



EVALUATION DE 9 ZONES HUMIDES SAVOYARDES AVEC LE PROTOCOLE FLORE RHOMEO (marais de Bondeloge, Boucherance, Chalmieu, Champoulet, marais du Parc, marais des Villards, le Pontet, Les Lagneux, tourbière de Montendry).

Décembre 2021

PACHE Gilles

MICHOULIER Mathieu



PROTOCOLE FLORE RHOMEO (marais de Bondeloge, Boucherance, Chalmieu, Champoulet, marais du Parc, marais des Villards, le Pontet, Les Lagneux, tourbière de Montendry).

Gilles PACHE & Mathieu MICHOUPLIER. Décembre 2021.

Crédits des photos du rapport : Pyramide BDOOrtho en L93, IGN - site des Lagneux (YENNE).

Sommaire

I - Contexte de l'étude.....	4
II - Sites étudiés	4
III - Rappels sur la méthode.....	5
IV - Résultats.....	6
IV -1. Engorgement (I02)	9
IV -2. Fertilité du sol (I06)	10
IV -3. Conservatisme et Indice de qualité floristique (I06).....	11
IV -4. Synthèse et significativité des tendances.....	12
V - Analyse de l'évolution de Chalmieu et de Montendry	15
V – 1. Chalmieu.....	15
V – 2. Montendry.....	20
VI - Conclusions	25

ANNEXE 1 : résultats synthétiques à l'échelle des sites.

ANNEXE 2 : résultats détaillés à l'échelle des placettes.

I - Contexte de l'étude

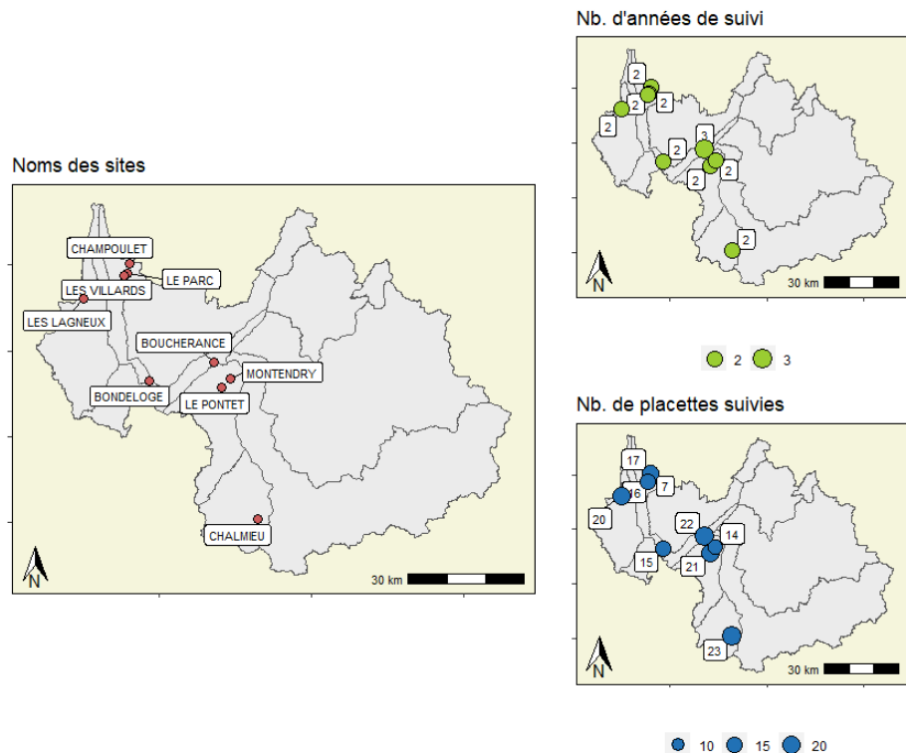
Le CEN Savoie a missionné le CBNA pour mettre en œuvre les indicateurs flore de la boîte à outils RhOméo (I02, I06 et I08) sur 9 zones humides en 2021. Une convention entre ces deux organismes précise les sites et le calendrier des opérations ainsi que les actions que le CBNA doit mener.

Le présent document constitue le rapport des actions effectuées par le CBNA. Il comprend de brefs rappels sur les sites et la méthode de travail, une présentation des résultats, ainsi qu'une annexe présentant les résultats synthétiques par site. Des fichiers informatiques sont également fournis et contiennent les résultats détaillés.

II - Sites étudiés

Les sites ont été inventoriés par G. PACHE et M. MICHOUPLIER. La localisation géographique des sites, les nombres d'années de passages et de placettes faites à toutes les dates sont donnés figure 1.

Figure 1 : localisation des sites en Savoie, nombres d'années de suivi et nombres de placettes de suivis.



Disposant d'un GPS de précision sub-métrique avec correction différentielle en temps réel, et étant donné que les points initiaux ont été calés à partir de mesure au décamètre par rapport à des points quasiment fixes, les placettes ont été relocalisées sur le terrain uniquement au GPS. Cela a permis un gain de temps assez appréciable. Globalement, l'erreur de localisation est de l'ordre du mètre (le plus souvent entre 60-70 cm et 120 cm), ce qui est relativement négligeable par rapport à la taille des placettes (minimum de 4 x 4 mètres).

III - Rappels sur la méthode

L'évaluation des zones humides, et avant tout celle de leur évolution, est basée sur trois indicateurs relevés avec le même protocole :

- ✓ un indicateur d'humidité édaphique (**I02**), reflétant le niveau moyen de la nappe (note allant de 1 à 9 des sites secs ou sites à nappe affleurant en permanence) ;
- ✓ un indicateur de fertilité (**I06**), reflétant le niveau de nutriments dans le sol (note allant de 1 à 5 des sites les plus pauvres en nutriments à ceux les plus riches) ;
- ✓ un indicateur de qualité floristique (**I08**) qui tient compte des stratégies des espèces végétales et met en avant les sites où sont présentes des espèces tolérant mal les perturbations hydrologiques, biogéochimiques ou de fonctionnement dynamique des sites ; en particulier, les espèces exotiques envahissantes (EEE) ont un impact négatif sur cet indicateur (note allant de 0 à 9 des sites ne comportant que des EEE à des sites totalement indemnes).

A chaque espèce est attribuée une valeur indicatrice pour un indicateur donné (chiffre de 1 à 10, 1 à 5 et 0 à 9 respectivement pour chacun des trois indicateurs).

Des relevés exhaustifs (avec évaluation du recouvrement) de la végétation sont réalisés à intervalles réguliers le long de transects (typiquement 1 à 4 transects par site pour environ 10 à 30 placettes). On calcule pour chaque placette et chaque indicateur une valeur diagnostique des indicateurs (valeur moyenne des valeurs indicatrices des espèces présentes, pondérée ou non par le recouvrement des espèces).

L'interprétation des résultats est basée sur trois critères :

- ✓ l'estimation de l'écart entre deux dates de la médiane des valeurs diagnostiques des placettes doit être supérieure à une valeur de 0.4 (si on pondère par le recouvrement) ou 0.5 (sans pondération) pour les indicateurs I02 et I06 et à 1.5 pour l'indicateur I08 ;

- ✓ si les distributions des valeurs diagnostiques ne sont pas bimodales aux deux dates ou pas trop dissymétriques, l'écart doit être significatif avec le test des rangs signés de WILCOXON ;
- ✓ si ces conditions ne sont pas respectées, le coefficient V de KRAMER doit être supérieur à au moins 0.1, voire 0.2.

Pour être jugée significative, une évolution doit l'être avec au moins deux des trois critères.

IV - Résultats

Tous les résultats des calculs sont fournis dans les annexes 1 et 2, pour les valeurs à l'échelle des sites et pour les données et les valeurs des placettes, respectivement, sous forme de fichiers informatiques au format EXCEL.

Le tableau 1 présente quelques résultats généraux sur les protocoles mis en place

Caractéristiques principales

	Nb. de placettes		Nb. d'observations		Richesse		Richesse cumulée		Dates			Observateur		
	2010	2021	2010	2021	2010	2021	2010	2021	2010	2021	2010	2021		
MONTENDRY	14	14	189	192	70	68	70	86	05/07	22/07	MA	MM		
LES VILLARDS	16	16	242	335	88	97	88	115	20/07	21/07	PG	PG		
LES LAGNEUX	20	20	175	186	57	51	57	65	19/08	12/08	PD	PG		
LE PONTET	21	21	265	292	93	96	93	124	29/06	21/07	PG	MM		
LE PARC	7	7	72	84	34	42	34	49	20/07	21/07	PG	PG		
CHAMPOULET	17	17	199	236	72	77	72	95	07/07	12/08	LT	PG		
CHALMIEU	23	23	510	383	179	130	178	203	26/07	26/07	LT	MM		
BOUCHERANCE	22	22	395	346	111	95	111	140	27/06	19/07	12/07	PG	PG	MM
BONDELOGE	15	15	300	276	109	105	109	131	12/07	30/06	LT	MM		

Tableau 1 : résumé des principales caractéristiques liées à l'échantillonnage des sites RhOméo parcourus en 2021. Pour les observateurs, les initiales indiquées correspondent à : LT = LEGLAND Thomas ; MA = MIKOLAJCZAK Alexis ; MM = MICHOUILLER Mathieu ; PD = PAULIN david ; PG = PACHE Gilles.

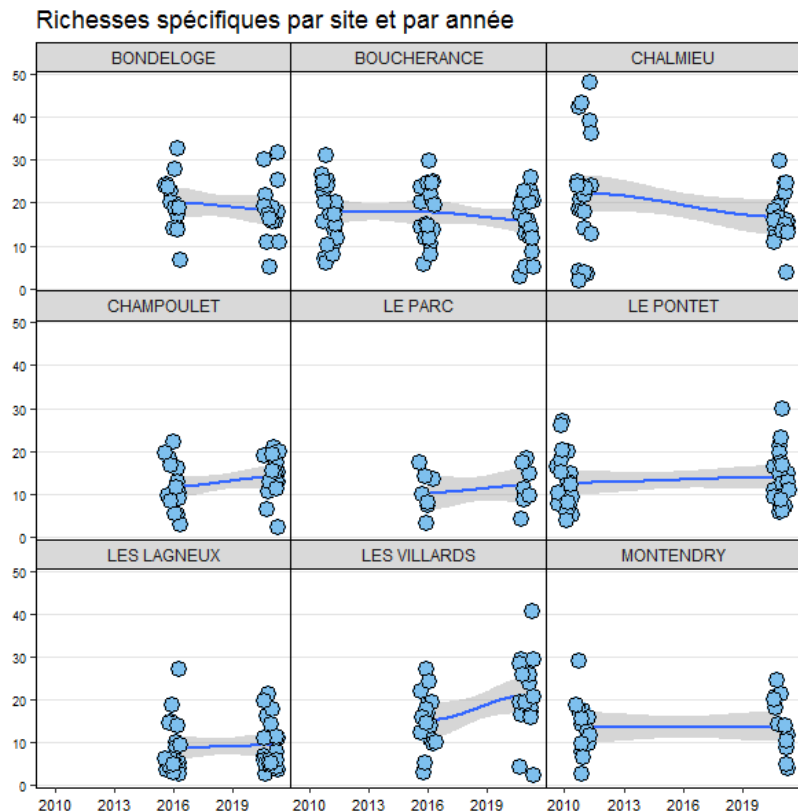
Au total, 155 placettes communes à toutes les dates ont été inventoriées pour 2330 observations flore en 2021.

Les nombres d'observations par sites sont relativement stables en fonction du temps, hormis pour les Villards et Champoulet où une augmentation est observée, et pour Chalmieu, et

dans une moindre mesure, Boucherance, où une diminution est constatée. La richesse cumulée en fonction des nombres de passage augmente, par définition, et ce même à Boucherance où il s'agit pourtant du 3e passage.

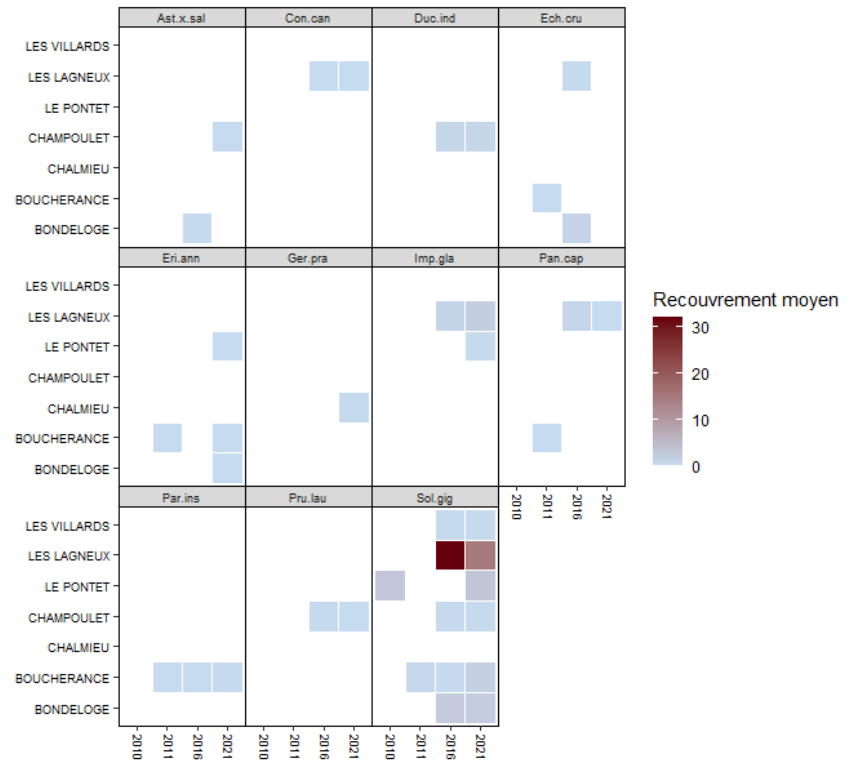
L'évolution des richesses spécifiques par site en fonction des années (figure 2) montre qu'il n'y a pas de tendances très marquées ; on peut signaler une légère augmentation de la richesse des placettes aux Villards et une très légère tendance à la diminution à Chalmieu, due pour ce site quasiment exclusivement à quelques relevés très riches en 2010 qui le sont beaucoup moins en 2021.

Figure 2 : richesse spécifique par placette en fonction des années et pour chaque site ; la courbe bleue donne la tendance, la surface grisée représentant l'intervalle de confiance à 95 % de cette tendance.



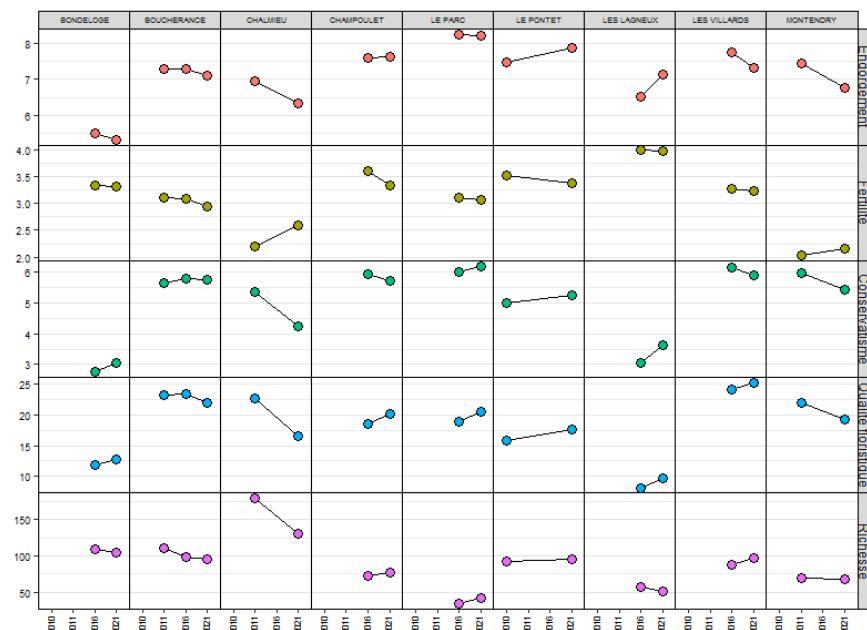
Concernant les espèces exotiques envahissantes, un bilan par nombre d'occurrences montre peu de changements ; si on considère le recouvrement moyen (sur les placettes échantillonnées !), on constate là-aussi une grande stabilité, sauf aux Lagneux où une baisse assez nette est observée (figure 3) ; il faut toutefois garder à l'esprit que les relevés ont été effectués par 2 personnes différentes, ce qui peut biaiser en partie les estimations des recouvrements.

Figure 3 : recouvrement moyen des espèces exotiques en fonction des années et par site.



L'évolution des valeurs globales, pour l'ensemble des sites et des indicateurs, est donnée figure 4. On constate une stabilité pour les sites de Bondeloge, Boucherance, le Parc, le Pontet, des évolutions modérées, ne concernant en général pas tous les indicateurs pour Champoulet, les Villards, les Lagneux ; enfin, 2 sites montrent des tendances plus marquées, Montendry et surtout Chalmieu. Pour ce dernier site, les tendances de tous les indicateurs sont défavorables : diminution de l'engorgement, du conservatisme, de la qualité floristique, de la richesse et augmentation de la fertilité. Pour Montendry, les mêmes tendances sont là mais de façon moins marquée.

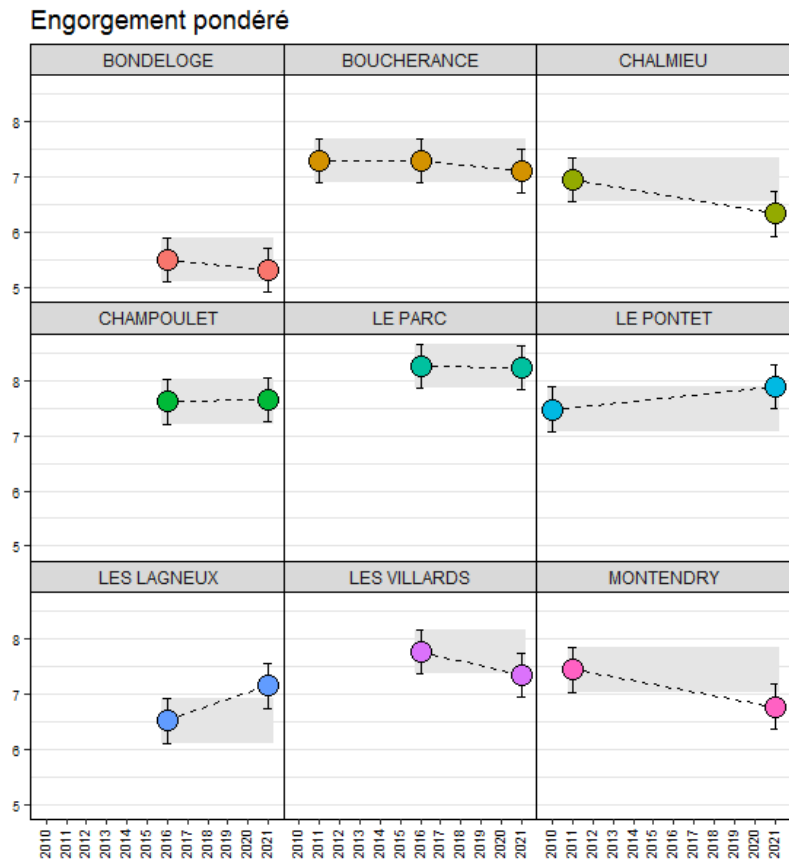
Figure 4 : évolution temporelle des valeurs médianes par sites en fonction des années pour l'engorgement, la fertilité, le conservatisme, la qualité floristique et la richesse spécifique.



IV -1. Engorgement (I02)

Pour l'engorgement avec pondération par le recouvrement (figure 5), les évolutions sont nettes pour Chalmieu (baisse), les Lagneux (hausse) et Montendry (baisse) ; pour ces trois sites, les tendances sont quasiment supérieures à l'erreur empirique estimée due aux erreurs de relocalisation des placettes ou aux effets observateurs.

Figure 5 : évolution des valeurs médianes par sites en fonction des années pour l'engorgement avec pondération par le recouvrement ; le polygone grisé représente l'erreur empirique pour l'indicateur avec comme référence la valeur de la première année de passage ; les barres d'erreurs donnent les erreurs empiriques pour une année donnée.



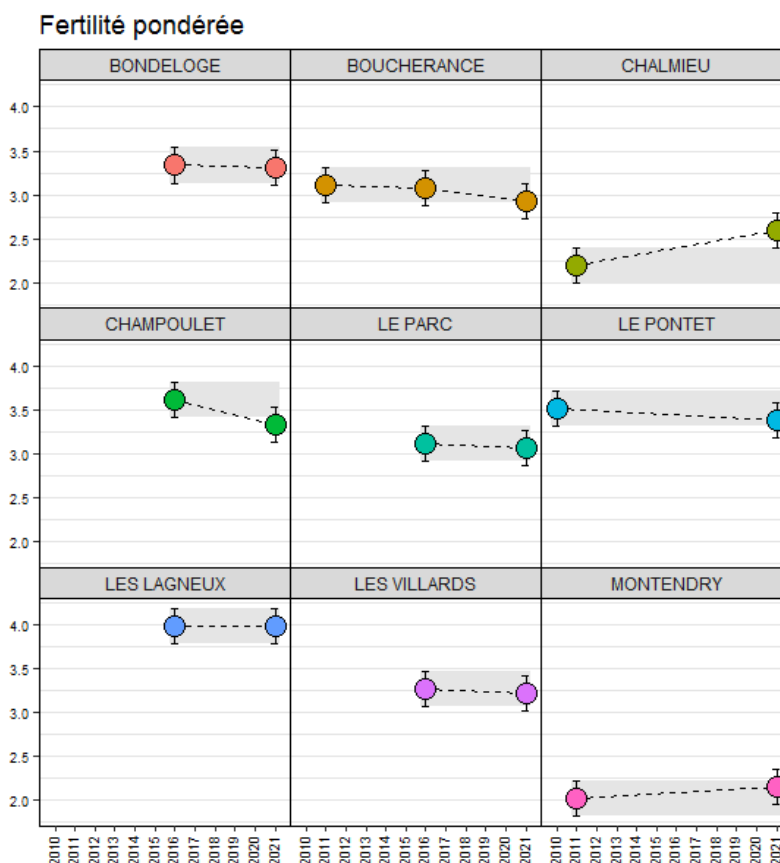
Pour deux autres sites, des évolutions moins importantes sont observées : hausse au Pontet et baisse au Villards. Enfin, des baisses très faibles sont constatées à Bondeloge et à Boucherance, alors que la situation est quasiment inchangée à Champoulet et au Parc. Rappelons toutefois qu'il s'agit ici des tendances globales (médianes) par site et que cela peut cacher des évolutions différenciées dans l'espace et le temps à l'échelle infra-site. Ainsi, dans le détail, la situation est de fait stable pour quasiment toutes les placettes de Champoulet et du Parc. La légère tendance à Bondeloge est surtout tirée par deux placettes, alors que toutes les autres sont assez stables. Au Pontet, une baisse est surtout marquée sur les placettes du transect 2, alors que des hausses sont concentrées sur le transect 1, particulièrement sur la placette hors transect RHTR04. Au marais des Villards, la baisse est surtout due à quelques placettes du transect 1 et à une placette du transect 2. A Montendry,

la baisse est très nette pour 4 placettes, que ne compensent pas 2 augmentations modérées. A Chalmieu, la baisse est quasi généralisée, hormis une placette (T02P04) qui augmente et quelques-unes qui sont stables.

IV -2. Fertilité du sol (I06)

Pour la fertilité avec pondération par le recouvrement (figure 6), Chalmieu se distingue par une augmentation forte et supérieure à l'erreur empirique. On peut noter également une tendance faible mais générale à la baisse, notamment à Bouchérance et Champoulet. A contrario, une très légère augmentation est constatée à Montendry.

Figure 6 : évolution des valeurs médianes par sites en fonction des années pour la fertilité avec pondération par le recouvrement ; le polygone grisé représente l'erreur empirique pour l'indicateur avec comme référence la valeur de la première année de passage ; les barres d'erreurs donnent les erreurs empiriques pour une année donnée.

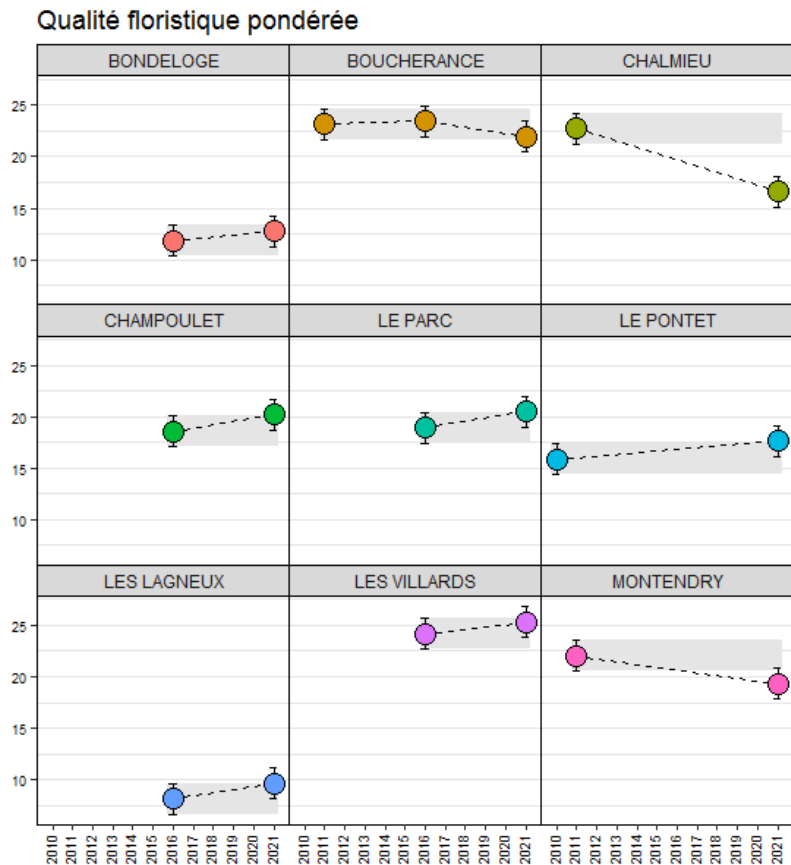


Dans le détail, la tendance à la baisse à Champoulet est tirée surtout par le transect 2 et surtout par 2 placettes (T02P04 et T02P01). Au Pontet, la situation semble complexe, avec quelques augmentations très fortes (RHTR04 et RHTR05) compensées par beaucoup de diminutions. A Montendry, ce sont surtout 2 placettes (T01P03 et T02P04) qui tirent vers le haut la valeur médiane de fertilité. Enfin, à Chalmieu, on note une tendance à la hausse très forte pour 4 placettes et forte pour 5 autres.

IV -3. Conservatisme et Indice de qualité floristique (I06)

Pour la qualité floristique avec pondération par le recouvrement (figure 7), une augmentation faible et inférieure à l'erreur empirique s'observe sur la plupart des sites, hormis Boucherance et surtout Montendry et Chalmieu où une diminution significative est constatée.

Figure 7 : évolution des valeurs médianes par sites en fonction des années pour la qualité floristique avec pondération par le recouvrement ; le polygone grisé représente l'erreur empirique pour l'indicateur avec comme référence la valeur de la première année de passage ; les barres d'erreurs donnent les erreurs empiriques pour une année donnée.



A Champoulet, ce sont surtout de petites différences positives sur beaucoup de placettes qui expliquent la tendance, de même qu'aux Lagneux, au marais de Villards ou au Pontet. La baisse observée à Montendry est surtout due à une seule placette (T01P03) et secondairement à quelques petites baisses sur 5 autres placettes. Enfin, à Chalmieu, la baisse est généralisée à l'ensemble des placettes hormis 2 (RHTR03 et RHTR05), cette baisse de l'indice de qualité floristique pouvant être due à une diminution de la richesse ou à des changements de composition floristique selon les cas.

IV -4. Synthèse et significativité des tendances

Une première petite amélioration méthodologique est proposée cette année. En effet, une lecture plus approfondie d'ouvrages sur les méthodes non paramétriques (MANGIAFICCO, 2016) conduit à préciser les conditions d'applications et surtout les conclusions que l'on peut tirer du test des rangs signés de WILCOXON en fonction de certaines caractéristiques des données. En particulier, ce test ne permet de mettre en évidence une éventuelle différence des valeurs médianes entre années que si la distribution des différences entre les 2 années testées est symétrique autour de la valeur 0 ; dans le cas contraire, le test peut mettre en évidence que les deux distributions diffèrent par leurs formes globales. Trois tests différents sont utilisés :

- ✓ un basé sur le coefficient d'asymétrie ;
- ✓ un basé sur le test des signes ;
- ✓ un basé sur les scores de van der Waerden.

Les deux derniers sont très généralement cohérents entre eux et assez conservateurs, en particulier pour de petites tailles d'échantillons (comme c'est le cas pour beaucoup de sites RhOméo) ; par conservateur, il faut comprendre qu'ils ne rejettent pas facilement l'hypothèse de symétrie de la distribution testée. Le test basé sur le coefficient d'asymétrie donne, lui, beaucoup plus souvent des résultats « significatifs », c'est à dire qu'il tend à plus souvent considérer les distributions comme non symétriques : la littérature met en garde contre ce test basé sur le coefficient d'asymétrie dont la distribution d'échantillonnage est en fait mal connue. Nous considérerons donc non symétriques les distributions pour lesquelles au moins 2 des 3 tests sont significatifs.

Une deuxième petite amélioration a été testée : en effet, le test t de comparaison de moyennes est classiquement considéré comme robustes aux écarts à la non normalité et, sous certaines conditions, aux écarts aux différences de variance ; il est en outre plus puissant dans beaucoup de cas que son homologue non paramétrique, même si la différence peut être très ténue et de peu de portée pratique. Il est donc préconisé par certains auteurs (voir par exemple ELZINGA *et al.*, 1996) dans à peu près toutes les conditions. Nous l'avons donc déployé, en complément du test des rangs signés de WILCOXON, afin de vérifier la cohérence des résultats entre les deux méthodes.

Les résultats nécessaires à l'interprétation des données sont récapitulés dans le tableau 2. Il contient les différences des valeurs médianes entre années. Les seuils sont différents selon les indicateurs – voir le rapport sur la boîte à outils RhOméo téléchargeable sur le site http://rhomeo-bao.fr/sites/all/themes/corporateclean/pdf/ZH_Boite-outils-complete.pdf, notamment les fiches I2, I6 et I8), mais cela n'est pas précisé dans le rapport pour le coefficient de conservatisme. Nous proposons en première approche de retenir comme significatives les différences supérieures à 0.4 pour cet indicateur.

Les résultats des tests statistiques de WILCOXON sur les valeurs diagnostiques des placettes (avec pondération par le recouvrement) ne concernent que les comparaisons entre l'année la plus ancienne et l'année la plus récente pour chaque site. Le coefficient V de KRAMER est calculé pour l'ensemble des années disponibles (2 ou 3 selon les sites), et indique un effet global des années. Rappelons pour ce dernier qu'on considère, sur des bases consensuelles mais arbitraires, que les valeurs supérieures à 0.1 et inférieures à 0.3, soulignées dans le tableau 2, indiquent une association faible (mais non nulle !) entre les années et l'indicateur. Le V de KRAMER ne pouvant pas être calculé pour l'Indice de Qualité Floristique, cet indicateur n'est pas traité mais le coefficient de conservatisme l'est (rappelons que le second est lié au premier et calculé avec les valeurs de conservatisme des taxons).

Rappelons également les règles d'interprétation proposées dans la boîte à outil RhOméO pour statuer sur la significativité de l'évolution d'un site : 2 des 3 modes d'évaluations (différence, V de KRAMER et test des rangs singés de WILCOXON) doivent être significatifs.

Site	Engorgement			Fertilité			Conservatisme		
	Différence	V de Kramer	Wilcoxon	Différence	V de Kramer	Wilcoxon	Différence	V de Kramer	Wilcoxon
Bondeloge	-0.19	0.08	n.s.	-0.03	0.06	n.s.	+0.28	<u>0.11</u>	n.s.
Boucherance	-0.17	0.07	n.s.	-0.17	0.05	n.s.	+0.10	0.08	n.s.
Chalmieu	-0.63	0.09	p < 0.002	+0.39	<u>0.12</u>	p < 0.001	-1.11	0.10	p < 0.001
Champoulet	+0.03	0.06	n.s.	-0.27	<u>0.12</u>	n.s. (p = 0.053)	-0.21	0.08	n.s.
Lagneux	+0.63	<u>0.12</u>	P < 0.001	-0.01	0.04	n.s.	+0.59	<u>0.16</u>	p < 0.001
Montendry	-0.66	<u>0.19</u>	p < 0.03	+0.12	0.08	n.s.	-0.51	<u>0.14</u>	p < 0.05
Parc	-0.03	<u>0.17</u>	n.s.	-0.05	0.03	n.s.	+0.17	<u>0.14</u>	n.s.
Pontet	+0.41	<u>0.15</u>	n.s.	-0.13	0.09	n.s.	+0.23	<u>0.16</u>	n.s.
Villard	-0.42	0.10	P < 0.03	-0.04	0.01	n.s.	-0.28	0.09	p < 0.02

Tableau 2 : résultats des méthodes statistiques pour l'engorgement, la fertilité et le conservatisme ; la colonne différence contient la différence des valeurs médianes pondérées par le recouvrement entre la première année (2010, 2011 ou 2016 selon les sites) et la dernière année (2021) par site, les valeurs supérieures (en valeurs absolues) à l'erreur empirique étant données en gras ; pour le V de KRAMER, les effets faibles sont soulignés ; pour le test de WILCOXON, seules les comparaisons entre la première année des données et la dernière sont présentées, avec les probabilités associées pour les résultats significatifs au seuil 5 %.

La symétrie des différences entre première et dernière année a été testée et peut être considérée plausible pour : Bondeloge, Boucherance, Chalmieu (sauf pour la qualité floristique mais uniquement avec le test du coefficient d'asymétrie), Champoulet, le Parc, le Pontet (sauf pour la fertilité par le test du coefficient d'asymétrie ; à noter aussi que les deux autres tests sont presque significatifs), les Lagneux (sauf pour la fertilité mais uniquement

avec le test du coefficient d'asymétrie), les Villards et Montendry (sauf pour la qualité floristique mais uniquement avec le test du coefficient d'asymétrie).

Pour l'engorgement, les sites de Chalmieu, les Lagneux et Montendry présentent une évolution significative au regard des 3 tests ; elle est également significative pour 2 des 3 tests au Pontet et aux Villards. Les tests t pour données appariées sont :

- ✓ non significatifs pour Chalmieu, Montendry, les Villards ;
- ✓ significatifs pour les Lagneux, le Pontet.

Pour la fertilité, l'évolution est significative pour les 3 tests à Chalmieu et pour 2 à Champoulet (le troisième étant quasiment significatif au niveau 5 %). Les tests t pour données appariées ne sont pas significatifs.

Pour le conservatisme, l'évolution est significative avec les 3 approches aux Lagneux et à Montendry ; elle est significative avec 2 approches à Chalmieu. Les tests t pour données appariées ne sont pas significatifs aux Lagneux, à Montendry (mais significatif au niveau 10 %), et à Chalmieu.

A ce stade, il est difficile de proposer des explications convaincantes sur les résultats peu cohérents entre les tests t et les tests des rangs signés de WILCOXON : hormis un cas (les Lagneux pour l'engorgement), les tests t rejettent les hypothèses d'une différence entre années quand les tests des rangs signés les acceptent. Quand il y a convergence avec les trois méthodes préconisées par la méthode d'interprétation RhOméO, ces rejets nous semblent bien sévères, d'autant que la procédure RhOméO est assez conservatrice au vu de 12 ans de suivis. C'est probablement car les tests t sont (beaucoup ?) plus sensibles aux effets du recouvrement que le V de KRAMER (qui ne prend en compte que les présences / absences), que le test des rangs signés (la transformation en rangs abolit de fait les différences de valeurs diagnostiques, elles-mêmes dépendantes des recouvrements des espèces) et que l'erreur empirique (dégagée de considérations statistiques).

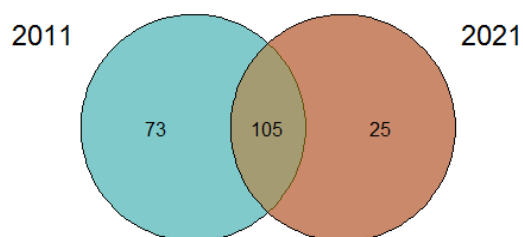
Deux sites émergent de manière évidente comme présentant des évolutions de grande ampleur et significatives, Chalmieu et Montendry, et ce pour tous les indicateurs (hormis Montendry pour la fertilité). Ils seront donc étudiés plus en détail ci-après.

V - Analyse de l'évolution de Chalmieu et de Montendry

V – 1. Chalmieu

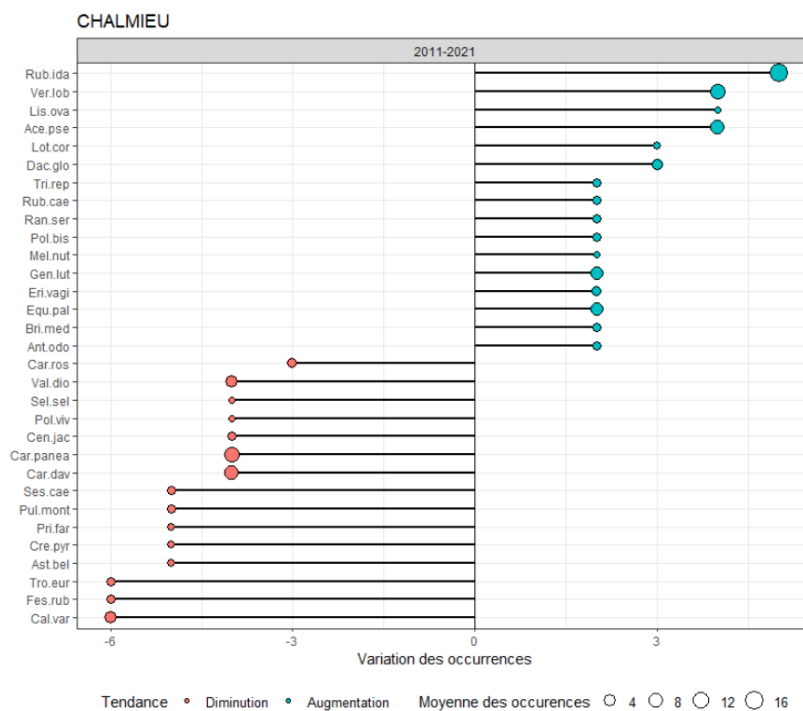
Sur les 203 espèces vues sur le site, 105 sont communes à 2011 et 2021, 25 n'ont été vues qu'en 2021 et surtout, 73 espèces vues en 2011 n'ont pas été revues en 2021 (figure 8). La quasi totalité des espèces non revues sont des espèces présentes 1 voire 2 fois en 2011, mais pas uniquement.

Figure 8 : diagramme de Venn du nombre de taxons sur le site de Chalmieu entre 2011 et 2021.



Dans le détail, les espèces dont la fréquence a le plus changé sont indiquées figure 9.

Figure 9 : espèces dont la fréquence a le plus changé entre 2011 et 2021 à Chalmieu. Les taxons en rouge sont ceux qui ont régressé, ceux en bleu sont ceux qui ont progressé au cours de la période ; la taille du cercle est proportionnelle au nombre d'occurrences moyen sur la période.



Les espèces qui ont le plus régressé sont liées aux bas-marais alcalins, comme *Aster bellidiastrum*, *Carex davalliana*, *Carex panicea*, *Selaginella selaginoides*, *Valeriana dioica*, ou des espèces des prairies humides et ourlets basiflines comme *Calamagrostis varia*, *Trollius europaeus*, *Crepis pyrenaica* ; a contrario, les espèces qui progressent sont *Rubus idaeus*,

Veratrum lobelianum, *Acer pseudoplatanus*, *Ranunculus serpens*, soit des espèces des ourlets pré-forestiers, ainsi que quelques prairiales nitrophiles comme *Dactylis glomerata* et *Trisetum flavescens*.

En recouvrement moyen (figure 10), on retrouve les mêmes tendances, avec également *Molinia caerulea* qui augmente et devient assez dominante, le développement de *Sorbus aucuparia* ou de *Geum rivale*, la régression de *Trichophorum cespitosum* (autre composante des bas-marais alcalins)

Figure 10 : diagramme rang / abondance (estimée par le recouvrement moyen). On place en ordonnées les valeurs du recouvrement moyen d'une espèce en 2011 (en rouge) ou en 2021 (en bleu) et en abscisses, les espèces sont triées par ordre décroissant de cette abondance ; les espèces sont identifiées par leurs noms abrégés.

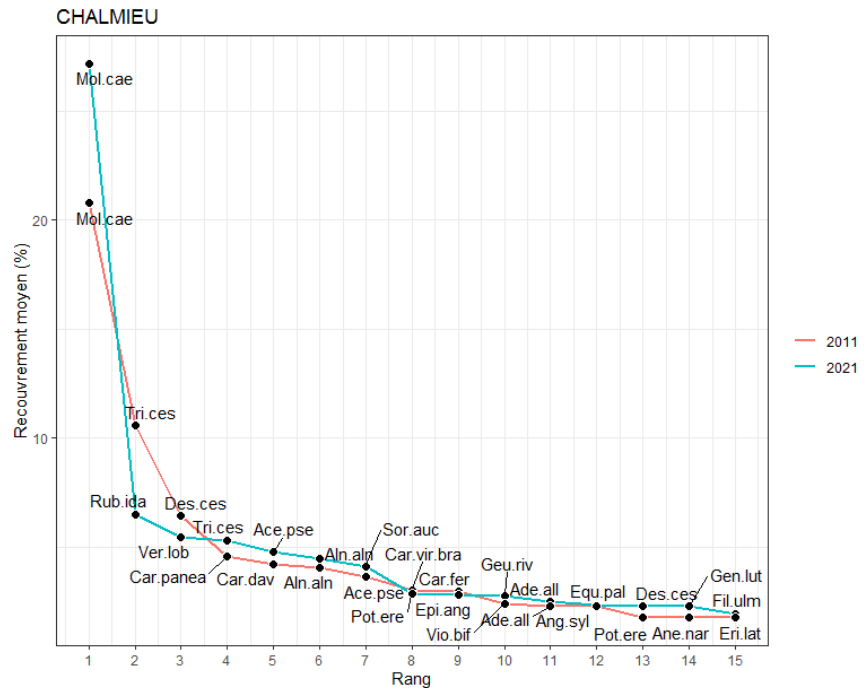
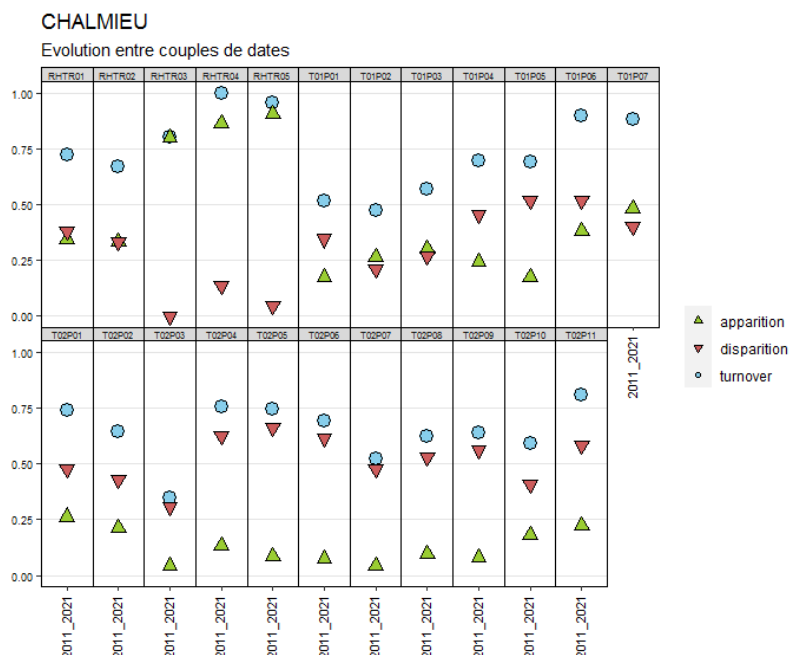


Figure 11: taux de remplacement ("turnover") par placette (ronds bleus) et décomposition de ce taux en parts dues à des apparitions de taxons (triangles verts) et à des disparitions (triangles rouges) entre 2011 et 2021.

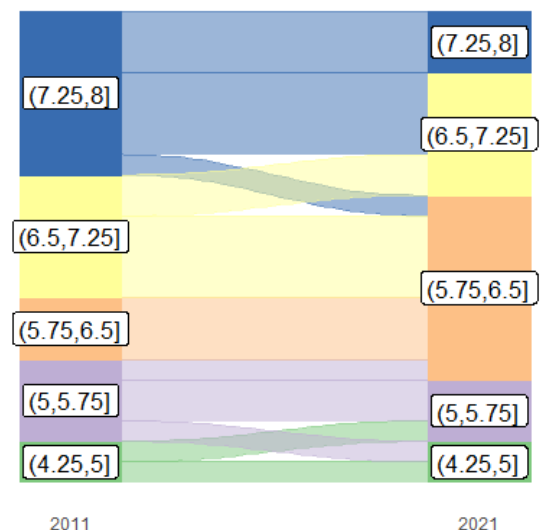


Si on regarde la situation par placette (figure 11), on peut évaluer l'évolution en calculant un taux de remplacement, lui-même décomposable en une somme de deux effets cumulatifs, les apparitions et les disparitions de taxons. Le remplacement est globalement élevé, compris en 50 et 75 % pour la plupart des placettes. Sur le transect 1 (intitulé des placettes commençant par "T01"), le remplacement est dû, à parts à peu près égales, aux disparitions et aux apparitions, hormis pour T01P05 où les disparitions dominent. Pour le transect 2, en revanche, on constate une nette domination des disparitions ; pour ce transect, les placettes ont donc subi une diminution drastique de la richesse spécifique, sans que d'autres espèces viennent compenser. Pour les relevés hors transects (placettes commençant par "RHT"), la situation est plutôt inverse, avec surtout des enrichissements, hormis pour les placettes RHTR01 et RHTR02. Pour ces derniers, il s'agit d'un relevé assez pauvre et le turnover a donc peu de portée. Pour tous les autres, en revanche, il s'agit de relevés très pauvres en 2011 et assez riches en 2019, sauf RHTR02 qui est riche aux deux dates. Des modifications des milieux ou des erreurs de repositionnement des placettes doivent expliquer cela.

Au niveau des valeurs diagnostiques, ce sont surtout les placettes qui avaient des valeurs élevées d'engorgement en 2011 (classes 7.25 à 8 et 6.5 à 7.25) qui connaissent des baisses (figure 12). Les placettes ont une tendance à présenter majoritairement des valeurs d'engorgement comprises en 5.75 et 6.5 en 2021. Quelques très rares placettes connaissent une augmentation de l'engorgement.

Figure 12 : évolution des valeurs diagnostiques d'engorgement par placette ; les placettes sont classées en catégories d'engorgement (4.25 à 5, 5 à 5.75, 5.75 à 6.5, etc ...) en 2011 à gauche et on visualise leurs évolutions en 2021 (à droite du graphique) dans ces mêmes classes de valeurs ; ainsi, pour les valeurs comprises en 7.25 et 8 en 2011, environ 1/3 des placettes ont une valeur comprise entre 7.25 et 8 en 2021, la moitié a des valeurs entre 6.5 et 7.25 et 1/6 des valeurs comprises entre 5.75 et 6.5.

Evolution des valeurs diagnostiques en fonction des ans
Engorgement pondéré

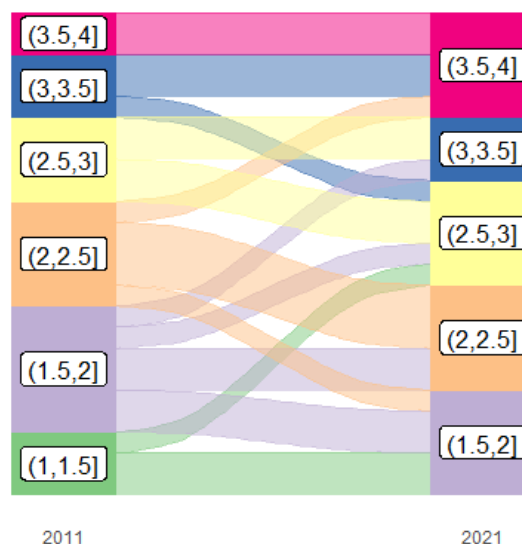


Pour la fertilité (figure 13), le décalage vers des valeurs hautes (plus fertiles) concerne presque toutes les classes de valeurs, hormis les placettes les plus eutrophes en 2011 qui restent stables. Les placettes les moins fertiles (valeurs diagnostiques comprises en 1 et 1.5)

en 2011 ont disparues en 2021 ; il en est quasiment de même pour celles qui avaient des valeurs comprises entre 1.5 et 2 en 2011.

Figure 13 : évolution des valeurs diagnostiques de fertilité par placette entre 2011 et 2021 (voir les explications figure 12).

Evolution des valeurs diagnostiques en fonction des ans
Fertilité pondérée



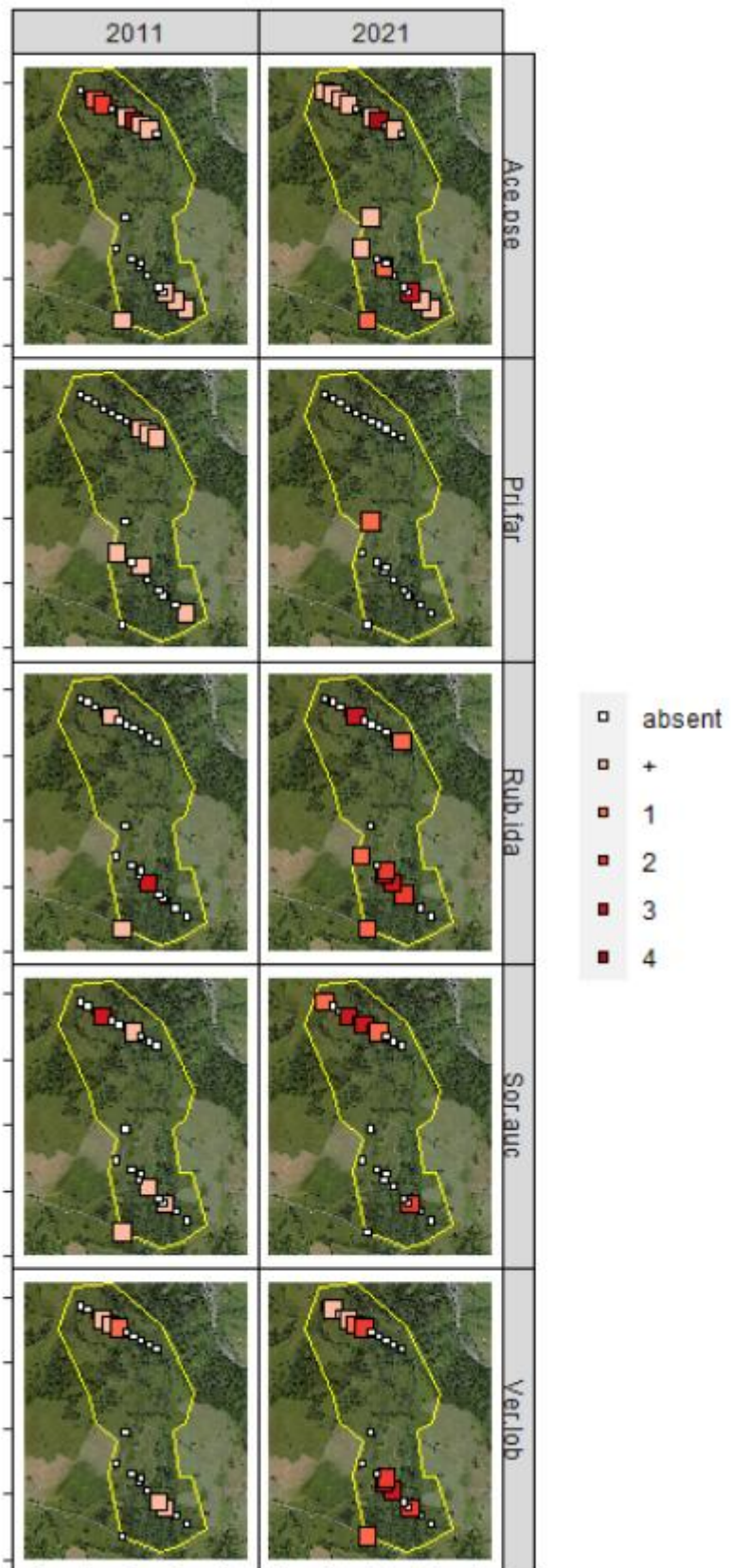
Pour le conservatisme, la tendance à la diminution touche à peu près toutes les classes de valeurs de 2011 (résultats non montrés).

Une Analyse Factorielle des Correspondances inter-années (résultats non montrés) indique que l'effet de l'année n'est pas significatif, en termes de différences de composition des communautés floristiques globales. Toutefois, on peut visualiser une tendance au glissement des relevés vers les communautés dominées par les hautes herbes ou les ligneux (Aulne vert notamment) à partir de communautés de bas-marais de pente alcalins. Cette tendance n'est pas générale, masquée aussi par de fortes évolutions ponctuelles (relevé RHTR01, T02P01 par exemple), expliquant que l'effet année, au sens de l'AFC inter, n'est pas significatif ; il faut aussi ajouter que la procédure d'évaluation de la significativité des effets dans les analyses inter a été renforcée pour prendre en compte une tendance à trouver des groupes significatifs là où il n'y en avait pas.

Le site de Chalmieu a connu une évolution particulièrement défavorable, et ce pour tous les indicateurs. Ces tendances semblent liées à des évolutions naturelles : dynamique de colonisation par des espèces herbacées compétitives, implantation ou augmentation du couvert des ligneux. L'augmentation observée pour les espèces prairiales mésophiles ne relève probablement pas d'une évolution naturelle. En effet, en 2011, il avait été constaté sur le site le creusement de petits drains très récents. Nous ne savons pas ce qu'il est advenu de ces drains, mais il est possible que ceux-ci puissent expliquer en partie la diminution de l'engorgement, la régression des espèces typiques des bas-marais alcalins et le développement des espèces prairiales. Toutefois, il est également probable qu'une sous-

exploitation (voire un arrêt ?) puisse participer à la dégradation de la qualité biologique du site. Ces deux hypothèses seraient à creuser en relation notamment avec les transects, dont l'évolution n'est pas synchrone (illustration sur la figure 14).

Figure 14 : abondances (coefficient d'abondance / dominance de Braun-Blanquet) pour une sélection de taxons présentant des évolutions temporelles entre 2011 et 2021 et, souvent, différentes ou plus accentuées selon le transect considéré, sur le site de Chalmieu ; les petits carrés blancs représentent les placettes où une espèce donnée n'a pas été détectée.



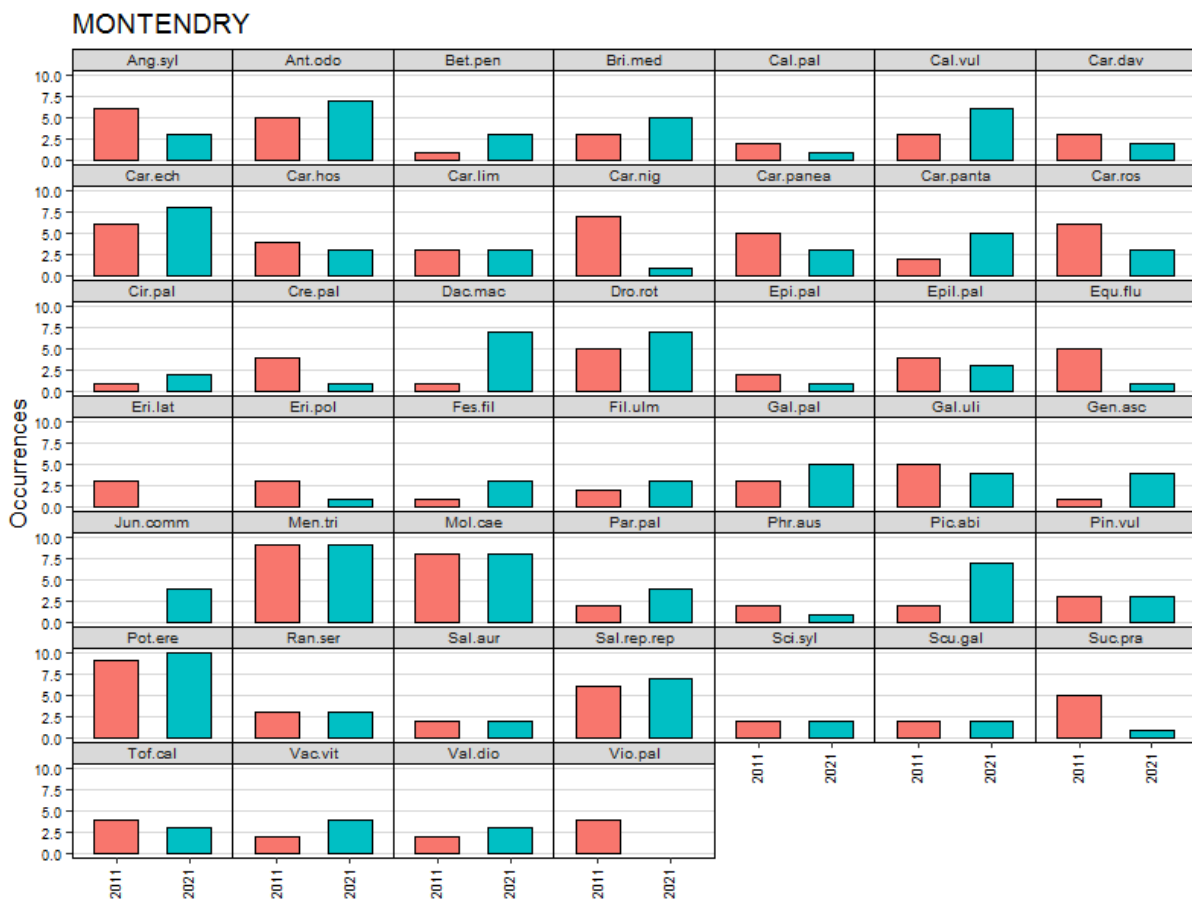
V – 2. Montendry

Sur les 76 taxons inventoriés sur les placettes RhOméO du site, 52 sont communs à 2011 et 2021, 18 n'ont été vus qu'en 2011 et 16 uniquement en 2021.

Les variations des fréquences des espèces (figure 15, pour les espèces contactées au moins 3 fois en 2011 ou 2015) touchent surtout :

- ✓ pour les diminutions, *Carex nigra*, *Carex panicea*, *Viola palustris*, *Carex rostrata*, *Eriophorum latifolium*, *Angelica sylvestris*, *Eriophorum polystachion* et *Succisa pratensis* ;
- ✓ pour les augmentations, *Dactylorhiza maculata*, *Calluna vulgaris*, *Picea abies*, *Betula pendula*, *Carex paniculata*, *Gentiana asclepiadea*, *Drosera rotundifolia*, *Carex echinata*, *Festuca filiformis* et *Vaccinium vitis-idaea*.

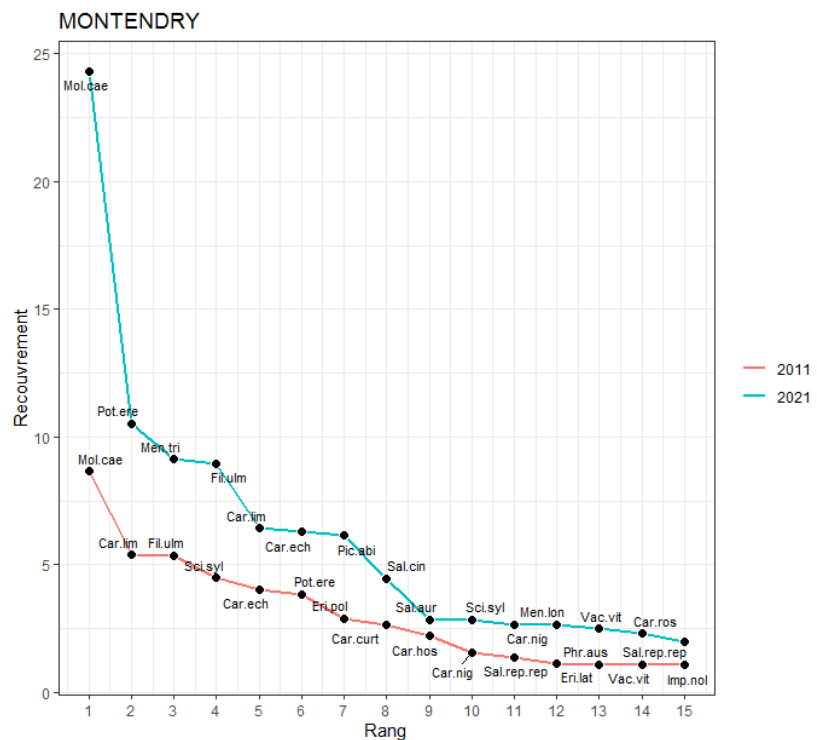
Figure 15 : évolution des fréquences entre 2011 et 2021 des espèces présentes au moins 3 fois sur l'ensemble de la période à Montendry.



La tendance générale est donc à l'augmentation des espèces les plus acidophiles, à une légère colonisation par les ligneux : **on a donc une tendance à la maturation de la tourbière**. Il est par ailleurs possible que certaines diminutions constatées, qui sont surprenantes dans ce contexte, comme pour *Viola palustris* ou *Eriophorum polystachion*, soient plutôt dues à des biais observateurs.

Le diagramme rangs / abondances (avec le recouvrement moyen comme indicateur de l'abondance des espèces) montre, figure 16, un grand développement de *Molinia caerulea* dans la période 2011-2021, ainsi qu'une augmentation de l'abondance de *Potentilla erecta*, *Filipendula ulmaria*, *Salix cinerea*, *Salix aurita* notamment. Au schéma global de maturation, s'ajoute une tendance au développement d'ourlets un peu nitrophiles, probablement (ce point reste à étudier dans le détail), en périphérie de certains ligneux (*Salix cinerea*).

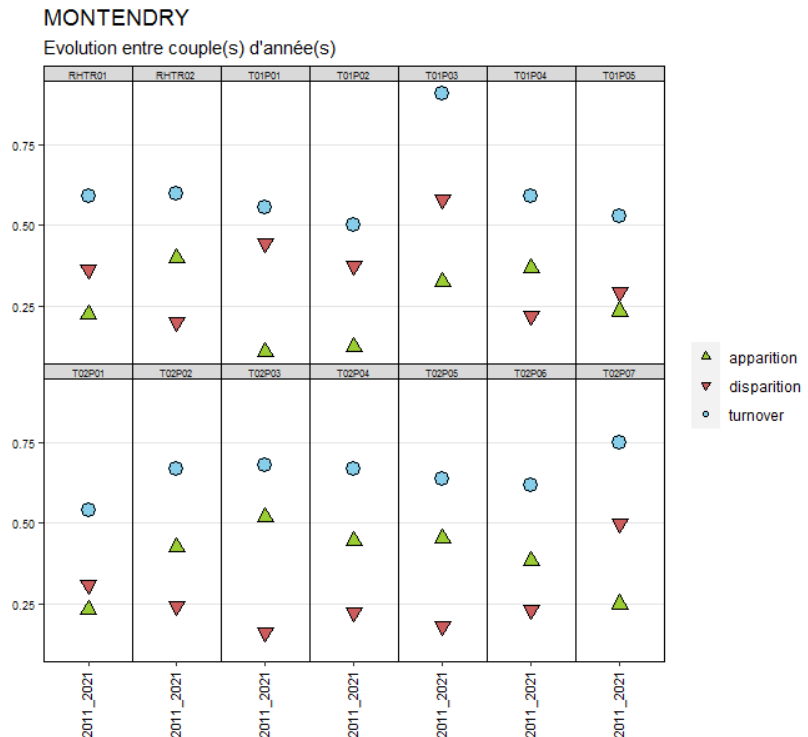
Figure 16 : diagramme rangs / abondances (estimées par les recouvrements moyens). On place en ordonnées les valeurs du recouvrement moyen d'une espèce en 2011 (en rouge) ou en 2021 (en bleu) et en abscisses, les espèces sont triées par ordre décroissant de cette abondance ; les espèces sont identifiées par leurs noms abrégés.



Toujours au titre des tendances globales, on ne constate pas de tendances globales et nettes pour l'évolution de la richesse, de la diversité Shannon ou de l'équitabilité de Pielou, les schémas d'évolutions semblant plus ou moins particuliers à chaque placette (résultats non montrés).

Dans le détail des placettes, les remplacements globaux (figure 17) sont assez élevés, moindres toutefois qu'à Chalmieu, et ce d'autant que les placettes étant moins riches ici, ces taux de remplacements élevés concernent en fait moins d'espèces en valeurs absolues. On peut retenir que le remplacement des taxons est surtout dû à des apparitions sur le transect 2 (hormis pour la placette T02P07), alors que c'est plutôt l'inverse sur le transect 1 où les disparitions sont dominantes.

Figure 17 : taux de remplacement ("turnover") par placette (ronds bleus) et décomposition de ce taux en parts dues à des apparitions de taxons (triangles verts) et à des disparitions (triangles rouges) entre 2011 et 2021.



Pour les deux indicateurs avec des évolutions significatives, à savoir l'engorgement et le conservatisme, on peut analyser les évolutions entre 2011 et 2021 des occurrences et des recouvrements cumulés des taxons regroupés par valeurs indicatrices : on fait alors abstraction de l'identité des taxons pour focaliser sur leurs indications écologiques. Le recouvrement cumulé, calculé simplement comme la somme des recouvrements de toutes les espèces ayant une valeur indicatrice donnée, est le pendant du nombre total d'occurrences ; il est plus facile dans ce cas à interpréter qu'un recouvrement moyen, qui peut être calculé, lui, soit comme la moyenne des recouvrements par relevés soit comme la moyenne des recouvrements pour une valeur indicatrice donnée. L'option retenue ici nous a semblé plus simple et plus intégratrice de ce qui se passe à l'échelle du site.

Pour l'humidité (figure 18), on constate une augmentation des occurrences nette des valeurs indicatrices de 5 et 7, et dans une moindre mesure des valeurs 3 et 4, et au contraire, une diminution des occurrences des valeurs indicatrices de 8 et 9 et secondairement de 6. La baisse du niveau d'engorgement perçue par les plantes s'explique donc à la fois par la diminution des occurrences des taxons les plus hygrophiles et par une augmentation des taxons mésophiles. En recouvrement cumulé, on observe une augmentation générale entre 2011 et 2021 ; cette augmentation peut être expliquée par une augmentation globale de la biomasse du tapis végétal, et également aussi par un effet observateur ; ce dernier, même s'il existe probablement, ne doit en tous cas pas suffire à lui seul à expliquer le phénomène car certaines évolutions (sur certaines placettes) sont trop marquées pour être causées par l'effet observateur d'une part, et la cohérence de l'évolution observée ne milite pas non plus en ce sens, d'autre part. Ce sont surtout les espèces avec des valeurs indicatrices de 7 ou 5

qui augment le plus. Les valeurs faibles augmentent faiblement, de même que les valeurs fortes, l'effet des secondes compensant peu ou prou celui des premières. La valeur médiane d'engorgement du site en 2011 étant de 7.5, l'augmentation du recouvrement des espèces égales à 7 ne permet pas d'enrayer la diminution due aux espèces indicatrices de 5.

Figure 18 : occurrences (à gauche) et recouvrement cumulé (à droite) des espèces classées par valeurs indicatrices d'engorgement, entre 2011 et 2021 à Montendry.



Figure 19 : occurrences (à gauche) et recouvrement cumulé (à droite) des espèces classées par valeurs indicatrices de conservatisme, entre 2011 et 2021 à Montendry



Ce sont surtout *Picea abies*, *Juniperus communis*, *Calluna vulgaris*, *Gentiana asclepiadea* et *Dactylorhiza maculata* qui, par leurs augmentations entre 2011 et 2021, expliquent la diminution de l'indicateur "engorgement".

Pour le conservatisme (figure 19), le schéma est assez simple, avec une augmentation des espèces à faibles valeurs, tant en termes d'occurrences qu'en termes de recouvrements cumulés, et une diminution des espèces à fortes valeurs, sauf pour le recouvrement. La valeur médiane du site en 2011 était de 5.94 : les fortes augmentations des valeurs de 3, 4 ou 5 ne sont pas compensées par les légères augmentations des recouvrements cumulés des espèces à fort conservatisme. Ce sont surtout *Picea abies*, *Juniperus communis*, *Calluna vulgaris* et *Dactylorhiza maculata* qui, par leur augmentations entre 2011 et 2021 expliquent la diminution de l'indicateur "conservatisme", soit quasiment les mêmes espèces que pour l'engorgement.

Une AFC inter-années a également été réalisé. Elle montre que l'effet année n'est globalement pas significatif. Les types de communautés, prairies hygrophiles méso-eutrophes du *Calthion* s'opposant aux communautés des marais des transitions et aux bas-marais acides, restent stables dans le temps ; toutefois, on note une tendance à l'agglutination ou convergence d'un certain nombre de relevés en 2021 vers les communautés des bas-marais acides et des fourrés associés. Les changements sont, pour le moment, encore plutôt d'ordre quantitatifs que véritablement qualitatifs.

En conclusion, le site de Montendry connaît une évolution peu favorable, liée à une maturation naturelle du site. Les espèces acidophiles, liées aux tourbières bombées à sphaignes semblent se développer ; en complément, une colonisation par les ligneux est observée. Si la première raison n'est pas vraiment préoccupante, il sera bon de veiller à ce que les ligneux ne prennent pas trop d'ampleur sur ce site.

VI - Conclusions

Les suivis RhOméO 2021 qui ont porté sur des sites vus 2 ou 3 fois, ont permis de mettre en évidence des évolutions nettes et significatives pour 2 d'entre eux :

- ✓ Chalmieu, caractérisé par une dégradation des 3 indicateurs ; les causes sont probablement multiples, avec une composante de dynamique naturelle de densification et de fermeture des milieux, liée peut-être à une sous-exploitation d'une partie du site, et, peut-être, des effets du creusement de drains en 2011 ; nous ignorons si ces drains ont été bouchés ou existent encore et sont encore efficaces, ou s'il s'agit d'une rémanence de leurs effets initiaux ;
- ✓ Montendry, avec une dégradation moins marquée, mais sensible pour l'engorgement et la qualité floristique ; pour ce site, c'est une maturation naturelle qui semble à l'oeuvre, dans le sens d'une évolution vers des bombements à sphaignes et d'une colonisation par les ligneux ; cette dernière devrait être maîtrisée pour éviter une trop grande atteinte du site.

A coté de ces sites, deux autres semblent bien orientés, Champoulet et le Parc pour tous les indicateurs, mais de façon peu nette.

Pour les Lagneux, on constate une évolution plutôt favorable, notamment pour l'engorgement et la qualité floristique, liée aux travaux sur le site et à la régression de *Solidago gigantea* notamment. Ces résultats doivent toutefois être confortés car l'impact réel sur le long terme est encore trop incertain.

Pour les autres sites, les changements sont soit faibles, soit les indicateurs ne sont pas tous orientés dans le même sens, et globalement, ces modifications sont très faibles.

En termes de méthode, deux améliorations ont été testées :

- ✓ une série de 3 tests préalables au test des rangs signés de WILCOXON afin de s'assurer que les éventuelles différences mises en avant par ce test soient bien des différences de médianes ; faciles à réaliser, et toujours complétés par un examen visuel du graphe correspondant, ces tests sont toutefois d'une portée limitée car ils sont dans l'ensemble assez conservateurs et rejettent très peu souvent la non symétrie, en particulier pour de petites tailles d'échantillons ; nous les conserverons toutefois par la suite ;
- ✓ la réalisation, en complément du test de WILCOXON, de tests t pour données appariées ; le test t s'avère plus conservateur ; il n'est pas certain que nous gardions cette "amélioration" dans le futur.