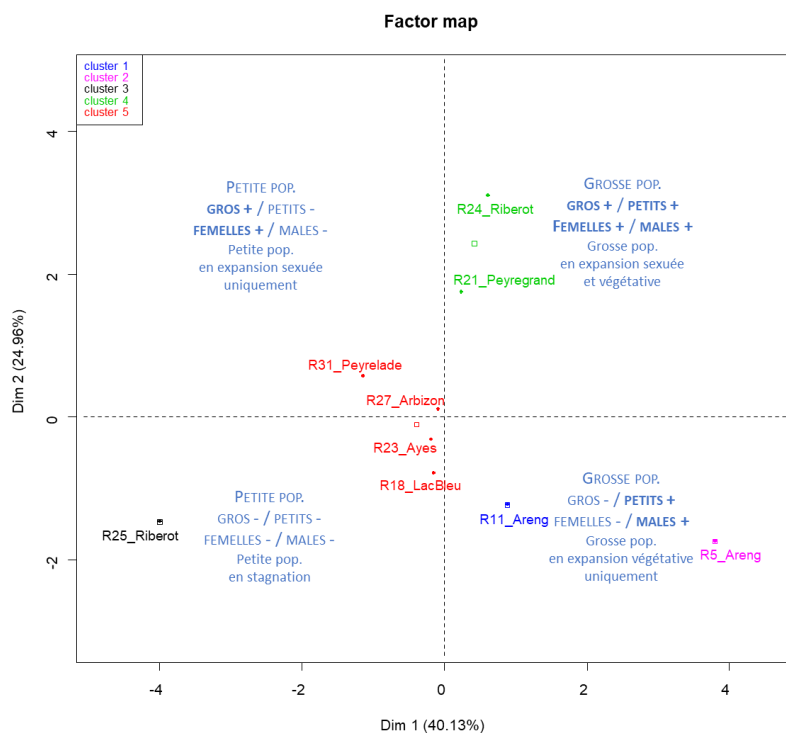


Figure 23 : Graphique de synthèse des résultats de l'AFM de *Rhodiola rosea* pour les dimensions 1 et 2

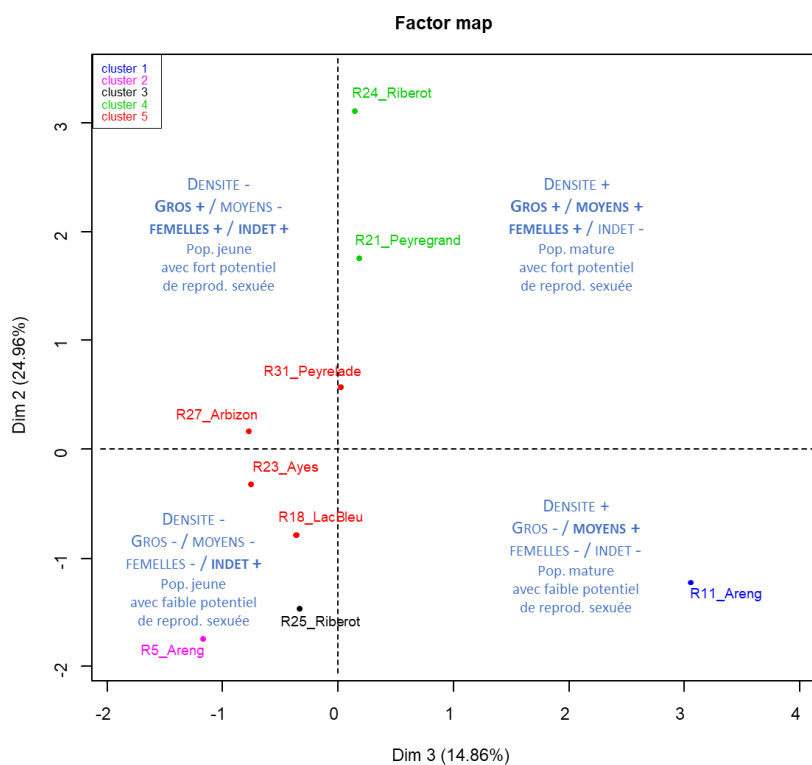


Figure 24 : Graphique de synthèse des résultats de l'AFM de *Rhodiola rosea* pour les dimensions 3 et 2

Les relevés y sont rassemblés par « cluster », c'est-à-dire par groupe d'affinité. Ces derniers sont issus d'une Classification Hiérarchique Ascendante (Figure 25), réalisée au sortir de l'AFM, à partir des valeurs projetées des relevés sur les différentes dimensions.

Le gain d'inertie était maximal au niveau du troisième embranchement mais nous avons tout de même préféré pousser jusqu'au quatrième pour pouvoir séparer les clusters 4 et 5 qui nous paraissaient témoigner de logiques différentes. C'est donc ce niveau qui a été retenu pour découper le jeu de données en cinq groupes.

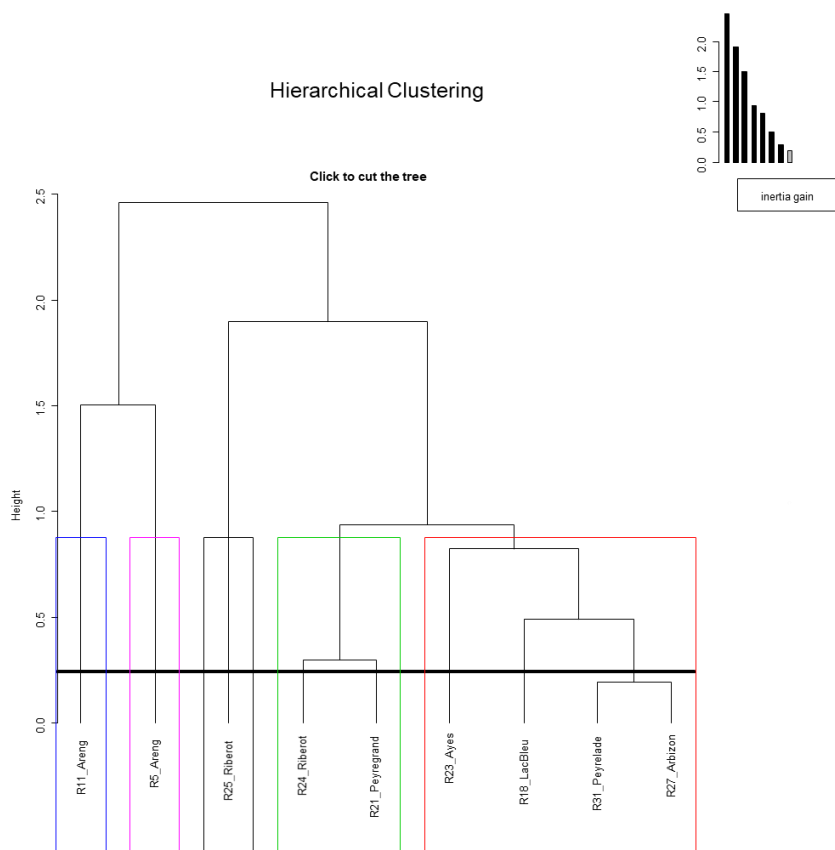


Figure 25 : Classification Ascendante hiérarchique des résultats de l'AFM de *Rhodiola rosea*

Si le rapport entre la partie aérienne de la plante d'une part et l'ensemble de son rhizome et des racines d'autre part reste à établir précisément, il ressort néanmoins de nos observations de terrain qu'il existe en général une certaine proportionnalité entre l'une et l'autre.

Ainsi, les sites les plus riches en ressources pour les cueilleurs et donc les plus recherchés par ces derniers seront logiquement ceux qui s'inscrivent dans les parties supérieures droites de chacun des deux graphiques de synthèse. En effet, ces populations relativement matures présentent des peuplements importants et denses de gros pieds. Elles sont également celles qui pourraient potentiellement le mieux se remettre d'une récolte car elles présentent les meilleurs potentiels de reproduction, à la fois sexuée et végétative, grâce à des proportions équilibrées entre les deux sexes. Les relevés R24_Riberot et R21_Peyregrand, tous deux réalisés en bordure de torrents de moyenne à haute montagne (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

et rassemblés dans le cluster 4, sont les seuls à correspondre à ce cas de figure. On note tout de même que leurs valeurs projetées sur les dimensions 1 et 3 demeurent assez moyennes, indiquant des effectifs et densités de population pas si importantes que cela. Aucun de nos 9 relevés « complets » ne semble parfaitement illustrer la population idéale. Il eut été intéressant d'avoir le même type de relevés pour le site du Mont-Ceint en Ariège qui semblait présentait des populations denses de gros pieds.

A l'inverse de cette première catégorie, les sites s'inscrivant dans les parties inférieures gauches de chacun des deux graphiques de synthèse correspondent aux populations jeunes, peu denses et peu étendues, composées de pieds de petites taille et souvent pas encore fleuris. Ces peuplements paraissent particulièrement fragiles car, en plus d'être clairsemés, ils ne présentent pas les signes d'un potentiel d'expansion satisfaisant, qu'il soit de nature végétative ou sexuée.

Le relevé R25_Riberot, associé au cluster 3, paraît le plus caractéristique de cette catégorie, avec ses populations minuscules de tout petits pieds non fleuris accrochés à la falaise. Les relevés R18_LacBleu et R23_Ayes (cluster 5), tous deux réalisés sur éboulis (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), sont eux aussi toujours présents dans cette partie des graphiques, même si leurs valeurs projetées sont beaucoup plus proches de l'origine des axes et donc moins significatives. Le relevé R5_Areng, lui aussi réalisé sur éboulis (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et associé au cluster 2, se trouve bien dans cette partie du graphique pour les dimensions 2 et 3 mais passe dans la partie inférieure droite pour les dimensions 1 et 2. Ceci est dû à la taille de sa population qui, si elle est clairsemée et constituée de petits pieds, n'en est pas moins importante.

On pourrait légitimement penser que ces populations sont de fait protégées par leur inintérêt pour des cueilleurs qui dépenseraient beaucoup d'énergie pour une bien maigre récolte. Néanmoins, compte-tenu de la rareté de la ressource et du prix au kg des racines de *Rhodiola rosea*, il n'est pas impossible que des populations facilement accessibles comme celles de la montagne d'Areng, du lac Bleu ou de l'étang d'Ayes puissent attiser les convoitises de cueilleurs peu scrupuleux et/ou mal informés sur l'existence de populations plus importantes. Une récolte sur ces sites signifierait alors probablement la disparition de la population, ou du moins un coup d'arrêt fatal à leur éventuel développement.

Contrairement à ces deux premières catégories de sites qui présentaient des caractéristiques littéralement opposées et caricaturales, les relevés que l'on retrouve dans les deux autres parties des graphiques de synthèse obligent à des constats plus nuancés.

Dans le cas des relevés se trouvant en partie supérieure gauche des graphiques, on a apparemment affaire à de petites populations peu denses et constituées de plantes jeunes et plus anciennes à la fois, et qui présentent des proportions non négligeables de pieds femelles. Cette dernière caractéristique leur offre une certaine capacité d'expansion par le biais de la reproduction sexuée, mais de faibles proportions de mâles et une reproduction végétative limitée pèsent sur l'accroissement potentiel de ces populations. Elles apparaissent donc comme des peuplements qui pourraient devenir plus importants dans le futur mais pour l'instant très limités.

Les relevés 27_Arbizon et 31_Peyrelade, tous deux effectués en berge de torrents (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), sont dans ce cas de figure. Cependant, leurs valeurs projetées s'éloignant toujours assez peu de l'origine des axes, ils apparaissent associés au cluster 5 qui regroupe tous les relevés ne montrant pas de tendance très claire.

Du fait de la présence de plantes de taille respectable, ces populations pourraient attirer des cueilleurs. Le prélèvement de ces quelques pieds induirait une chute du potentiel de reproduction sexuée de ces populations car il s'agirait vraisemblablement de pieds femelles bien développés. Il semble donc nécessaire d'éviter de prélever ces pieds femelles si l'on veut protéger le potentiel d'accroissement de ces peuplements.

Enfin, les relevés qui se retrouvent dans les parties inférieures droites des graphiques de synthèse correspondent à des populations assez nombreuses et denses de plantes anciennes et de taille moyenne, mais relativement dépourvues de pieds femelles. La reproduction sexuée apparaît donc limitée.

Le relevé R11_Areng, associé au cluster 1, a été effectué dans une mégaphorbiaie coincée dans l'anfractuosité d'une falaise calcaire. Il est le seul à toujours demeurer dans cette partie des graphiques et présente une valeur projetée élevée sur la troisième dimension, signe d'une très forte densité du peuplement.

Dans le cas de ce site très particulier, où tout l'espace disponible a été occupé par une large majorité de pieds mâles, on peut penser que la cueillette de certains de ces pieds pourrait éventuellement libérer de la place pour que s'installe de nouveaux pieds femelles. Cependant, compte-tenu de la faible proportion de pieds de ce sexe et de la forte pente, il paraît plus probable que le terrain serait alors recolonisé par reproduction végétative par de nouveaux pieds mâles plus petits, clones de leurs voisins.

Néanmoins, on peut penser que ce genre de population pourrait potentiellement supporter des prélèvements, du moment qu'ils évitent soigneusement les quelques pieds femelles encore présents.

En conclusion de cette étude sur les populations de *Rhodiola rosea* dans les Pyrénées, nous pouvons dire que bien peu de sites nous paraissent réellement exploitables sans impact négatif sur le devenir des populations. Il ressort également de ces résultats que les pieds femelles, du fait de leurs faibles proportions, devraient faire l'objet d'une attention particulière en terme de conservation, car c'est sur leur présence que repose la capacité de reproduction sexuée des peuplements. La réalisation d'une série de nouveaux relevés serait souhaitable pour appuyer ces conclusions.

D'ici là, on peut d'ores et déjà se demander quelle serait la portée réelle d'une interdiction ou seulement d'une limitation de la cueillette. En effet, il va probablement s'avérer compliqué de contrôler les activités des uns et des autres à parfois plus de 2000 m d'altitude, hors de la zone du parc national, sans personnel habilité à disposer d'un pouvoir de police. A l'inverse, on peut se demander si la méconnaissance de cette plante par le public et, pour l'instant par une bonne partie des cueilleurs, ne constitue pas sa meilleure défense. Une campagne de sensibilisation aboutirait peut-être à l'effet inverse de celui recherché. Cependant, ces craintes ne paraissent valables que dans un contexte où le marché de la parapharmacie ne se charge pas déjà lui-même de diffuser l'information, avec des objectifs de vente et de production.

Dans ce cas de figure, l'un des rôles du CBNPMP pourrait éventuellement être de promouvoir et encourager la culture de pieds de *Rhodiola rosea* en plaine, afin d'éviter la ruée sur les populations naturelles. De telles expérimentations ont par ailleurs déjà lieu dans de nombreux pays, parfois avec succès (Kucinskaitė *et al.* 2007 ; Galambosi *et al.* 2007 ; Platikanov & Evstatieva 2008 ; Galambosi *et al.* 2009 ; Ghiorghita *et al.* 2011 ; Aiello *et al.* 2012 ; Marchev *et al.* 2016), et seraient également initiées dans les Pyrénées (Astier 2014).

5. Conclusion

Cette étude a permis de réaliser un inventaire des populations de deux plantes sujettes à la cueillette dans les Pyrénées afin de faire un état des lieux de la ressource pour chacune d'entre elles. Si le temps nous a grandement manqué pour mener à bien une analyse exhaustive des peuplements de *Gentiana lutea* et *Rhodiola rosea* à l'échelle de la chaîne toute entière, certaines conclusions peuvent tout de même être tirées de l'examen des données rassemblées ici.

Il ressort de ce premier aperçu que les situations des deux plantes s'avèrent très différentes, tant au niveau de leurs effectifs qu'au niveau des menaces qui pèsent à leur rencontre. En cela, les solutions à apporter vont donc également largement différer.

Ainsi, la situation des populations de gentiane jaune n'apparaît pas pour l'instant tellement remise en cause par les campagnes d'arrachage qui peuvent avoir lieu dans certaines communes fortement pourvues. La plupart d'entre elles se sont en effet dotées d'une protection réglementaire qui, si elle est complétée de certaines mesures déjà préconisées par le CBNPMP, devraient permettre de mettre en place une gestion durable de l'arrachage de gentiane.

En revanche, à l'échelle des Pyrénées, le devenir de cette plante paraît nettement plus compromis par le recul des activités pastorales qui auparavant maintenaient les milieux ouverts en limitant l'embroussaillage des prairies d'estives. Sans volonté des pouvoirs publics et des éleveurs, il est donc probable que de nombreuses zones actuellement recouvertes par la gentiane se transforment en landes ou en taillis dans les décennies à venir.

Concernant les populations de *Rhodiola rosea*, la situation est toute autre. En effet, compte-tenu des faibles effectifs constatés et de la pression potentielle de cueillette suscitée par la forte valeur monétaire de la plante, les peuplements actuels pourraient bien accuser une nette diminution qui remettrait possiblement en cause la présence de l'espèce dans les Pyrénées. De tels scénarios ont par ailleurs déjà été constatés dans d'autres pays, où la ressource était pourtant au départ bien supérieure.

Dans ce contexte, une réglementation de la cueillette apparaît souhaitable, même si en l'absence de moyens pour l'appliquer sa portée pourrait en fait s'avérer limitée. Une autre piste à suivre pour préserver les populations de *Rhodiola rosea* pourrait être d'encourager et de soutenir la culture de cette plante. Là aussi, les expériences étrangères montrent que la chose est possible et peut même être rentable pour ceux qui s'y sont essayé.

Enfin, il nous paraît indispensable de rappeler que les conclusions de ce présent rapport ne sauraient être définitives et qu'elles doivent à l'avenir s'enrichir de nouvelles informations accumulées lors de campagnes de collecte de données sur le terrain.

On peut ainsi espérer que le CBNPMP saura alors mettre en place des plans de gestion durable de ces ressources, reposant sur des analyses robustes, dans l'objectif de préserver les populations de *Gentiana lutea* et *Rhodiola rosea* dans les Pyrénées.

6. Bibliographie

Agence de Services et de Paiement, 2015. *Nouvelles méthodes de détermination de l'admissibilité des surfaces en prairie et pâturage permanents, Comment déterminer l'admissibilité des surfaces de prairies et pâturages ?* Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.

Aiello N., Bontempo R. & Vender C., 2012. *Seed germination tests on Arnica montana and Rhodiola rosea wild populations*. Proc. on Med., Arom. & Nutraceut. Pl. Mountainous Areas. Acta Hort. 955, ISHS.

Alm T., 2004. *Ethnobotany of Rhodiola rosea (Crassulaceae) in Norway*. Contributions to Botany, The Botanical Research Institute of Texas, Vol. 21, No. 1, pp. 321-344.

Astier J.-F., 2014. *Rhodiola, le nouveau ginseng*. Editions de Terran, Bilbao, 79p.

Archambault M., 2009. *Etude moléculaire des populations de Rhodiola rosea L. du Nunavik (Québec, Canada)*. Mémoire de Maîtrise ès Sciences du département de sciences biologiques de l'Institut de recherche en biologie végétale, Université de Montréal.

Booker A., Banaz J., Frommenwiler D., Reich E., Zhai L., Kulic Z., Heinrich M., 2015. *The authenticity and quality of Rhodiola rosea products*. Phytomedicine, 000, 1–9.

Chicouène D., 1999. *Evaluation du peuplement de mauvaises herbes en végétation. I. Aperçu des méthodes utilisables*. Phytoma - La Défense des Végétaux, 522 : 22-24.

Chicouène D. 2000. *Evaluation du peuplement de mauvaises herbes en végétation. II. Protocoles rapides pour un usage courant*. Phytoma - La Défense des Végétaux 524 : 18-23.

Chicouène D., 2014. *Méthodes descriptives des peuplements végétaux (et de la végétation)*. Plantouz.

Comprehensive R Archive Network (CRAN) : <https://www.r-project.org/>

Flahaut S., 2017. *Prélèvement de racines de Gentiane en Aubrac. CPPARM /Association Gentiana Lutea*. Mission pour la Gestion durable de la ressource Gentiane dans le Massif central.

Delassus L., 2015. *Document technique : Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques, outils et méthodes*. Conservatoire botanique national de Brest, Brest.

France 3, 2017. *Dans les Pyrénées, les randonneurs appelés à recenser la gentiane jaune*.

Vidéo : <http://france3-regions.francetvinfo.fr/occitanie/hautes-pyrenees/tarbes/pyrenees-randonneurs-appelles-recenser-gentiane-jaune-1305013.html>

Galambosi B., 2006. *Demand and availability of Rhodiola rosea L. raw material*. Medicinal and Aromatic Plants, 223-236.

Galambosi B., Galambosi Z. & Slacanin I., 2007. *Comparison of natural and cultivated roseroot (Rhodiola rosea L.) roots in Finland*. Z. Arzn. Gew. Pfl. 12(3): 141-147.

Galambosi B., Galambosi Z., Uusitalo M. & Heinonen A., 2009. *Effects of plant sex on the biomass production and secondary metabolites in roseroot (Rhodiola rosea L.) from the aspect of cultivation*. Z. Arzn. Gew. Pfl. 14(3): 114–121.

Galambosi B., Galambosi Z., Hethelyi E., Szöke E., Volodin V., Poletaeva I., Iljina I., 2010. *Importance and quality of roseroot (Rhodiola rosea L.) growing in the European North*. Zeitschrift für Arznei- & Gewürzpflanzen. Vol.15, No.4, pp.160-169, ref.82.

Garcia J., Gire L., Cambecedes J., 2013. *Mise en place d'un dispositif de suivi de stations pyrénéennes de Gentiane jaune (Gentiana lutea L.)*. Syndicat mixte du Conservatoire botanique pyrénéen, Vallon de Salut, Bagnères de Bigorre.

Garreta R., Morisson B., Garcia J., Gire L., Cambecedes J., 2014. *La cueillette des plantes sauvages en Pyrénées, Phase 2 : analyse et valorisation, Récolter Gentiana lutea en Pyrénées, Monographie*. Syndicat mixte du Conservatoire botanique pyrénéen, Vallon de Salut, Bagnères de Bigorre.

Ghiorgita G., Hârtan M., Maftai D.-E., Nicuta D., 2011. *Some considerations regarding the In Vitro culture of Rhodiola rosea L.* Romanian Biotechnological Letters, Vol. 16, No. 1.

Guest H. J. & Allen G. A., 2014. *Geographical origins of North American Rhodiola (Crassulaceae) and phylogeography of the western roseroot, Rhodiola integrifolia*. Journal of Biogeography, 41, 1070–1080.

György Z., Szabó M., Bacharov D., Pedryc A., 2012. *Genetic Diversity Within and Among Populations of Roseroot (Rhodiola rosea L.) Based on Molecular Markers*. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici, 40(2): 266-273.

György Z., Vouillamoz J., Höhn M., 2016. *Microsatellite markers reveal common East Alpine–Carpathian gene pool for the arctic–alpine Rhodiola rosea (Crassulaceae)*. Plant Systematics and Evolution.

Husson F., 2016a. *Data analysis methods summary*.

Vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=aiqGyLGrQ48>

Husson F., 2016b. *Cours d'Analyse Factorielle Multiple (cours complet)*.

Vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=wCTaFaVKGAM>

Husson F., 2016c. *Analyse Factorielle Multiple (AFM) avec FactoMineR*.

Vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=miCPrUe7Yq8&list=PLnZgp6epRBbTmdHTMNm70S8b2lxW6LynP&index=5>

Ishaque S., Shamseer L., Bukutu C. & Vohra S., 2012. *Rhodiola rosea for physical and mental fatigue: a systematic review*. Complementary and Alternative Medicine, 12:70.

Kelly G. S., 2001. *Rhodiola rosea: A Possible Plant Adaptogen*. Alternative Medicine Review. Volume 6, Number 3.

Khanum F., Singh Bawa A., & Singh B., 2005. *Rhodiola rosea: A Versatile Adaptogen*. Comprehensive reviews in food science and food safety. Vol. 4.

Kucinskaitė A., Poblocka-Olech L., Krauze-Baranowska M., Sznitowska M., Savickas A., Briedis V., 2007. *Evaluation of biologically active compounds in roots and rhizomes of Rhodiola rosea L. cultivated in Lithuania*. Eksperimentinis tyrimas. Medicina (Kaunas) : 43(6).

Lê, S., Josse, J. & Husson, F. (2008). *FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis*. Journal of Statistical Software. 25(1). pp. 1-18.

Marchev A. S., Dinkova-Kostova A. T., György Z., Mirmazloum I., Aneva I. Y., Georgiev M. I., 2016. *Rhodiola rosea L.: from golden root to green cell factories*. Phytochem Review.

Platikanov S. & Evstatieva L., 2008. *Introduction of wild Golden Root (Rhodiola rosea L.) as a potential economic crop in Bulgaria*. Economic Botany, The New York Botanical Garden Press, 62(4), 2008, pp. 621–627.

Richards A. J., 1988. *Male predominant sex ratios in Holly (Ilex aquifolium L., Aquifoliaceae) and Roseroot (Rhodiola rosea L., Crassulaceae)*. Watsonia, 17, 53-57.

Saule M., 1991. *La grande flore illustrée des Pyrénées*. Editions Milan, Toulouse. 765p.

Shevtsov V. A., Zholus B. I., Shervarly V. I., Vol'skij V. B., Korovin Y. P., Khristich M. P., Roslyakova N. A., and Wikman G., 2003. *A randomized trial of two different doses of a SHR-5 Rhodiola rosea extract versus placebo and control of capacity for mental work*. Phytomedicine 10: 95–105.

Spasov A. A., Wikman G. K., Mandrikov V. B., Mironova A., Neumoin V. V., 2000. *A double-blind, placebo-controlled pilot study of the stimulating and adaptogenic effect of Rhodiola rosea SHR-5 extract on the fatigue of students caused by stress during an examination period with a repeated low-dose regimen*. Phytomedicine, Vol. 7(2), pp. 85-89.

Tela Botanica, sources :

Gentiana lutea, Fiche de synthèse : <http://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-75778-synthese>

Gentiana lutea, réglementation : <http://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-75778-statut>

Rhodiola rosea, Fiche de synthèse : <http://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-56018-synthese>

Rhodiola rosea, réglementation : <http://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-56018-statut>

7. Annexes

N° de relevé : Date :/...../2017 Observateurs :

 Conservatoire Botanique National PYRÉNÉES ET MIDI-PYRÉNÉES	 Value PAM	FICHE DE RELEVÉ GENTIANE Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées SUDOE - VALUEPAM	 Interreg Sudoe European Regional Development Fund
--	---	--	---

Lieu-dit : Commune :
 Dépt. : Coordonnées GPS (WGS 84) : Lat. : Long. :
 Altitude : mètres Précision (mètres) : N° Waypoints GPS :
 Orientation versant : N° orthophotographie (1/5000^{ème}) :

Topographie : ☐ plat ☐ pentu ☐ fond de vallon ☐ bas de versant ☐ mi-versant ☐ haut de versant
☐ dépression ☐ replat ☐ talus ☐ escarpement ☐ sommet
Pente (°) :
Luminosité : ☐ pleine lumière ☐ mi-ombre ☐ ombre **Humidité** : ☐ hygrophile ☐ mésophile ☐ xérophile
Commentaires :

Surface recouverte : m²
 Taux de recouvrement moyen : % Classe (1 : <5% ; 2 : 5-25% ; 3 : 25-50% ; 4 : 50-75% ; 5 : 75-100%) :
 Nombre de transects : Répartition des transects :

Transect n° 1 : Longueur : 20 m Largeur : 2 m Surface : 40 m² N° Waypoint GPS :

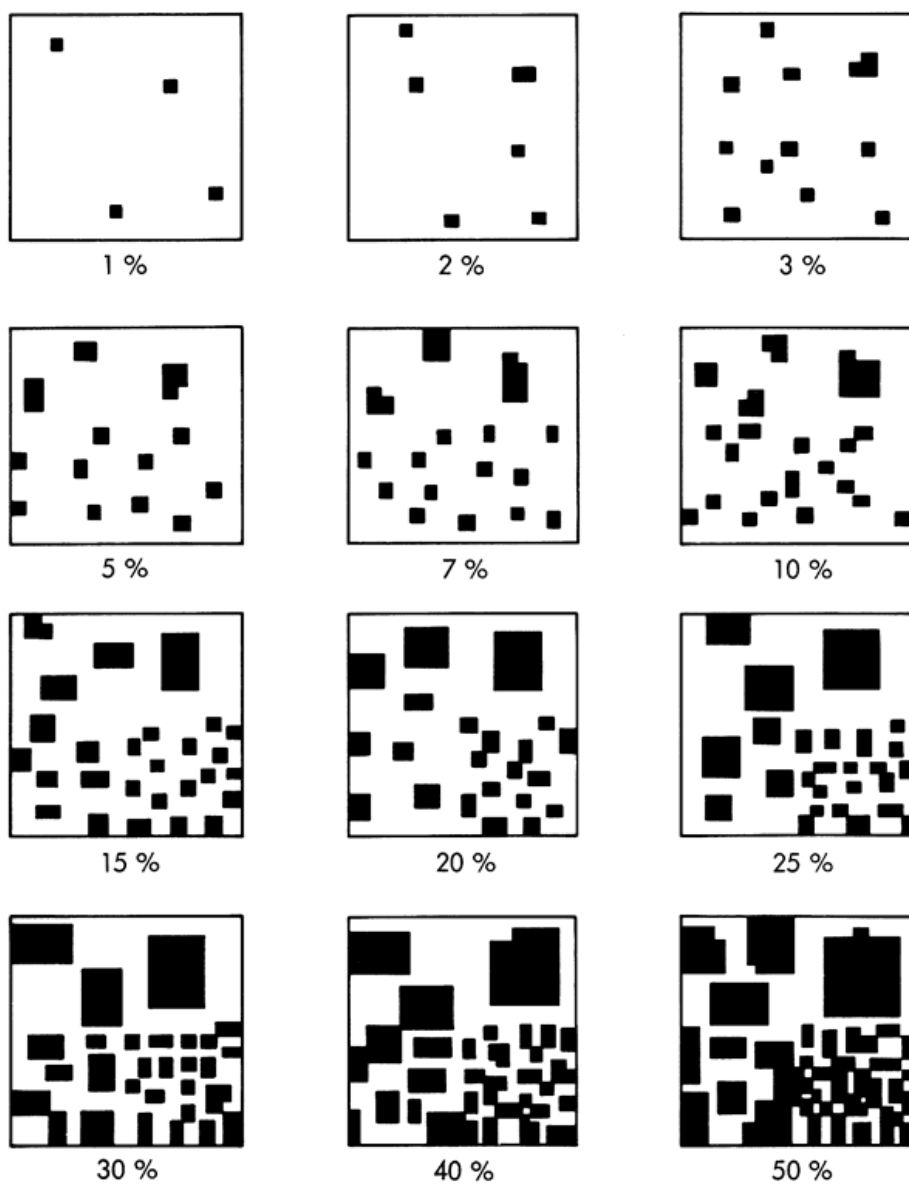
Nombre de touffes	F			Nombre d'individus	f		
	D				d		
	C				c		
	B				b		
	A				a		

Commentaires :

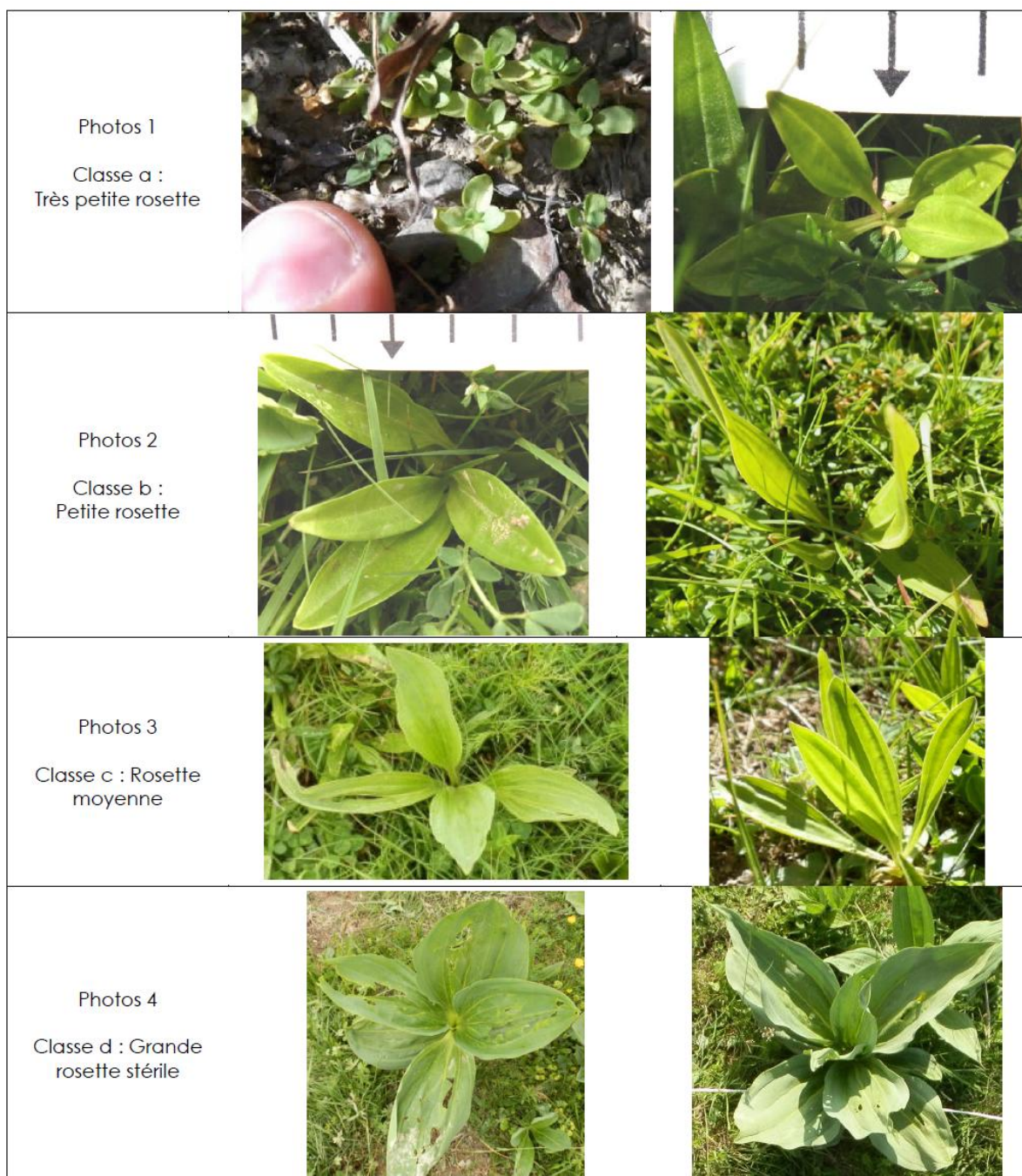
Transect n° 2 : Longueur : 20 m Largeur : 2 m Surface : 40 m² N° Waypoint GPS :

Nombre de touffes	F			Nombre d'individus	f		
	D				d		
	C				c		
	B				b		
	A				a		

Commentaires :



*Annexe 2 : Exemple de mosaïques utilisées pour estimer les taux de recouvrement de *Gentiana lutea*
(issu de Agence de Services et de Paiement, 2015)*



Annexe 3 : Photographies des différentes classes de pieds isolés de *Gentiana lutea* (Issu de Garcia et al. 2013)

Photos 5 Classe f : Rosette fertile		
Photos 6 Classes A, B, C ou D : Touffe de rosettes stériles		
Photos 7 Classe F : Touffe de rosettes dont une au moins est fertile		
Photos 8 Classe R : Repousse de rosettes		

Annexe 4 : Photographies des différentes classes de touffes de *Gentiana lutea* (Issu de Garcia et al. 2013)

8. Portfolio



Photo 1 : Gentiane - Col de Pradel (09)



Photo 2 : Gentiane - Col de Pradel (09)



Photo 3 : Gentiane - Col de Chioula (09)

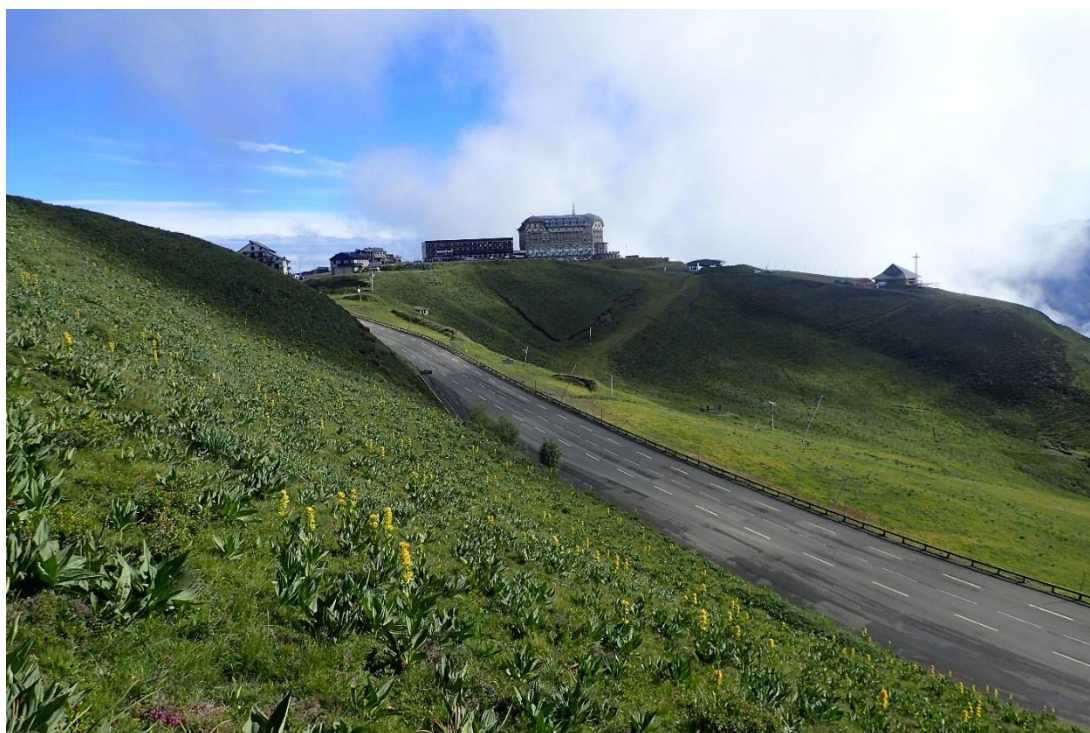


Photo 4 : Gentiane - Superbagnères (31)



Photo 5 : Gentiane - Superbagnères (31)



Photo 6 : Gentiane - Superbagnères (31)



Photo 7 : Gentiane - Superbagnères (31)



Photo 8 : Gentiane - Publicité ancienne



Photo 9 : Gentiane - Col de Pailhères (09)



Photo 10 : Gentiane - Col de Pailhères (09)



Photo 11 : Gentiane - Pla de sept cases (09)



Photo 12 : Gentiane - récolte au Campsaure (31)



Photo 13 : Rhodiola - tige non fleurie



Photo 14 : Rhodiola - Pied femelle en fruit au début de la saison



Photo 15 : Rhodiola - (09)



Photo 16 : Rhodiola - pied femelle en fruit



Photo 17 : Rhodiola - pied femelle et racines apparentes



Photo 18 : Rhodiola - pied mâle



Photo 19 : Rhodiola - fleur sur pied mâle en début de saison



Photo 20 : Rhodiola – fleur sur pied mâle en fin de saison



Photo 21 : Rhodiola – Pied femelle en fruit à la mi-saison



Photo 22 : Rhodiola - Pied femelle de la saison passée



Photo 23 : Rhodiola – mégaphorbiaie, (65)



Photo 24 : Rhodiola - ligne sur éboulis, (65)



Photo 25 : Rhodiola - jeunes pousses sur rocher en bord de torrent



Photo 26 : Rhodiola - berge de torrent, (09)



Photo 27 : Rhodiola - pieds accrochés à la falaise

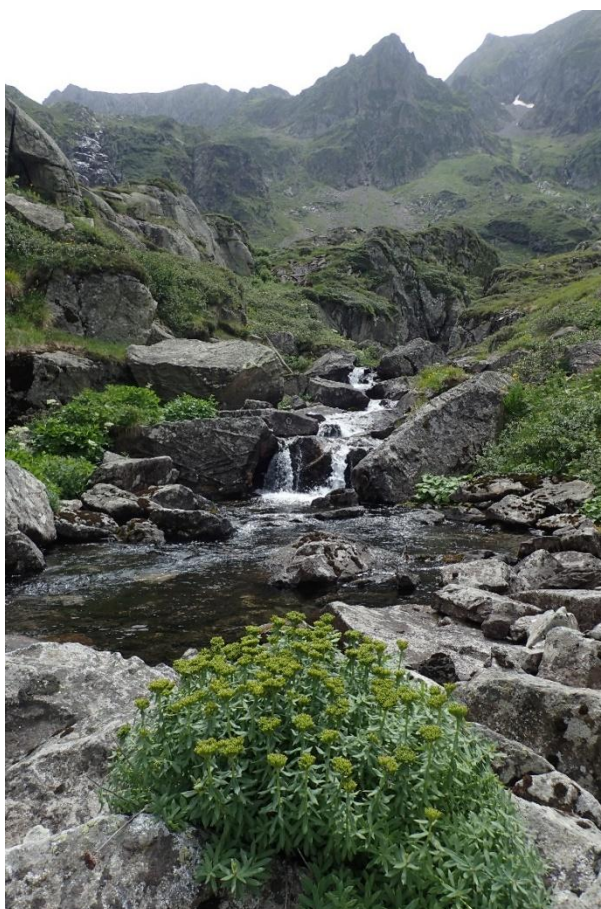


Photo 28 : Rhodiola - pied sur rocher au milieu du torrent

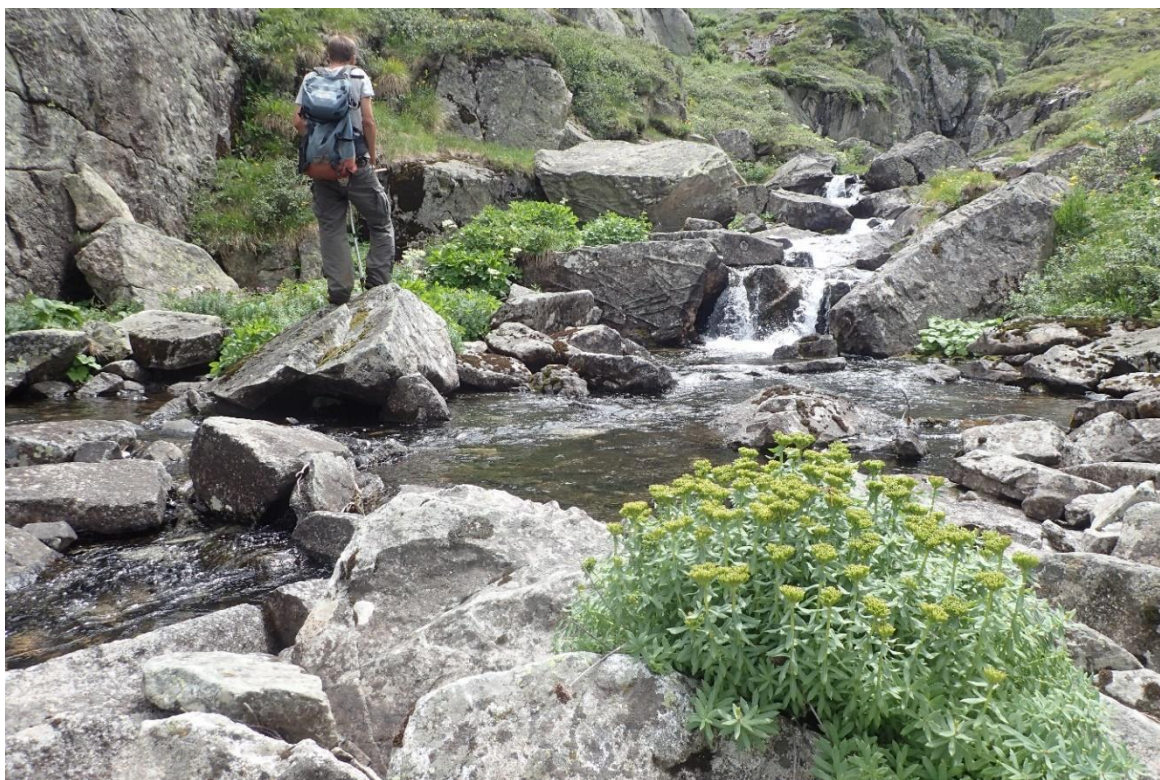
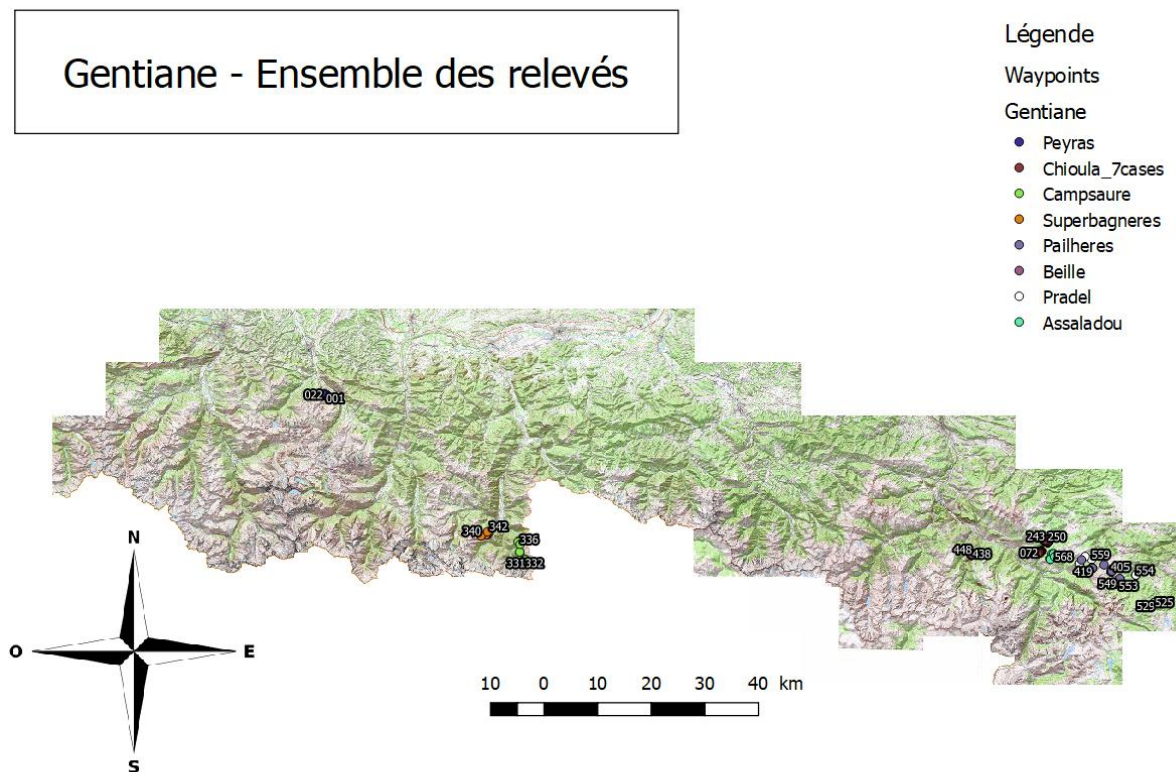


Photo 29 : Rhodiola - pied sur rocher au milieu du torrent

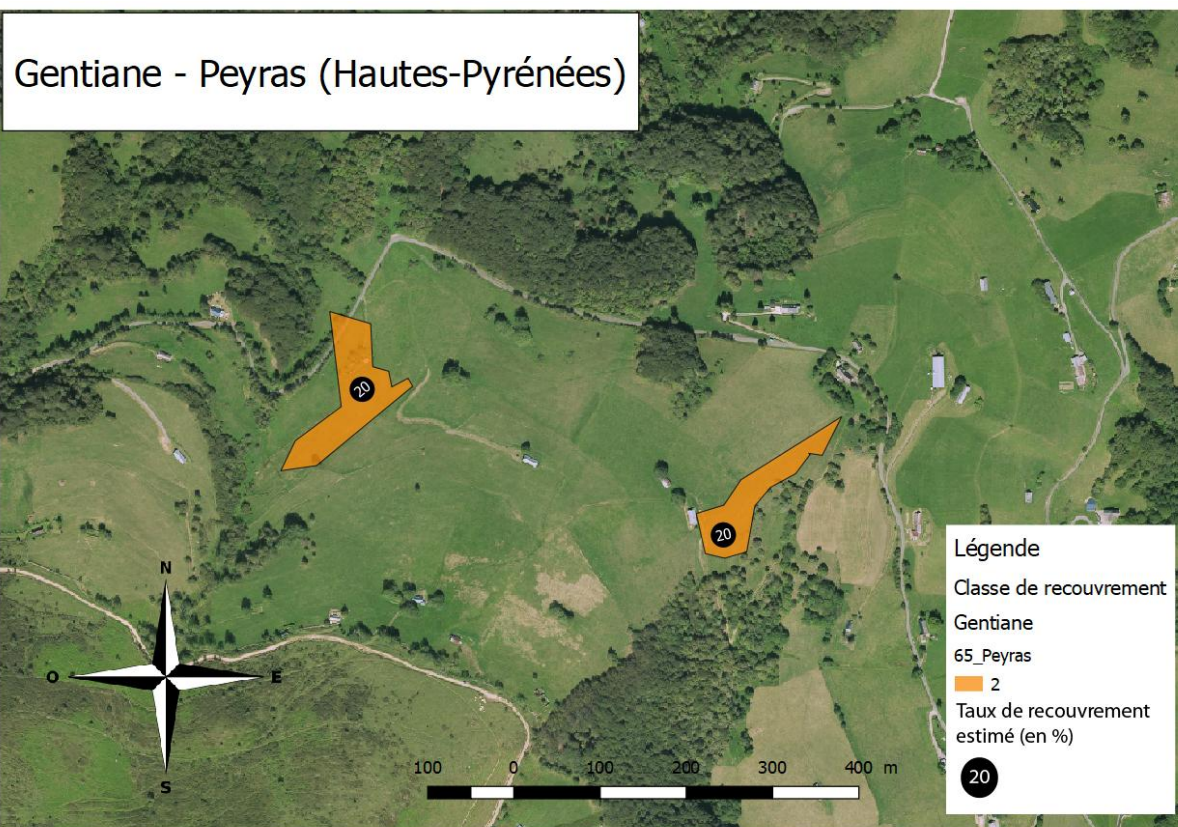


Photo 30 : Rhodiola - rhizomes et racines

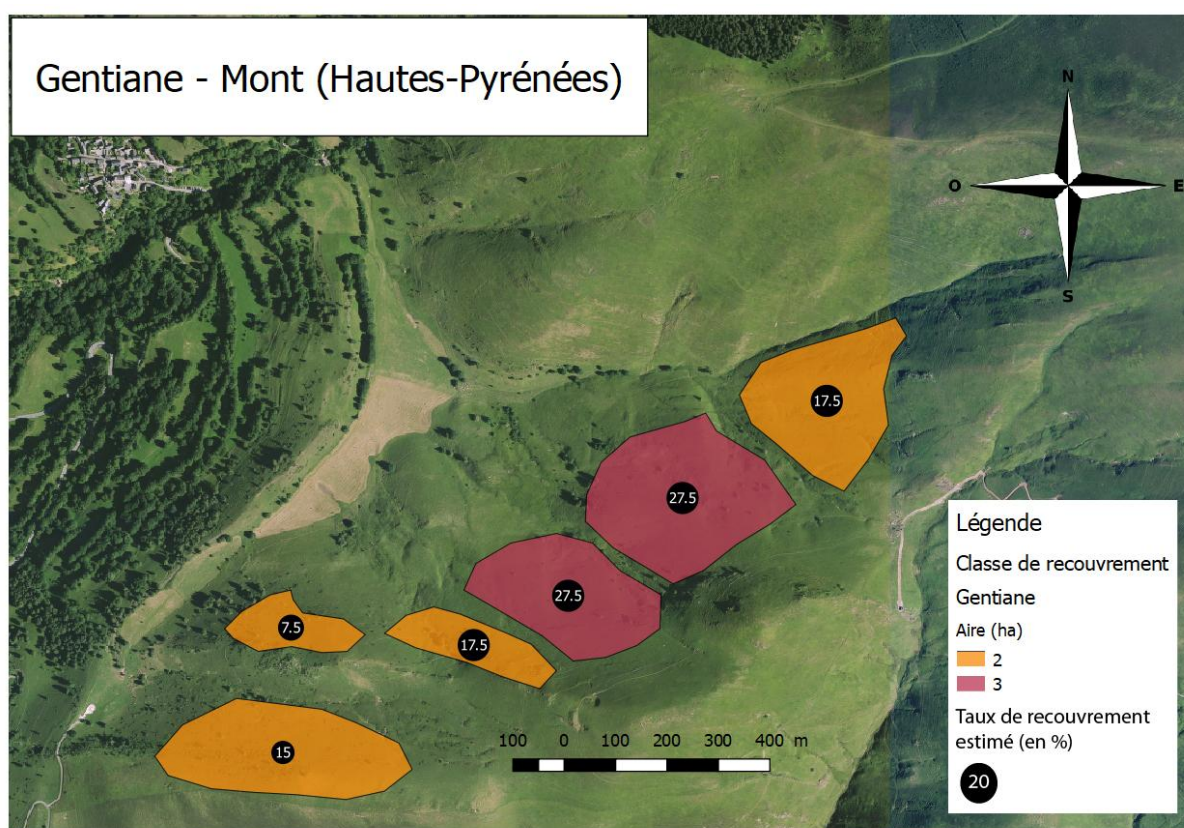
Carte 1 : Rhodiola - Ensemble des relevés



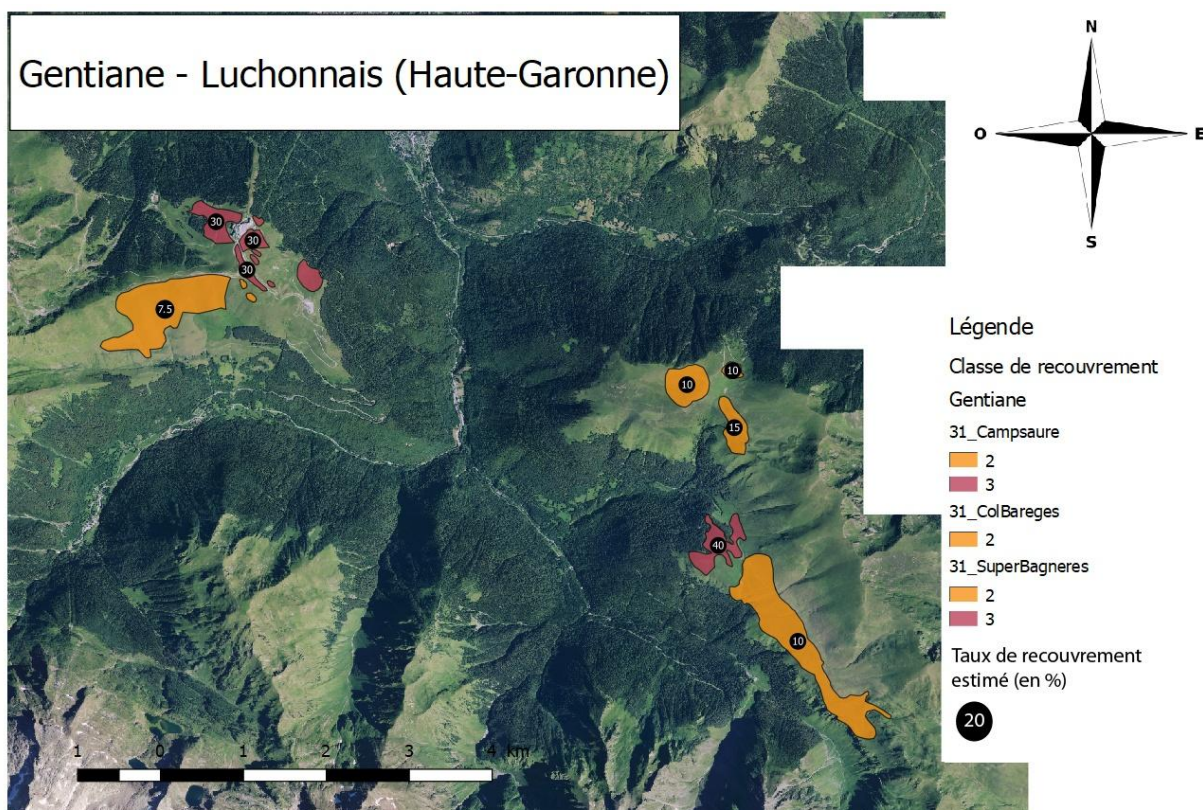
Carte 2 : Gentiane -Ensemble des relevés



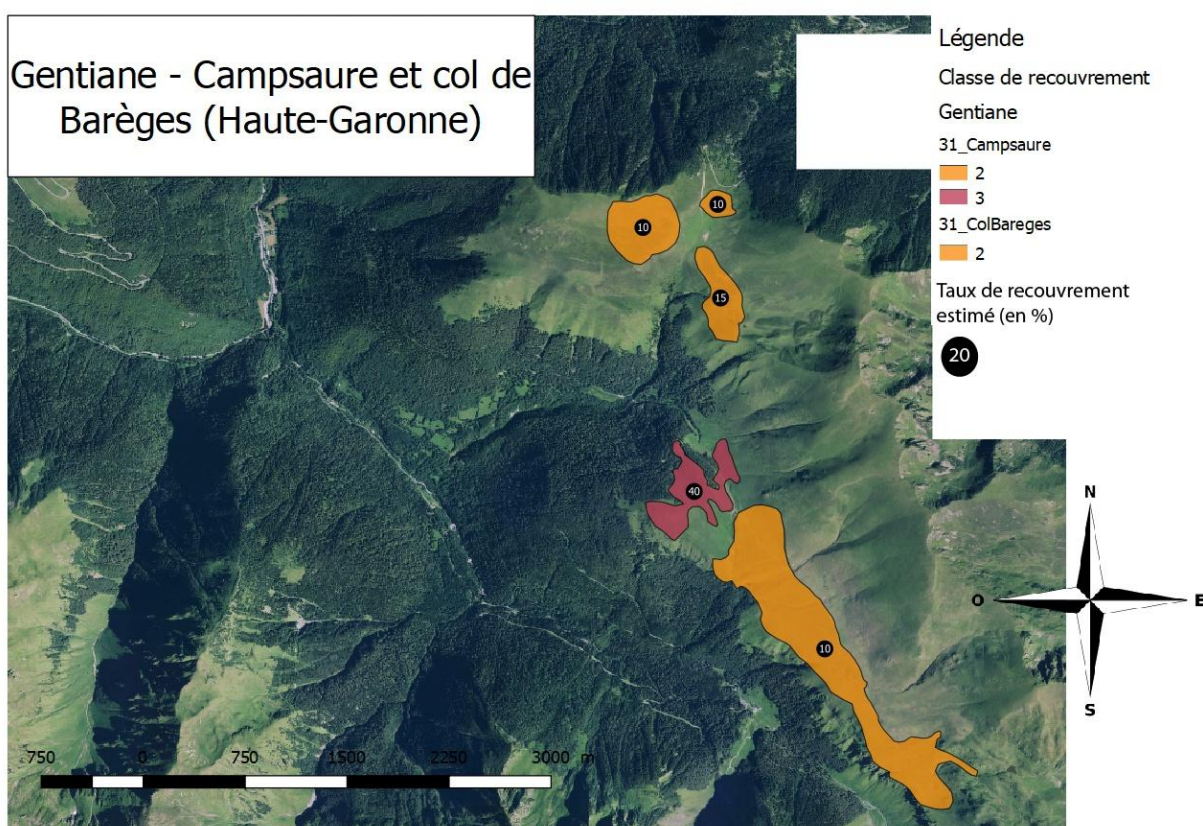
Carte 3 : Gentiane - Peyras (65)



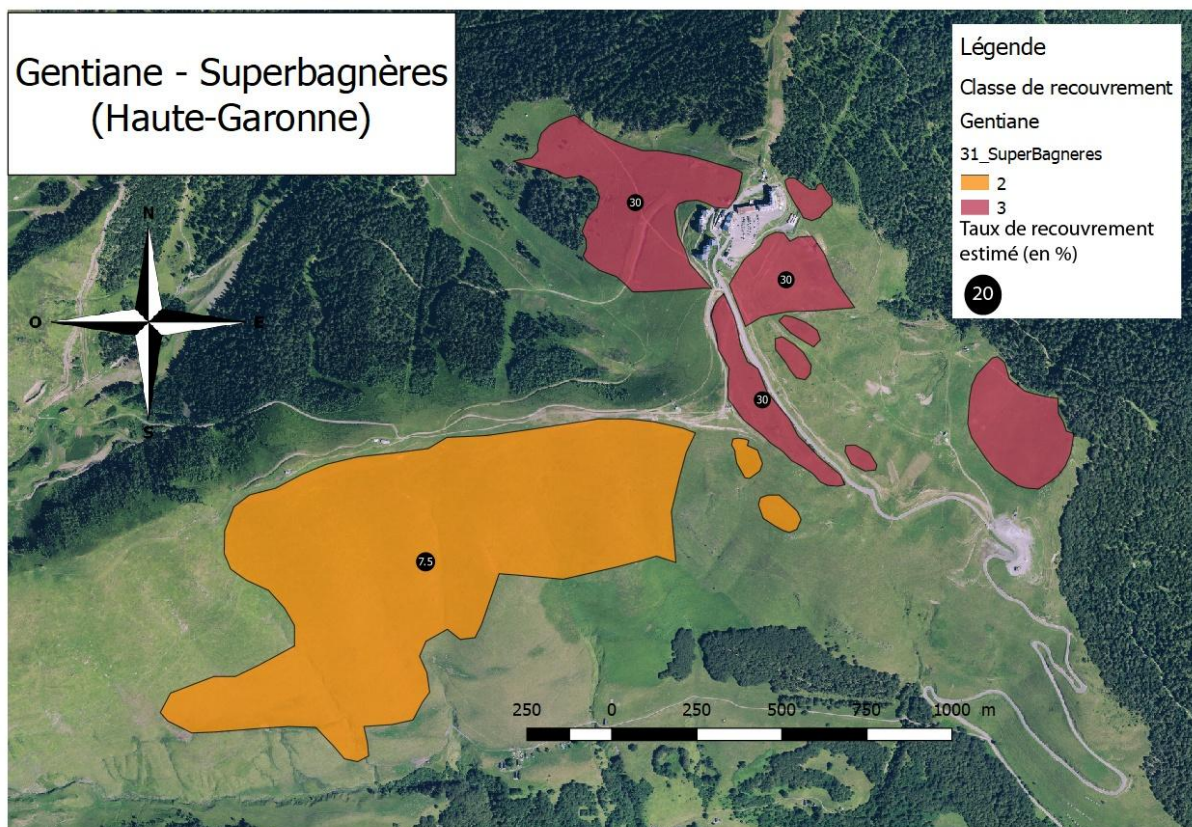
Carte 4 : Gentiane - Mont (65)



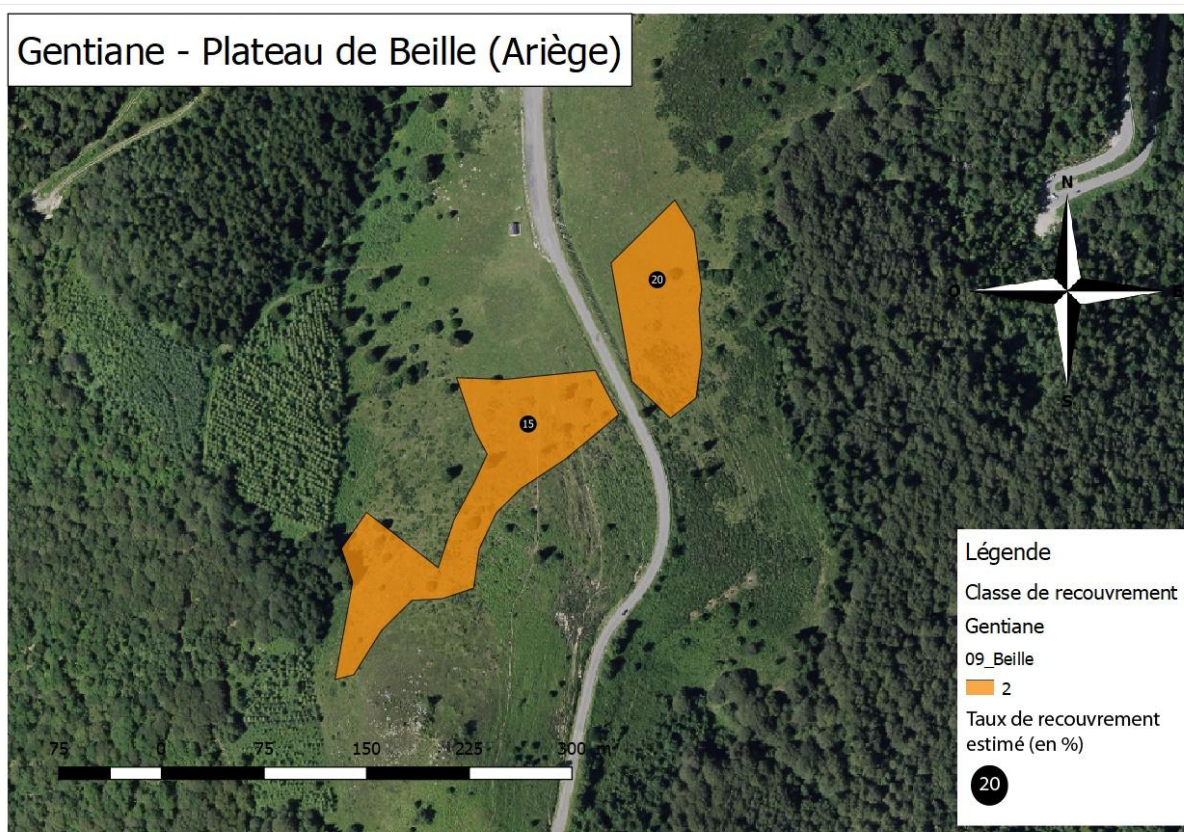
Carte 5 : Gentiane - Luchonnais (31)



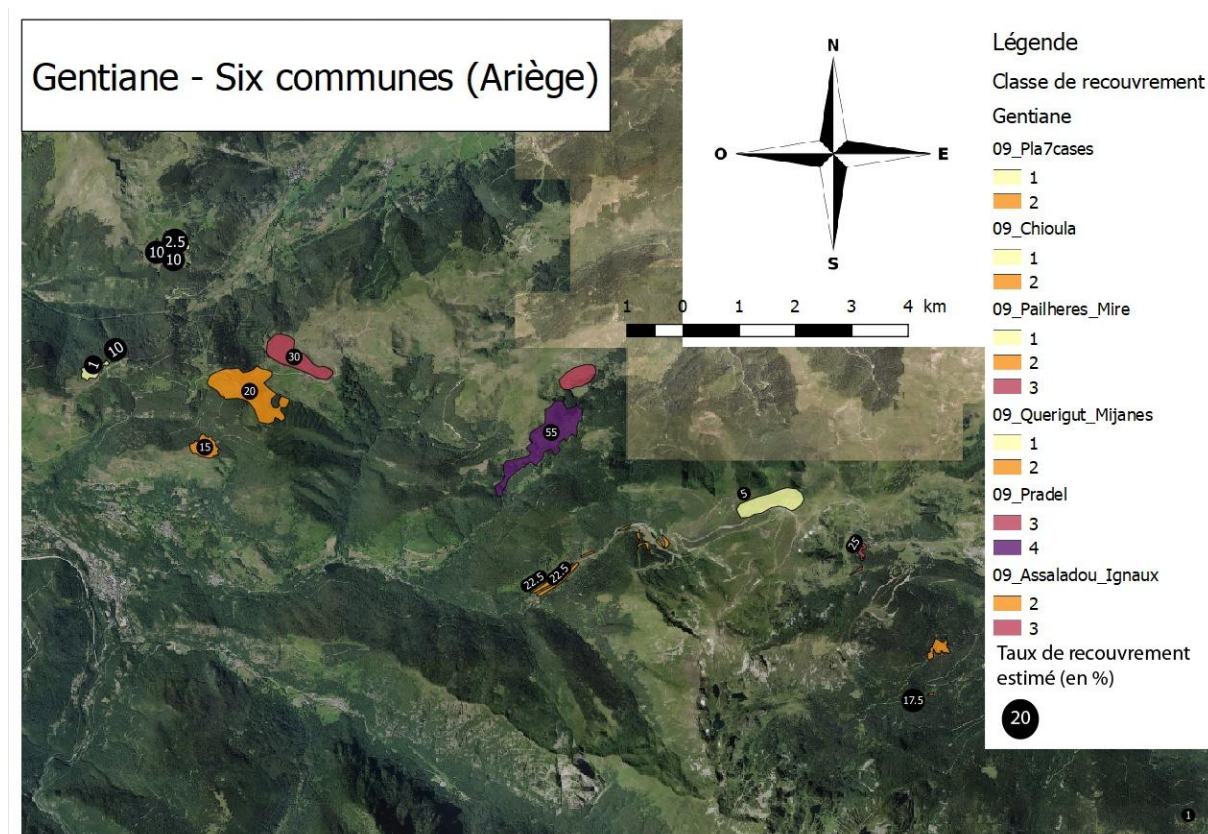
Carte 6 : Gentiane - Campsaure et col de Barèges (31)



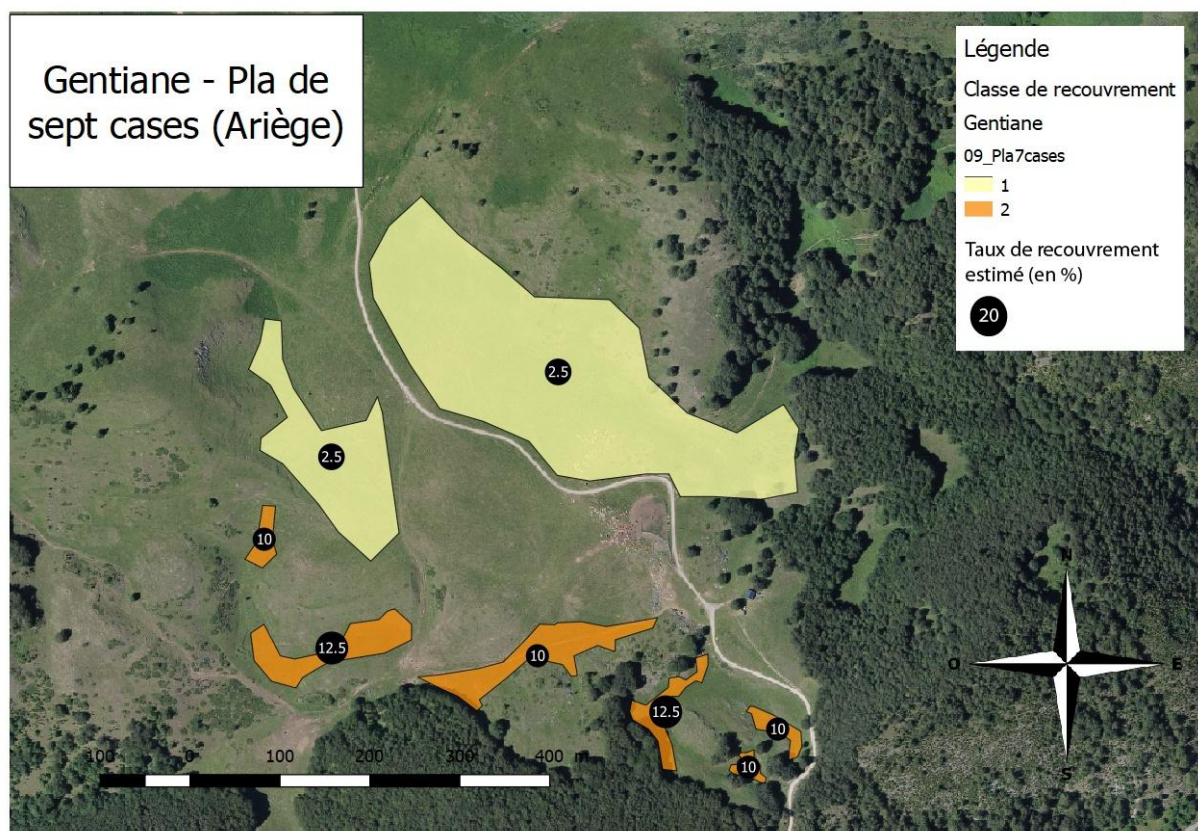
Carte 7 : Gentiane - Superbagnères (31)



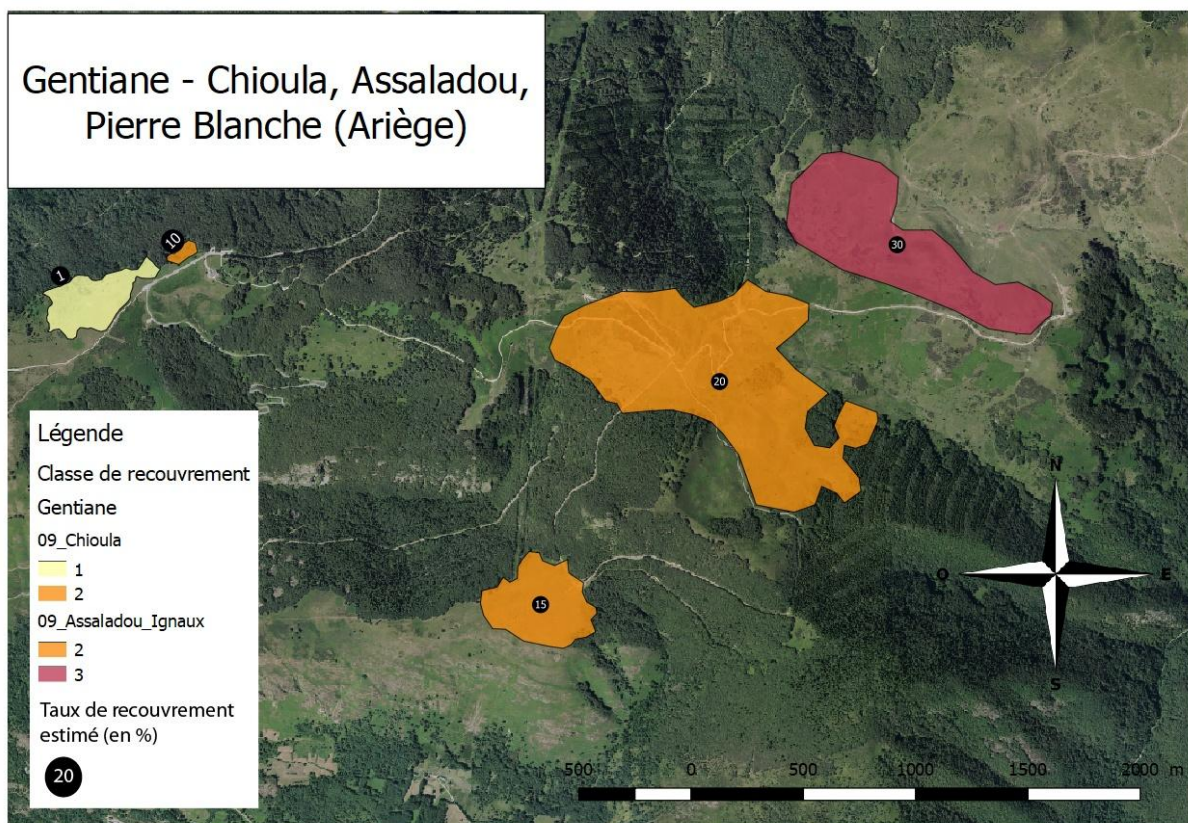
Carte 8 : Gentiane - Plateau de Beille (09)



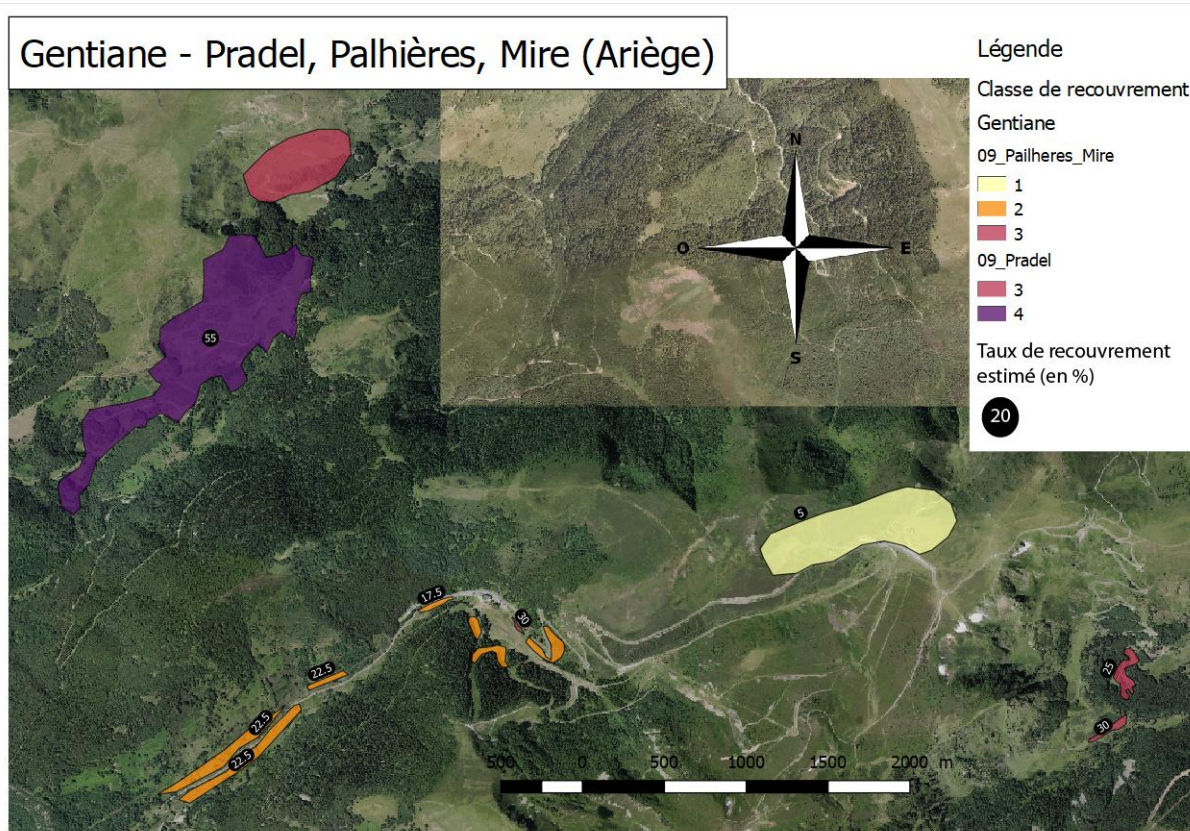
Carte 9 : Gentiane - Six communes (09)



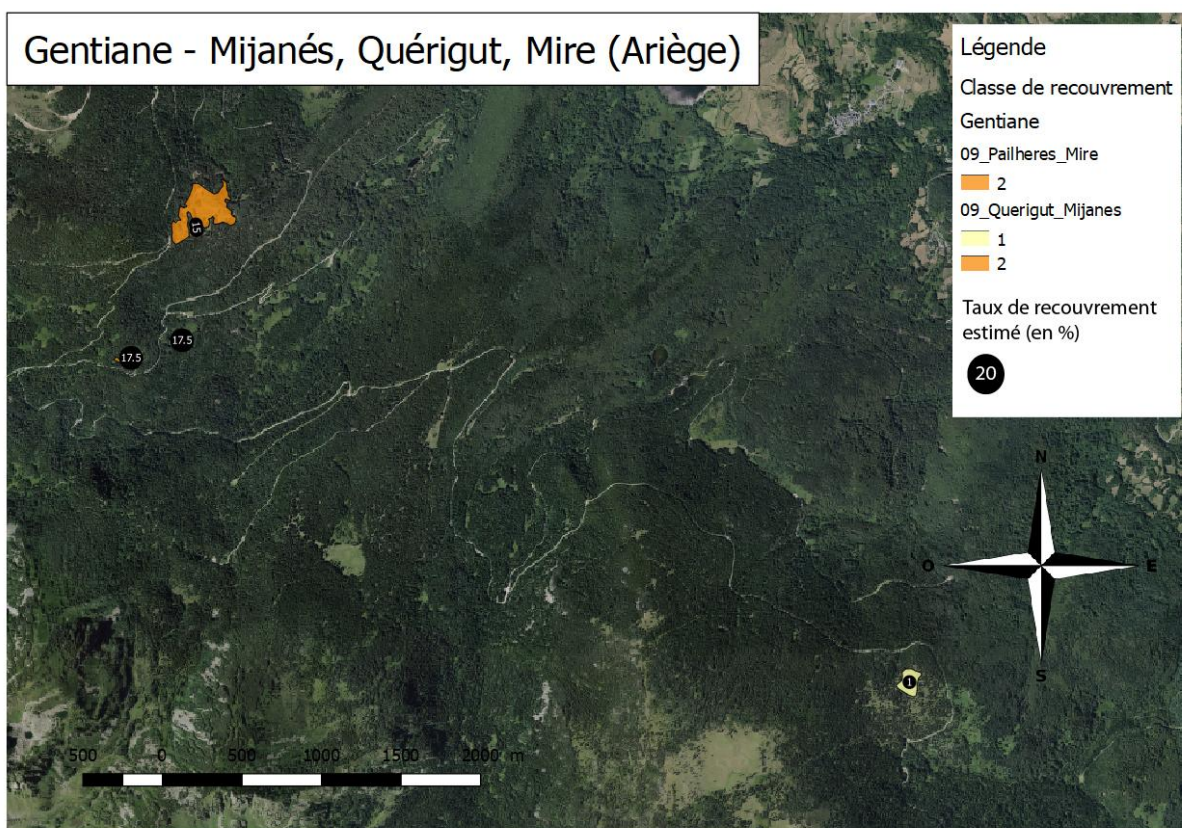
Carte 10 : Gentiane - Pla de sept cases (09)



Carte 11 : Gentiane - Chioula, Assaladou, Pierre Blanche (09)



Carte 12 : Gentiane - Pradel, Pailhères, Mire (09)



Carte 13 : Gentiane - Mijanés, Quérigut, Mire (09)

Liste des figures :

Figure 1 : Pieds de <i>Gentiana lutea</i> au col de Chioula, Ariège	5
Figure 2 : Moyennes et médianes des diamètres de <i>Gentiana lutea</i> par classes	12
Figure 3 : Taux de recouvrement de <i>Gentiana lutea</i> estimés sur le terrain et calculés sans pondération	13
Figure 4 : Relations entre les taux de recouvrement de <i>Gentiana lutea</i>	13
Figure 5 : Relations entre les taux de recouvrement de <i>Gentiana lutea</i> estimés sur le terrain et calculés avec pondération.....	14
Figure 6 : Relations entre les taux de recouvrement de <i>Gentiana lutea</i>	14
Figure 7 : Graphique de représentation des groupes de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	18
Figure 8 : Graphique des individus de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	20
Figure 9 : Graphique des 25 individus les plus contributeurs aux dimensions de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	21
Figure 10 : Cercle de corrélation de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	22
Figure 11 : Graphique des variables qualitatives illustratives et des individus.....	25
Figure 12 : Pieds mâles de <i>Rhodiola rosea</i> (crédits photo : R.David).....	28
Figure 13 : Pied femelle de <i>Rhodiola rosea</i> (crédits photo : R.David).....	29
Figure 14: Graphique de représentation des groupes de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i> en fonction des dimensions 1 et 2	37
Figure 15 : Graphique de représentation des groupes de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i> en fonction des dimensions 3 et 2	38
Figure 16 : Graphique des individus projetés sur les dimensions 1 et 2 de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i> ..	40

Figure 17 : Graphique des individus projetés sur les dimensions 3 et 2 de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i> ..	41
Figure 18 : Cercle de corrélation des dimensions 1 et 2 de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i>	42
Figure 19 : Cercle de corrélation des dimensions 3 et 2 de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i>	43
Figure 20 : Graphique des variables qualitatives illustratives et des individus.....	45
Figure 21 : Graphique de synthèse de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	48
Figure 22 : Classification Ascendante hiérarchique des résultats de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	49
Figure 23 : Graphique de synthèse des résultats de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i> pour les dimensions 1 et 2	52
Figure 24 : Graphique de synthèse des résultats de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i> pour les dimensions 3 et 2	52
Figure 25 : Classification Ascendante hiérarchique des résultats de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i>	53

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Effectifs des différentes classes de <i>Gentiana lutea</i>	11
Tableau 2 : Taux de recouvrements de <i>Gentiana lutea</i> estimés sur le terrain et calculés avec pondération pour l'ensemble des relevés.....	14
Tableau 3 : Choix des groupes de variables quantitatives et qualitatives,	16
Tableau 4 : Jeu de données de <i>Gentiana lutea</i> mis en forme pour l'AFM	17
Tableau 5 : Pourcentages de variance pour les dimensions de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	17
Tableau 6 : Contributions des groupes actifs aux dimensions de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	17
Tableau 7 : Projections des groupes illustratifs sur les dimensions de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	19
Tableau 8 : Projections et contributions des individus sur les dimensions de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	19
Tableau 9 : Projections et contributions des variables quantitatives actives de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	22
Tableau 10 : Projections des variables quantitatives illustratives sur les dimensions de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	23
Tableau 11 : Projection des variables qualitatives illustratives sur les dimensions de l'AFM de <i>Gentiana lutea</i>	23
Tableau 12 : Effectifs des classes de diamètres des pieds de <i>Rhodiola rosea</i> pour chaque relevé	33
Tableau 13 : Effectifs des classes de nombre de tiges par pied de <i>Rhodiola rosea</i> pour chaque relevé	33
Tableau 14 : Effectifs des sexes des pieds de <i>Rhodiola rosea</i> pour chaque relevé	34
Tableau 15 : Surface, nombre total de plantes et de tiges, densité de pieds pour chaque relevé de <i>Rhodiola rosea</i>	34
Tableau 16 : Choix des groupes de variables quantitatives et qualitatives,	35
Tableau 17 : Jeu de données de <i>Rhodiola rosea</i> mis en forme pour l'AFM	36
Tableau 18 : Pourcentages de variance pour les dimensions de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i>	36
Tableau 19 : Contributions des groupes actifs aux dimensions de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i>	36
Tableau 20 : Projections des groupes illustratifs sur les dimensions de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i>	38
Tableau 21 : Projections et contributions des individus sur les dimensions de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i>	39
Tableau 22 : Projections et contributions des variables quantitatives actives de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i>	42
Tableau 23 : Projections des variables quantitatives illustratives sur les dimensions de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i>	43
Tableau 24 : Projection des variables qualitatives illustratives sur les dimensions de l'AFM de <i>Rhodiola rosea</i>	44

Liste des annexes :

Annexe 1 : Fiche de relevé « Gentiane »	60
Annexe 2 : Exemple de mosaïques utilisées pour estimer les taux de recouvrement de <i>Gentiana lutea</i>	61
Annexe 3 : Photographies des différentes classes de pieds isolés de <i>Gentiana lutea</i> (Issu de Garcia et al. 2013).....	62
Annexe 4 : Photographies des différentes classes de touffes de <i>Gentiana lutea</i> (Issu de Garcia et al. 2013).....	63

Liste des Photographies :

Photo 1 : Gentiane - Col de Pradel (09).....	64
Photo 2 : Gentiane - Col de Pradel (09).....	64
Photo 3 : Gentiane - Col de Chioula (09).....	65
Photo 4 : Gentiane - Superbagnères (31).....	65
Photo 5 : Gentiane - Superbagnères (31).....	66
Photo 6 : Gentiane - Superbagnères (31).....	66
Photo 7 : Gentiane - Superbagnères (31).....	67
Photo 8 : Gentiane - Publicité ancienne	67
Photo 9 : Gentiane - Col de Pailhères (09)	68
Photo 10 : Gentiane - Col de Pailhères (09)	68
Photo 11 : Gentiane - Pla de sept cases (09).....	69
Photo 12 : Gentiane - récolte au Campsaure (31).....	69
Photo 13 : Rhodiola - tige non fleurie	70
Photo 14 : Rhodiola - Pied femelle en fruit au début de la saison	70
Photo 15 : Rhodiola - (09).....	71
Photo 16 : Rhodiola - pied femelle en fruit	71
Photo 17 : Rhodiola - pied femelle et racines apparentes	72
Photo 18 : Rhodiola - pied mâle	72
Photo 19 : Rhodiola - fleur sur pied mâle en début de saison	73
Photo 20 : Rhodiola – fleur sur pied mâle en fin de saison.....	73
Photo 21 : Rhodiola – Pied femelle en fruit à la mi-saison	74
Photo 22 : Rhodiola - Pied femelle de la saison passée	74
Photo 23 : Rhodiola – mégaphorbiaie, (65).....	75
Photo 24 : Rhodiola - ligne sur éboulis, (65)	75
Photo 25 : Rhodiola - jeunes pousses sur rocher en bord de torrent	76
Photo 26 : Rhodiola - berge de torrent, (09).....	76
Photo 27 : Rhodiola - pieds accrochés à la falaise.....	77
Photo 28 : Rhodiola - pied sur rocher au milieu du torrent	77
Photo 29 : Rhodiola - pied sur rocher au milieu du torrent	78
Photo 30 : Rhodiola - rhizomes et racines.....	78

Liste des cartes

Carte 1 : Rhodiola - Lac Bleu (65)	Erreur ! Signet non défini.
Carte 2 : Rhodiola - Arbizon (65)	Erreur ! Signet non défini.
Carte 3 : Rhodiola - Peyrelade (09).....	Erreur ! Signet non défini.
Carte 4 : Rhodiola - Areng (65)	Erreur ! Signet non défini.
Carte 5 : Rhodiola - Lac Vert (31).....	Erreur ! Signet non défini.
Carte 6 : Rhodiola - Lac d'Espingo (31)	Erreur ! Signet non défini.
Carte 7 : Rhodiola - Etangs de la Frèche (31)	Erreur ! Signet non défini.
Carte 8 : Rhodiola - Mont-Ceint (09)	Erreur ! Signet non défini.
Carte 9 : Rhodiola - Etang de Peyregrand (09)	Erreur ! Signet non défini.
Carte 10 : Rhodiola - Lac d'Ayes (09)	Erreur ! Signet non défini.
Carte 11 : Rhodiola - Vallée du Riberot (09).....	Erreur ! Signet non défini.
Carte 12 : Rhodiola - Etang de la Piède (09)	Erreur ! Signet non défini.
Carte 13 : Rhodiola - Vallée du Siscar (09)	Erreur ! Signet non défini.
Carte 14 : Rhodiola - Ensemble des relevés	79
Carte 15 : Gentiane -Ensemble des relevés.....	79
Carte 16 : Gentiane - Peyras (65)	80
Carte 17 : Gentiane - Mont (65)	80
Carte 18 : Gentiane - Luchonnais (31)	81
Carte 19 : Gentiane - Campsaure et col de Barèges (31)	81
Carte 20 : Gentiane - Superbagnères (31).....	82
Carte 21 : Gentiane - Plateau de Beille (09)	82
Carte 22 : Gentiane - Six communes (09).....	83
Carte 23 : Gentiane - Pla de sept cases (09).....	83
Carte 24 : Gentiane - Chioula, Assaladou, Pierre Blanche (09)	84
Carte 25 : Gentiane - Pradel, Pailhères, Mire (09)	84
Carte 26 : Gentiane - Mijanés, Quérigut, Mire (09)	85