

Analyse des pressions pastorales sur les pelouses à nard

Rapport de stage au Parc des Ecrins
encadré par Cédric Dentant
présenté par Alexandre Hallez

Master : Sciences et Technologie
Mention : Sciences de l'Environnement Appliquées à la Montagne
Mai 2021



Remerciements

Je tiens à remercier Cédric Dentant qui au-delà des conditions simples du stage, m'a offert une vision holistique de son métier au travers de discussions enrichissantes et le partage de son réseau d'acteur. Malgré les conditions de stage difficiles en distanciel et un emploi du temps chargé, Cédric a toujours pris le temps de répondre à mes questionnements.

Je tiens également à remercier Jérôme Poulenard qui grâce à son réseau professionnel m'a permis l'obtention de ce stage qui a été formateur et a consolidé mes ambitions professionnelles.

Résumé

L'étude des conséquences du pâturage sur les domaines d'alpage est un domaine courant dans la littérature scientifique. Cette étude cherche à quantifier les effets du pâturage ovin sur les pelouses à nard d'un point de vue écologique et agronomique. L'étude a pour objectif de modéliser le comportement du nard en fonction de différentes modalités de pâturages : pression normale, biennale, temporaire et exclos. Dans un même temps l'étude cherche à qualifier l'évolution de la composition floristique en fonction des modalités de pâturage. Sur une période de minimum cinq années, il est prévu de relever la composition floristique la hauteur du nard (cm) et son recouvrement (%). Le présent travail ne porte que sur les deux premières campagnes de relevés. L'objet de ce rapport est de mettre en place une démarche d'analyse statistique et de mettre en valeur les premiers résultats, non définitifs, de l'étude. Le recouvrement ne montre pas de différences significatives entre les modalités. De plus, les modèles montrent qu'à ce jour, les modalités de pâturages ne conditionnent aucune des variables mesurées (recouvrement de nard ; hauteur de nard ; richesse spécifique ; indice de Pielou).

Table des matières

Remerciements.....	1
Résumé.....	1
Enjeux et objectifs de l'étude.....	3
Matériel et méthode	3
Site et protocole	3
Mesures	4
Analyses statistiques	5
Résultats.....	5
Recouvrement du nard	5
Hauteur du nard.....	7
Composition floristique.....	8
Discussion	11
Conclusion et ouverture	12
Bibliographie.....	13
Annexes.....	14
Histogrammes et distributions des variables réponses.....	14
Hauteur moyenne de nard par réplicat et année	16

Enjeux et objectifs de l'étude

Essayer de mesurer les effets du pâturage sur la biodiversité constitue un pan de la littérature scientifique sur le pastoralisme. Le pâturage détermine pour partie la diversité floristique. Certains travaux montrent que dans les pelouses où l'espèce dominante est à forte palatabilité, le pâturage contribue à augmenter la richesse spécifique ; l'inverse s'observant dans le cas d'espèces dominantes à faible palatabilité (Grant et al., 1985). De même le pâturage contribue à augmenter la biodiversité des pelouses à forte productivité (Marriott et al., 2009). Les mesures de gestion des alpages sont donc déterminantes dans le conditionnement de la biodiversité et de la qualité du fourrage. Chaque alpage est singulier et nécessite des mesures adéquates (Komac et al., 2014). Certaines espèces dominantes dans les alpages tel que *Nardus stricta*, *Patzkea paniculata*, *Fetusca nigrescens* et bien d'autres font l'objet d'une attention particulière des pastoralistes car elles conditionnent la physionomie et la productivité des alpages. Cette étude s'intéresse à *Nardus stricta*, une poacée largement présente dans les domaines d'alpages sur sols plutôt acides. Du fait de sa faible palatabilité, cette espèce présente un intérêt pastoral mineur. De plus, elle a tendance à se reproduire de manière végétative, formant d'imposantes touffes et une litière dense, diminuant en conséquence l'espace pour d'autres espèces. Grant et al. (1985) ont montré que le pâturage par les moutons et les chèvres favorise la domination de *Nardus stricta* et donc à une perte floristique et agronomique. D'autre part, les bovins en quantités égales d'unité grand bétail (UGB) ingèrent plus de nard que les moutons, ceci relevant du fait que les vaches possèdent une grande mâchoire et sont moins sélectives. Dans un même temps, la quantité de nard ingéré est inversement proportionnellement à la hauteur de leur graminée préférée : dans le cas où la graminée à forte palatabilité est haute, la quantité de nard ingérée sera faible. Dans la suite de ces études, Common et al. (1998) ont mis en évidence la contribution des vaches à diminuer le recouvrement de nard dans le cas où la végétation et le nard sont maintenus à une faible hauteur (4-5cm). Les conséquences sont que la communauté végétale s'enrichit. Sous la pression du pâturage, en 6 ans, le nard a régressé de 25 %, essentiellement durant les deux premières années.

L'enjeu de la présente étude est de déterminer les conséquences du pâturage des ovins sur les pelouses à nard. La porte d'entrée est double : agropastorale et écologique. Premièrement la connaissance de la réponse du nard au pâturage permettra d'orienter les mesures de gestion des troupeaux lors des estives et limiter voire réduire le développement du nard ; deuxièmement elle permettra de favoriser la biodiversité floristique et faunistique. Ce projet rentre dans le cadre du programme européen *LIFE Pastoralp*. Les projets *LIFE* financent des projets en relation avec l'environnement et le changement climatique. *Pastoralp* est né en 2016, il réunit des acteurs franco-italiens tels que le Parc national des Écrins ou l'Université de Florence. Il a pour objectif d'étudier les impacts du changement climatique sur les domaines d'alpages, considérés comme des milieux sentinelles du changement climatique.

Matériel et méthode

Site et protocole

Le protocole a été inspiré du document définissant le projet *Pastoralp* (action C6). Le site se situe dans les Hautes-Alpes sur la commune d'Orcières. La zone d'alpage est nommée « l'alpage de Rouannette ». Sur une partie de cet alpage a été mise en place, en 2019, une expérimentation avec 4 modalités de pâturage : (1) une pression dite normale (*témoin*) ; (2) pression biennale (*exclos biennal*) ; (3) pâturage une année sur deux (*exclos temporaire*), avec exclos temporaire où les bêtes n'y pâturent qu'une partie de l'estive ; et enfin (4) un exclos (*exclos*). La modalité biennale a été

pâturée en 2020. Pour chaque modalité 3 réplicats de 11x11m ont été mis en place (Deléglise et al., 2011). Chaque année, sur une période d'expérimentation de minimum 5 ans, 15 relevés aléatoires de 25x25cm par réplicat sont réalisés. Soit un total de 180 relevés par année. Les relevés s'effectuent durant le mois de juin, avant la montée en estive du troupeau. Toutes les espèces vasculaires sont inventoriées avec leur recouvrement en pourcentage. Pour chaque relevé, en plus de la couverture de nard, quatre paramètres ont été mesurés : la hauteur du nard, la hauteur totale de la végétation, la couverture totale de végétation et la couverture minérale en pourcentage. Les hauteurs sont mesurées selon le protocole standardisé de Larovel et al., (2010). Pour les relevés où la somme des recouvrements est accidentellement supérieure à 100 %, les recouvrements de toutes les espèces, exceptée celle du nard, ont été ajustés pour que la somme soit égale à 100 %.

Mesures

Quantification de la diversité floristique

La diversité floristique a été quantifiée par différentes métriques. Premièrement la richesse spécifique (nombre d'espèce) par relevé 25x25cm a été calculée et permet de donner un premier aperçu de la composition floristique à l'échelle des réplicats. Dans un second temps, les indices de Shannon (H') et de Pielou (J) ont été employés. L'indice de Shannon est une métrique comprise généralement entre 0 et 5 mais peut théoriquement être infinie. Cet indice, permet de quantifier la diversité d'un relevé floristique. L'indice tend vers 0 s'il y a dominance d'un pool d'espèce ; il tend vers l'infini si les recouvrements des espèces sont égaux.

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i * \log(p_i)$$

Équation 1 : Indice de Shannon, avec p_i l'abondance de l'espèce i , S le nombre total d'espèce, la base du log est non définie

Cela dit, la diversité floristique étant différente par relevés, l'indice de Shannon ne permet pas de comparaisons rigoureuses entre les relevés. Il se complète alors par l'indice de Pielou (J) qui est borné entre 0 et 1 et permet une comparaison plus appropriée des relevés. Il est défini comme le rapport de l'indice de Shannon sur la diversité maximale théorique.

$$J = \frac{H'}{H'_{max}} = \frac{H'}{\log(S)}$$

Équation 2 : Indice de Pielou, avec J l'indice de Pielou H' l'indice de Shannon et S le nombre d'espèce

Lorsque J tend vers 1, il traduit une distribution homogène de l'ensemble des espèces du relevé, et inversement. Il faut cependant rester vigilant car cet indice ne traduit pas la richesse spécifique. Par exemple dans le cas où seules trois espèces sont inventoriées à distributions égales, J sera égal à 1 alors que la diversité floristique sera faible. Les deux indices montrent une corrélation de 0.90 (p -value <0.001), par principe de parcimonie il a donc été choisi de ne présenter que l'indice de Pielou qui apporte une information supplémentaire stipulé dans sa définition.

Analyses statistiques

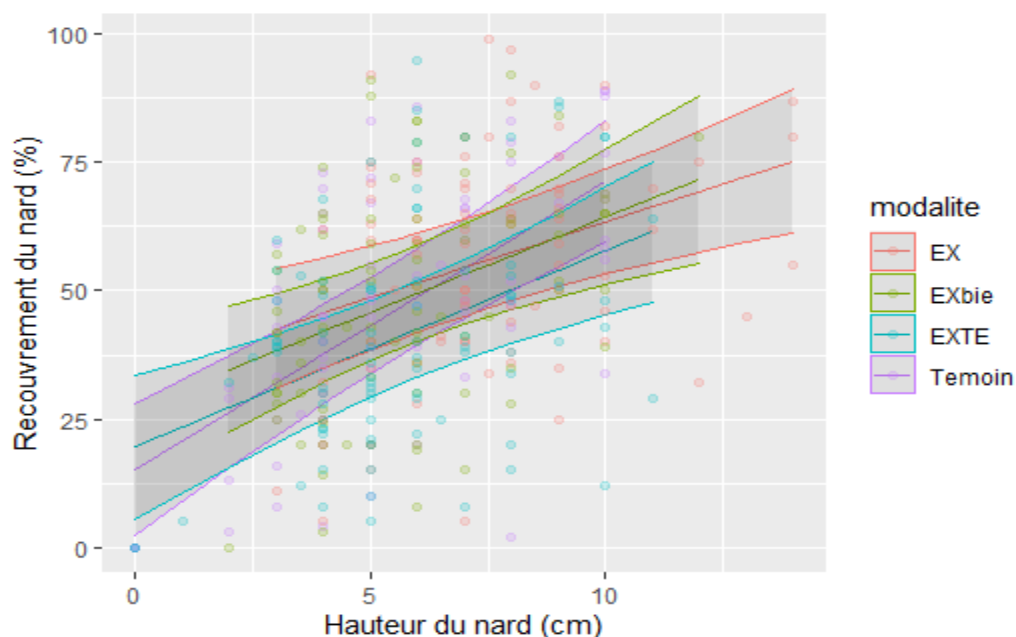
Pour chaque variable explicative, des diagrammes de répartition et des histogrammes ont été réalisés (cf Annexes) dans le but de visualiser la variabilité entre les réplicats et les années. Aussi, à titre descriptif, les moyennes par année et par modalité ont été calculées pour la couverture de nard et la hauteur de nard. Des modèles linéaires mixtes ont été appliqués pour expliquer l'évolution potentielle des variables réponses suivantes : (i) recouvrement de nard, (ii) hauteur du nard, (iii) richesse spécifique et (iv) indice de Pielou. Les variables explicatives utilisées ont été : (a) les modalités de pâturages, (b) le recouvrement du nard et (c) la hauteur du nard. Les variables aléatoires (présentement entendues comme les variables pour lesquelles ont été ajoutée de la variance) sont l'année et les réplicats (ce dernier identifié par le nom 'code' dans les tableaux relatifs aux modèles). Des modèles avec et sans interactions ont été testés, ceux avec le plus faible AIC (Critère d'Information d'Akaike) ont été sélectionnés. Concernant la variable « hauteur nard », trois valeurs extrêmes (outliers) correspondant à des cas particuliers (zones écorchées, rocailles), non représentatifs de l'ensemble de l'estive, ont été retirées de l'analyse, pour la satisfaction des hypothèses du modèle (normalité de la variable réponse et des résidus). L'analyse de la richesse spécifique à l'échelle des relevés (25x25cm) sous-entend l'hypothèse selon laquelle les 15 relevés par réplicats sont représentatifs de la richesse spécifique des réplicats (ces relevés étant aléatoires, cette représentativité est considérée comme recevable). Les modèles mixtes ont été réalisés à l'aide de R (version 3.6.3) et des packages *lmerTest* pour l'obtention des *p-value* et *nlme* pour afficher graphiquement les erreurs standards.

Résultats

Recouvrement du nard

Le modèle retenu est le numéro 1 (Tableau 1). Le recouvrement du nard est conditionné par la modalité de pâturage et la hauteur du nard. Il y a la présence d'interactions significatives entre les deux variables explicatives. L'effet « réplicat » explique 30% de la variabilité du jeu de données et l'effet « année » explique 6%. Toutes les modalités excepté le *témoin* ont tendances à adopter le même comportement. En effet, pour chaque centimètre de hauteur de nard, le recouvrement augmente de de 2 à 3 %, alors que pour le *témoin* le recouvrement de nard augmente de 5 %, (*p-value* <0.05) (Tableau 2). Dans un même temps la Figure 1 montre que les droites de régression se croisent pour les hauteurs de nard observées et l'ensemble des intervalles de confiances se superposent. Il n'y a donc pas de différences significatives entre les modalités de pâturage et le recouvrement de nard pour les hauteurs de nards considérées. Cependant des tendances semblent émerger, et, doivent être étudiées dans le prolongement de l'étude. Dans un même temps, la moyenne de recouvrement du nard sur les deux années a augmenté pour chaque modalité de pâturage, la plus faible augmentation est observée dans la modalité *exclos* (Tableau 1).

Figure 1 : Graphique représentant le recouvrement du nard en fonction de sa hauteur par modalité. Droites de régressions et intervalles de confiance prédits par le modèle. Les points sont ceux observés.



Equation 3 : équation du modèle relatif au recouvrement de nard retenue avec CN couverture du nard, HN Hauteur du nard et () : variables aléatoires

$$CN = \text{modalité} \times HN + (\text{année}) + (\text{réplicat})$$

Tableau 1 Modèles relatifs au recouvrement du nard

	Model 1	Model 2	Model 3
(Intercept)	15.733 (6.984)	26.139 (5.911)	44.989 (7.903)
modaliteEX	21.780 (10.683)	2.945 (7.412)	10.458 (9.281)
modaliteEXbie	15.031 (10.091)	1.797 (7.355)	3.511 (9.276)
modaliteEXTE	9.345 (10.181)	-5.370 (7.358)	-4.001 (9.281)
HN	5.453 (0.784)	3.585 (0.446)	
modaliteEX × HN	-2.996 (1.143)		
modaliteEXbie × HN	-2.357 (1.187)		
modaliteEXTE × HN	-2.629 (1.225)		
Code			
sd_(Intercept)	8.541	8.346	10.765
Annee			
sd_(Intercept)	1.793	1.843	6.234
Residual			
sd_Observation	18.125	18.281	19.884
AIC	3024.9	3033.4	3156.9
BIC	3067.3	3064.3	3184.0
Log.Lik.	-1501.454	-1508.713	-
REMLcrit	3002.908	3017.426	3142.875

Tableau 2 Moyenne et écart-type du recouvrement du nard par modalité et année

Modalite	Annee	Moyenne	Écart-type
Temoin	2019	41,38	22,13
Temoin	2020	48,6	26,15
EX	2019	52,84	19,95
EX	2020	57,64	23,07
EXbie	2019	42,18	15,61
EXbie	2020	54,82	23,92
EXTE	2019	35,05	15,71
EXTE	2020	46,98	24,88

Hauteur du nard

Le modèle retenu est le numéro 1. Le modèle 2 possède une AIC proche du modèle 1, ils s'équivalent donc (Tableau 4). Le modèle 1 a cependant été retenu car il a une AIC plus faible. Les modalités de pâturages expliquent à ce jour peu la hauteur de nard. Au contraire le recouvrement du nard explique fortement sa hauteur ($p\text{-value} < 0.0001$). La représentation graphique du modèle montre que les intervalles de confiance sont confondus, seule la modalité *exclos* se détache légèrement (Figure 2). La corrélation entre la hauteur du nard et son recouvrement est de 0.46 ($p\text{-value} < 0.001$). Le Tableau 3 montre que la hauteur du nard sous la modalité *exclos* est toujours supérieure à la hauteur du nard sous les autres modalités. Lorsque les moyennes de la hauteur du nard sont appliquées à chaque réplicat et non pas aux modalités, 75% des relevés ont une hauteur de nard supérieure à celle de la végétation (annexe Tableau 7).

Figure 2 : Hauteur du nard en fonction de la couverture du nard par modalité. Droites de régressions et intervalles de confiance prédits par le modèle. Les points correspondent aux mesures au sein des quadrats.

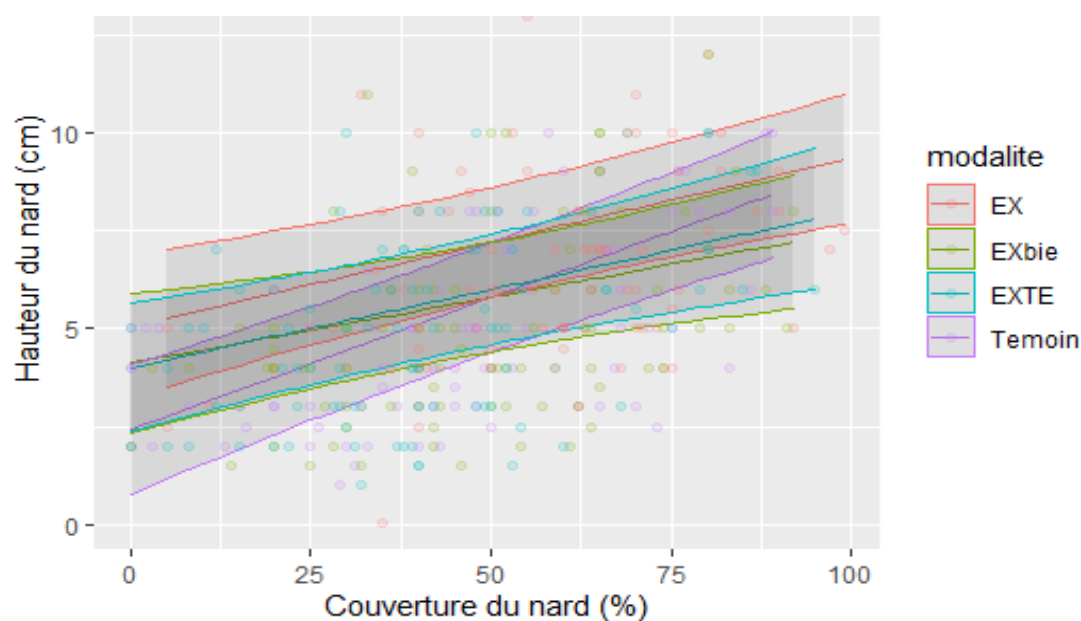


Tableau 3 : Moyenne et écart-type de la hauteur totale de la végétation et de la hauteur du nard (cm) par modalité et année, HT : hauteur totale et HN : hauteur du nard

Modalité	Année	MoyenneHT	écart-typeHT	MoyenneHN	Écart-typeHN
Temoin	2019	4,12	1,67	4,71	1,99
Temoin	2020	5,71	2,56	6,36	2,98
EX	2019	6,01	2,15	7,52	2,88
EX	2020	7,1	2,86	7,74	2,74
EXbie	2019	3,72	1,41	4,47	1,46
EXbie	2020	6,51	2,5	7,04	2,1
EXTE	2019	4,07	2	5,2	2,49
EXTE	2020	5,73	2,33	6,13	2,12

Tableau 4 Modèles relatifs à la hauteur du nard

	Model 1	Model 2	Model 3
(Intercept)	3.583 (0.750)	4.023 (0.648)	5.538 (0.918)
modaliteEX	1.485 (0.655)		1.922 (0.829)
modaliteEXbie	0.119 (0.652)		0.231 (0.828)
modaliteEXTE	0.320 (0.653)		0.112 (0.828)
CN	0.043 (0.005)	0.043 (0.005)	
Code sd__(Intercept)	0.706	0.835	0.932
Annee sd__(Intercept)	0.757	0.752	0.999
Residual sd__ Observation	2.012	2.013	2.161
AIC	1518.5	1520.8	1574.4
BIC	1549.3	1540.1	1601.5
Log.Lik.	-751.236	-755.396	-780.206
REMLcrit	1502.473	1510.793	1560.413

Équation 4 : équation du modèle relatif à la hauteur de nard retenue avec CN couverture de nard, HN Hauteur du nard et () variables aléatoires

$$HN = \text{modalité} + CN + (\text{année}) + (\text{réplicat})$$

Composition floristique

Richesse spécifique

Le modèle retenu est le modèle 2. Bien que le modèle 1 ait une AIC inférieur au modèle 2, la différence du nombre d'espèce par modalité reste inférieure à 1 espèce et les *p-value* restent supérieures à 0.6 pour l'ensemble des modalités. De ce fait, il est considéré que les modalités n'influent pas la richesse spécifique. La richesse spécifique est conditionnée par le recouvrement et la hauteur du nard (*p-value* <0.001) de manière négative. L'effet aléatoire réplikat explique 35% de la variabilité du jeu de données tandis que l'effet année explique 20% de la variabilité (Tableau 5). Sur l'ensemble des relevés 102 espèces ont été inventoriées. Les espèces qui sont apparues plus de 100 fois sur les deux années sont *Anthoxanthum odoratum*, *Carex sempervirens*, *Potentilla aurea*, *Plantago alpina*, *Ranunculus montanus*, *Viola calcarata*, *Soldanella alpina* et *Poa alpina*. Le recouvrement de la majorité de ces espèces reste pour autant faible (<10%). A ce stade de l'étude, aucune espèce ne semble lier à une unique modalité de pâturage. En même temps, 62 espèces sont apparues moins de 10 fois sur les deux années, c'est-à-dire que sur les 360 relevés effectués, la grande majorité de celle-ci ont un recouvrement inférieur à 5%.

Équation 5 : équation du modèle retenu avec RS richesse spécifique, CN recouvrement du nard, HN Hauteur du nard et () variables aléatoires

$$RS = CN + HN + (\text{année}) + (\text{réplicat})$$

Tableau 5 Modèles relatifs à la richesse spécifique

	Model 1	Model 2	Model 3
(Intercept)	12.284 (1.315)	12.619 (0.819)	11.239 (0.988)
modaliteEX	0.867 (1.639)		
modaliteEXbie	-0.186 (1.635)		
modaliteEXTE	0.665 (1.636)		
CN	-0.038 (0.007)	-0.039 (0.007)	-0.006 (0.013)
HN	-0.252 (0.061)	-0.249 (0.061)	0.014 (0.112)
Code sd__(Intercept)	1.959	1.717	1.722
Annee sd__(Intercept)	0.725	0.724	0.809
Residual sd__Observation	2.251	2.251	2.227
CN × HN			-0.006 (0.002)
AIC	1612.9	1614.9	1619.7
BIC	1647.6	1638.1	1646.7
Log.Lik.	-797.451	-801.472	-802.864
REMLcrit	1594.902	1602.945	1605.728

Indice Pielou

Le modèle 1 a été sélectionné (Tableau 6). L'indice de Pielou est uniquement conditionné par le recouvrement du nard (indépendamment des modalités). L'effet aléatoire « année » représente 33% de la variabilité du jeu de données et l'effet « réplikat » représente 17%. La relation entre l'indice de Pielou et le recouvrement est négative (-0.006 avec p -value < 0.001), c'est-à-dire que l'équitabilité diminue avec l'augmentation du recouvrement du nard, il n'y a donc pas d'autres espèces qui codominent avec le nard. Il est à noter qu'il faut cependant rester vigilant avec l'indice de Pielou car ce dernier ne prend pas en compte la diversité spécifique. C'est dans cette optique que le modèle 2 a été implémenté, il montre que la richesse spécifique n'influe pas de manière significative sur l'indice de Pielou, c'est-à-dire que J est indépendant du nombre d'espèces par quadrats. Dans un même temps, la Figure 3 montre une structuration de l'indice de Pielou entre les deux années. Cette structuration sera intéressante à surveiller. Les points avec un recouvrement de nard faible et un indice de Pielou inférieur à 0.5 correspondent à une dominance de *Festuca nigrescens* et/ou *Carex sempevirens*, c'est-à-dire que en 2019 le nard était « concurrencé » par ces deux espèces. En 2020, le recouvrement de ces espèces a diminué.

Équation 6 Indice de Pielou avec J Indice de Pielou CN recouvrement du nard et () variables aléatoires

$$J = CN + (\text{année}) + (\text{réplikat})$$

Tableau 6 Modèles relatifs à l'indice de Pielou

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
(Intercept)	0.864 (0.049)	0.840 (0.054)	0.859 (0.053)	0.783 (0.056)
CN	-0.006 (0.000)	-0.006 (0.000)	-0.006 (0.000)	-0.005 (0.000)
Code sd__(Intercept)	0.035	0.035	0.038	0.035
Annee sd__(Intercept)	0.065	0.063	0.063	0.066
Residual sd__Observation	0.096	0.096	0.095	0.095
RS		0.002 (0.002)		
modaliteEX			0.016 (0.035)	0.120 (0.047)
modaliteEXbie			0.006 (0.034)	0.109 (0.046)
modaliteEXTE			0.028 (0.034)	0.121 (0.043)
HN			0.000 (0.002)	
modaliteEX × CN				-0.002 (0.001)
modaliteEXbie × CN				-0.002 (0.001)
modaliteEXTE × CN				-0.002 (0.001)
AIC	-601.8	-590.3	-569.5	-550.7
BIC	-582.4	-567.0	-534.8	-508.1
Log.Lik.	305.909	301.139	293.742	286.365
REMLcrit	-611.818	-602.278	-587.485	-572.729

Figure 3 : Indice de Pielou en fonction de la couverture de nard par année

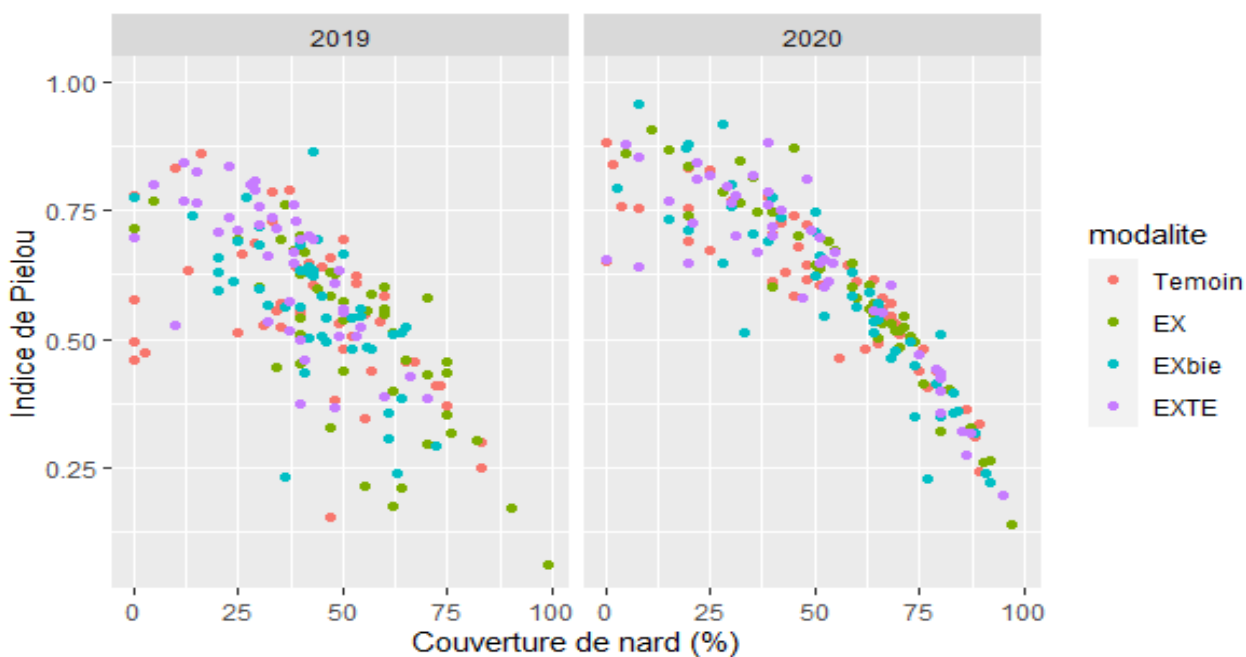
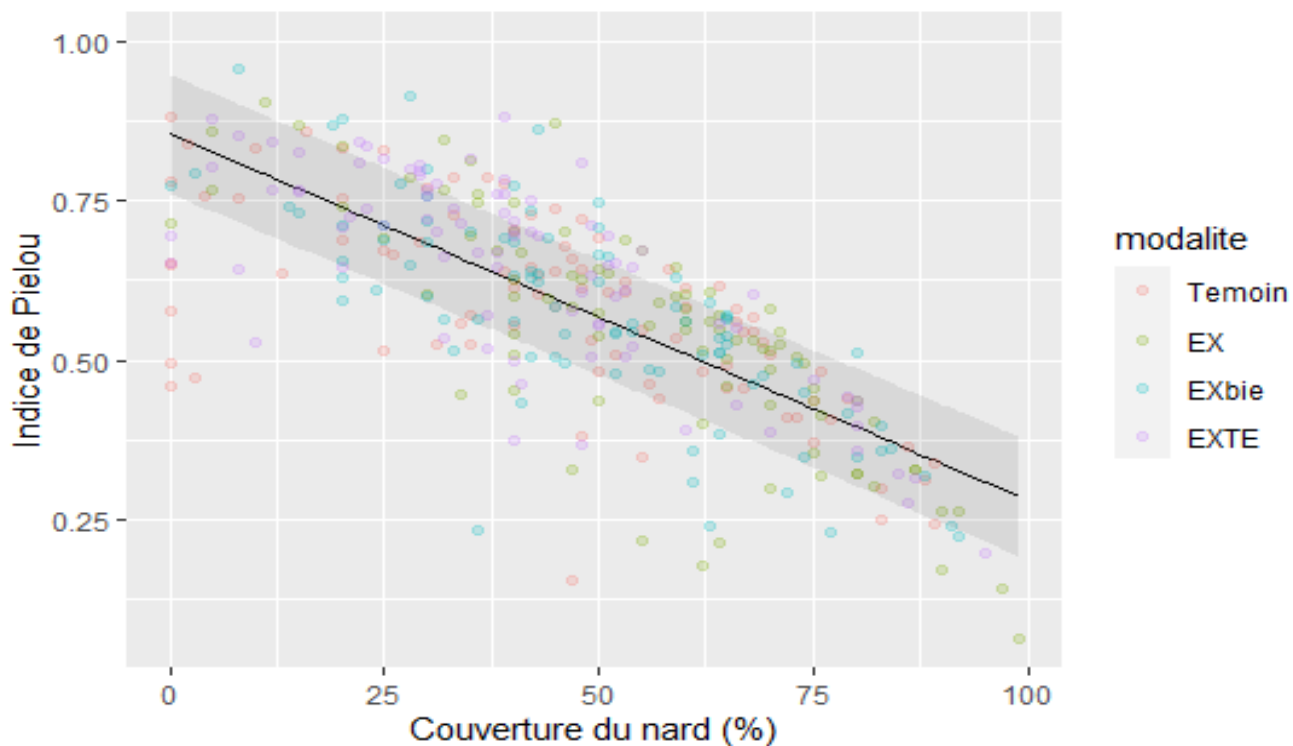


Figure 4 : Droite de régression et intervalle de confiance prédit par le modèle 1. Les points sont ceux observés



Discussion

L'enjeu de ce travail n'est pas de mettre en évidence des résultats définitifs mais au contraire d'apporter les premiers éléments d'un travail qui s'inscrit sur le long terme. Ces premiers résultats sont donc à considérer comme des tendances à surveiller. Les résultats présentés ci-dessus montrent que l'élément prédominant dans la structuration des pelouses d'alpages est le recouvrement du nard. Bien qu'évident *in situ*, il paraît nécessaire de l'appuyer à l'aide des statistiques, cette démarche devant aider par la suite à la décision et la mise en place des mesures de gestion adéquates.

L'effet des modalités de pâturage ne se fait pas encore sentir de manière significative. Cet état de fait n'est pas surprenant car la réponse de la végétation est latente face à des perturbations modérées (Korner et al., 2021). Si des différences entre modalités apparaissent, des tests post-hoc seront à envisager pour évaluer les différences entre les modalités. D'autre part, sur l'ensemble des modèles, l'effet aléatoire « année » n'est pas négligeable. C'est ainsi 'une des raisons pour laquelle il est important d'effectuer ce type d'étude sur le long terme : distinguer l'effet « année » du bruit résiduel, c'est à dire distinguer ce qui relève d'une variabilité interannuelle aléatoire de ce qui relève d'une variabilité due aux modalités de pâturage. C'est pour cette raison que les inventaires se poursuivent sur un minimum de cinq années en continu.

La richesse spécifique semble être directement conditionnée par le recouvrement du nard et sa hauteur. Cependant là encore l'effet « année » joue un rôle prédominant et dans aucun modèle les modalités de pâturages ne se distinguent les unes des autres de manière tranchée. Ces premiers résultats sont en accord avec l'étude de Parolo et al. (2011) qui montrent une relation négative entre la richesse spécifique et le recouvrement du nard. Cependant des éléments tendent à montrer que la richesse spécifique a tendance à être plus élevée dans l'exclos (Tableau 6). De plus, le recouvrement sur la

modalité *exclos* semble plus résilient que les autres modalités (Tableau 2), c'est-à-dire que la variation entre les deux années du recouvrement du nard est moindre sous la modalité *exclos*. En ce sens l'*exclos* semble prometteur en matière de qualité écologique et fourragère. Dans le même esprit, la modalité *exclos biennale* pourrait suivre des tendances similaires. Enfin, la comparaison de l'indice de Pielou sur les deux années tend à montrer que le pâturage réduit toute forme de codominance de végétation : en effet, en 2020 J est uniquement structuré par le recouvrement du nard, alors qu'en 2019 d'autres espèces pouvaient être localement abondantes sur certains répliquats (notamment les *témoins*), tel que *Carex sempervirens* et *Festuca nigrescens*. D'autre part, bien que le nard ait une hauteur supérieure à l'ensemble de la végétation, celui-ci ne semble pas avoir été fortement pâturé car sa hauteur a augmenté de manière générale entre les deux années (Tableau 3). Ces premiers résultats ne concordent pas avec l'étude de Common et al. (1998) qui montre que, quelle que soit la hauteur du nard, son recouvrement diminue sur les premières années de pâturage. Ceci tend à se rattacher aux discussions de Grant et al., (1985) où il est stipulé que les ovins ont une sélectivité fourragère plus élevée que les bovins. Par conséquent, les ovins mangent moins de nard que les bovins.

Conclusion et ouverture

Cette première analyse de ce jeu de données a permis de mettre en évidence les éléments à surveiller pour la poursuite de cette étude. La richesse spécifique comme l'indice de Pielou sont corrélés négativement au recouvrement du nard ainsi qu'à sa hauteur, et ce indépendamment des modalités de pâturage. D'autres éléments n'ont pas été traités dans ce rapport car non pertinents à ce stade de l'étude, notamment l'évolution au cours du temps de la couverture végétale par groupe de végétation (traits biologiques comme la classification de Raunkjær, Familles botaniques, groupes fonctionnels) ainsi que la richesse spécifique par modalité. Le script a toutefois été écrit pour ces futurs besoins. Dans les années à venir, les données relatives aux conditions d'alpages (notes de raclage et charges pastorales) pourront être incorporées aux modèles en tant que variables complémentaires, pour tenter d'affiner la compréhension du comportement du nard. Enfin, certaines pistes ont été empruntées et par la suite délaissées car elles se sont révélées non pertinentes dans l'analyse de ces relevés de végétation (comme la distance euclidienne qui permet de rendre compte de la variabilité spatiale). La partition de la diversité beta à l'aide de la fonction *beta.temp* du package *betapart* a aussi été étudiée mais délaissée car la fonction ne prend en compte que l'occurrence des espèces (pas l'abondance). Pour la majorité des répliquats, c'est le turnover qui prédomine et non l'emboîtement c'est-à-dire que le nombre d'espèce par répliquat reste constant cependant les espèces ne sont pas les mêmes (il y a un remplacement).

Dans le prolongement de l'étude des mesures de pâturages adéquates pourront être envisagées dans l'optique de favoriser la diversité végétale tout en optimisant la qualité fourragère.

Bibliographie

- Common, T. G., Wright, I. A., & Grant, S. A. (1998). The effect of grazing by cattle on animal performance and floristic composition in *Nardus*-dominated swards. *Grass and Forage Science*, 10.
- Deléglise, C., Loucougaray, G., & Alard, D. (2011). Effects of grazing exclusion on the spatial variability of subalpine plant communities : A multiscale approach. *Basic and Applied Ecology*, 12(7), 609-619. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2011.08.006>
- Grant, S. A., Suckling, D. E., Smith, H. K., Torvell, L., Forbes, T. D. A., & Hodgson, J. (1985). Comparative Studies of Diet Selection by Sheep and Cattle : The Hill Grasslands. *The Journal of Ecology*, 73(3), 987. <https://doi.org/10.2307/2260163>
- Komac, B., Domènech, M., & Fanlo, R. (2014). Effects of grazing on plant species diversity and pasture quality in subalpine grasslands in the eastern Pyrenees (Andorra) : Implications for conservation. *Journal for Nature Conservation*, 22(3), 247-255. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2014.01.005>
- Körner, C. (2021). *Alpine Plant Life : Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems* (3^e éd.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-59538-8>
- Lavorel, S., Grigulis, K., Lamarque, P., Colace, M.-P., Garden, D., Girel, J., Pellet, G., & Douzet, R. (2011). Using plant functional traits to understand the landscape distribution of multiple ecosystem services. *Journal of Ecology*, 99, 135-147. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01753.x>
- Marriott, C. A., Hood, K., Fisher, J. M., & Pakeman, R. J. (2009). Long-term impacts of extensive grazing and abandonment on the species composition, richness, diversity and productivity of agricultural grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 134(3-4), 190-200. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.07.002>
- Parolo, G., Abeli, T., Gusmeroli, F., & Rossi, G. (2011). Large-scale heterogeneous cattle grazing affects plant diversity and forage value of Alpine species-rich *Nardus* pastures : Cattle grazing in Alpine *Nardus* pastures. *Grass and Forage Science*, 66(4), 541-550. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00810.x>

Annexes

Histogrammes et distributions des variables réponses

Figure 5 Graphiques descriptifs du recouvrement du nard

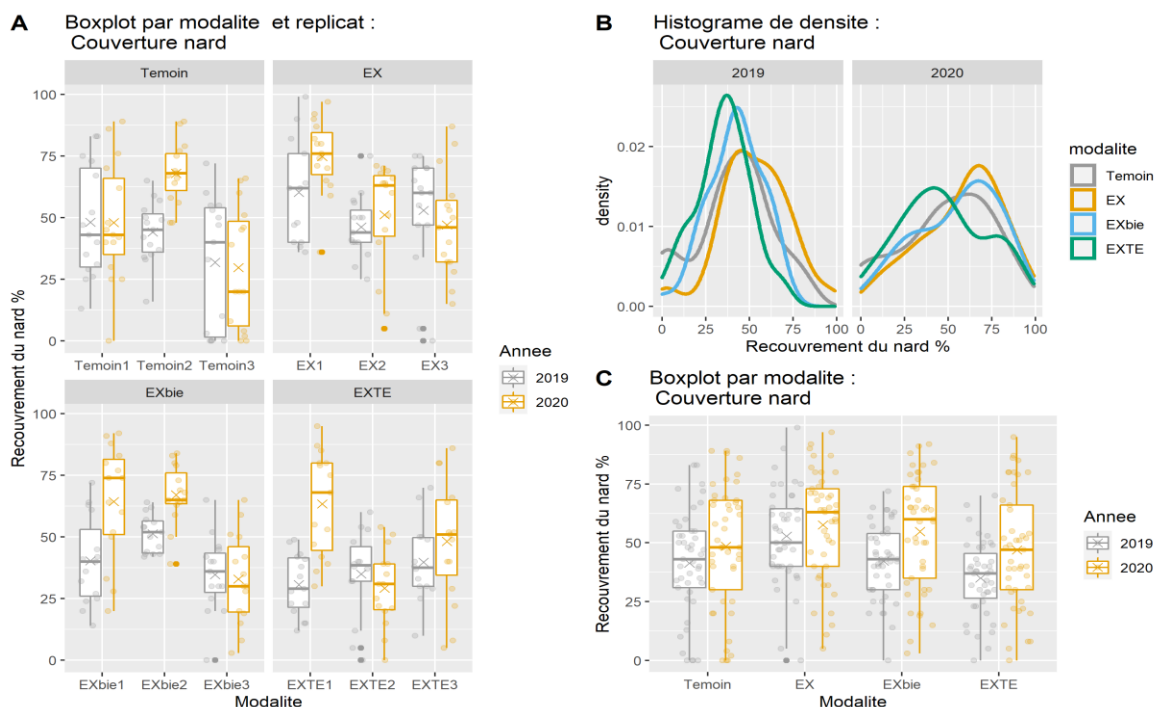


Figure 6 : Graphiques descriptifs de la hauteur de nard

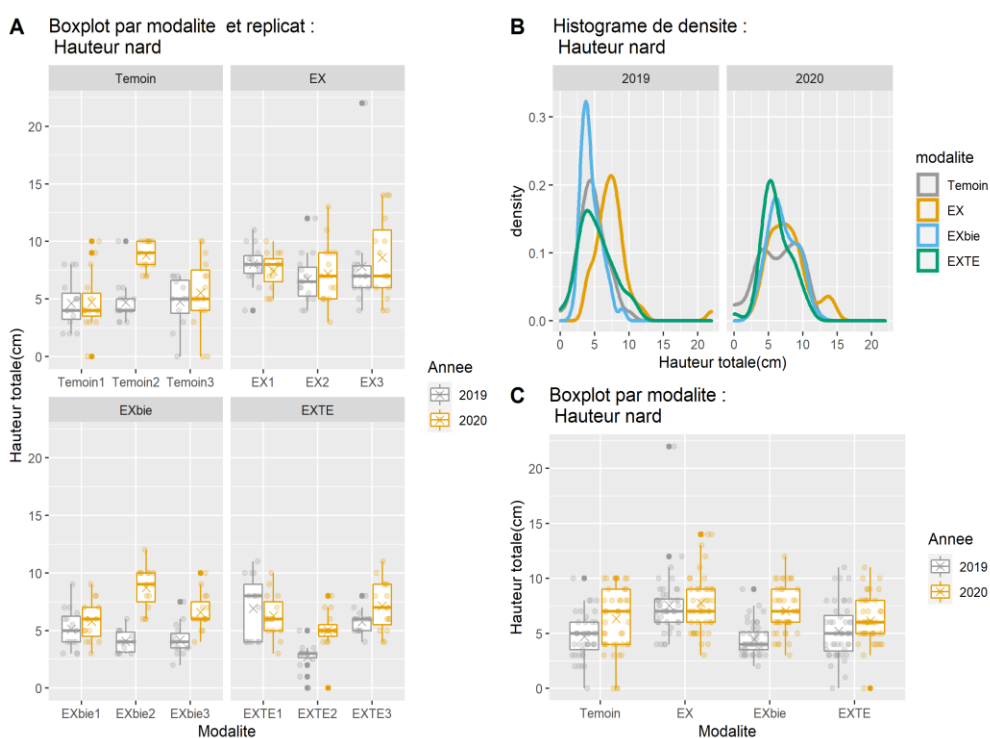
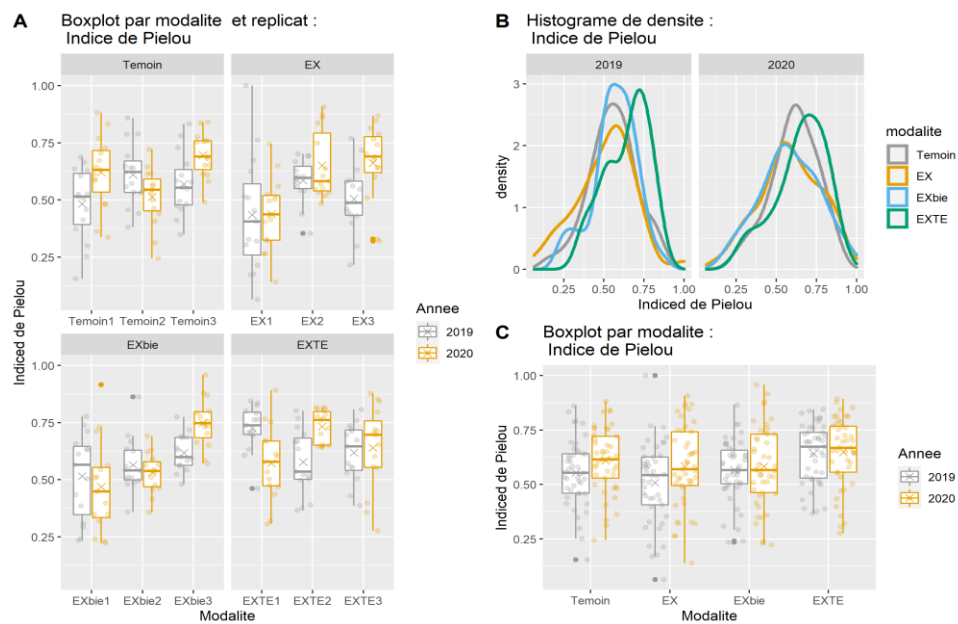


Figure 7 : Graphiques descriptifs de l'indice de Pielou



Hauteur moyenne de nard par réplicat et année

Tableau 7 Moyenne de la hauteur du nard par année et réplicat

modalite	Code	Annee	Moyenne hauteur de nard
Temoin	Temoin1	2019	4,63
Temoin	Temoin1	2020	4,73
Temoin	Temoin2	2019	4,71
Temoin	Temoin2	2020	8,8
Temoin	Temoin3	2019	4,79
Temoin	Temoin3	2020	5,53
EX	EX1	2019	8,03
EX	EX1	2020	7,43
EX	EX2	2019	6,73
EX	EX2	2020	7,2
EX	EX3	2019	7,82
EX	EX3	2020	8,6
EXbie	EXbie1	2019	5,13
EXbie	EXbie1	2020	5,8
EXbie	EXbie2	2019	4,07
EXbie	EXbie2	2020	8,73
EXbie	EXbie3	2019	4,17
EXbie	EXbie3	2020	6,6
EXTE	EXTE1	2019	6,93
EXTE	EXTE1	2020	6,27
EXTE	EXTE2	2019	2,75
EXTE	EXTE2	2020	5
EXTE	EXTE3	2019	5,77
EXTE	EXTE3	2020	7,13