

Saussurea

Journal de la Société botanique de Genève

47

Société fondée en 1875

2018

Saussurea

Journal de la Société botanique de Genève
Société fondée en 1875

Adresse : Société botanique de Genève
Case postale 60
CH-1292 Chambésy/GE (Suisse)
Web : www.socbotge.ch
E-mail : saussurea@socbotge.ch

Toute correspondance concernant les publications doit être adressée au rédacteur.

Date de parution : Septembre 2018

© Société botanique de Genève 2018

Evaluation de la diversité végétale de douze prairies extensives classées en Surfaces de Promotion de la Biodiversité (SPB) à Genève.

par Marie Bessat ^{1,3}, Nicolas Delabays ², Emmanuel Castella ³ et Dominique Fleury ⁴

¹ Chemin de Grand-Donzel 16, CH-1234 Vessy (GE, Suisse).
E-mail : mariebessat@gmail.com

² HEPIA, HES-SO/Genève. Institut Terre Nature Environnement, Route de Presinge 150, CH-1254 Jussy (GE, Suisse).
E-mail : nicolas.delabays@hesge.ch

³ Département F.A. Forel des Sciences de l'Environnement et de l'Eau & Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève, 66, boulevard Carl-Vogt, CH-1206 Genève (GE, Suisse).
E-mail : emmanuel.castella@unige.ch

⁴ République et Canton de Genève, Département de l'Environnement, des Transports et de l'Agriculture (DETA).
Direction Générale de l'Agriculture et de la Nature (DGAN). Service de l'Agronomie (SAgr),
Chemin du Pont-du-Centenaire, 109, CH-1228 Plan-les-Ouates (GE, Suisse).
E-mail : Dominique.Fleury@etat.ge.ch

Résumé

Bessat M., Delabays, N., Castella, E. et Fleury, D. (2017). Evaluation de la diversité végétale de douze prairies extensives en Surfaces de Promotion de la Biodiversité (SPB) à Genève. *Saussurea*, 47, p. 117-129.

Une étude de douze Surfaces de Promotion de la Biodiversité (SPB) de type prairies extensives dans le canton de Genève a permis de caractériser ces surfaces du point de vue de leur végétation. La sélection s'est basée sur deux critères ayant une influence potentielle sur leur biodiversité : (1) leur taille (<3'000m² vs > 9'000m²) et (2) leur niveau de qualité botanique tel que défini par les critères officiels (Q1 vs Q2). La méthodologie standardisée développée dans cette étude s'est avérée optimale pour caractériser de manière exhaustive la végétation de ces surfaces et s'appuie en partie sur celle mise en place par le Canton pour l'octroi du niveau de qualité supérieur. Cette méthodologie consistait en la réalisation d'inventaires de végétation à l'intérieur de quatre quadrats d'une surface de 1m² chacun par formation végétale. Cet échantillonnage a été complété par un inventaire plus exhaustif consistant à parcourir l'ensemble de la surface de la prairie en recensant les taxons non inventoriés dans les quadrats. Ces inventaires botaniques ont permis de vérifier que les SPB de qualité 2 sont botaniquement plus riches que celles de qualité 1 (3 espèces de plus en valeur médiane). La taille des SPB n'a en revanche pas de relation avec cette richesse et n'influence que très peu la composition spécifique. Ces inventaires ont également permis d'identifier des espèces indicatrices en fonction de la taille et de la qualité des SPB, permettant de détecter des changements à plus ou moins long terme.

Mots-clés

Surfaces de Promotion de la Biodiversité,
qualité botanique
végétation
méthodologie,
espèces indicatrices
canton de Genève
Suisse

Abstract

Bessat M., Delabays, N., Castella, E. and Fleury, D. (2017). Assessment of vegetation biodiversity of twelve extensive grasslands as Biodiversity Promotion Surfaces (BPS) in Geneva. *Saussurea*, 45, p. 117-129.

A study on twelve Biodiversity Promotion Surfaces (BPS) of extensive grasslands in the canton of Geneva has enabled to characterize these surfaces from their vegetation point of view. The selection was based on two criteria having a potential influence on their biodiversity: (1) their size (<3'000m² vs > 9'000m²) and (2) their level of botanical quality as defined by official criteria (Q1 vs Q2). The standardized methodology developed in this study proved to be optimal for the exhaustive characterization of vegetation in these surfaces, and is partly based on the method established by the Canton for granting the higher quality level. This methodology consisted in the creation of vegetation inventories within four quadrats of 1m² each per vegetation formation. This sampling was complemented by a more comprehensive inventory covering the entire meadow by listing non-inventoried taxa in the quadrats. These botanical inventories allowed to verify that quality 2 BPSs are botanically richer than quality 1 BPSs (3 more species in median value). The size of BPSs was not linked to this richness and only had a small influence on specific composition. These inventories also enabled to identify indicator species based on size and BPS quality, allowing to detect changes in somewhat long term.

Keywords

Biodiversity-Promotion Areas
botanical quality
vegetation
methodology
indicator species
Geneva Canton,
Switzerland

1. Introduction

1.1 Contexte

En Suisse, depuis 1993, les Surfaces de Promotion de la Biodiversité (SPB) sont considérées comme des externalités positives mises en place par la politique agricole fédérale; elles sont rémunérées dans le but de promouvoir et maintenir la diversité biologique dans les agroécosystèmes (CAILLET-BOIS *et al.*, 2016). Les paiements directs octroyés pour ces SPB varient en fonction de leur type, de leur qualité botanique (niveau de qualité inférieure 1 : Q1 vs qualité supérieure 2 : Q2) ainsi que de leur mise en réseau (AGRIDEA, 2016 ; DGAN, 2016). A Genève, les SPB donnant droit à des contributions écologiques fédérales recouvrent environ 14% de la Surface Agricole Utile (SAU). Dans cette surface, les prairies extensives dominent largement (65%, soit ± 900 ha), suivent ensuite les jachères florales ($\pm 20\%$), les pâturages extensifs ($\pm 10\%$), les jachères tournantes ($\pm 5\%$), les haies et bosquets champêtres ($\pm 2\%$), les surfaces à litière ($\pm 0.3\%$), les prairies peu intensives ($\pm 0.3\%$) et les ourlets sur terres assolées ($< 1\%$) (DGAN, 2015).

1.2 Evaluation du niveau de qualité

Les prairies extensives sont un des types de SPB au sein desquelles on distingue deux niveaux de qualité biologique, donnant droit à des contributions différentes (Q1 : inférieur et Q2 : supérieur). La distinction de ces deux niveaux repose essentiellement sur des critères botaniques. La méthodologie utilisée pour déterminer le niveau de qualité est simple et scientifiquement valable afin d'être accessible à un public relativement large (sans connaissances pointues en botanique) (OPD, 2013). Cette méthodologie considère des indicateurs simples (espèces ou groupes d'espèces végétales) ayant des exigences écologiques et une apparence morphologique semblables; pour cela, une clé (OPD, 2013) a été développée. Elle s'utilise en deux parties : la première partie vise à déterminer le potentiel biologique de la région (zone d'altitude ou non) dans laquelle se situe la parcelle, la seconde partie vise à évaluer si la parcelle remplit les exigences de Q2. Le niveau de qualité est évalué sur la base de la liste des **espèces indicatrices** définissant la Q2, établie par la Confédération et modifiée pour les particularités genevoises. Le niveau minimal de qualité 2 est atteint si au moins six indicateurs de la liste sont présents dans la surface test (rayon de 3 m dans une zone botaniquement représentative de la parcelle). Pour des SPB hétérogènes (\geq deux zones), une démarche similaire est utilisée en différenciant les zones qui semblent présenter visuellement la meilleure qualité, des moins bonnes.

1.3 Objectifs de l'étude

Mise à part la méthodologie proposée par l'Etat permettant de distinguer les deux niveaux de qualité d'une prairie extensive selon des critères officiels (OPD, 2014),

il n'existe actuellement pas de méthode standardisée permettant de recenser de manière exhaustive la végétation des SPB. Par ailleurs, seul le niveau de Q2 bénéficie de taxons indicateurs. La sélection des SPB s'est ensuite focalisée sur deux critères principaux ayant une influence potentielle sur leur biodiversité : i) leur **taille** (petites: $< 3'000\text{m}^2$ vs grandes: $> 9'000\text{m}^2$) et leur **niveau de qualité** requis pour l'homologation (Q1 vs Q2). Le croisement de ces deux critères conduit à quatre types de SPB (petites SPB de qualité 1 : PQ1, petites de qualité 2 : PQ2, grandes de qualité 1 : GQ1 et grandes de qualité 2 : GQ2), chacun représenté par trois répliques (Tableau 1). En vue du plan d'échantillonnage mis en place dans cette étude, les objectifs sont de trois ordres : (1) tester si la méthode utilisée pour l'évaluation de la diversité floristique des SPB est optimale, (2) caractériser la végétation des SPB en fonction des deux catégories de taille et des deux niveaux de qualité botanique, afin de comprendre en quoi ces facteurs influencent les compositions floristiques de ces dernières et (3) identifier les taxons qui caractérisent chacun des quatre types a priori de SPB.

		Différenciation de la qualité botanique	
		Qualité I	Qualité II
Taille des SPB	Petite taille ($< 3'000\text{m}^2$)	3 SPB	3 SPB
	Grande taille ($> 9'000\text{m}^2$)	3 SPB	3 SPB

Tableau 1 : Plan d'échantillonnage basé sur les facteurs taille et qualité botanique des SPB.

2. Méthodes

2.1 Présentation des sites d'études

Les 12 SPB échantillonnées ont été sélectionnées de façon à ce que la SAU (vignes et/ou cultures) présente dans un rayon de 200 m prédomine. Deux tiers des sites retenus se situaient à l'est du canton de Genève et le tiers restant à l'autre extrémité du canton, dans sa partie ouest (Figure 1). Les sites sont considérés comme le terrain qui constitue l'objectif de l'étude, à savoir les SPB.

2.2 Acquisition des données botaniques

Type d'échantillonnage : L'échantillonnage aléatoire stratifié avec équité des strates (WILDI, 1986) a été choisi car il permet le choix d'échantillons aléatoires dans des groupes homogènes indépendamment de leur surface. Il permet l'appréciation du potentiel botanique sur l'ensemble de la surface et donne donc une vision d'ensemble des sites. En effet, une SPB, indépendamment de sa qualité (1 ou 2), peut ne pas être homogène du point de vue phytosociologique sur l'ensemble de sa surface.

En plus de sa pertinence statistique, ce type d'échantillonnage permet de prendre en compte la réalité du terrain (différentes associations phytosociologiques sur une même parcelle). De plus, dans le but d'attribuer

le niveau Q2, la prise en compte de l'hétérogénéité de la végétation dans les SPB fait partie intégrante de la démarche formelle préconisée par l'Etat lors des inventaires (OPD, 2014).

Relevés phytosociologiques : Quatre relevés de 1m² ont été réalisés par type de Formation Végétale (FV). On entend ici par FV, des zones au sein de la SPB qui se distinguent par leur composition botanique. Le nombre de relevés dans une SPB a donc été dépendant du nombre de FV inventoriées. Cette méthode a été préconisée dans le but d'obtenir une mesure comparative entre les différentes SPB mais également de maximiser la richesse végétale inventoriée. Dans un premier temps, les SPB ont été parcourues et les FV reportées approximativement sur les cartes des parcelles. Pour chacun des relevés effectués, les surfaces échantillonnées au sein des parcelles devaient permettre de décrire complètement et de comprendre l'organisation du groupement végétal étudié. Les relevés ont donc été effectués sur une surface représentative de la communauté végétale sélectionnée. Pour cela, la surface échantillonnée devait comporter une végétation

homogène (physionomique et floristique), être composée d'une flore aussi complète que possible (le relevé doit présenter toutes les espèces présentes dans une unité de végétation étudiée) et représentative du groupement de végétation étudié. Les quadrats ont été placés le plus au centre possible des FV (afin d'éviter les effets bordures) de sorte à former un carré de 6 mètres de côté ou un transect de 18 mètres de long dans les cas où les FV étaient trop étroites (Figure 2). Dans chaque quadrat, on a relevé : i) la composition floristique et ii) la structure de la végétation (LONDO, 1976) (Tableau 2).

Dans un second temps, les relevés de végétation ont été complétés par un inventaire complémentaire, consistant à parcourir l'ensemble de la SPB afin de recenser les taxons qui n'auraient pas été inventoriés dans les quadrats ; l'objectif était d'obtenir un inventaire quasi-exhaustif de la richesse botanique de chaque SPB. L'ensemble de cette méthodologie a été répété deux fois : fin avril et début juin 2017 (avant le 15 juin : date réglementaire de fauche pour l'octroi des subventions).

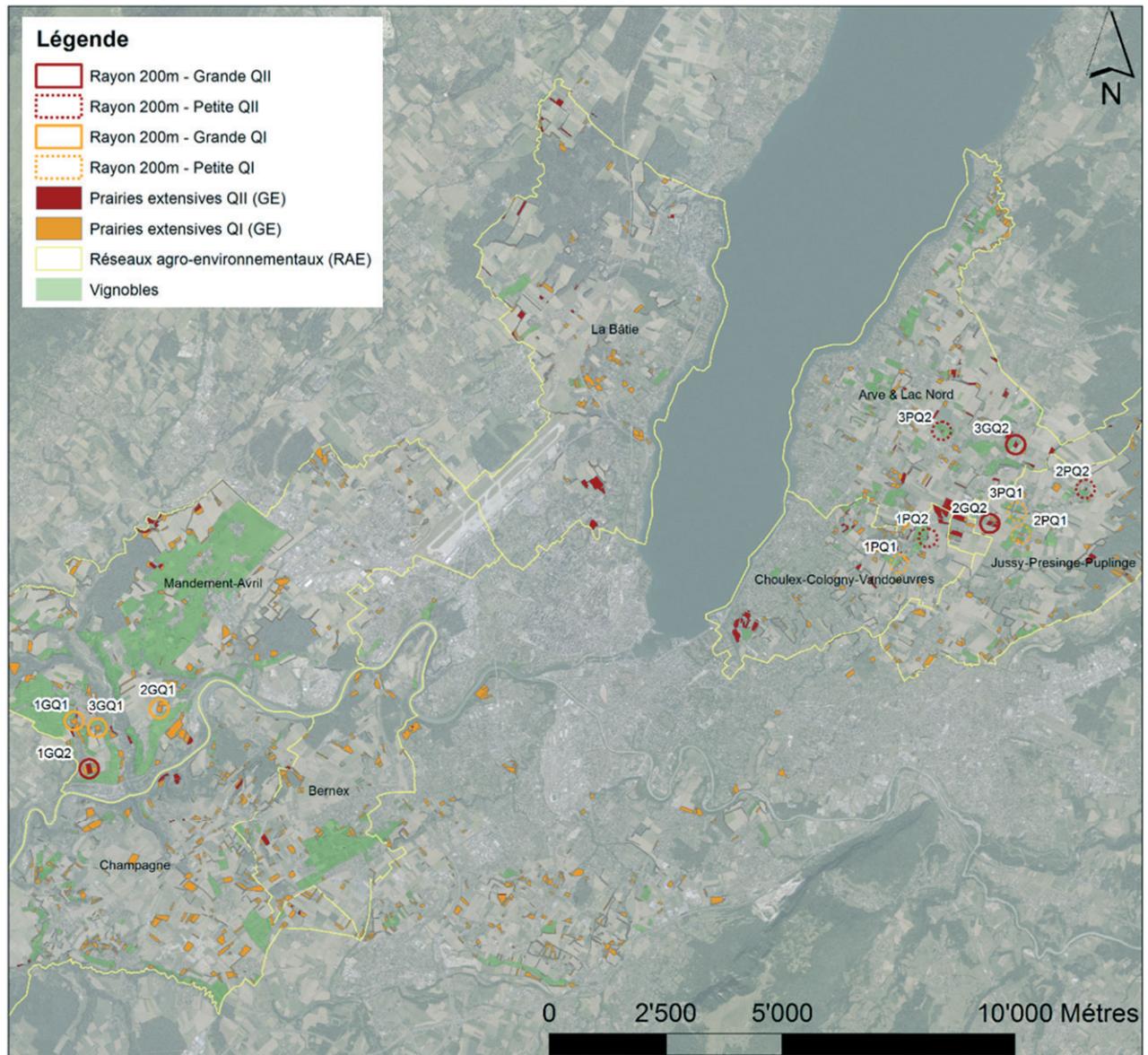


Figure 1 : Carte générale positionnant l'emplacement des 12 sites retenus dans le canton de Genève. Source : Orthophotos 2012 (serveur Unige), Données : SITG : parcelles viticoles, SAU, surfaces de promotions de la biodiversité, communes de Genève

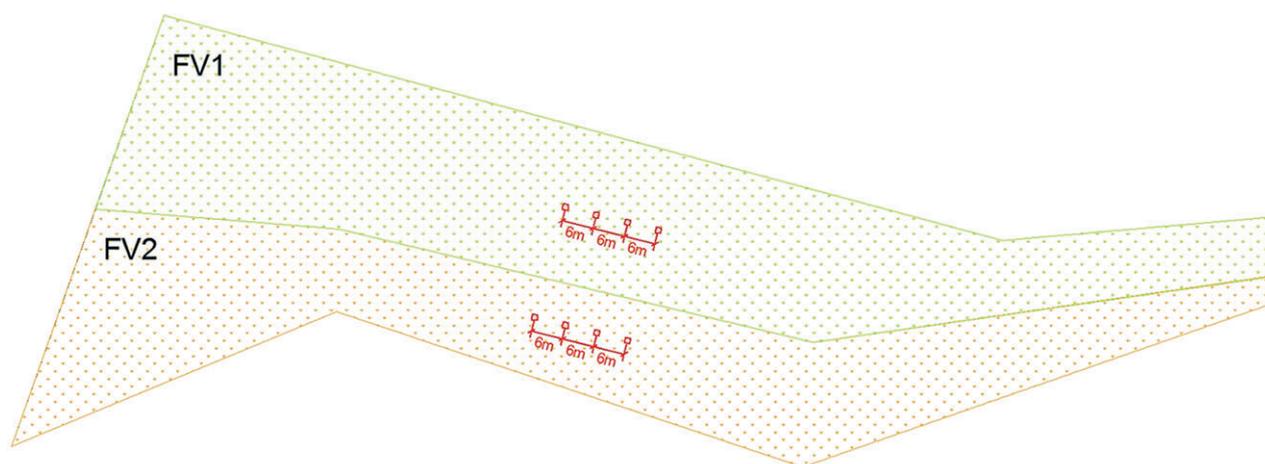


Figure 2 : Principe de l'échantillonnage de la végétation réalisé sous forme de quadrats.

Echelle	Couverture (%)	Pourcentage correspondant
0.1	<1%	0.10%
0.2	1-3%	2%
0.4	3-5%	4%
1-	5-10%	7.50%
1	5-15%	10%
1+	10-15%	12.50%
2	15-25%	20%
3	25-35%	30%
4	35-45%	40%
5-	45-50%	47.50%
5	45-55%	50%
5+	50-55%	52.50%
6	55-65%	60%
7	65-75%	70%
8	75-85%	80%
9	85-95%	90%
10	95-100%	100%

Tableau 2 : 17 catégories selon l'Echelle Londo (LONDO, 1967) et pourcentages de recouvrement correspondants.

2.3 Analyses statistiques

L'analyse des données (calculs et graphiques) a été effectuée à l'aide du logiciel R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008) et des jeux de fonctions vegan (OKSANEN *et al.*, 2017) et abdsv (ROBERTS, 2006).

Pertinence méthodologique des inventaires de végétation

Il est difficile d'avoir une image exhaustive de la biodiversité étant donné que la relation entre la richesse spécifique et l'effort d'échantillonnage n'est pas linéaire (LAWTON *et al.*, 1998). En effet, la richesse cumulée tend à augmenter plus rapidement quand l'effort d'échantillonnage est faible, pour ensuite tendre vers une asymptote quand il devient important (GOTELLI &

COLWELL, 2010). La richesse observée sous-estime donc classiquement la richesse totale (COLWELL *et al.*, 2012). La richesse asymptotique, obtenue par extrapolation de la richesse observée, permet d'augmenter fictivement l'effort d'échantillonnage par rapport à l'échantillon de référence afin d'estimer la richesse spécifique totale du site. Elle peut être estimée grâce à des estimateurs de richesse totale (COLWELL *et al.*, 2012 ; CHAO *et al.*, 2014).

La pertinence et la fiabilité des résultats floristiques obtenus avec la méthodologie de terrain présentée ci-dessus ont été testées par le biais de l'estimateur de richesse non-paramétrique de premier ordre Jackknife (Jackknife1) basé sur l'incidence et dépendant des espèces trouvées uniquement dans un seul échantillon (« singletons ») (GOTELLI & COLWELL, 2010). Cet estimateur (et son intervalle de confiance) nous a permis d'estimer les richesses asymptotiques et de les comparer aux richesses observées. Pour ce faire, seuls les relevés floristiques effectués dans les quadrats ont été considérés. La relation qui existe entre la richesse observée et la richesse asymptotique a été estimée grâce à une régression linéaire simple qui permet de tester la corrélation entre les deux variables. Cette méthode permet de mesurer la qualité de l'échantillonnage de terrain et de tester si l'écart entre richesses observée et asymptotique est homogène entre sites.

La végétation des SPB

Une analyse de Variance (ANOVA), au seuil de significativité de 5%, a été utilisée afin de tester l'interaction des richesses spécifiques végétales et des diversités de Shannon entre les niveaux de qualité botanique et les catégories de taille des SPB. L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC), a été utilisée pour ordonner les sites en fonction de leurs différences de composition floristique. L'AFC initiale a ensuite été complétée par des AFC inter-classes afin de tester (par un test de Monte-Carlo) la significativité des catégories de qualité et les niveaux de taille vis-à-vis des variations de composition spécifique entre SPB.

Les espèces indicatrices

L'identification d'espèces indicatrices ou caractéristiques constitue une démarche courante en écologie, permettant de caractériser les conditions du milieu (DUFRÈNE & LEGENDRE, 1997) ainsi que des sites ou groupes de sites. Cette démarche vise également à orienter les mesures de gestion, de suivi et de monitoring des espaces naturels. L'approche retenue ici consiste à identifier les espèces indicatrices des catégories de la typologie *a priori* constituée par les quatre types de SPB obtenus en croisant les catégories de taille et de qualité. Seules les espèces inventoriées dans les quadrats ont été considérées. Dans le but de préserver uniquement le moment d'expression maximal de chaque espèce pour les calculs des valeurs indicatrices, les valeurs de recouvrements maximales entre les deux campagnes d'avril et de juin, pour chacune des espèces et sur chacun des quadrats, ont été retenues. Par ailleurs, seuls les taxons apparaissant dans au moins 5% des quadrats ont été conservés et les valeurs de recouvrements converties en $[\log n+1]$. L'indice *IndVal*, combinant à la fois l'abondance relative des espèces (ici leur recouvrement) et leur fréquence relative, a été retenu pour mesurer la spécialisation des espèces vis-à-vis de chacun des groupes définis. Il tient compte de la spécificité (A_{ij}) de l'espèce et de sa fidélité (B_{ij}) et se définit comme suit (DUFRÈNE & LEGENDRE, 1997 ; DE CACERES & LEGENDRE, 2009) :

$$IndVal = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

avec :

A_{ij} : nombre d'individus de l'espèce *i* dans le groupe de sites *j* (mesure de la spécificité) / nombre d'individus de l'espèce *i* dans tous les groupes ;

B_{ij} : nombre de sites du groupe *j* où l'espèce *i* est présente / nombre total de sites dans le groupe *j*.

La valeur indicatrice *IndVal* d'une espèce pour un groupe de sites est d'autant plus grande (proche de 1) que cette espèce est observée dans tous les sites du groupe ou lorsque tous les individus d'une espèce sont trouvés dans un seul groupe (DUFRÈNE & LEGENDRE, 1997). La significativité de chaque valeur indicatrice a

été évaluée par le biais d'un test de permutation au seuil de significativité de 5%. Chaque type de SPB est ainsi associé à une liste de ses espèces les plus indicatrices. En complément, la fonction *multipatt*, basée sur une extension de la méthode originale *IndVal* (DE CACERES *et al.*, 2010), a permis d'identifier les espèces indicatrices de plusieurs types simultanément. Une interprétation écologique de l'ensemble des espèces indicatrices a été réalisée pour chaque groupe de sites, en associant aux espèces caractéristiques retenues par *IndVal* leurs valeurs écologiques indicatrices (LANDOLT *et al.*, 2010).

3. Résultats

3.1 Validité de l'évaluation de la diversité floristique des SPB ?

Parmi les 153 espèces végétales recensées, $\pm 70\%$ d'entre elles (105) ont été inventoriées sur l'ensemble des quadrats, les 30% restant provenaient des inventaires complémentaires. La réalisation de l'inventaire à deux périodes nous a permis d'obtenir une image représentative des SPB (Tableau 3) qui prend en compte tant les taxons précoces (avril) que ceux plus tardifs (juin). La réalisation de ces deux campagnes d'échantillonnage a permis d'augmenter l'inventaire de 10 à 28 taxons suivant les sites, par rapport à la réalisation d'une seule des deux campagnes (Tableau 3). Les inventaires complémentaires effectués à l'extérieur des quadrats ont permis de recenser 48 taxons supplémentaires (non recensés dans les quadrats) sur l'ensemble des SPB. Dans les 12 SPB, les inventaires ont permis de recenser la presque totalité des taxons inventoriés dans cette étude et figurant sur la liste rouge suisse (MOSER *et al.*, 2002) : *Ophrys apifera* (vulnérable), *Himantoglossum hircinum* (vulnérable), *Centaurea cyanus* (quasi menacé) et *Anacamptis pyramidalis* (quasi menacé) (Figure 3).

La forte adéquation entre la richesse asymptotique estimée et la richesse totale observée ($R_2 : 0.95$, p -valeur : $1.25e-07$) s'exprime sous la forme d'une relation linéaire. 95% de la variabilité de la richesse asymptotique sont effectivement expliqués par la richesse observée (Figure 4). La différence entre les richesses totale prédite et observée n'est que d'une unité.

		1PQ1	2PQ1	3PQ1	1PQ2	2PQ2	3PQ2	1GQ1	2GQ1	3GQ1	1GQ2	2GQ2	3GQ2
Quadrats	Richesse spécifique en avril	15	30	17	18	37	24	17	20	26	33	23	26
	Richesse spécifique en juin	18	32	18	24	36	26	24	19	27	35	30	29
	Nbre de taxons différents entre les 2 périodes	13	24	13	10	21	12	13	13	13	28	13	20
	Nbre d'espèces sur liste rouge suisse (MOSER <i>et al.</i> , 2002)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-
Inventaire complémentaire	Richesse spécifique en avril	9	10	16	19	13	11	25	4	14	36	14	28
	Richesse spécifique en juin	4	9	7	9	7	10	18	10	11	24	4	15
	Nbre d'espèces non répertoriées dans les quadrats	9	11	14	21	14	14	29	19	15	37	12	28
	Nbre d'espèces sur liste rouge suisse (MOSER <i>et al.</i> , 2002)	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	1	3

Tableau 3 : Comparaison des richesses spécifiques entre sites selon le type d'échantillonnage (quadrats ou inventaires complémentaires) et selon la période à laquelle il a été effectué (avril ou juin).



Figure 3 : *Ophrys apifera* (vulnérable), *Himantoglossum hircinum* (vulnérable), *Anacamptis pyramidalis* (quasi menacé) et *Centaurea cyanus* (quasi menacé) (photos : © Marie Bessat).

Le décalage vers le haut de la droite de régression obtenue à partir du modèle linéaire issu des données par rapport à la droite $y=x$, nous indique que la richesse théorique augmente légèrement plus vite que la richesse observée (Figure 4).

3.2 La diversité taxonomique des SPB

Le nombre d'espèces recensées dans les quadrats varie entre 23 et 48 selon le site considéré (Figure 5). Le regroupement des sites selon les catégories du plan d'échantillonnage, permet de mettre en avant que le niveau de qualité des SPB joue un rôle significatif, au seuil de 5%, sur la richesse spécifique (ANOVA, F value : 20.79, p-value : 1.21e-05) et sur l'indice de diversité de Shannon (ANOVA, F value : 219.12, p-value : 2.56-05) qui sont tous deux plus élevés dans les SPB de Q2. La taille des SPB n'influence de manière significative ni la richesse spécifique (ANOVA : F value : 0.22, p-value : 0.64) ni l'indice de diversité (ANOVA : F value : 0.031, p-value : 0.86) des SPB (Figure 6).

La variabilité floristique associée aux différences entre les 12 sites représente 46% de l'information exprimée dans l'AFC initiale et cette discrimination est nettement significative au seuil de 5% (test de Monte-Carlo, p-value : 4.17e-05) (Figure 7). Les petites SPB de Q2 sont proches du centre de l'ordination tandis que les grandes de Q1 et Q2 s'en éloignent. Les petites SPB de Q1 se différencient de celles de Q2 sur l'axe factoriel vertical F2. La même tendance est observée pour les grandes SPB de Q1 par rapport à celles de tailles similaires mais de qualité supérieure Q2. Les deux niveaux de qualité se différencient donc l'un de l'autre le long de l'axe F2 indépendamment de la taille des parcelles. La variabilité botanique échantillonnée associée aux différences entre types explique 14% de l'information exprimée dans l'AFC initiale (test de Monte-Carlo, p-value : 0.01), sachant que la variabilité floristique, associée indépendamment à la taille des SPB ainsi qu'à leur qualité botanique, explique seulement respectivement 4% et 6% (test de Monte-Carlo, p-values : 0.01) de l'information exprimée dans l'AFC brute.

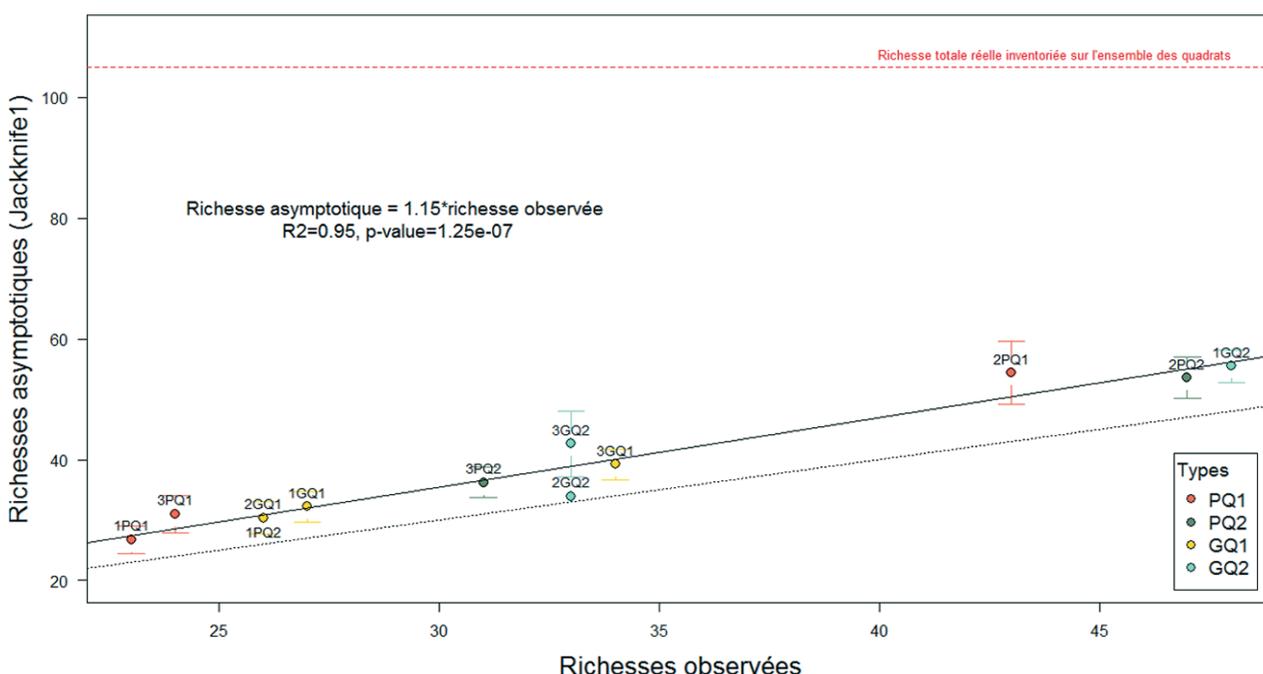


Figure 4 : Relation entre les richesses extrapolées Jackknife1 et les richesses observées. La droite continue représente le modèle linéaire entre la richesse asymptotique et la richesse observée, la droite $y=x$ est en pointillés noirs.

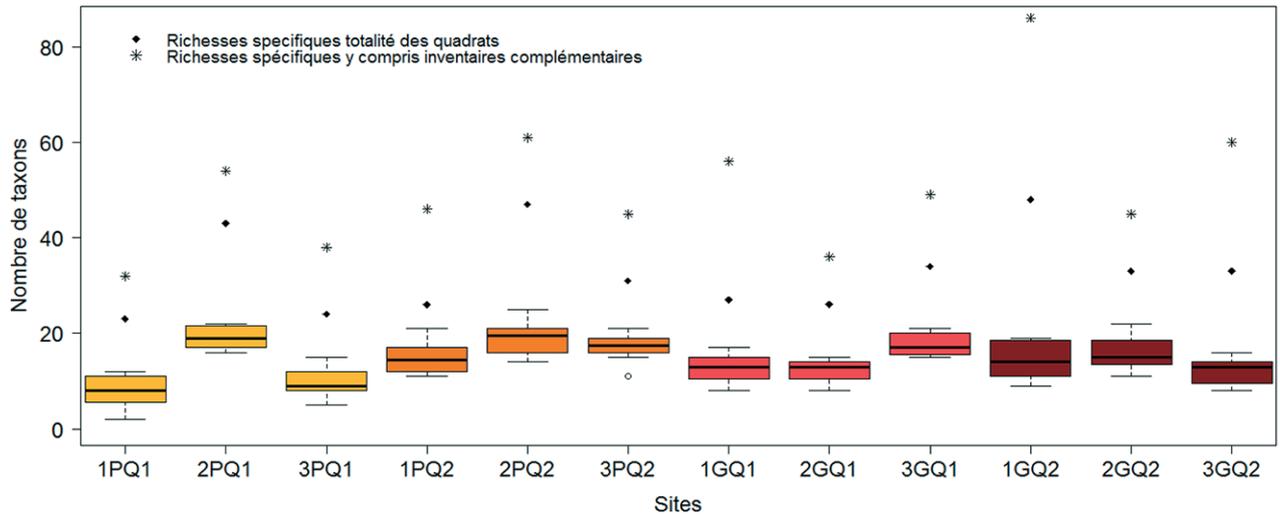


Figure 5 : Variation des richesses spécifiques par échantillon regroupées par site. Les couleurs traduisent les quatre types de SPB (PQ1, PQ2, GQ1 et GQ2).

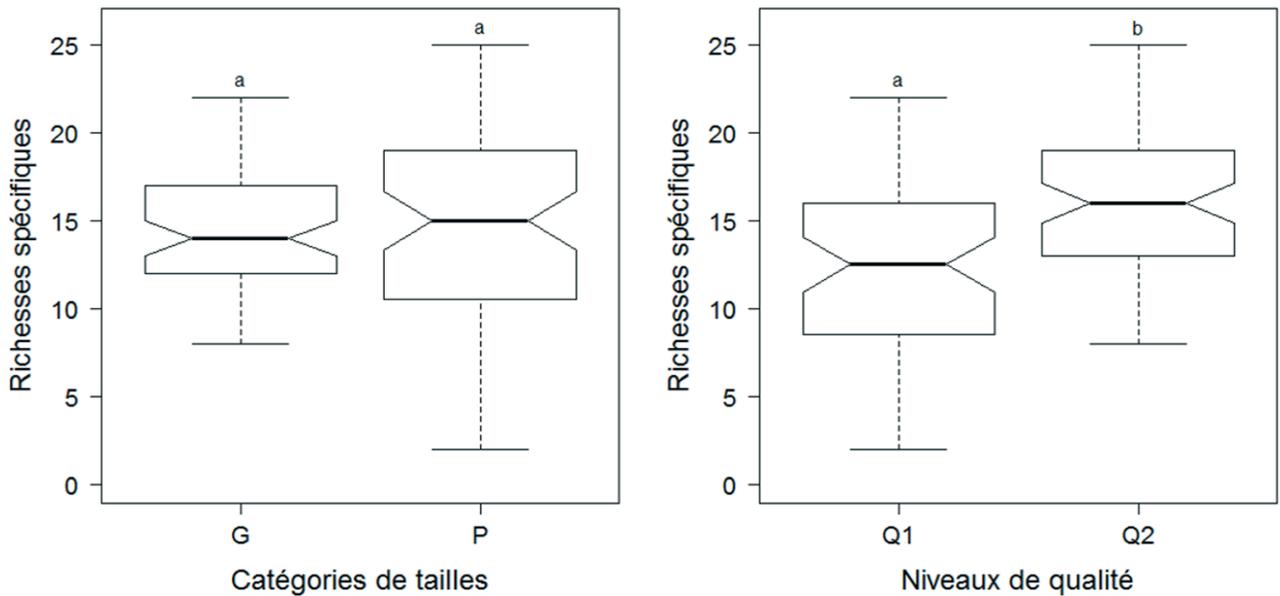


Figure 6 : Richesses spécifiques par quadrat selon les catégories de tailles (à gauche) et les niveaux de qualité botanique (à droite).

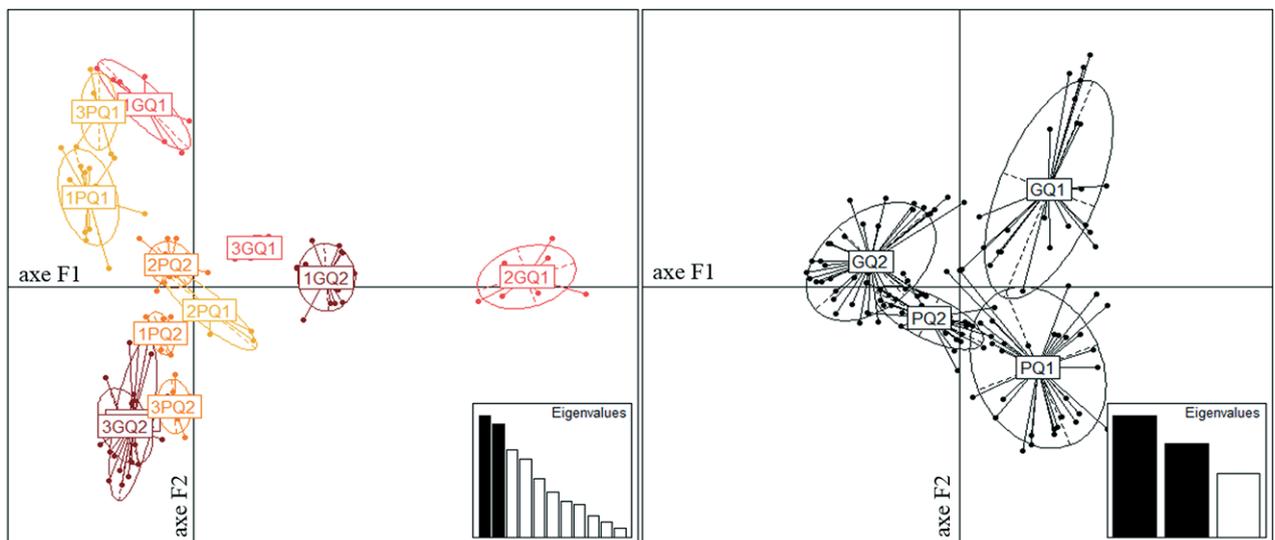


Figure 7 : Ordinations positionnant les sites et les types de SBP selon la variation de leur composition en espèces végétales. À gauche : les axes de l'AFC F1 et F2 expliquent respectivement 20% et 18% de l'information. À droite : les axes de l'AFC F1 et F2 expliquent 45% et 34% de l'information respectivement.

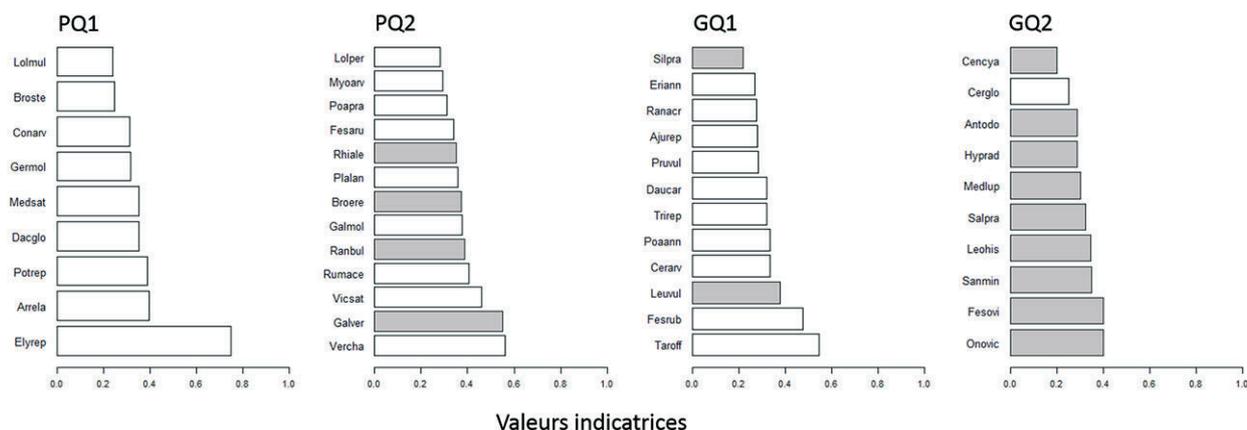


Figure 8 : Espèces indicatrices de chacun des groupes définis par la typologie a priori des SPB : PQ1 : SPB de petite taille de qualité 1, PQ2 : SPB de petite taille et de qualité 2, GQ1 : SPB de grande taille et de qualité 1, GQ2 : SPB de grande taille et de qualité 2. Les taxons grisés sur la figure sont ceux figurant sur la liste des espèces permettant l'octroi du niveau de Q2 pour les prairies extensives (OPD, 2014). Les valeurs indicatrices s'échelonnent de 0 (espèces les moins indicatrices) à 1 (espèces les plus indicatrices). Les noms des taxons sont simplifiés en reprenant les 3 premières lettres du genre et les 3 premières de l'espèce.

3.3 Les espèces indicatrices

Plusieurs espèces indicatrices caractérisent chacun des quatre types de SPB (Figure 8). Neuf espèces ont été retenues comme caractéristiques des petites SPB de Q1 : *Elymus repens*, *Arrhenatherum elatius*, *Potentilla reptans*, *Dactylis glomerata*, *Medicago sativa*, *Geranium molle*, *Convolvulus arvensis*, *Bromus sterilis* et *Lolium multiflorum*. Treize sont caractéristiques du groupement des petites SPB de Q2 : *Veronica chamaedrys*, *Galium verum*, *Vicia sativa* subsp. *nigra*, *Rumex acetosa*, *Ranunculus bulbosus*, *Galium mollugo* aggr., *Bromus erectus*, *Plantago lanceolata*, *Rhinanthus alectorolophus*, *Festuca arundinacea*, *Poa pratensis*, *Myosotis arvensis* et *Lolium perenne*. Pour les SPB de grande taille et de Q1, 12 espèces sont indicatrices : *Taraxacum officinale* aggr., *Festuca rubra* aggr., *Leucanthemum vulgare* aggr., *Cerastium arvense*, *Poa annua*, *Trifolium repens*, *Daucus carota*, *Prunella vulgaris*, *Ajuga reptans*, *Ranunculus acris* subsp. *friesianus*, *Erigeron annuus* et *Silene pratensis*. Finalement, les espèces caractérisant les grandes SPB de Q2 sont au nombre de 10. Il s'agit de : *Onobrychis viciifolia*, *Festuca ovina* aggr., *Sanguisorba*

minor, *Leontodon hispidus*, *Salvia pratensis*, *Medicago lupulina*, *Hypochaeris radicata*, *Anthoxanthum odoratum*, *Cerastium glomeratum* et *Centaurea cyanus*. Tous les taxons du type GQ2 à l'exception d'un seul (*Cerastium glomeratum*) figurent sur la liste des espèces permettant l'octroi du niveau de Q2 pour les prairies extensives (OPD, 2014). L'association d'espèces à plusieurs types fait ressortir que six des neuf espèces grisées pour ce type (GQ2) (*Anthoxanthum odoratum*, *Bromus erectus*, *Sanguisorba minor*, *Medicago lupulina*, *Onobrychis viciifolia* et *Knautia arvensis*) (Figure 9) sont aussi indicatrices du type PQ2 (toutes les p-values < 5%). En revanche, aucune des espèces caractéristiques du type PQ1 ne figure sur cette liste, sachant que trois espèces caractéristiques du type PQ2 et que deux espèces du type GQ1 y figurent. Les valeurs écologiques des quatre types sont relativement proches, même si des différences significatives en terme de nutriments distinguent le type PQ1 du type GQ2 (test de Wilcoxon entre les paires de types : p-values PQ1-PQ2 : 0.23, PQ1-GQ1 : 0.35, PQ1-GQ2 : 0.01, PQ2-GQ1 : 0.58, PQ2-GQ2 : 0.23, GQ1-GQ2 : 0.12) et des différences significatives en terme de températures différencient le type PQ1 du



Figure 9 : Espèces indicatrices des types PQ2 et GQ2: *Anthoxanthum odoratum*, *Bromus erectus*, *Sanguisorba minor* et *Onobrychis viciifolia* (photos : © Marie Bessat).

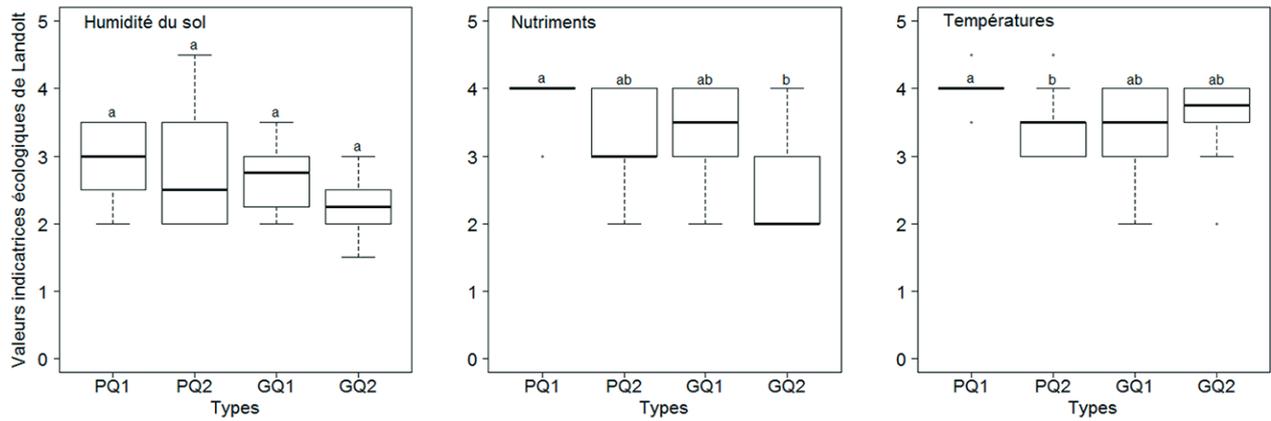


Figure 10 : Valeurs indicatrices écologiques de LANDOLT *et al.* (2010) des espèces indicatrices (IndVal) de chacun des types (cf. détail des espèces indicatrices figure 8) pour l'humidité, les nutriments et la température.

type PQ2 (test de Wilcoxon entre les paires de types : p-values PQ1-PQ2 : 0.042, PQ1-GQ1 : 0.10, PQ1-GQ2 : 0.52, PQ2-GQ1 : 1, PQ2-GQ2 : 0.68, GQ1-GQ2 : 0.70) (Figure 10). Les taxons indicateurs des petites SPB de Q1 tendent à caractériser des milieux plus riches en nutriments que ceux des grandes SPB de Q2. De même que les petites SPB de Q1 tendent à avoir des conditions de températures plus élevées que celles présentes sur les petites SPB de Q2.

4. Discussion

4.1 Une méthodologie optimale pour l'évaluation de la richesse des SPB

Les résultats obtenus montrent que la méthodologie utilisée pour qualifier et quantifier la végétation des SPB semble optimale et particulièrement adaptée à ce type de formations végétales. En effet, la relation linéaire existant entre la richesse asymptotique et la richesse observée témoigne de la qualité de l'échantillonnage de terrain. Cette qualité se justifie du fait que (1) la relation entre les deux variables est excellente, (2) l'écart entre les deux mesures est homogène entre les sites (pas de sous-échantillonnage) et (3) les richesses observées sont très proches des richesses théoriques totales.

Les inventaires complémentaires permettent d'inventorier les espèces ne caractérisant pas les SPB,

c'est-à-dire celles nettement moins dominantes. Ils permettent néanmoins d'avoir une image très complète des SPB et de recenser les espèces à forte valeur patrimoniale (telles que les orchidées). Répétée dans le temps, cette méthodologie nous semble essentielle tant du point de vue qualitatif (richesse spécifique) que quantitatif (variation du recouvrement des taxons durant la saison, en particulier celui des graminées) (Figure 11) pour permettre d'avoir une vision à long terme de l'évolution de ces surfaces, qui dépendent de la fréquence et du type de gestion qui leur sont associés (SCHWAB *et al.*, 2002). Elle devrait permettre de détecter les éventuels changements de composition (qualitatif) et de recouvrement (quantitatif) floristique afin d'orienter une gestion garantissant une diversité végétale optimale ainsi que la protection d'espèces à valeur patrimoniale qui y sont associées. Cette gestion devrait se faire en étroite collaboration avec les agriculteurs qui doivent entretenir ces SPB.

4.2 La diversité des SPB

La richesse spécifique et l'indice de Shannon, permettent de caractériser chacun des sites du point de vue de sa végétation. Bien que le critère principal qui prévaut pour l'octroi du niveau de qualité supérieure repose essentiellement sur la composition botanique (DGAN, 2015), la différence entre les deux niveaux de



Figure 11 : Végétation de la parcelle 3GQ2 en avril (à gauche), dominée par la sanguisorbe (*Sanguisorba minor*), puis en juin (à droite), largement dominée par le brome (*Bromus erectus*) (photos : © Marie Bessat).

qualité (Q1 vs Q2) de richesse spécifique est significative mais demeure très faible en valeurs médianes (± 3 espèces en valeur absolue). Les SPB de Q1 ne sont donc pas radicalement plus pauvres que celles de Q2. La différence apparaît au niveau de l'identité des espèces qui les composent. La qualité d'une surface, appréhendée par sa richesse floristique, est directement liée aux conditions environnementales locales (pH, humidité et nutriments) (BRUUN, 2000 ; DUPRÉ & EHRLÉN 2002 ; LÖBEL *et al.*, 2006 ; ZULKA *et al.*, 2014). Dans notre cas, les conditions environnementales (valeurs écologiques) sont relativement homogènes entre les différents types de SPB. Cependant, les caractéristiques historiques (gestions, techniques d'ensemencement, mélanges grainiers) des deux niveaux de qualité sont probablement différentes (SCHWAB *et al.*, 2002 ; KLIMEK *et al.*, 2007). En effet, la végétation qui se développe sur un site peut essentiellement être expliquée par deux types de facteurs : (1) le milieu (conditions abiotiques telles que la géologie, la pédologie, la météorologie et les facteurs édaphiques,...), et (2) le mode d'exploitation (passé et actuel) (DUPRÉ & EHRLÉN, 2002 ; SCHWAB *et al.*, 2002 ; GUSTAVSSON *et al.*, 2007 ; KLIMEK *et al.*, 2007). Dans des pâturages semi-naturels en Suède, GUSTAVSSON *et al.* (2007) montrent la nécessité de prendre en compte l'historique de gestion du site afin de comprendre la diversité floristique actuelle. Dans notre cas, le type de mélange et la technique d'ensemencement (herbe à semence) utilisés, l'année d'ensemencement (première inscription officielle) ainsi que la date du début du contrat selon le niveau de qualité jouent probablement un rôle dans la variation entre sites des diversités végétales. Nous montrons également que l'effet de la taille des SPB n'influence pas la richesse spécifique floristique s'y développant : les richesses spécifiques des grandes SPB ne sont pas plus élevées que celles des petites SPB. Ceci va de pair avec ce que DUPRÉ & EHRLÉN (2002) suggèrent. Selon eux, l'effet de la taille du patch ou de son degré d'isolement dans le paysage sur la richesse spécifique végétale est moins important que certaines variables abiotiques caractérisant la qualité de l'habitat. ZULKA *et al.* (2014) considèrent que les facteurs locaux influencent fortement la végétation. Selon ces derniers, la surface historique des habitats serait un meilleur indicateur de la richesse spécifique floristique d'une prairie que sa taille actuelle, confirmant l'intérêt de prendre en compte les facteurs historiques. Ces résultats remettent en question les conclusions de certains auteurs qui relatent que la richesse spécifique floristique d'une prairie serait corrélée de manière positive à sa taille, liée également positivement à l'hétérogénéité de l'habitat (MEYER *et al.*, 2009). Mais selon BRUUN (2000), l'hétérogénéité d'un habitat serait indépendante de sa surface. Même si la richesse végétale des SPB est ici faiblement influencée par le niveau de qualité, d'autres facteurs, non considérés dans cette étude, peuvent également influencer la végétation de telles surfaces, comme la complexité paysagère ou les facteurs de connectivité (TSCHARNTKE *et al.*, 2005 ; HAENKE, 2009).

La variabilité floristique associée aux différences entre les 12 sites considérés (46% de l'information de l'AFC initiale) soutient l'idée que chaque site possède des caractéristiques qui lui sont propres (histoire, gestions, types de semences, année d'ensemencement) (SCHWAB *et al.*, 2002 ; KLIMEK *et al.*, 2007). En effet, les sites ne se regroupent pas distinctement selon leur classification a priori. Certaines SPB de Q1 sont très diversifiées et tendent à se rapprocher du niveau de qualité supérieure. C'est le cas par exemple du site 2PQ1, qui se trouve être proche du point de vue de sa composition floristique de trois sites de petite taille et de qualité supérieure. Cela est probablement dû au fait que ce site est particulièrement riche en espèces pour une SPB de Q1. On y retrouve des taxons, généralement inventoriés dans les SPB de qualité supérieure (et figurant sur la liste des espèces pour l'octroi du niveau de qualité supérieure) tels que : *Knautia arvensis*, *Leontodon hispidus*, *Lotus corniculatus*, *Rhinanthus alectorolophus*, *Salvia pratensis* et *Silene pratensis*. Par ailleurs, l'hétérogénéité marquée en termes de composition floristique que l'on retrouve entre les sites de grande taille et de Q1 soutient encore une fois l'importance du rôle que peuvent jouer d'autres facteurs (environnementaux ou historiques) sur la composition floristique des prairies (SCHWAB *et al.*, 2002 ; KLIMEK *et al.*, 2007). Il faut cependant garder à l'esprit que l'AFC décrit des « profils moyens » de composition en espèces. En effet, un cortège « pauvre » en espèces et un cortège « riche » peuvent avoir des profils moyens de composition proches et donc des positions proches dans l'AFC. De plus, et même si certaines tendances se dessinent, la catégorisation des SPB étudiées (deux catégories de taille et deux niveaux de qualité) reste une simplification de la réalité adoptée pour des raisons temporelles et matérielles. Pour aller plus loin, il serait pertinent d'intégrer un plus grand nombre de niveaux, voire de créer un gradient au sein des facteurs considérés afin de mieux cerner l'origine des différences de diversité entre les sites.

4.3 Espèces indicatrices

La désignation d'espèces indicatrices pour chaque type de SPB permet de mettre en évidence une végétation qualitativement très riche pour les grandes SPB de qualité supérieure (GQ2), étant donné que la majeure partie des espèces indicatrices désignées figurent également dans la liste des espèces indicatrices utilisée pour l'évaluation du niveau de qualité supérieur (OPD, 2014). Il est intéressant de noter que 30% des espèces statistiquement indicatrices pour le type PQ2 figurent sur cette liste : c'est le cas de > 85% des espèces pour le type GQ2. Le recoupement des taxons indicateurs, statistiquement définis dans cette étude pour le niveau de Q2, avec plusieurs espèces de la liste des espèces indicatrices utilisées pour l'évaluation du niveau de qualité supérieur (OPD, 2014), met en avant la pertinence de nos résultats. *Salvia pratensis*, que l'on retrouve dans les sites 1PQ1, 2GQ1 et 1GQ2 et *Leucanthemum vulgare* présente dans les sites 3PQ2, 1GQ1 et 2GQ1 figurent également sur cette liste, mais

ressortent comme étant des espèces indicatrices pour des grandes SPB de Q1 (GQ1). Ceci s'explique par des valeurs de recouvrements et des fréquences importantes dans les SPB du type GQ1 qu'elles occupaient et des valeurs bien plus faibles pour les autres types où ces espèces ont été recensées.

Ce type d'analyse se limite parfois à l'identification de singletons (DE CACERES & LEGENDRE, 2009). Par exemple, *Centaurea cyanus* est présente, à fréquence élevée, uniquement dans le site 1GQ2 mais ressort malgré tout comme espèce indicatrice. Par ailleurs, l'illustration des taxons désignés comme indicateurs à travers leurs valeurs écologiques (LANDOLT *et al.*, 2010) montre globalement que les conditions écologiques sont les mêmes entre les quatre types de SPB.

La pertinence d'une telle démarche se justifie à court terme car elle permet de caractériser des sites par des espèces spécifiques dans le but de les distinguer écologiquement. A plus long terme, les taxons mis en évidence par cette procédure pourraient jouer le rôle de bioindicateurs et s'avérer alors utiles pour détecter et évaluer des changements de qualité ou de conditions environnementales dans des SPB prairiales.

Remerciements

Nous remercions vivement toutes les personnes qui de près ou de loin se sont impliquées dans la réalisation de ce mémoire, en particulier Véronique Meyer, Philippe Roux et Aurélien Krauser de la DGAN, pour leur disponibilité et leur efficacité dans le partage des données relatives aux SPB et aux parcelles agricoles, les exploitants des SPB pour l'accès aux sites et leur coopération, Aurélia Passaseo pour son aide au laboratoire et sur le terrain, ainsi qu'à Patrick Charlier, Catherine Polli et Bernard Schaetti pour l'aide sur le terrain.

Bibliographie

- AGRIDEA (2016). Promotion de la biodiversité dans l'agriculture suisse [en ligne]. <http://www.bff-spb.ch/bases-legales> (consulté le 28.09.2016).
- BRUUN, H.H. (2000) Patterns of species richness in dry grassland patches in an agricultural landscape. *Ecography*, 23: 641-650.
- CAILLET-BOIS, D., B. WEISS, R. BENZ & B. STÄHELI (2016). Promotion de la biodiversité dans l'exploitation agricole: Exigences de base et niveaux de qualité, conditions - charges - contributions, Agridea, 20p.
- CHAO, A., N.J. GOTELLI, T.C. HSIEH, E.L. SANDER, K.H. MA, K.R. COLWELL & A.M. ELLISON (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1): 45-67.
- COLWELL, R.K., A. CHAO, N.J. GOTELLI, S.Y. LIN, C.X. MAO, R.L. CHAZDON & J.T. LONGINO (2012). Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology*, 5(1): 3-21.
- DE CACERES, M. & P. LEGENDRE (2009). Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, 90(12): 3566-3574.
- DE CACERES, M., P. LEGENDRE & M. MORETTI (2010). Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos*, 119(10): 1674-1684.
- DGAN - Direction Générale de l'Agriculture et de la Nature (2016). Rapport d'activité 2015, N°59, 84p.
- DGAN - Direction Générale de l'Agriculture et de la Nature (2015). Conditions et charges à respecter pour bénéficier des contributions pour le niveau de « qualité II » (anciennement qualité) des surfaces de promotion de la biodiversité, 3p.
- DUFRENE, M. & P. LEGENDRE (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67: 345-366.
- DUPRÉ, C. & N.J. EHRLÉN (2002). Habitat configuration, species traits and plant distributions. *Journal of Ecology*, 90: 769-805.
- GOTELLI, N.J. & R.K. COLWELL (2010). Estimating species richness. pp. 39-54 (chap. 4) *In*: MAGURRAN, A.E. & B.J. MCGILL, Biological diversity: frontiers in measurement and assessment. Oxford University Press, Oxford, 345p.
- GUSTAVSSON, E., T. LENNARTSSON & M. EMANUELSSON (2007). Land use more than 200 years ago explains current grassland plant diversity in a Swedish agricultural landscape. *Biological conservation*, 138: 47-59.

- HAENKE, S. (2009). Increasing syrphid fly diversity and density in sown flower strips within simple vs. complex landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 46: 1106-1114.
- KLIMEK, S., A.R. KEMMERMANN, M. HOFMANN & J. ISSELSTEIN (2007). Plant species richness and composition in managed grasslands: The relative importance of field management and environmental factors. *Biological Conservation*, 134: 559-570.
- LANDOLT, E., B. BÄUMLER, A. ERHARDT, O. HEGG, F. KLÖTZLI, W. LÄMMLER, M. NOBIS, K. RUDMANN-MAURER, F.H. SCHWEINGRUBER, J.P. THEURILLAT, E. URMI, M. VUST & T. WOHLGEMUTH (2010). Flora indicativa: ecological indicator values and biological attributes of the flora of Switzerland and the Alps. Haupt, Bern, 325p.
- LAWTON, J.H., D.E. BIGNELL, B. BOLTON, G.F. BLOEMERS, P. EGGLETON, M. HAMMOND, M. HODDA, R.D. HOLT, T.B. LARSEN, N.A. MAWDSLEY, N.E. STORK, D.S. SRIVASTAVA & A.D. WATT (1998). Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature*, 391: 72-6.
- LÖBEL, S., J. DENGLER & C. HOBOHM (2006). Species richness of vascular plants, bryophytes and lichens in dry grasslands: the effects of environment, landscape structure and competition. *Folia Geobotanica*, 41: 377-393.
- LONDO, G. (1976). The decimal scale for relevés of permanent quadrats. *Vegetatio*, 33: 61-64.
- MEYER, B., F. JAUKE & I. STEFFAN-DEWENTER (2009). Contrasting resource-dependent responses of hoverfly richness and density to landscape structure. *Basic and Applied Ecology*, 10: 178-186.
- MOSER, D., A. GYGAX, B. BÄUMLER, N. WYLER & R. PALESE (2002). Liste Rouge des fougères et plantes à fleurs menacées de Suisse. Ed. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne; Centre du Réseau Suisse de Floristique, Chambésy; Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, Chambésy. Série OFEFP « L'environnement pratique », 118p.
- OKSANEN, J., F.G. BLANCHET, M. FRIENDLY, R. KINDT, P. LEGENDRE, D. MCGLINN, P.R. MINCHIN, R.B. O'HARA, G.L. SIMPSON, P. SOLYMOS, M.H.H. STEVENS, E. SZOECZ & H. WAGNER (2017). Package 'vegan' [en ligne]. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf> (Consulté le 13.09.2017)
- OPD - Instructions relatives à l'art. 59 et à l'annexe 4 de l'Ordonnance sur les paiements directs versés dans l'agriculture ; Prairies extensives, prairies peu intensives et surfaces à litière, du niveau de qualité II (2014). [en ligne]. https://www.regioflora.ch/fr/assets/content/pdf/Extensive_Wiese_FR.pdf (Consulté le 11.10.2016).
- OPD - Ordonnance sur les paiements directs versés dans l'agriculture, 910.13 (2013). Le conseil fédéral suisse [en ligne]. <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/20130216/201601010000/910.13.pdf> (Consulté le 28.09.2016).
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0 [en ligne]. <http://www.R-project.org> (consulté le 01.10.2016).
- ROBERTS, D.W. (2006). labdsv: Laboratory for Dynamic Synthetic 526 Vegephenomenology. R package version 1.2-2. [en ligne]. <http://cran.r527project.org/> (consulté le 04.08.2017).
- SCHWAB, A., D. DUBOIS, P.M. FRIED & P.J. EDWARDS (2002). Estimating the biodiversity of hay meadows in north-eastern Switzerland on the basis of vegetation structure. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93: 197-209.
- TSCHARNTKE, Z., A.M. KLEIN, A. KRUESS, I. STEFFAN-DEWENTER & C. THIES (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8: 857-874.
- WILDI, O. (1986). Analyse vegetationskundlicher Daten: Theorie und Einsatz statistischer Methoden. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidgenössischen Hochschule. *Stiftung Rübel*, 90: 1-226.
- ZULKA, K.P., M. ABENSPERG-TRAUN, N. MILASOWSKY, G. BIERINGER, B.A. GEREKEN-KRENN, W. HOLZINGER, G. HÖLZLER, W. RABITSCH, A. REISCHÜTZ, P. QUERNER, N. SAUBERER, I. SCHMITZERBER, W. WILLNER, T. WRBKA & H. ZECHMEISTER (2014). Species richness in dry grassland patches of eastern Austria: A multi-taxon study on the role of local landscape and habitat quality variables. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 182: 25-36.



ISSN-: 0373-2525
47 : 1-242 (2018)

ISBN : 978-2-8278-0050-6

