



Etude réalisée avec le soutien des DREAL Alsace et Lorraine

Contribution à l'évaluation de l'état de conservation des hautes-chaumes et de l'impact des MAE :
Réalisation de 184 relevés phytosociologiques dans le cadre de l'Observatoire des espaces ouverts de la montagne vosgienne



Hautes-chaumes (photo ESOPE)

Janvier 2017



**Contribution à l'évaluation de l'état de conservation des
hautes-chaumes et de l'impact des MAE :**
*Réalisation de 184 relevés phytosociologiques dans le cadre de
l'Observatoire des espaces ouverts de la montagne vosgienne*

RAPPORT FINAL

Janvier 2017

Expertise réalisée par :

ESOPE
2 au Parc
57580 REMILLY
Tél : 03 87 73 49 96

Rédaction :

Christelle Jager (ESOPE)
Fabien Dupont (PNRBV)

Coordination de l'étude :

Christelle Jager
Email: jager@bureau-etude-esope.com

Equipe de terrain :

Christelle Jager & Marie-Pierre Vécrin-Stablo

Crédit photographique :

Christelle Jager / ESOPE (sauf mentions contraires)

SOMMAIRE

RESUME	2
PREAMBULE / CONTEXTE HISTORIQUE	3
1 ZONE D'ETUDE	4
1.1 Localisation géographique	4
1.2 Zonages Natura 2000	4
1.3 Agriculture	7
1.4 Les végétations des hautes chaumes	8
2 LES FACTEURS INFLUENÇANT LA VEGETATION DES HAUTES CHAUMES	9
2.1 Les pratiques agricoles	9
2.1.1 Le pâturage	9
2.1.2 Les amendements	9
2.1.3 Le girobroyage	10
2.1.4 Le retournement	10
2.2 Le tourisme	10
2.3 Les effets des dépôts atmosphériques sur les pelouses d'altitude	11
3 LES FACTEURS AGRICOLES D'EVOLUTION DE LA VEGETATION DES HAUTES CHAUMES	12
3.1 Constat	12
3.2 Effets des pratiques agricoles sur les pelouses d'altitude	12
3.2.1 Effets de la fertilisation	12
3.2.2 Effets de la fauche	15
3.2.3 Effets du pâturage	16
4 LES MESURES AGRI-ENVIRONNEMENTALES (MAE)	17
4.1 Historique	17
4.2 Les contrats MAEt	18
5 SUIVI DANS LE TEMPS : LE SUIVI DIACHRONIQUE	20
5.1 La mise en place du suivi	20
5.1.1 Les objectifs	20
5.1.2 Le protocole	20
5.1.3 Sélection des relevés de végétation de 2007	21
5.1.4 Sélection des relevés de végétation de 2008	22
5.1.5 Synthèse des résultats de ces études antérieures	22

5.2	Campagne de 2015	23
5.2.1	Plan d'échantillonnage	23
5.2.2	Méthodologie de réalisation des relevés phytosociologiques	25
6	LES RESULTATS	26
6.1	Les résultats de l'approche synchronique	26
6.1.1	Rappels des objectifs	26
6.1.2	Les analyses préliminaires	26
6.1.3	Analyses statistiques comparatives	27
6.1.3.1	Parcelles en Chaume Lande Pelouse	27
6.1.3.2	Parcelles en Prairie d'Altitude et Prairie d'Altitude Remarquable	27
6.1.3.3	Parcelles en Prairie d'Altitude	27
6.1.3.4	Parcelles en Prairie d'Altitude Remarquable	28
6.1.3.5	Conclusions	28
6.1.4	Analyses floristiques : comparaison des fréquences des espèces dans les relevés	35
6.1.4.1	Comparaison des relevés en Chaume Lande Pelouse	35
6.1.4.2	Comparaison des relevés en Prairie d'Altitude Remarquable	37
6.1.4.3	Comparaison des relevés en Prairies d'Altitude	39
6.1.4.4	Conclusions	39
6.2	L'approche diachronique	41
6.2.1	Les objectifs	41
6.2.2	Echantillonnage	41
6.2.3	Analyses statistiques	42
6.2.3.1	Test de normalité des 2 échantillons	42
6.2.3.2	Test de comparaison des 2 échantillons	42
6.2.3.3	AFC des 2 échantillons	42
6.3	Evaluation de l'effet des MAE sur la flore	45
6.3.1	Les objectifs	45
6.3.2	Echantillonnage	45
6.3.3	Analyses statistiques	45
6.3.3.1	Test de normalité des 2 échantillons	45
6.3.3.2	Test de comparaison des 2 échantillons	46
6.3.3.3	AFC des 2 échantillons	46
6.4	Analyse par relevé	48
6.4.1	60 % des relevés de 2015 correspondent à des chaumes évaluées en bon état de conservation	48
7.4.2.	Evolution de l'état de conservation	50
7	CONCLUSIONS ET DISCUSSIONS	54
7.1	Les analyses statistiques	54
7.2	Discussion sur les résultats statistiques	55
7.3	Conclusion générale	56
	BIBLIOGRAPHIE	58
	ANNEXE 1 : LES CAHIERS DES CHARGES DES CONTRATS MAE	60
	ANNEXE 2 : LES RELEVES DE VEGETATION DE 2015	67

Liste des figures

Figure 1 : Zone d'étude.....	6
Figure 2 : Localisation des 184 relevés phytosociologiques réalisés en 2015	24
Figure 3 : AFC réalisée sur la base des 184 relevés de 2015	29
Figure 4 : AFC réalisée sur la base des relevés phytosociologiques réalisés dans les PAR et les PA en 2015.....	30
Figure 5 : AFC réalisée sur la base des relevés CLP de 2015	31
Figure 6 : AFC réalisée sur la base des relevés PAR et les PA de 2015.....	32
Figure 7 : AFC réalisée sur la base des relevés PA de 2015	33
Figure 8 : AFC réalisée sur la base des relevés PAR de 2015	34
Figure 9 : AFC réalisée sur la base des 2 échantillons historiques	44
Figure 10 : AFC réalisée sur la base des 2 échantillons contractualisés et non contractualisés	47
Figure 11 : Résultats relevé par relevé de l'état de conservation des habitats.....	49
Figure 12 : Evolution de l'état de conservation des relevés au cours du temps	51

Liste des tableaux

Tableau 1 : Description des 9 modalités de fumure appliquées en Suisse pendant 14 ans (d'après Tenz et al., 2010).....	13
Tableau 2 : Description des modalités de fumure appliquées en Allemagne depuis 1941 (d'après Hejcman et al., 2007b)	14
Tableau 3 : Description des modalités de fumure appliquées en République Tchèque et en Pologne (d'après Hejcman et al., 2007).....	15
Tableau 4 : Espèces bioindicatrices notées en 2007 & 2008 dans les premiers rapports d'évaluation (Page, 2007 puis Laurent, 2008)	21
Tableau 5 : Relevés réalisés en 2007 (Page, 2007)	22
Tableau 6 : Les relevés réalisés en 2015.....	23
Tableau 7 : Comparaison floristique entre les CLP contractualisés et non contractualisés ...	36
Tableau 8 : Comparaison floristique entre les PAR contractualisés et non contractualisés ..	38
Tableau 9 : Comparaison floristique entre les PA contractualisés et non contractualisés....	40
Tableau 10 : Echantillon utilisable dans le cadre de l'étude diachronique.....	41
Tableau 11 : Explications des évolutions des états de conservation entre les années 2000 ou les années 2007-2008 et 2015.....	52

Liste des annexes

Annexe 1 : Les cahiers des charges des contrats MAE	60
Annexe 2 : les relevés de végétation de 2015	67

Liste des abréviations :

CAD : Contrat d'Agriculture Durable
CTE : Contrat Technique d'Exploitation
MAE : Mesures Agro-Environnementales
PNRBV : Parc naturel régional des Ballons des Vosges
ZPS : Zone de Protection Spéciale

Glossaire :

Suivi synchronique : cette analyse a pour objet de comparer des relevés de végétation réalisés la même année qui présentent des modalités de gestion différentes

Ericacées : famille d'arbustes ou d'arbrisseaux des sols acides, aux fleurs en cloches, tels que la bruyère, la myrtille, les airelles, ...

Espèce oligotrophe : espèce végétale inféodée aux sols maigres (pauvres en éléments nutritifs)

Etat de conservation : selon la directive Habitats/Faune/Flore l'état de conservation d'un habitat naturel correspond à « l'effet de l'ensemble des influences agissant sur un habitat naturel ainsi que sur les espèces typiques qu'il abrite, qui peuvent affecter à long terme sa répartition naturelle, sa structure et ses fonctions ainsi que la survie à long terme de ses espèces typiques »

Habitat naturel : « zone terrestre ou aquatique se distinguant par ses caractéristiques géographiques, abiotiques et biotiques, qu'il soit entièrement naturel ou semi-naturel » (directive Habitats/Faune/Flore 1992). Il s'agit d'un milieu naturel caractérisé par des conditions écologiques relativement constantes et la végétation qui le compose est considérée comme un bon indicateur pour le déterminer

Espèce ou habitat d'intérêt communautaire : espèce ou habitat naturel mentionné(e) en annexes de la directive Habitats/Faune/Flore

Suivi diachronique : il consiste à comparer une communauté végétale à plusieurs échelles de temps. La mise en place d'un suivi de ce type comprend un balisage de la communauté végétale à suivre (identification de placettes expérimentales) afin de permettre un suivi géographique rigoureux (localisation GPS, borne de type géomètre, ...). Ces placettes sont ensuite analysées à des dates définies en fonction des objectifs de l'étude comparative à mener

Résumé

Le Parc naturel régional des Ballons des Vosges a mis en place en 2015 – 2016 des protocoles devant permettre l'évaluation des états de conservation des hautes chaumes, des forêts et des tourbières, après 20 ans d'animation de natura 2000. Le présent rapport présente les méthodes et les résultats des investigations mises en œuvre sur les hautes chaumes des sites natura 2000 des Hautes Vosges.

Sur les Hautes Vosges, plus de 3000 ha de hautes chaumes sont mis en valeur par près d'une centaine d'exploitations agricoles et bénéficient de mesures agri-environnementales depuis 1995. Ainsi en 2015, plus de 90% des surfaces éligibles aux mesures agri-environnementales sont engagées dans des contrats entre les éleveurs et l'Etat.

184 relevés répartis sur l'ensemble des hautes chaumes ont été réalisés en 2015. Ils ont été effectués en partie sur des secteurs déjà parcourus dans les années 2000 et les années 2007-2008 et intègrent ainsi un réseau de suivi appelé « observatoire des milieux ouverts du PNR des Ballons des Vosges ». Dans ces relevés sont notées sur 50 m² l'ensemble des espèces végétales présentes et leur taux de recouvrement (méthode phytosociologique).

Ces investigations montrent la **stabilité de la végétation des hautes chaumes** depuis les années 2000. Les mesures agri-environnementales ont ainsi permis d'encadrer les pratiques agricoles et éviter l'intensification de nombreuses surfaces planes ou presque, riches en biodiversité et facilement mécanisables, voire l'abandon de surfaces plus difficiles. D'autre part la fréquence des espèces favorisées par l'intensification tend à être moins importante dans les parcelles contractualisées et certains secteurs de hautes chaumes en voie d'intensification ont pu être préservés.

Cette stabilisation des états de conservation est conforme aux objectifs des documents d'objectifs en vigueur. Néanmoins ces résultats encourageants ne doivent pas occulter des problématiques qui demeurent, voire qui s'amplifient, en particulier les impacts du gibier (sangliers notamment) ou encore les changements globaux qui induisent des bouleversements climatiques mais également des dépôts atmosphériques dont les impacts sur la biodiversité sont d'ores et déjà en partie connus. D'autre part, à la marge sur des parcelles non contractualisées en MAE, l'intensification se poursuit et doit inciter à mobiliser des outils de protection complémentaires.

Préambule / contexte historique

Dans le cadre du suivi de l'état de conservation des habitats naturels (au sens de la directive Habitats/Faune/Flore) et de l'évaluation des mesures agri-environnementales (MAE) sur les hautes chaumes, le Parc naturel régional des Ballons des Vosges a mis en place un réseau de 180 placettes phytosociologiques lors de deux stages successifs (Page, 2007 et Laurent, 2008), placettes disposées sur d'anciens relevés réalisés dans la thèse de Laurent Alnot en 1999 - 2001 (Laboratoire de Phytoécologie, Université de Metz). Afin d'alléger le protocole, le recueil des données s'était toutefois concentré sur une liste d'espèces indicatrices à relever (quelques espèces oligotopes : Ericacées, Canche flexueuse, espèces favorisées par l'intensification et espèces patrimoniales).

Ce réseau de 180 placettes de suivi de la végétation s'intègre à l'**Observatoire des espaces ouverts de la montagne vosgienne**. Ce dispositif mis en place par le Parc sur les espaces ouverts de son territoire doit notamment permettre d'évaluer les principaux cahiers des charges des MAE en vigueur depuis 1995 sur les hautes chaumes (mesure « chaumes landes pelouses », mesure « prairie d'altitude » et mesure « prairie d'altitude remarquable ; **annexe 1**).

La disposition de ce réseau sur d'anciennes placettes de la thèse de Laurent Alnot (entre 1998 et 2001) avait déjà permis dans le cadre des études précédentes (Page, 2007 et Laurent, 2008) une approche diachronique et globalement montré une stabilisation des états de conservation entre 1998/2001 et 2007/2008 (Page, 2007 et Laurent, 2008).

A l'horizon de leur renouvellement (démarche en cours en 2015), une nouvelle étape d'évaluation des effets des MAE doit être engagée. Le réseau de placettes de suivi de la végétation initié en 2007 a ainsi été consolidé afin de permettre une approche agricole pertinente des hautes chaumes et de leur évolution dans le contexte des politiques agri-environnementales successives. Ce travail initié en 2015 doit aussi contribuer à l'évaluation des états de conservation des hautes chaumes.

Sur les hautes chaumes, les MAE correspondent essentiellement à des mesures de maintien des pelouses d'altitude. Les MAE en vigueur depuis 1995 visent en effet à encourager la poursuite des bonnes pratiques agricoles permettant de maintenir un réseau de nardaies et de landes en bon état de conservation (habitats d'intérêt communautaire n° 6230, 4030 et à la marge 6520). Les évolutions de la végétation attendues sont donc susceptibles de s'avérer très limitées. Toutefois, dans plusieurs secteurs, les mesures proposées visaient une restauration du bon état de conservation des hautes chaumes.

1 Zone d'étude

1.1 Localisation géographique

Source : Laurent (2008)

Les Hautes Vosges occupent la partie la plus méridionale de la chaîne des Vosges. Elles correspondent également à la partie la plus élevée au plan altitudinal.

Les hautes chaumes sont de vastes herbages qui recouvrent les sommets du Massif vosgien, (> 900 m d'altitude). D'une surface d'environ 3500 ha elles constituent un patrimoine naturel original et unique. Elles occupent majoritairement la crête principale, du Lac Blanc au Ballon d'Alsace, épine dorsale de ce massif orienté nord-est/sud-ouest. Elles sont cependant également présentes sur les crêtes secondaires du Petit Ballon orienté nord-est/sud-ouest, du Rainkopf au Grand Ballon et du Rossberg orientées nord-ouest/sud-est. Elles s'étendent ainsi centralement sur une série de « ballons » d'une longueur de 35 km.

La zone d'étude concerne plus particulièrement les hautes chaumes dans les zonages Natura 2000 des Hautes Vosges, sur les versants lorrains et alsaciens du Parc.

1.2 Zonages Natura 2000

L'enveloppe Natura 2000 sur les Hautes Vosges concerne 8 ZSC :

- FR4100196 : Massif du Grand Ventron
- FR4100203 : Chaumes du Hohneck, Kastelberg, Rainkopf et Charlemagne
- FR4100199 : Massif de Saint-Maurice et Bussang
- FR4100204 : Secteur Tanet-Gazon du Faing
- FR4100206 : Tourbière de Machais et cirque de Blancheimer
- FR4201807 : Hautes Vosges
- FR42022002 : Vosges du Sud
- FR4301347 : Forêts, Landes et Marais des Ballons d'Alsace et de Servance

et 2 ZPS :

- ZPS Massif des Vosges 88 pour la chaume de Sérichamps
- ZPS Hautes Vosges 68

Le réseau de placettes est distribué sur l'ensemble des hautes chaumes et donc de ces sites Natura 2000. Il ne concerne toutefois pas le site des Ballons Comtois (cf site FR4301347) qui fait l'objet d'un suivi spécifique dans le cadre de la réserve naturelle nationale.

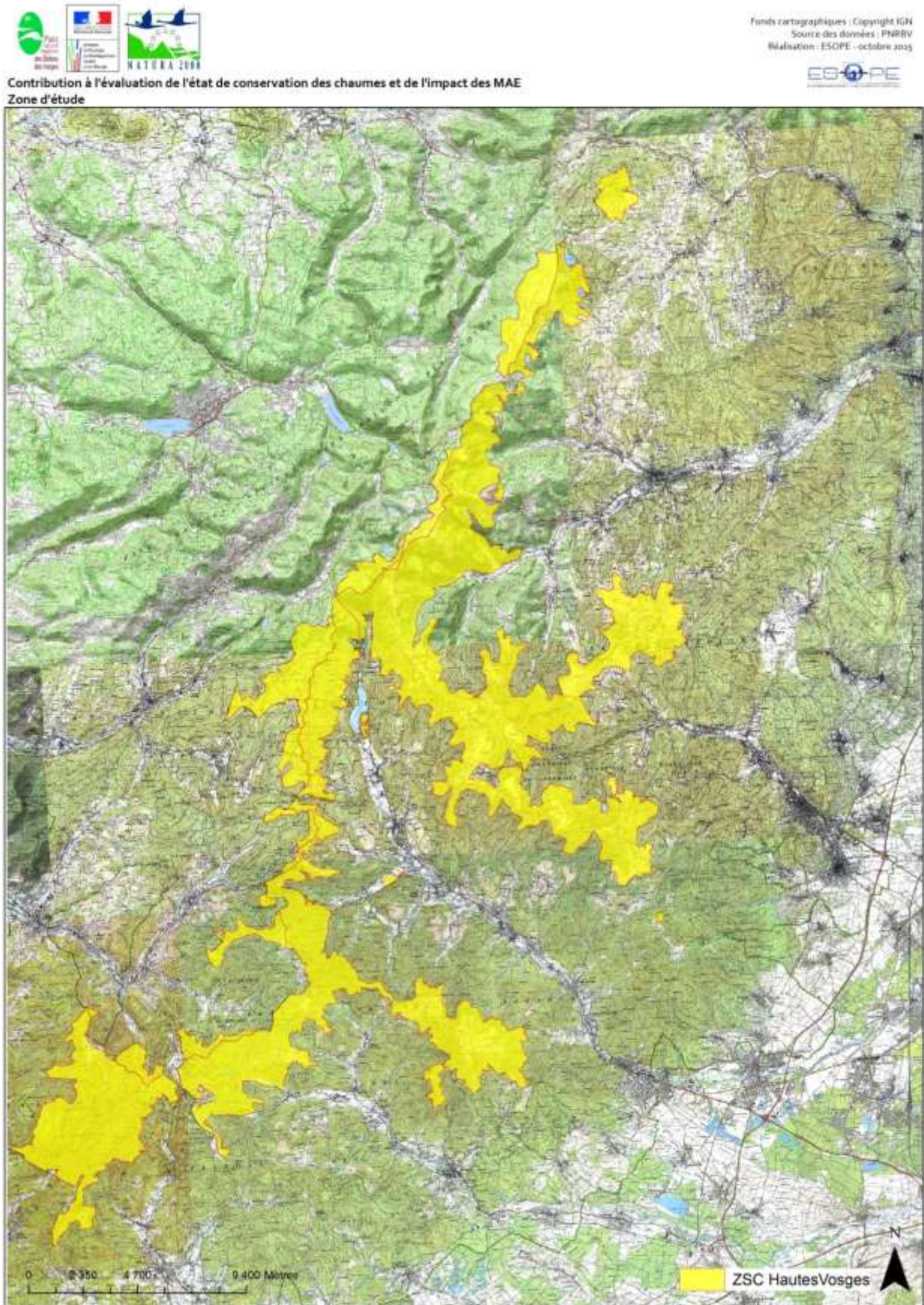
Par ailleurs, des chaumes comprises hors périmètres Natura 2000 (notamment chaumes de la vallée de la Doller) complètent le périmètre de la présente étude.

Cette enveloppe interrégionale couvre 19 275 ha dont les $\frac{3}{4}$ sont forestiers.

90 % des chaumes et des prairies de l'étage montagnard sont inclus dans cette enveloppe où ont été répertoriés 3 habitats d'intérêt communautaire au titre de la directive Habitats/Faune/Flore :

- les formations herbeuses à *Nardus*, riches en espèces (habitat d'intérêt communautaire prioritaire (code Natura 2000 : 6230) ;
- les landes sèches européennes (code Natura 2000 : 4030) ;
- les prairies de fauche de montagne (code Natura 2000 : 6520).

Figure 1 : Zone d'étude



1.3 Agriculture

Source : Page (2007) et Laurent (2008)

Sur les hautes chaumes le système de production des exploitations agricoles est majoritairement de type transformation laitière (fromage de Munster en zone AOC Munster depuis 1969, bargkass, siesskass, ...).

Sur l'enveloppe des sites Natura 2000, 86 gestionnaires mettent en valeur les hautes chaumes au travers de :

- 43 fermes auberges ;
- 24 estives (sites d'altitude utilisés par des fermes des vallées de mi-mai à mi-octobre) ;
- 8 fermes d'altitude n'offrant pas de restauration ;
- 5 sites gérés par les Conservatoires Régionaux d'Espaces Naturels ;
- 6 sites gérés par d'autres structures (restaurant, chevaux, ...).

Les exploitations agricoles ont une SAU moyenne de 127 ha et les hautes chaumes représentent 1/3 de cette surface (44 ha). Le nombre d'exploitants agricoles reste stable mais le cheptel augmente. La transmission des fermes (en particulier les fermes-auberges) est globalement assurée et 1 chef d'exploitation sur 3 a moins de 35 ans et 60 % entre 35 et 55 ans.

1.4 Les végétations des hautes chaumes

Une étude phytosociologique de grande envergure est en cours actuellement afin d'identifier les groupements végétaux des milieux ouverts des systèmes herbagers du massif des Vosges et leurs liens dynamiques (Cholet et *al.*, 2015).

Globalement, les systèmes herbacés concernés par la présente étude se rattachent :

- aux **prairies d'altitude remarquables (PAR)** pour lesquelles le recouvrement en Ericacées est faible (< 10 % de recouvrement). Ces prairies sont jugées remarquables lorsqu'elles abritent le cortège d'espèces typiques acidiphiles des chaumes (Canche flexueuse, Nard raide, Arnica, Pensée des Vosges, ...) et qu'elles abritent aussi des populations significatives d'espèces "remarquables" ou indicatrices d'un bon état de conservation comme l'Arnica, les orchidées, Pulsatille blanche, ...
Ces prairies sont pâturées de manière extensive, voire plus rarement fauchées sans fertilisation ni chaulage.
Suivant les travaux en cours (Cholet et *al.*, 2015), ces prairies d'altitude remarquables se rattachent :
 - à la pelouse montagnarde à subalpine à pensée des Vosges et nard raide (*Nardo strictae* - *Vaccinietum myrtilii* Issler 1927 p.p.) ;
 - à la pelouse subatlantique à fétuque rouge et genêt sagitté (*Festuco rubrae* - *Genistetum sagittalis* Issler 1927) ;
 - à la pelouse piétinée montagnarde à nard raide et jonc squarreux de manière ponctuelle (*Juncetum squarrosi* auct. Nordhagen 1921) ;
 - au pré pâturé montagnard à subalpin, à liondent et fétuque rouge de manière ponctuelle (*Alchemillo xanthochlorae*-*Cynosurenion cristati* H. Passarge 1969) ;
- aux **prairies d'altitude (PA)** qui correspondent à des prairies plutôt à vocation fourragère (prairies proches des exploitations, prés de fauche, pâtures fertilisées / chaulées).
Suivant les travaux en cours (Cholet et *al.*, 2015), ces prairies d'altitude remarquables se rattachent :
 - au pré pâturé montagnard à alchémille des montagnes et crénelle (*Alchemillo xanthochlorae*-*Cynosurenion cristati* H. Passarge 1969) ;
 - au pré pâturé montagnard à subalpin, à liondent et fétuque rouge de manière ponctuelle (*Alchemillo xanthochlorae*-*Cynosurenion cristati* H. Passarge 1969) ;
 - au pré pâturé à ray-grass anglais et crénelle (*Lolio perennis*-*Cynosurenion cristati* Jurko 1974) ;
- aux **chaumes landes et pelouses d'altitude (CLP)** qui constituent des formations végétales où le recouvrement des Ericacées (Myrtille, Airelle des marais, Airelle rouge, Callune) est supérieur à 20-25 %.
Ces formations végétales se rattachent au *Nardo-Vaccinietum* et au *Festuco-Genistetum* ainsi qu'au *Pulsatillo-Vaccinietum* dans des formes pâturées extensivement.

2 Les facteurs influençant la végétation des hautes chaumes

2.1 Les pratiques agricoles

2.1.1 Le pâturage

Source : Page (2007)

L'essentiel des hautes chaumes étant non mécanisable, les surfaces sont généralement pâturées. Les chargements animaux y varient de 0,2 à 0,3 UGB/ha/an d'après une étude de 2002 menée par la Chambre d'Agriculture du Haut-Rhin (*in* Page, 2007). Ces chiffres anciens mériteraient une mise à jour.

A noter que localement des zones de surpâturage (piétinement important, altération des sols, ...) sont notées mais qu'elles restent toutefois marginales. Le phénomène reste néanmoins à surveiller en raison de l'augmentation du cheptel.

Le sous-pâturage est également représenté au niveau de la zone d'étude, avec un envahissement progressif des prairies d'altitude par les Ericacées (formation de lande), voire par des formations ligneuses, plus rarement par la Fougère aigle sur certains secteurs en étage submontagnard.

2.1.2 Les amendements

Source : Page (2007) et Laurent (2008)

Les vallées vosgiennes étant très urbanisées, la pression des terrains agricoles y est élevée, ce qui conduit les exploitants agricoles à intensifier l'utilisation des chaumes d'altitude. Les surfaces de fauche, peu nombreuses, s'étendent et sont enrichies pour procurer aux vaches laitières un fourrage suffisant à la production de lait et de fromage. En 2002, ces surfaces représentaient plus de 290 ha (8%) de la surface des hautes chaumes de l'enveloppe Natura 2000 des Hautes Vosges. Cette intensification croissante menace les habitats agro-pastoraux d'altitude de manière importante en raison de leur fragilité liée à des conditions écologiques particulières (sols naturellement faiblement riches en éléments nutritifs).

A noter également que l'installation d'exploitants agricoles toute l'année sur les hauteurs (développement du tourisme hivernal) entraîne un surplus de fumier et de lisier à valoriser directement sur place.

Les amendements utilisés sont organiques et plus rarement minéraux. Le chaulage est également mentionné sur l'aire d'étude.

2.1.3 Le girobroyage

Cette technique vise à éliminer les Ericacées dans les landes et les landes pelouses. Elle est utilisée notamment au niveau des domaines de ski alpin en permettant leur entretien automnal.

2.1.4 Le retournement

Source : Page (2007)

Les retournements de prairies ont été réalisés sur environ 80 ha dans les années 1980, sur des surfaces mécanisables destinées à la fauche. Ces opérations ont été menées afin d'augmenter la valeur pastorale des chaumes avec comme conséquence directe une disparition quasi-totale des espèces autochtones et leur remplacement par des espèces banales issues de semis d'origine commerciale. Le phénomène reste localisé du fait de l'intervention des associations de protection de la nature qui ont milité pour l'arrêt de cette artificialisation ultime des hautes chaumes, et également du fait de la mise en place des mae depuis 1995 (plus de retournement de hautes chaumes depuis, sauf sur une parcelle près du lac du Forlet au lieu-dit Altenkray suite à une amélioration pastorale malheureuse).

A l'heure actuelle, ces parcelles présentent des compositions floristiques peu diversifiées et composées d'espèces rencontrées également en plaine.

2.2 Le tourisme

Source : Page (2007)

Le tourisme joue un rôle important dans l'altération de la végétation des hautes chaumes. Il participe en effet à la dégradation de certains sites remarquables et entraîne érosion des sols (piétinement, circulation de VTT en dehors des chemins balisés, circulation d'engins motorisés, création de nouveaux sentiers pédestres, ...).

Le développement des aires vouées à l'accueil du tourisme et l'augmentation permanente du flux touristique amènent des impacts croissants au niveau des pelouses d'altitude.

2.3 Les effets des dépôts atmosphériques sur les pelouses d'altitude

Aux **Pays-Bas**, les polluants atmosphériques comme le dioxyde de soufre et l'ammonium sont reconnus comme en partie responsables de la régression d'espèces de l'alliance du *Violion caninae* depuis 1950 (notamment *Arnica montana*, *Viola canina* et *Agrostis capillaris*) (Van Dam *et al.*, 1986). A de faibles concentrations, ces composants atmosphériques n'affectent pas la plupart des espèces du *Violion caninae* mais peuvent les impacter sur le long terme, par l'acidification des sols et la réduction du nombre et de la qualité des sites naturels nécessaires à leur maintien. En effet, ces modifications atmosphériques ont une incidence sur la compétitivité des espèces en favorisant notamment les espèces graminéennes. Suite à l'eutrophisation des chaumes induite par cette augmentation du niveau trophique des sols, est observée, chez *Agrostis capillaris*, une augmentation de la biomasse racinaire et végétale, avec une incidence positive sur ses capacités de compétition (densification du couvert, compétition pour la lumière), au détriment des autres espèces du couvert herbacé. Ce constat est d'autant plus net que ces expérimentations ont été menées sur des sols pauvres en éléments nutritifs. C'est donc surtout les modifications de compétitivité interspécifique qui orientent les couverts herbacés et font évoluer les chaumes vers des écosystèmes plus homogènes (banalisés), avec perte de richesse spécifique, suite à l'augmentation de la disponibilité d'azote dans des écosystèmes naturellement pauvres (Dueck & Elderson, 1992).

Des études plus récentes menées en **France** se penchent sur l'impact des dépôts atmosphériques d'azote sur la composition floristique des pelouses d'altitude (Gaudnik *et al.*, 2011). Cette étude évalue les dépôts atmosphériques sur les Vosges (Pays de Bitche / Vosges du Nord / 257 m d'altitude), sur la base d'une modélisation (modèle EMEP / European Mapping and Emissions Programme) : le dépôt atmosphérique d'azote est évalué à 14,7 (\pm 0,61) kg N/ha/an, ce qui est loin d'être négligeable pour des écosystèmes comme les pelouses d'altitude. Même si les données concernant les Hautes Vosges ne sont pas connues, l'estimation des dépôts atmosphériques azotés dans les Vosges du Nord donnent un aperçu des quantités d'azote possibles, sachant que les données disponibles sur le site internet <http://www.ceip.at/webdab-emission-database/gridded-emissions-in-google-maps/> indiquent des concentrations du même ordre pour les Hautes Vosges. Cette étude conclue de plus que les espèces d'altitude les plus sensibles sont affectées dans leur distribution par ces changements climatiques. Cette étude mentionne aussi les effets indirects des dépôts d'azote comme par exemple l'augmentation de la sensibilité des espèces végétales au gel comme le montrent les travaux de Caporn *et al.* (2000). En effet, l'exposition aux polluants atmosphériques (NO₂ et SO₂) a été étudiée sur la Callune par Caporn *et al.* (2000). Les résultats montrent que pour cette espèce ces polluants peuvent avoir comme effet d'inhiber la photosynthèse, de générer des dommages tissulaires et de limiter la tolérance physiologique de l'espèce au gel.

3 Les facteurs agricoles d'évolution de la végétation des hautes chaumes

3.1 Constat

En altitude, les études concourent en effet à prouver que les changements au niveau des cortèges d'espèces végétales sont en étroite relation avec l'acidification des sols et l'accumulation d'azote (Bobbink *et al.*, 2011 ; Dupré *et al.*, 2010). Les dépôts d'azote et de soufre ont comme conséquence d'acidifier les sols et de générer une réduction de la richesse spécifique des communautés végétales par régression des espèces les plus rares et les plus sensibles suite aux phénomènes de compétition au sein des communautés végétales (Carly *et al.*, 2011).

3.2 Effets des pratiques agricoles sur les pelouses d'altitude

3.2.1 Effets de la fertilisation

De nombreuses études ont porté sur les effets des pratiques agricoles sur les pelouses d'altitude et sur certaines de leurs espèces typiques. Ces études, dont certaines sont engagées depuis plusieurs décennies, apportent des éléments de réponse pertinents concernant l'impact des pratiques de fertilisation sur ces écosystèmes fragiles. Outre les expérimentations développées ci-dessous, d'autres études ont en effet été menées en Ukraine, Estonie, Lituanie, Suède ou encore en Norvège.

En **Suisse** des travaux récents (Tenz *et al.*, 2010) ont mis en évidence l'incidence de la fumure sur les pelouses à Nard raide dans les Alpes. L'effet des engrais de ferme a été étudié par la mise en place d'un protocole de fumure mobilisant 9 modalités différentes appliquées depuis 1994 et ce pendant 14 années (tableau 1) sur des parcelles de 20 m² (3 répétitions).

Dans le contexte de cette expérimentation de terrain, les parcelles ont été fauchées tous les ans pendant la seconde quinzaine de juillet (récolte). Cette étude a démontré qu'en 14 ans, les différents procédés de fumure ont induit de grandes différences de composition botanique, provenant notamment de la proportion de Nard raide. En effet, ce dernier diminue nettement avec l'application de fertilisants, surtout par l'épandage de fumier/purin. Cette étude conclue qu'une fumure modérée peut conduire à une augmentation du rendement fourrager et à une amélioration agronomique des pelouses à Nard raide, mais le type de fumure est décisif. De très bons résultats sont obtenus avec les engrais de ferme (fumier composté, fumier composté et purin), avec nécessité de laisser place à des secteurs non amendé. Cette gestion différenciée conduit à une différenciation des communautés végétales qui peut être intéressante aussi bien sur le plan écologique que sur le plan agricole. A grande échelle, une mosaïque de surfaces avec des intensités d'exploitation et des peuplements végétaux différents se traduit par une grande diversité d'espèces et permet l'optimisation des engrais de ferme (cas au niveau des hautes-chaumes lorraines et alsaciennes).

Tableau 1 : Description des 9 modalités de fumure appliquées en Suisse pendant 14 ans (d'après Tenz *et al.*, 2010)

Désignation	Type et quantité d'engrais
Témoin	Aucune fumure
Lisier	20 m ³ /ha de lisier (dilué 1:2,4% de matière sèche) tous les deux ans, après récolte
Fumier	10 t/ha de fumier composté tous les 3 ans au printemps
Fumier liquéfié	10 t/ha de fumier composté et liquéfié tous les 3 ans au printemps
Fumier-purin	10 t/ha de fumier composté tous les 3 ans au printemps et 15 m ³ /ha de purin tous les ans (dilué 1 : 3) après la récolte
Ca	1000 kg de CaCO ₃ /ha (= 561 kg CaO), sous forme de chaux d'Aarberg tous les 3 ans au printemps
PK	21,8 kg P/ha (= 50 kg de P ₂ O ₅) sous forme de superphosphate et 83 kg/ha (= 100 kg de K ₂ O) sous forme de sulfate de potassium tous les 5 ans au printemps
CaPK	P et K comme dans la modalité PK avec en plus 2000 kg CaCO ₃ /ha (= 1122 kg de CaCO) sous forme de chaux d'Aaeberg tous les 5 ans au printemps
CaPK + N	P, K et Ca comme dans la modalité PK avec en plus 25 kg N/ha tous les ans sous forme de nitrate d'ammonium après récolte

Kleijn *et al.* (2008), aux **Pays-Bas**, concluent quant à eux que NH₄⁺ a une incidence primordiale sur les espèces typiques et les plus fragiles des pelouses d'altitude (espèces inféodées aux sols maigres et acides).

Depuis 1941, une expérimentation est conduite en **Allemagne** (Eifel Mountain) afin d'appréhender les effets de la fertilisation et de la restauration sur les pelouses à Nard (Rengen Grassland Experiment). 5 traitements fertilisants différents (tableau 2) ont été testés dans le cadre de cette étude (combinaisons de CaO, Mg, N, K₂O, P₂O₅) et 1 non fertilisé (5 répétitions). Tout au long de l'expérimentation, les dispositifs expérimentaux ont fait l'objet de 2 fauches annuelles. En 1990, presque toutes les espèces indicatrices de pratiques extensives avaient disparu et la richesse spécifique était plus faible au sein des prairies fertilisées (Ca, N, P et K) (Schellberg *et al.*, 1999). Les résultats publiés en 2007 après 64 ans de suivi (Hejzman *et al.*, 2007b) montrent que l'enrichissement azoté est préjudiciable à la diversité de la flore vasculaire mais ce n'est pas nécessairement le cas si l'application d'azote n'est pas accompagnée d'un autre nutriment limitant, comme le phosphore.

Tableau 2 : Description des modalités de fumure appliquées en Allemagne depuis 1941 (d'après Hejcman *et al.*, 2007b)

Désignation	Type et quantité d'engrais
A	Aucune fumure
B (Ca)	CaO = 1000 kg/ha/an + Mg = 67 kg/ha/an
C (Ca+N)	CaO = 1052 kg/ha/an + N = 100 kg/ha/an + Mg = 67 kg/ha/an
D (Ca + N + P)	CaO = 1309 kg/ha/an + N = 100 kg/ha/an + P ₂ O ₅ = 80 kg/ha/an+ Mg = 75 kg/ha/an
E (Ca + N + P + K ₂ SO ₄)	CaO = 1309 kg/ha/an + N = 100 kg/ha/an + P ₂ O ₅ = 80 kg/ha/an+ K ₂ O = 160 kg/ha/an + Mg = 90 kg/ha/an
F (Ca + N + P + K ₂ SO ₄)	CaO = 1309 kg/ha/an + N = 100 kg/ha/an + P ₂ O ₅ = 80 kg/ha/an+ K ₂ O = 160 kg/ha/an + Mg = 75 kg/ha/an

D'autres expérimentations ont été conduites en **Suisse** sur des pelouses à Nard. Ces pelouses ont été chaulées et fertilisées (N et P) de 1930 à 1936 et de 1946 à 1950 (soit 2 périodes distinctes d'épandage). Les résultats de ces expérimentations dans les Alpes suisses montrent que 4 années après l'arrêt des pratiques de fertilisation, apparaissent encore des effets visibles sur la composition floristique, le pH du sol et dans les concentrations en P et N dans les feuilles de certaines espèces (Hegg, 1984 et 1992 ; Hegg *et al.*, 1992 ; Dähler, 1992a et 1992b). Tous ces résultats impliquent un impact très long de la fertilisation sur les communautés herbacées. Les perturbations à court terme et à faible échelle peuvent ainsi avoir des effets sur le long terme au niveau des pelouses montagnardes, malgré leur richesse spécifique élevée, cette caractéristique pouvant être considérée comme un indicateur de la résilience¹ de l'écosystème herbacé aux modifications trophiques des sols (Spiegelberger *et al.*, 2006).

Une étude diachronique du même type a été menée en **République Tchèque** et en **Pologne** en 2004 afin de répondre à la question suivante : existe-t-il un effet détectable d'une fertilisation à base de Ca, P et K sur les pelouses à Nard après un arrêt de fertilisation de 37 ans, sachant que les fertilisations ont été conduites sur 2 années (de 1965 à 1967) (Hejcman *et al.*, 2007a) ? Les expérimentations de fertilisations agricoles conduites de 1965 à 1967 ont permis de simuler différentes modalités de fertilisation en croisant différentes doses de Ca, N, P et S (9 modalités différentes, tableau 3) afin de mettre en évidence l'évolution de la végétation suite à la fertilisation des pelouses d'altitude. Il ressort de l'analyse menée par Hejcman *et al.* (2007a) que 37 ans après la fertilisation, ses effets sur la composition floristique sont encore visibles, notamment par la dominance de graminées sociales avec des réponses différentes sur les espèces végétales en fonction des éléments fertilisants (P, Ca et N). Cette étude établit que la restauration des pelouses d'altitude après une période de fertilisation (même courte) peut s'avérer difficile du fait de la persistance des nutriments (spécialement P et Ca) dans l'écosystème pendant une longue période (Hejcman *et al.*, 2007a).

¹ La résilience écologique est la capacité d'un écosystème, d'un habitat, d'une population ou d'une espèce à retrouver un fonctionnement et un développement normal après avoir subi une perturbation importante.

Tableau 3 : Description des modalités de fumure appliquées en République Tchèque et en Pologne (d'après Hejzman *et al.*, 2007)

Désignation	Quantités appliquées (kg/ha)				Fertilisant utilisé
	Ca	N	P	S	
P1	60		24	30	CaSO ₄ + Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (20 % Ca, 8 % P, 10 % S)
P2	300		120	150	CaSO ₄ + Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (20 % Ca, 8 % P, 10 % S)
P3	600		240	300	CaSO ₄ + Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (20 % Ca, 8 % P, 10 % S)
N1	20	50			NH ₄ NO ₃ + CaCO ₃ (25 % N, 10 % Ca)
N2	100	250			NH ₄ NO ₃ + CaCO ₃ (25 % N, 10 % Ca)
N3	200	500			NH ₄ NO ₃ + CaCO ₃ (25 % N, 10 % Ca)
Ca1	213				CaO (71 % Ca)
Ca2	1365				CaO (71 % Ca)
Ca3	2130				CaO (71 % Ca)

Les doses appliquées correspondent à 1 application. Entre 1965 et 1967, 5 applications ont été réalisées.

En conclusion, les effets de la fertilisation sur la végétation des hautes chaumes sont bien renseignés dans la littérature.

Le facteur ayant le plus d'incidence sur la composition botanique des chaumes d'altitude correspond à l'azote (surtout minéral) qui a un impact décisif sur les espèces typiques et fragiles des pelouses d'altitude. Outre les nutriments apportés par la fertilisation, c'est surtout leur persistance dans les sols qui représente une difficulté. ***Leur temps de maintien pédologique très long limite en effet toute modalité de restauration du couvert végétal. Il apparaît ainsi évident que la priorité pour la conservation des chaumes d'altitude est le maintien d'une absence de fertilisation garantissant la pérennité des habitats d'intérêt communautaires associés et leur bon état de conservation.***

3.2.2 Effets de la fauche

Source : Page (2007)

Même si peu de parcelles sont mécanisables, la fauche est une pratique utilisée sur les hautes chaumes.

L'effet de la fauche sur les communautés n'est que faiblement abordé par les recherches scientifiques (Blanchet, 2012). Il varie selon la fréquence des fauches et la saisonnalité des coupes. Il est également différent en fonction des espèces végétales considérées.

Gaujour *et al.*, (2012) notent que la végétation des prairies fauchées est généralement plus diversifiée, même si la fauche bénéficie davantage à certaines communautés végétales (graminéennes notamment). En fonction de la capacité de tolérance à la coupe, et leur mode de reproduction, la fauche peut être favorable pour certaines espèces et défavorable pour d'autres (Gaujour *et al.*, 2012)

Elle exerce par ailleurs une influence sur les espèces végétales, selon la date des coupes et leur fréquence. Si la fauche intervient avant la floraison des espèces, aucune montée en graine n'est possible, ce qui à terme risque d'engendrer la régression de certaines espèces végétales (insuffisance de reproduction sexuée).

Les fauches répétées entraînent de plus une baisse du taux de potassium dans les parcelles (export régulier de matière organique), avec une incidence directe sur la composition floristique.

Cette pratique culturale permet aussi de contenir la colonisation des chaumes par les Ericacées (et donc leur évolution vers la lande fermée) et par les arbustes.

3.2.3 Effets du pâturage

Source : Page (2007)

Le pâturage implique l'abroustissement de la végétation par le bétail. La sélection opérée par les animaux engendre une sélection progressive des espèces les plus adaptées comme les espèces à rosettes basales plus résistantes au piétinement ou encore les espèces à rhizomes.

Le pâturage est aussi une source d'engrais pour le sol (déjections animales) et il favorise l'implantation d'espèces neutrophiles compétitives.

Cependant, la charge animale au sein de la parcelle est le facteur décisif dans l'impact du pâturage sur la composition floristique. En effet, plus la charge animale est importante, plus les impacts sur la végétation seront notés. La période de mise en parc des animaux ainsi que la durée du pâturage sont également des facteurs déterminants.

A l'inverse, une trop faible pression de pâturage (sous-pâturage) implique une modification du couvert herbacé et une fermeture progressive de la chaume. Se développe en effet une lande à Callune et Myrtille, puis une friche arbustive à sorbiers et érables évoluant progressivement vers le stade forestier climacique (hêtraie-sapinière). Même si ces biotopes présentent des intérêts floristiques, mais surtout faunistiques, ils ne doivent pas se développer de manière trop importante afin de permettre le maintien des chaumes à l'échelle du Massif vosgien.

4 Les Mesures Agri-Environnementales (MAE)

4.1 Historique

Source : Page (2007) et Laurent (2008)

A la fin du 19^{ème} siècle, les surfaces exploitées sur les hautes chaumes étaient estimées à 6500 ha, réparties sur 102 sites, avec un chargement de 5000 bovins. En 1992, lors de la mise en place des MAE, les surfaces exploitées étaient estimées à 4800 ha pour une soixantaine d'exploitations agricoles.

Les mesures agro-environnementales (MAE) apparaissent en 1985 avec le règlement CEE n° 797/85 consacré à l'amélioration de l'efficacité des structures agricoles. Le thème de l'environnement se décline alors au travers de l'article 19 qui aborde les aides nationales aux zones sensibles. Ce dernier est repris et précisé en 1991 (articles 21 et 24 du règlement CEE n° 2328/91) et son application reste facultative jusqu'en 1992.

Sur les Hautes-Vosges, l'article 19 a été mis en place en 1993 et 1999 à l'initiative du PNRBV, avec la signature de 70 contrats pour une surface de 1963 ha avec un budget annuel de 1 465 MF/an. Parmi ces contrats :

- 9 en chaumes primaires (60 % de la surface contractualisée) ;
- 60 en chaumes secondaires (40 % de la surface contractualisée).

Sur le terrain un recul des surfaces enfrichées a été constaté mais l'impact environnemental de ces mesures sur les hautes chaumes n'a pu être établi, faute de mise en place d'un protocole de suivi de l'évolution de la végétation.

Succédant à l'article 19, les Contrats Territoriaux d'Exploitation (CTE) ont été déclinés sur le territoire du Parc naturel régional des Ballons des Vosges à compter de 2002. Les exploitants agricoles engagés dans ce type de contrat s'engagent à respecter le cahier des charges établi selon un zonage effectué lors d'une phase de concertation afin de concilier objectifs économiques (production de fourrage de qualité), sociaux et environnementaux (biodiversité).

Alors que 2 contrats étaient proposés à l'origine lors de l'article 19, 7 cahiers des charges différents sont proposés dans le cadre des CTE :

- prairies d'altitude ;
- prairies d'altitude remarquables (> 25 % d'Ericacées) ;
- zones humides d'altitude ;
- zones d'altitude à réhabiliter ;
- pré-bois (bois et pré en gestion extensive) ;
- zones de protection (tourbières).

Il apparaît à l'époque que ces différentes mesures bénéficient à **73 %** des surfaces au sein de l'enveloppe Natura 2000 des Hautes Vosges. Dans ces cahiers des charges, la fertilisation, le chaulage, le sursemis et l'utilisation de produits phytosanitaires sont réglementés.

En décembre 2002, sur les 80 exploitants concernés par ces mesures hautes chaumes, 26 demandent un avenant CTE. Les contrats ont été prioritairement passés avec les exploitations de la vallée, ce qui a conduit à la création d'uniquement 6 CTE en 2002, auxquels s'ajoutent 2 CTE en 2003.

En 2003, le CTE est remplacé par le Contrat d'Agriculture Durable (CAD). Il s'agit de mener l'exploitation agricole en préservant les ressources naturelles et l'aménagement de l'espace rural en vue de lutter notamment contre l'érosion, de préserver la qualité des sols, la ressource en eau, la biodiversité et les paysages. Au sein du territoire du Parc naturel régional des Ballons des Vosges, aucun CAD n'a été engagé avant 2005, date à laquelle 15 CAD sont créés puis 21 en 2006 et 4 en 2007.

A partir de 2007, de nouveaux dispositifs sont mis en place (MAEt, Mesures Agri-Environnementales territorialisées). Ils sont depuis proposés aux exploitants agricoles, sur la base des 7 cahiers des charges proposés précédemment dans le cadre des CTE.

En 2007, 1941 ha sont contractualisés, soit 51 % de la surface potentiellement contractualisable.

59 % de la surface contractualisée étaient concernés par des cahiers des charges interdisant la fertilisation, le chaulage et l'utilisation de produits phytosanitaires.

Les Prairies d'Altitude (PA), les Prairies d'Altitude Remarquable (PAR) et les Chaumes Landes Pelouses (CLP) couvraient plus de 96 % de la surface contractualisée sur les chaumes.

4.2 Les contrats MAEt

Source :

http://pnrbv.n2000.fr/sites/pnrbv.n2000.fr/files/documents/page/CahiersdeschargesMAE_Hauteschaumes88_PNRBV.pdf

Les contrats MAEt (territorialisées) prennent le relais, à partir de 2010, des CAD.

Rappels :

- mesures contractuelles volontaires, valables 5 années de suite ;
- toutes les parcelles déclarées à la PAC et concernées par un zonage doivent être engagées dans les MAE ;
- contrat entre l'exploitation agricole volontaire et l'Etat ;
- mesures financées par l'Etat et l'Union européenne, ainsi que par le Conseil départemental du Haut-Rhin et la Région Alsace sur le versant alsacien.

Obligations générales (pour tous les îlots engagés) :

- maintenir en herbe les parcelles engagées ;
- sont interdits tout labour, nivellement, remblaiement ou dépôt, drain enterré ou superficiel, brûlage, travail du sol, semis ou sursemis, de même que tout produit phytosanitaire ;

- maintenir et entretenir les éléments paysagers : haies, arbres ou arbustes isolés, points d'eau, dépressions humides ;
- côté vosgien dans le cadre des MAE, absence d'utilisation de traitements anti-parasitaires à base de matières actives réputées toxiques (endectocides : Ivermectine etc. non autorisés) ;
- tenir un cahier d'enregistrement des pratiques (dates de fauche, dates de mise à l'herbe, durée, nombre et types d'animaux) sur l'ensemble des îlots engagés.

Détail des cahiers des charges des mesures évaluées dans le cadre de cette étude :

3 cahiers des charges concernent particulièrement les chaumes étudiées en 2015 :

- PA = prairies d'altitude (PA1) :
 - o fauche sans contrainte de date ;
 - o et/ou pâturage < 1 UGB/ha/saison de pâturage sans contrainte de date ;
 - o fertilisation organique < 20 t/ha tous les 2 ans ;
 - o fertilisation minérale < 30 unités N/ha/an (< 20 pour P et 40 pour K) ;
 - o chaulage : < 500 unités de CaO/ha sur 2 ans ;
 - o fertilisation azotée < 40 unités/ha/an dont maximum 30 unités sous forme minérale ;
 - o élimination possible des refus et rejets ligneux sans travail du sol, par intervention mécanique ou manuelle ;
- PAR = prairies d'altitude remarquables fauchées (PR1) ou pâturées (PR2) :
 - o PR1 : fauche possible après le 15 juillet ;
 - o PR2 : pâturage autorisé après le 15 juin avec un chargement < 1 UGB/ha/saison de pâturage ;
 - o fertilisation organique interdite ;
 - o fertilisation minérale interdite ;
 - o chaulage interdit ;
 - o élimination possible des refus et rejets ligneux après le 15 août sans travail du sol, par intervention mécanique ou manuelle localisée ;
- CLP = chaumes et landes pelouses d'altitude (CH1) :
 - o fauche interdite ;
 - o pâturage avec un chargement < 1 UGB/ha/saison de pâturage ;
 - o fertilisation organique interdite ;
 - o fertilisation minérale interdite ;
 - o chaulage interdit ;
 - o élimination possible des refus et rejets ligneux après le 15 août sans travail du sol, par intervention mécanique ou manuelle localisée (soit sur moins de 10% de la surface de l'îlot par an)

A noter que le dispositif MAE sur les Hautes chaumes comprend toujours, depuis les CTE, un total de 7 mesures, dont 4 ne concernent pas la présente étude (pré-bois, zones d'altitude à restaurer, zones humides d'altitude et zones de protection). Ces 4 contrats, qui intéressent des surfaces mineures, ne seront donc pas évalués dans le cadre de la présente mission.

Les mesures Prairies d'Altitude (PA), les Prairies d'Altitude Remarquable (PAR) et les Chaumes Landes Pelouses (CLP) couvrent en effet plus de 93 % de la surface contractualisée sur les chaumes.

5 Suivi dans le temps : le suivi diachronique

5.1 La mise en place du suivi

5.1.1 Les objectifs

Un **suivi diachronique** consiste à comparer une communauté végétale à plusieurs échelles de temps. La mise en place d'un suivi de ce type comprend un balisage de la communauté végétale à suivre (identification de placettes expérimentales) afin de permettre un suivi géographique rigoureux (localisation GPS, borne de type géomètre, ...). Ces placettes sont ensuite analysées à des dates définies en fonction des objectifs de l'étude comparative à mener.

Le suivi diachronique des pelouses d'altitude a été initié en 2007 et 2008 lors de stages universitaires (Page, 2007 puis Laurent, 2008). Il se base sur un réseau de relevés phytosociologiques réalisés sur l'ensemble du territoire concerné (enveloppe Natura 2000 – cf. 2.2.).

Ses objectifs étaient :

- sa reproductibilité ;
- sa représentativité (un suivi représentatif des 3500 ha de hautes chaumes sans que la surface totale ne soit investiguée systématiquement) ;
- sa faisabilité (un suivi réalisable au plan humain).

5.1.2 Le protocole

Le suivi mis en place par le PNRBV a été réalisé en 2007-2008 dans le cadre de 2 stages universitaires (Page, 2007 et Laurent, 2008).

Il s'est basé sur la méthode phytosociologique sigmatiste, avec une adaptation en vue d'un allègement (réduction du temps de prospection sur le terrain). N'ont ainsi été prises en compte que les espèces facilement identifiables, sensibles aux facteurs de dégradation des chaumes (pratiques agricoles), qui répondent aux facteurs de stress de manière prévisible et qui varient de manière assez lente pour être observable dans leur réponse aux facteurs de stress.

La méthode simplifiée se basait sur la réalisation de relevés phytosociologiques, sur une aire minimale homogène (50 m²). Ces relevés n'ont cependant pas été réalisés de manière complète, c'est-à-dire que toutes les espèces présentes n'avaient pas été listées : seules les espèces (ou groupes d'espèces) bioindicatrices sont notées avec évaluation de leur coefficient d'abondance-dominance.

Le choix des espèces bioindicatrices s'était en partie basé sur les travaux d'Alnot (2002), en collaboration avec Fabien Dupont² (tableau 4).

² Chargé de mission Natura 2000 Hautes Vosges au PNRBV

A noter que ce protocole comprenait également la recherche d'espèces qualifiées de *patrimoniales* autour du relevé (100 m). Elles avaient vocation à indiquer, selon leur % ou leur coefficient d'abondance-dominance, le degré de « milieu remarquable ».

Tableau 4 : Espèces bioindicatrices notées en 2007 & 2008 dans les premiers rapports d'évaluation (Page, 2007 puis Laurent, 2008)

Espèces les plus sensibles à l'intensification	<i>Arnica montana</i>
	Ericacées (<i>Vaccinium</i> sp., <i>Calluna vulgaris</i>)
Espèces mésophiles à grande amplitude défavorisées par l'intensification agricole	<i>Genistella sagittalis</i>
	<i>Deschampsia flexuosa</i>
	<i>Galium saxatile</i>
	<i>Luzula luzuloides</i>
	<i>Nardus stricta</i>
	<i>Poa chaixii</i>
	<i>Pulsatilla alpina</i> subsp. <i>alpina</i>
	<i>Viola lutea</i> subsp. <i>lutea</i>
Espèces favorisées par l'intensification	<i>Achillea millefolium</i>
	<i>Agrostis capillaris</i>
	<i>Dactylis glomerata</i>
	<i>Festuca rubra</i>
	<i>Phleum pratense</i>
	<i>Rumex acetosa</i>
	<i>Rumex obtusifolius</i>
	<i>Trifolium</i> sp.
<i>Urtica dioica</i>	

5.1.3 Sélection des relevés de végétation de 2007

Le choix des parcelles a été réalisé sur la base des parcelles concernées par l'un des 3 cahiers des charges :

- Prairie d'altitude/PA : prairies d'altitude où une fertilisation est possible (environ 30 % des hautes chaumes) ;
- Prairie d'altitude remarquable/PAR : ce cahier des charges est optionnel. L'objectif de ce contrat est double : conservation des prairies remarquables existantes ou restauration de prairies dégradées ;
- Chaume lande pelouse d'altitude/CLP : couvrant 40 % des surfaces.

Un second critère est entré en ligne de compte dans la sélection des placettes de suivi :

- 30 relevés à réaliser dans les chaumes ayant bénéficié de CTE ;
- 10 à 30 relevés n'ayant pas bénéficié de CTE mais engagés dans des CAD (retard de contractualisation) ;
- 30 relevés sur des parcelles non engagées (ni CTE, ni CAD, ni MAE).

Sur le terrain, pour permettre la répétabilité du suivi, chaque placette de relevé est dotée d'un piquet bleu en fer, détectable au détecteur à métaux.

Au final, en 2007, ce sont 69 relevés qui ont été réalisés ; leur répartition est présentée en **tableau 5**.

Tableau 5 : Relevés réalisés en 2007 (Page, 2007)

Types de contrats	Nombre de relevés
PA contractualisée	14
PA non contractualisée	13
PAR contractualisée	8
PAR non contractualisée	4
CLP contractualisée	17
CLP non contractualisée	13

5.1.4 Sélection des relevés de végétation de 2008

Le plan d'échantillonnage adopté en 2008 s'est basé, autant que possible, sur des placettes déjà réalisées dans des travaux antérieurs de Laurent Alnot.

Les parcelles contractualisées concernent principalement des exploitants agricoles ayant souscrit une MAE en 2005. Ce plan d'échantillonnage reprend les 66 relevés réalisés en 2007 (cf. 6.2.3.) et en ajoute environ 130.

Sur le terrain, pour permettre la répétabilité du suivi, chaque placette de relevé visitée en 2008 a été dotée, dans la mesure du possible, d'une borne de type géomètre, détectable au détecteur à métaux.

5.1.5 Synthèse des résultats de ces études antérieures

Etude de 2007

Les conclusions du stage de 2007 (Page, 2007) sont les suivantes :

- le nombre insuffisant de relevés ne permet pas toujours d'apporter des résultats significatifs concernant une éventuelle évolution liée aux MAE ;
- une intensification semble être mise en évidence sur les hautes chaumes (lot de 33 relevés), avec augmentation de l'Agrostide et de la Fétuque rouge. A noter cependant que l'année 2007 a été particulièrement pluvieuse, ce qui a pu induire des modifications importantes en termes de recouvrement des graminées ;
- le problème de localisation des relevés phytosociologiques dans le cadre de la mise en place du suivi diachronique ne garantit pas une comparaison géographique des mêmes groupements végétaux au cours du temps. En effet les relevés de L. Alnot n'étaient pas pris au GPS : il faut donc comparer ces éléments avec prudence.

Etude de 2008

Les conclusions du stage de 2008 (Laurent, 2008) sont les suivantes :

- la végétation des hautes-chaumes n'a pas significativement évolué depuis les années 2000 (absence d'intensification des pratiques agricoles, état de conservation stable), ce qui laisse à penser un effet positif des MAE mises en place ;
- impossibilité de comparer des parcelles contractualisées et des parcelles non contractualisées (échantillonnage non satisfaisant) pour évaluer l'effet des MAE.

5.2 Campagne de 2015

5.2.1 Plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage établi en 2015 comprend un total de 184 relevés de végétation dont la distribution au niveau des différents contrats est présentée en tableau 6. Ces 184 relevés constituent l'observatoire des hautes chaumes et sont localisés en figure 2.

Tableau 6 : Les relevés réalisés en 2015

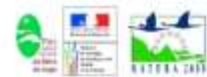
Type de contrat	Nombre de relevés
PA contractualisée	44
PA non contractualisée	21
PAR contractualisée	45
PAR non contractualisée	11
CLP contractualisée	52
CLP non contractualisée	11

Il reprend les 66 + 130 relevés des études précédentes. Par contre la différence avec ces 2 campagnes de 2007 et 2008 tient notamment à la réalisation de relevés phytosociologiques **complets**. En effet, même si ces données ne pourront être pleinement utilisées dans le cadre de la présente mission (les précédents relevés de 2007 et 2008 correspondent majoritairement à des relevés simplifiés), la réalisation de relevés phytosociologiques complet permettra :

- la détermination des états de conservation des chaumes au droit des relevés ;
- l'identification ultérieure de l'habitat phytosociologique sur la base des travaux des CBN (Cholet *et al.*, 2015) ;
- une optimisation de la prochaine campagne de suivi de la végétation au cours des prochaines années. En effet, l'analyse comparative de relevés complets permet d'appréhender le comportement de la *totalité* des espèces végétales mais aussi d'évaluer des descripteurs de la biodiversité comme par exemple la richesse en espèces.

Les bornes des relevés de végétation ont été recherchés à l'aide d'un GPS, sur la base des coordonnées géographiques issues des précédentes études. Certains relevés étant localisés avec une borne de type géomètre (Laurent, 2008), cette dernière a été recherchée au détecteur à métaux. A noter toutefois que ces bornes géométriques n'ont pas toutes été retrouvées sur le terrain. La mention de leur localisation (ou de sa non localisation) a été fournie au Parc naturel régional des Ballons des Vosges (tableau général des 184 relevés réalisés en 2015). En ce qui concerne les piquets bleus positionnés en 2007, ils n'ont généralement pas été retrouvés (captage difficile par le détecteur à métaux et fragilité en pâture). Toutefois la description de leur localisation ayant été indiquée de manière assez précise par l'auteur, il est probable que les relevés 2015 aient été réalisés à proximité de la localisation 2007.

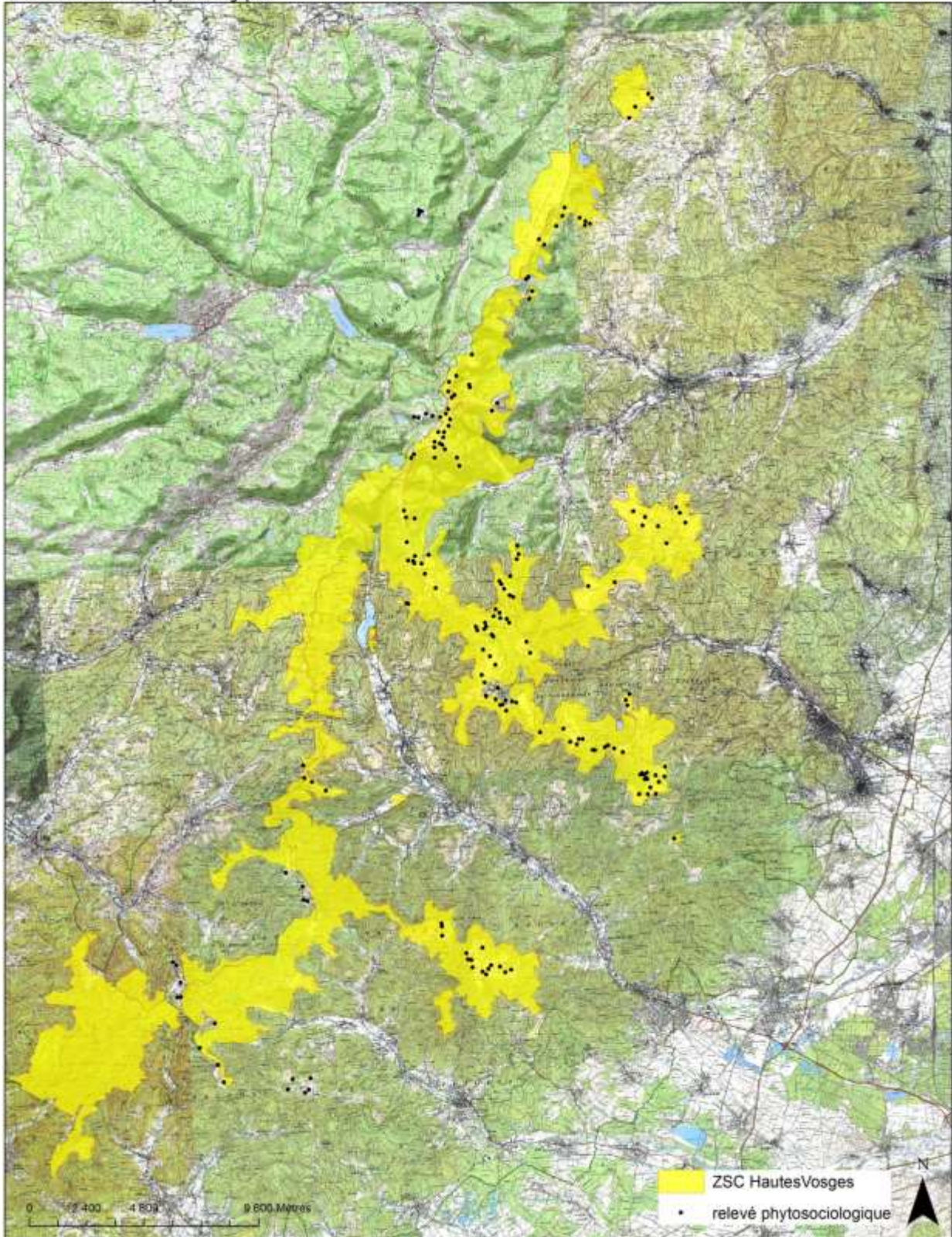
Figure 2 : Localisation des 184 relevés phytosociologiques réalisés en 2015



Fonds cartographiques : Copyright IGN
Source des données : PNRBV
Réalisation : ESOPE - octobre 2015



Contribution à l'évaluation de l'état de conservation des chaumes et de l'impact des MAE
Localisation des relevés phytosociologiques



5.2.2 Méthodologie de réalisation des relevés phytosociologiques

Les 184 relevés phytosociologiques ont été réalisés selon la méthode de Braun-Blanquet qui préconise un échantillonnage tenant compte de la topographie des surfaces. L'objectif d'un tel relevé étant qu'il soit le plus représentatif possible, le choix d'une aire minimale homogène de prospection revêt une importance capitale. Cette aire doit être assez grande pour englober le maximum d'espèces présentes sur le site, tout en conservant une homogénéité relative. Une fois la surface définie, il faut lister toutes les espèces végétales présentes en leur apposant un coefficient d'Abondance-Dominance; l'Abondance étant la proportion relative d'individus d'une espèce donnée et la Dominance la surface occupée par celle-ci.

Les coefficients d'Abondance-Dominance de Braun-Blanquet sont :

- + : l'espèce n'est présente que par quelques pieds ;
- 1 : l'espèce a un recouvrement inférieur à 5% ;
- 2 : l'espèce a un recouvrement compris entre 5 et 25% ;
- 3 : l'espèce a un recouvrement compris entre 25 et 50% ;
- 4 : l'espèce a un recouvrement compris entre 50 et 75% ;
- 5 : l'espèce a un recouvrement supérieur à 75%.

La nomenclature de référence utilisée dans le cadre de l'étude de la végétation correspond à celle adoptée par Laurent Alnot (1999-2001), mobilisée également en 2007 et 2008, afin de permettre des analyses statistiques homogènes entre les différentes campagnes historiques.

L'aire des relevés a été systématiquement une aire de 50 m² correspondant à un cercle de 4 m. de rayon autour du centre (lequel fait l'objet du référencement pour les coordonnées GPS). Lorsque la borne géomètre n'a pas été retrouvée, la nouvelle coordonnée à suivre pour les prochains travaux sera celle indiquée par le GPS et reprise dans le tableau des relevés 2015 en annexe, le matériel utilisé permettant d'être sûr de sa position à 50 cm. près en moyenne.

6 Les résultats

6.1 Les résultats de l'approche synchronique

6.1.1 Rappels des objectifs

L'**approche synchronique** a pour objet de comparer des relevés réalisés la même année (2015 dans le cas présent) et présentant des modalités d'engagements MAE différentes. Dans le cadre de ce suivi, cette approche a pour vocation de mettre en évidence les différences floristiques (si elles existent) entre les hautes chaumes *contractualisées* et les hautes chaumes *non contractualisées* sur la base des relevés phytosociologiques complets réalisés au cours de 2015 par le même observateur.

6.1.2 Les analyses préliminaires

La totalité des relevés de 2015 (nombre total : 184) a été traitée par le biais d'une AFC³, en présence-absence. L'objectif de ce traitement de données est de répondre à la question suivante :

Les différents types de végétation observés (CLP, PAR et PA) peuvent-ils être traités simultanément ou doivent-ils être analysés séparément en raison d'une composition floristique trop différente ?

Pour cette approche globale, le parti a été pris de soustraire à l'AFC les espèces végétales dont l'occurrence est < 5 % dans les 184 relevés phytosociologiques. Cette démarche permet de ne pas prendre en compte les espèces accidentelles ou trop rares dans l'échantillon pour apporter un déterminisme statistique.

L'AFC a été menée sur la base de la présence-absence des espèces et le résultat est présenté en figure 3. Il apparaît que l'axe 1 permet d'individualiser les relevés réalisés dans les CLP selon l'axe 1, traduisant un gradient de fermeture du milieu illustré par les Ericacées abondantes dans les CLP (notamment *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Calluna vulgaris*). L'axe 2 quant à lui pourrait être interprété comme un gradient d'eutrophisation avec la présence très localisée des espèces à caractère eutrophe telles *Lolium perenne*, *Holcus lanatus*, *Rumex obtusifolius*, *Dactylis glomerata* ou encore *Taraxacum* groupe *officinalis*.

Une seconde AFC a ensuite été réalisée pour les relevés concernés par les mesures PAR et PA (soustraction des CLP à l'échantillon statistique) afin d'évaluer les différences entre ces 2 modalités. Cette AFC a également été conduite en abondance-dominance, après élimination des espèces végétales dont l'occurrence est < 5 % de la totalité des relevés réalisés en 2015 (figure 4). Il apparaît que l'axe 1 traduit un gradient d'eutrophisation avec la présence très localisée sur le plan factoriel des espèces à caractère eutrophe telles *Lolium perenne*, *Holcus lanatus*, *Rumex obtusifolius*, *Dactylis glomerata* ou encore *Taraxacum* groupe *officinalis*. Cependant, malgré ce gradient de distribution (12,88 %), aucune différenciation n'est

³ Logiciel XLSTAT

possible entre les PAR et les PA ; ces deux types de formation végétale peuvent ainsi être traitées de manière conjointe dans la suite de l'approche synchronique.

6.1.3 Analyses statistiques comparatives

A la lumière des premiers traitements statistiques, l'approche synchronique sera menée sur les CLP dans un premier temps puis sur les PA et PAR dans une seconde étape. L'objectif est de faire état d'une différence (ou d'une absence de différence) entre les relevés contractualisés et non contractualisés.

6.1.3.1 Parcelles en Chaume Lande Pelouse

De la même manière que précédemment, une AFC en abondance-dominance a été réalisée pour le jeu des relevés concernés par la mesure CLP et réalisés en 2015 (soit 52 relevés contractualisés et 11 relevés non contractualisés). Les espèces d'occurrence < 5% dans ce jeu de données ont été ici aussi soustraites de l'analyse.

Les résultats de cette analyse sont présentés en **figure 5**. Il ressort de cette approche statistique que les relevés contractualisés ne se différencient pas globalement des relevés non contractualisés.

6.1.3.2 Parcelles en Prairie d'Altitude et Prairie d'Altitude Remarquable

Une AFC en abondance-dominance a été réalisée sur la base des relevés concernés par les cahiers des charges PA et PAR et réalisés en 2015 (51 relevés contractualisés et 11 relevés non contractualisés). Les espèces d'occurrence < 5% dans ce jeu de données ont été soustraites de l'analyse.

Les résultats de cette analyse sont présentés en **figure 6**. Il ressort de cette approche statistique que les relevés contractualisés ne se différencient pas globalement des relevés non contractualisés.

6.1.3.3 Parcelles en Prairie d'Altitude

Une AFC en abondance-dominance a été réalisée sur la base des relevés en PA réalisés en 2015 (44 relevés contractualisés et 21 relevés non contractualisés). Les espèces d'occurrence < 5% dans ce jeu de données ont été soustraites de l'analyse.

Les résultats de cette analyse sont présentés en **figure 7**. Il ressort de cette approche statistique que les relevés contractualisés ne se différencient pas globalement des relevés non contractualisés.

6.1.3.4 Parcelles en Prairie d'Altitude Remarquable

Une AFC en abondance-dominance a été réalisée sur la base des relevés en PA réalisés en 2015 (45 relevés contractualisés et 11 relevés non contractualisés). Les espèces d'occurrence < 5% dans ce jeu de données ont été soustraites de l'analyse.

Les résultats de cette analyse sont présentés en **figure 8**. Il ressort de cette approche statistique que les relevés contractualisés ne se différencient pas globalement des relevés non contractualisés.

6.1.3.5 Conclusions

Au final les traitements statistiques opérés par grand type de cahier des charges sur les 184 relevés réalisés en 2015 ne montrent **aucune différence entre les relevés contractualisés et ceux issus de parcelles non contractualisées.**

Figure 3 : AFC réalisée sur la base des 184 relevés de 2015

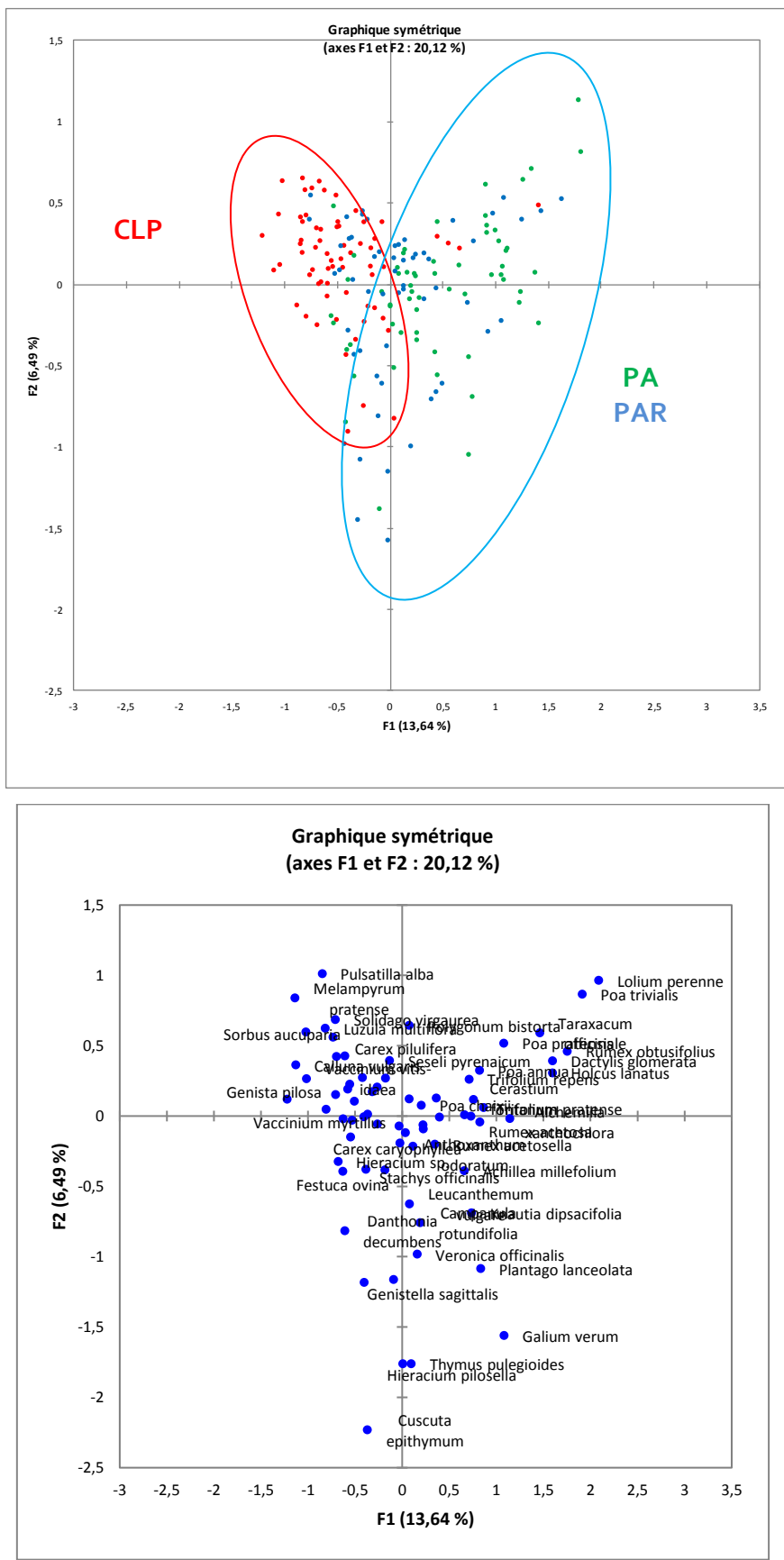


Figure 4 : AFC réalisée sur la base des relevés phytosociologiques réalisés dans les PAR et les PA en 2015

Test d'indépendance entre les lignes et les colonnes :							
Khi ² (Valeur	7734,197						
Khi ² (Valeur	8492,800						
DDL	8280						
p-value	1,000						
alpha	0,05						
Interprétation du test :							
H0 : Les lignes et les colonnes du tableau sont indépendantes.							
Ha : Il existe un lien entre les lignes et les colonnes du tableau.							
Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.							
Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est de 100,00%.							

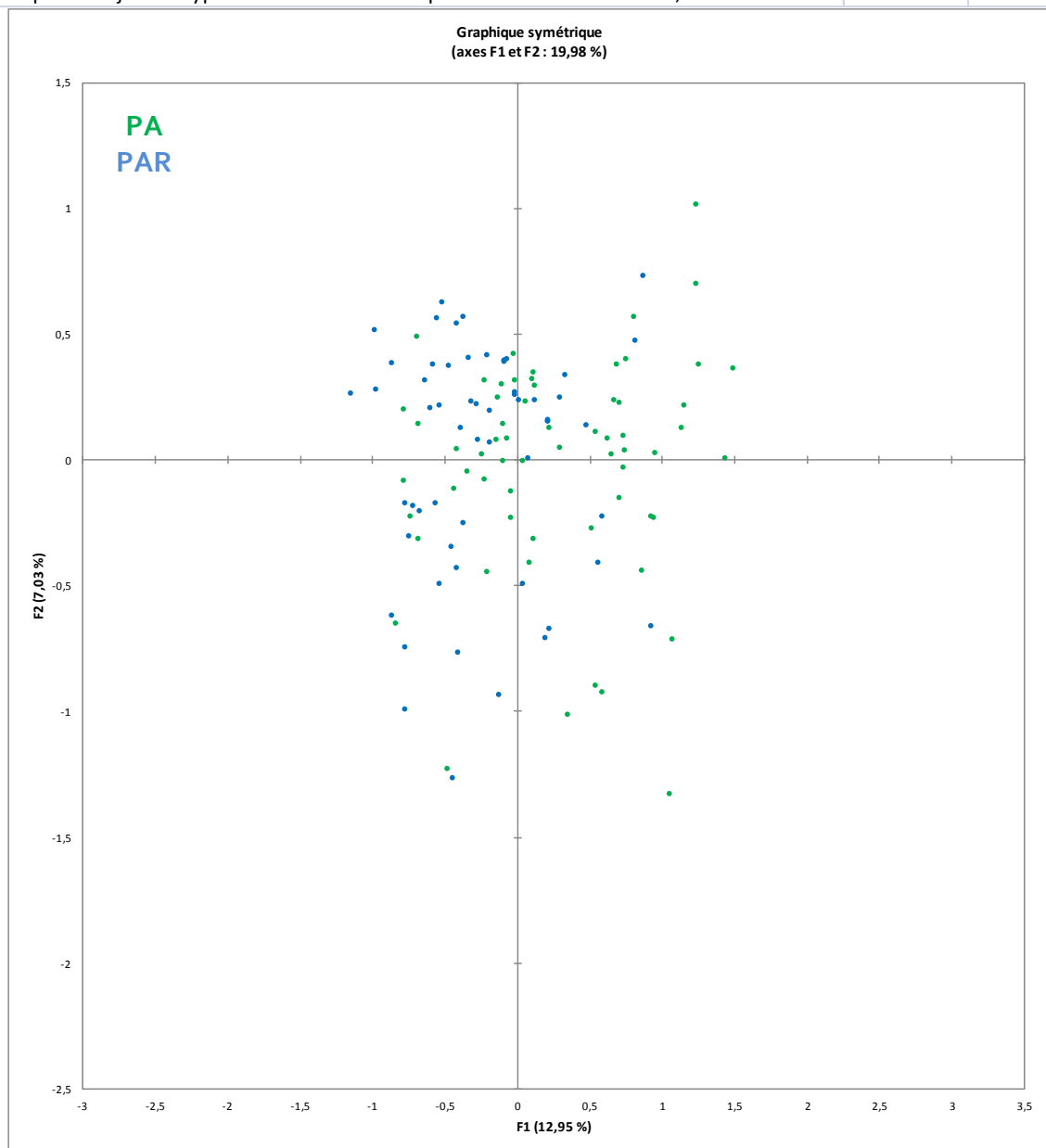
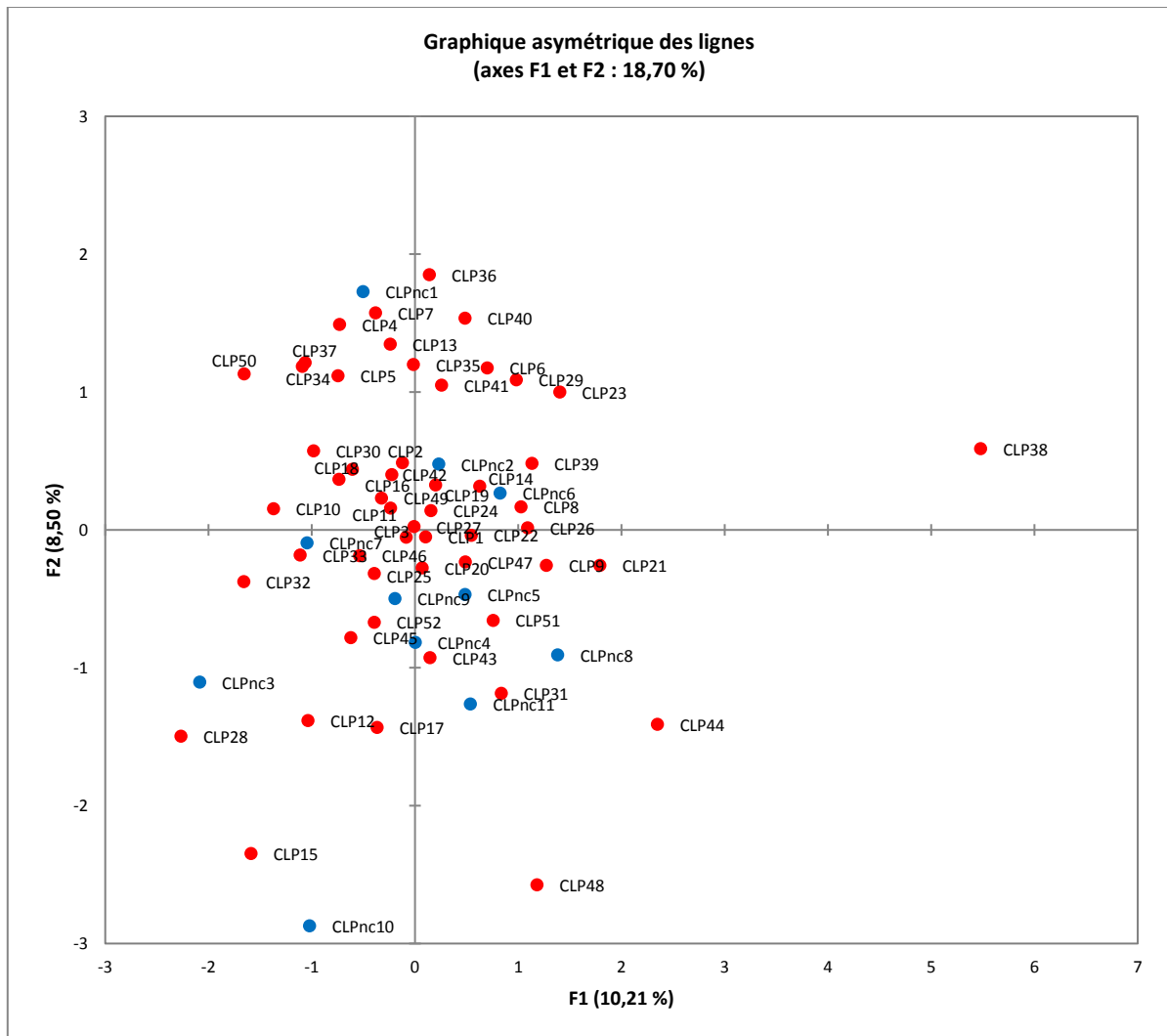


Figure 5 : AFC réalisée sur la base des relevés CLP de 2015

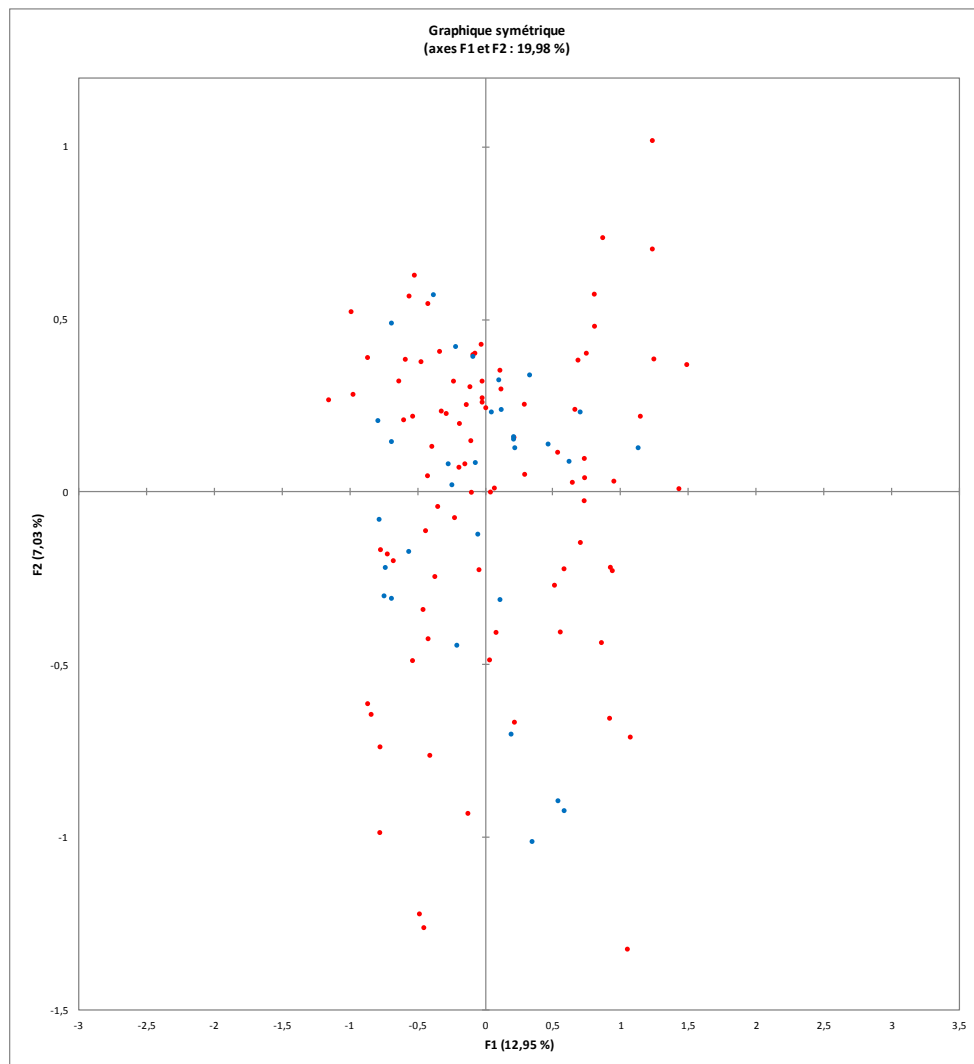
Test d'indépendance entre les lignes et les colonnes :	
Khi ² (Valeur	2624,551
Khi ² (Valeur	3546,965
DDL	3410
p-value	1,000
alpha	0,05
Interprétation du test :	
H0 : Les lignes et les colonnes du tableau sont indépendantes.	
Ha : Il existe un lien entre les lignes et les colonnes du tableau.	
Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.	
Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est de 100,00%.	



En rouge les **CLP contractualisés** et en bleu les **CLP non contractualisés**

Figure 6 : AFC réalisée sur la base des relevés PAR et les PA de 2015

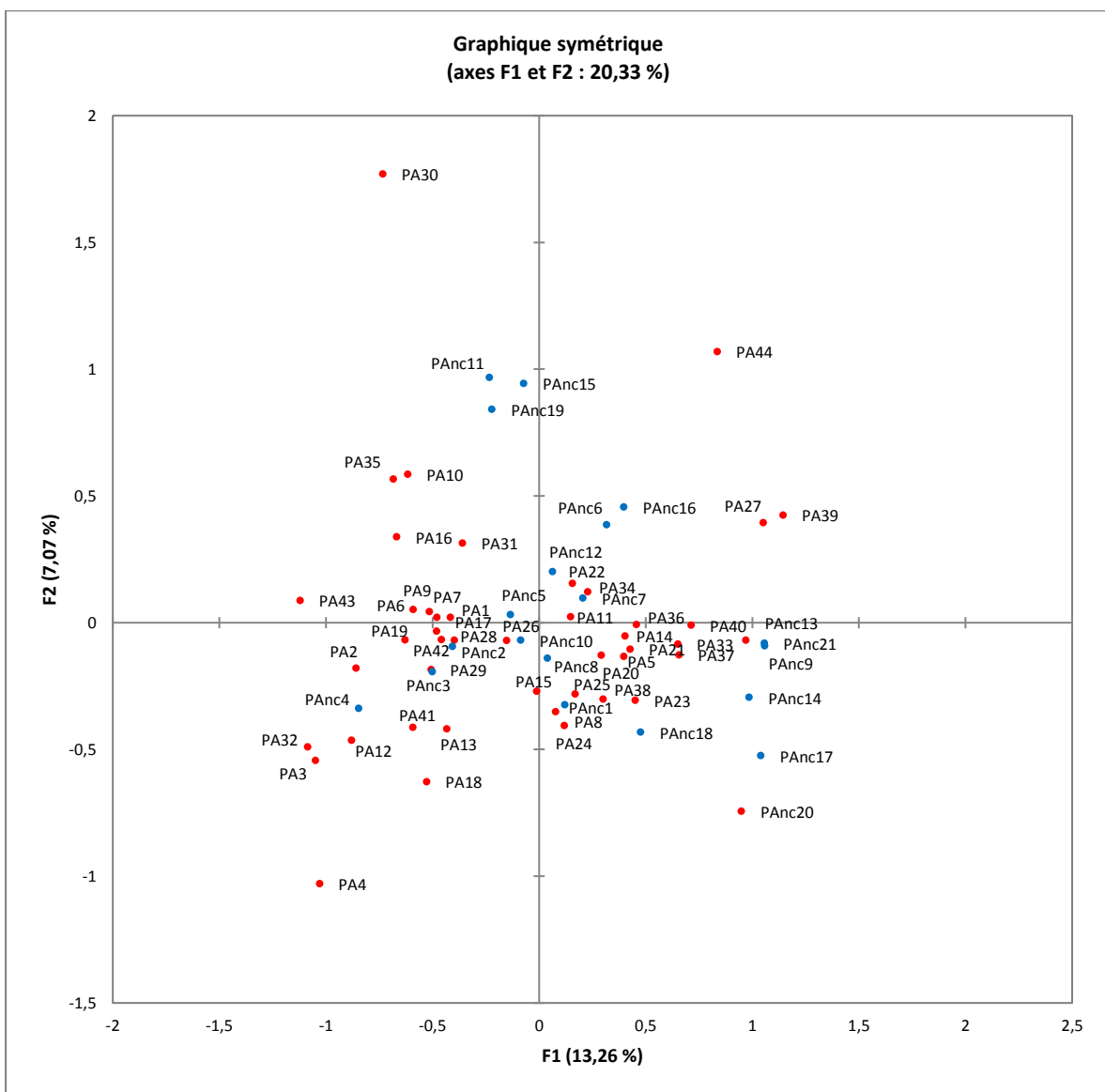
Test d'indépendance entre les lignes et les colonnes :							
Khi ² (Valeur	7734,197						
Khi ² (Valeur	8492,800						
DDL	8280						
p-value	1,000						
alpha	0,05						
Interprétation du test :							
H0 : Les lignes et les colonnes du tableau sont indépendantes.							
Ha : Il existe un lien entre les lignes et les colonnes du tableau.							
Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.							
Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est de 100,00%.							



En rouge les **PA et PAR contractualisés** et en bleu les **PA et PAR non contractualisés**

Figure 7 : AFC réalisée sur la base des relevés PA de 2015

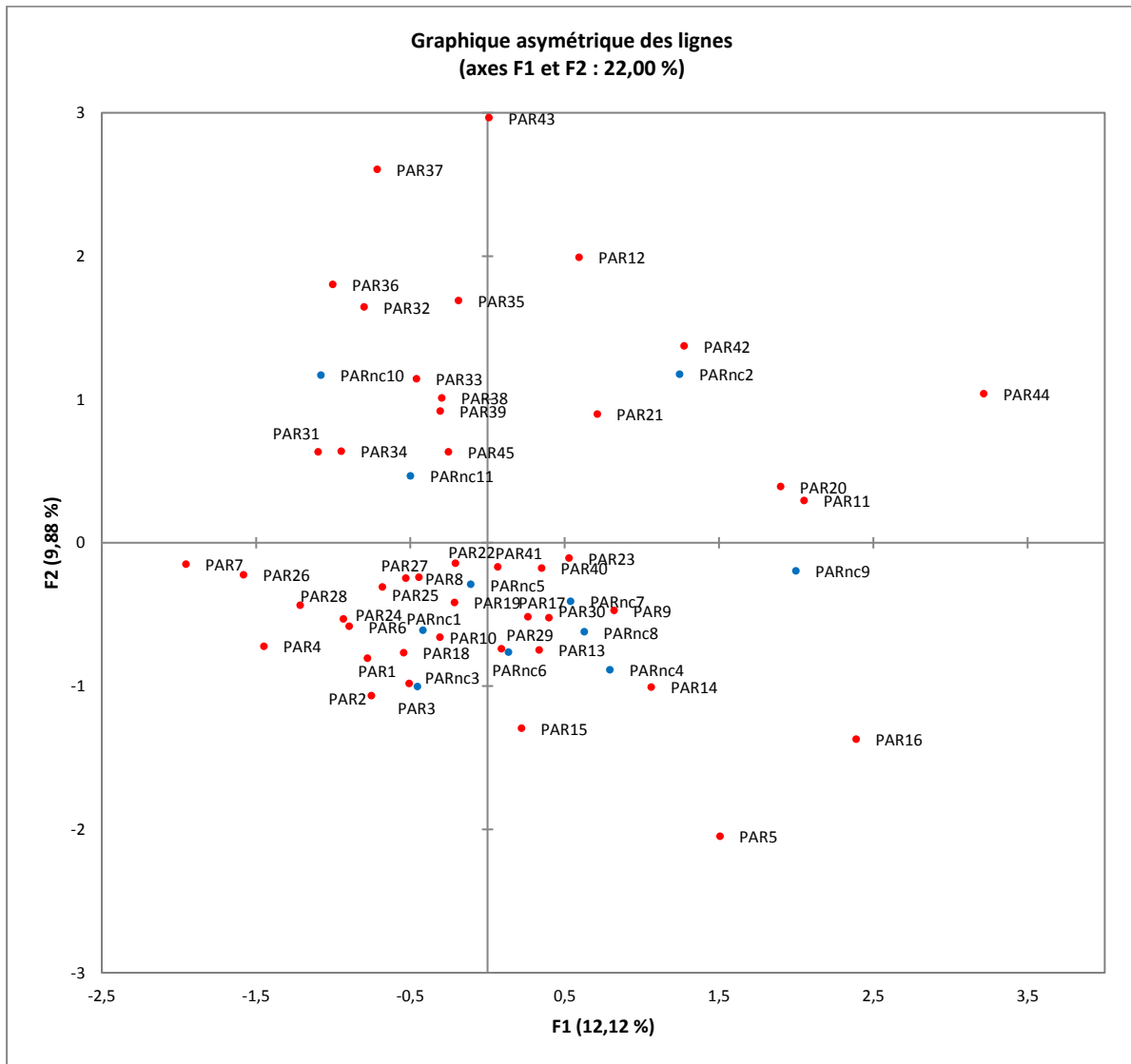
Test d'indépendance entre les lignes et les colonnes :							
Khi ² (Valeur	4016,303						
Khi ² (Valeur	4571,710						
DDL	4416						
p-value	1,000						
alpha	0,05						
Interprétation du test :							
H0 : Les lignes et les colonnes du tableau sont indépendantes.							
Ha : Il existe un lien entre les lignes et les colonnes du tableau.							
Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.							
Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est de 100,00%.							



En rouge les PA contractualisés et en bleu les PA non contractualisés

Figure 8 : AFC réalisée sur la base des relevés PAR de 2015

Test d'indépendance entre les lignes et les colonnes :					
Khi ² (Valeur	3347,216				
Khi ² (Valeur	3939,428				
DDL	3795				
p-value	1,000				
alpha	0,05				
Interprétation du test :					
H0 : Les lignes et les colonnes du tableau sont indépendantes.					
Ha : Il existe un lien entre les lignes et les colonnes du tableau.					
Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.					
Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est de 100,00%.					



En rouge les **PAR contractués** et en bleu les **PAR non contractués**

6.1.4 Analyses floristiques : comparaison des fréquences des espèces dans les relevés

Les analyses statistiques n'ayant montré aucune différenciation entre les hautes chaumes contractualisées et non contractualisées sur la base des relevés de 2015, il convient d'analyser plus en détail les relevés phytosociologiques.

Une comparaison plus fine a ainsi été conduite concernant les CLP, les PAR et les PA sur la base de la fréquence des espèces dans les 2 lots de données (relevés des parcelles contractualisées d'une part et relevés non contractualisés d'autre part). Les tableaux de comparaison sont présentés en **tableaux 7, 8 et 9**.

6.1.4.1 Comparaison des relevés en Chaume Lande Pelouse

Les relevés réalisés dans les CLP ont été comparés sur la base de la fréquence des espèces en fonction des modalités de contractualisation (tableau 7).

Même si les 2 échantillons étudiés présentent une différence en termes d'échantillonnage (52 relevés contractualisés pour 11 non contractualisés chez 10 exploitants agricoles), une comparaison a tout de même été réalisée afin d'affiner l'approche synchronique. Les échantillons ne suivant pas une distribution normale, le test de Wilcoxon (5%) a été utilisé pour comparer les fréquences des espèces entre les relevés contractualisés et non contractualisés au sein des CLP.

=> **Aucune différence statistiquement significative n'est mise en évidence par ce traitement statistique.**

Une comparaison pragmatique des fréquences entre les relevés contractualisés et non contractualisés (**tableau 7**) permet toutefois de repérer des espèces présentant une fréquence moins importante dans les chaumes non contractualisées : c'est le cas pour *Arnica montana*, *Luzula luzuloides*, *Carex pilulifera*, *Gentiana lutea* ou encore *Meum athamanticum*. Des espèces traduisant l'intensification des chaumes semblent également plus fréquentes dans les parcelles non contractualisées (*Achillea millefolium* essentiellement).

Au final les différences restent très faibles entre les deux types de CLP, contractualisées / non contractualisées, ce qui peut s'expliquer par :

- Une faible représentation des parcelles non contractualisées, s'expliquant par un taux élevé de contractualisation des hautes-chaumes dans le cadre des MAE.
- Des pratiques souvent similaires au niveau des CLP qu'elles soient en contrat ou pas, en raison de l'impossibilité de mécaniser ces parcelles souvent en pente ou riches en rochers affleurants. Ces habitats sont en effet généralement mis en valeur par le pâturage, généralement extensif. Dans ce contexte, qu'ils soient ou non contractualisés, les CLP sont généralement gérés de la même manière. De plus, certains exploitants agricoles appliquant déjà des pratiques agricoles en adéquation avec les contrats MAE refusent la contractualisation de leurs parcelles ; ils souhaitent en effet conserver l'entière liberté de l'usage de leur parcelle et refusent toute contrainte dans la conduite de leur exploitation agricole.
- Précisons enfin que des exploitants non engagés correspondent à des éleveurs de plaine qui ne sont pas éligibles aux MAE de montagne (afin de ne pas concurrencer les éleveurs entre

eux). Ils ne peuvent pas bénéficier de MAE mais ont des pratiques favorables au maintien des hautes chaumes et notamment ici des CLP.

Tableau 7 : Comparaison floristique entre les CLP contractualisés et non contractualisés

Nom du relevé	CLP contractualisé	CLP non contractualisé	Nom du relevé	CLP contractualisé	CLP non contractualisé
Richesse spécifique	10,86	9,08	Richesse spécifique	10,86	9,08
<i>Fréquences (%)</i>			<i>Fréquences (%)</i>		
Espèces les plus sensibles à l'intensification			Luzula multiflora	11,76	8,33
Arnica montana	45,10	8,33	Rumex acetosella	11,76	16,67
Calluna vulgaris	41,18	50,00	Carex sp.	9,80	8,33
Vaccinium myrtillus	90,20	91,67	Danthonia decumbens	9,80	8,33
Vaccinium uliginosum	0,00	8,33	Deschampsia caespitosa	9,80	8,33
Vaccinium vitis-idaea	64,71	66,67	Maianthemum bifolium	9,80	0,00
Espèces mésophiles à grande amplitude défavorisées par l'intensification agricole			Polygala vulgaris	9,80	0,00
Genistella sagittalis	27,45	50,00	Pseudorchis albida	9,80	0,00
Deschampsia flexuosa	82,35	83,33	Sorbus aria	9,80	16,67
Galium saxatile	84,31	91,67	Stachys officinalis	9,80	16,67
Luzula luzuloides	50,98	33,33	Dactylorhiza maculata	7,84	0,00
Nardus stricta	92,16	100,00	Poa annua	7,84	16,67
Poa chaixii	33,33	41,67	Succisa pratensis	7,84	8,33
Pulsatilla alba	23,53	16,67	Taraxacum officinale	7,84	0,00
Viola lutea	35,29	58,33	Thesium alpinum	7,84	8,33
Espèces favorisées par l'intensification			Thymus pulegioides	7,84	0,00
Achillea millefolium	23,53	33,33	Veronica officinalis	7,84	16,67
Agrostis capillaris	92,16	91,67	Euphrasia rostkoviana	5,88	0,00
Dactylis glomerata	3,92	8,33	Juniperus communis	5,88	8,33
Festuca rubra	98,04	100,00	Plantago lanceolata	5,88	8,33
Phleum pratense	0,00	8,33	Ranunculus serpens	5,88	0,00
Rumex acetosa	23,53	8,33	Rubus sp.	5,88	0,00
Rumex obtusifolius	1,96	0,00	Acer pseudo-platanus	3,92	0,00
Trifolium pratense	19,61	0,00	Cerastium fontanum	3,92	8,33
Trifolium repens	23,53	8,33	Cirsium palustre	3,92	0,00
Urtica dioica	1,96	0,00	Hieracium pilosella	3,92	8,33
Espèces d'intérêt patrimonial			Holcus mollis	3,92	0,00
Gentiana lutea	47,06	25,00	Lotus corniculatus	3,92	0,00
Autres espèces			Pinus sp.	3,92	0,00
Potentilla erecta	90,20	75,00	Poa sp.	3,92	0,00
Leontodon pyrenaicus	68,63	50,00	Pteridium aquilinum	3,92	0,00
Luzula campestris	64,71	66,67	Teucrium scorodonia	3,92	0,00
Anthoxanthum odoratum	54,90	58,33	Carex ovalis	1,96	8,33
Meum athamanticum	54,90	8,33	Composée non déterminée	1,96	0,00
Seseli pyrenaicum	52,94	50,00	Digitalis purpurea	1,96	0,00
Polygonum bistorta	50,98	25,00	Galium verum	1,96	0,00
Carex pilulifera	37,25	8,33	Geranium sylvaticum	1,96	0,00
Melampyrum pratense	35,29	25,00	Hypericum maculatum	1,96	0,00
Festuca ovina	31,37	50,00	Hypericum sp.	1,96	0,00
Ranunculus acris	25,49	8,33	Knautia dipsacifolia	1,96	16,67
Stellaria graminea	25,49	16,67	Platanthera sp.	1,96	8,33
Veronica chamaedrys	25,49	33,33	Poa compressa	1,96	8,33
Campanula rotundifolia	21,57	16,67	Prunus sp.	1,96	0,00
Solidago virgaurea	21,57	16,67	Rhinanthus alectorolophus	1,96	0,00
Anemone nemorosa	19,61	0,00	Serratula tinctoria	1,96	0,00
Genista pilosa	17,65	25,00	Stachys sylvatica	1,96	0,00
Hieracium sp.	17,65	8,33	Trichophorum cespitosum	1,96	0,00
Leucanthemum vulgare	17,65	25,00	Trisetum flavescens	1,96	0,00
Carex caryophylla	15,69	0,00	Viola sp.	1,96	0,00
Rhinanthus minor	15,69	8,33	Briza media	0,00	8,33
Sorbus aucuparia	15,69	16,67	Crataegus monogyna	0,00	8,33
Alchemilla xanthochlora	13,73	8,33	Cuscuta epithimum	0,00	8,33
Lathyrus montanus	11,76	16,67	Euphorbia cyparissias	0,00	8,33
			Silene sp.	0,00	8,33

En **rouge** les espèces dont la fréquence est moindre en relevé contractualisé
 En **bleu** les espèces dont la fréquence est plus importante en relevé contractualisé

6.1.4.2 Comparaison des relevés en Prairie d'Altitude Remarquable

Les relevés réalisés dans les PAR ont été comparés sur la base de la fréquence des espèces en fonction des modalités de contractualisation (tableau 8).

Même si les 2 échantillons étudiés présentent une différence en termes d'échantillonnage (45 relevés contractualisés pour 11 non contractualisés), une comparaison a tout de même été réalisée afin d'affiner l'approche synchronique. Les échantillons ne suivant pas une distribution normale, le test de Wilcoxon (5%) a été utilisé pour comparer les fréquences des espèces entre les relevés contractualisés et non contractualisés au sein des PAR.

=> **Aucune différence statistiquement significative n'est mise en évidence par ce traitement statistique.**

Une comparaison pragmatique des fréquences entre les relevés contractualisés et non contractualisés (tableau 8) montre comme pour les CLP que certaines espèces bioindicatrices d'un bon état de conservation présentent une fréquence *moins importante* dans les chaumes *non contractualisées* : *Arnica montana*, *Vaccinium myrtillus*, *Genistella sagittalis*, *Viola lutea*, *Pulsatilla alba* ou encore *Deschampsia flexuosa*. La moindre fréquence de ces espèces pourrait s'expliquer par une eutrophisation plus élevée en PAR non contractualisées.

Néanmoins, les différences restent très faibles entre les deux types de PAR, ce qui peut s'expliquer par :

- Comme pour les CLP : une faible représentation des parcelles non contractualisées (taux élevé de contractualisation des hautes-chaumes !), des pratiques souvent similaires au niveau des PAR (parcelles moins mécanisables bénéficiant de pratiques forcément similaires qu'elles soient engagées ou non)
- Certaines parcelles, actuellement contractualisées, résultent d'une dégradation *ancienne* de l'habitat. En effet, certaines PAR et certaines CLP ont été jadis fertilisées, voire retournées pour être semées (années 1980). Bien qu'elles soient actuellement contractualisées, la flore traduit encore les perturbations anciennes, au travers de la présence d'espèces non originaires des prairies d'altitude (*Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* notamment issus des semis commerciaux). Ainsi dans ce lot de parcelles, ces effets anciens se font encore sentir...

Rappelons que les PAR correspondent à des prairies d'altitude très fragiles en termes d'eutrophisation. En effet, les espèces relictuelles qui s'y développent (*Nardus stricta*, *Viola lutea*, *Gentiana lutea*, ...), caractéristiques naturelles des chaumes d'altitude oligotrophes, disparaissent très rapidement dans le cas d'eutrophisation du milieu (fauche intensive, fertilisation, chaulage, conversion en prairie temporaire, ...). Toutes les études scientifiques récentes illustrent cette problématique et montrent la quasi impossible restauration de leur cortège floristique d'origine (cf. 4.2.).

Tableau 8 : Comparaison floristique entre les PAR contractualisés et non contractualisés

Nom du relevé	PAR contractualisé	PAR non contractualisé	Nom du relevé	PAR contractualisé	PAR non contractualisé
Richesse spécifique	14,16	14,36	Richesse spécifique	14,16	14,36
	Fréquences (%)			Fréquences (%)	
Espèces les plus sensibles à l'intensification					
Arnica montana	31,11	9,09	Platanthera sp.	8,89	0,00
Calluna vulgaris	4,44	9,09	Polygala vulgaris	8,89	0,00
Vaccinium myrtillus	51,11	27,27	Arrhenatherum elatius	6,67	9,09
Vaccinium vitis-idaea	17,78	0,00	Luzula multiflora	6,67	9,09
Espèces mésophiles à grande amplitude défavorisées par l'intensification agricole					
Genistella sagittalis	33,33	18,18	Platanthera chlorantha	6,67	9,09
Deschampsia flexuosa	68,89	45,45	Poa sp.	6,67	0,00
Galium saxatile	84,44	72,73	Sorbus aucuparia	6,67	9,09
Luzula luzuloides	24,44	9,09	Succisa pratensis	6,67	18,18
Nardus stricta	75,56	72,73	Avenula pubescens	4,44	0,00
Poa chaixii	44,44	72,73	Cynosurus cristatus	4,44	0,00
Pulsatilla alba	15,56	9,09	Euphrasia rostkoviana	4,44	9,09
Viola lutea	48,89	27,27	Galium verum	4,44	0,00
Espèces favorisées par l'intensification					
Achillea millefolium	48,89	54,55	Helianthemum nummularium	4,44	0,00
Agrostis capillaris	91,11	100,00	Holcus mollis	4,44	18,18
Dactylis glomerata	13,33	9,09	Lolium perenne	4,44	0,00
Festuca rubra	100,00	90,91	Phyteuma spicatum	4,44	9,09
Phleum pratense	2,22	0,00	Poa trivialis	4,44	9,09
Rumex acetosa	44,44	54,55	Rhinanthus alectorolophus	4,44	0,00
Rumex obtusifolius	2,22	9,09	Stachys officinalis	4,44	0,00
Trifolium pratense	68,89	63,64	Vicia sepium	4,44	0,00
Trifolium repens	60,00	72,73	Viola sp.	4,44	9,09
Espèces d'intérêt patrimonial					
Gentiana lutea	15,56	36,36	Acer pseudo-platanus	2,22	0,00
Autres espèces					
Anthoxanthum odoratum	82,22	90,91	Ajuga reptans	2,22	9,09
Luzula campestris	75,56	45,45	Botrychium lunaria	2,22	0,00
Meum athamanticum	71,11	54,55	Carex pallescens	2,22	9,09
Potentilla erecta	71,11	36,36	Carex panicea	2,22	0,00
Leontodon pyrenaicus	66,67	72,73	Centaurea montana	2,22	9,09
Stellaria graminea	60,00	45,45	Cirsium palustre	2,22	9,09
Campanula rotundifolia	51,11	9,09	Digitalis purpurea	2,22	0,00
Rhinanthus minor	51,11	36,36	Eriophorum angustifolium	2,22	0,00
Veronica chamaedrys	51,11	72,73	Galium mollugo	2,22	0,00
Achillea millefolium	48,89	54,55	Geranium sylvaticum	2,22	0,00
Seseli pyrenaicum	48,89	36,36	Hieracium aurantiacum	2,22	9,09
Ranunculus acris	44,44	45,45	Hypochoeris radicata	2,22	9,09
Leucanthemum vulgare	40,00	18,18	Knautia dipsacifolia	2,22	9,09
Carex pilulifera	37,78	18,18	Myosotis scorpioides	2,22	0,00
Polygonum bistorta	37,78	63,64	Phyteuma sp.	2,22	0,00
Cerastium fontanum	26,67	9,09	Pimpinella major	2,22	9,09
Lotus corniculatus	26,67	9,09	Pimpinella saxifraga	2,22	0,00
Hieracium pilosella	24,44	9,09	Poa compressa	2,22	27,27
Festuca ovina	22,22	27,27	Primula veris	2,22	0,00
Taraxacum officinale	22,22	27,27	Prunella vulgaris	2,22	0,00
Plantago lanceolata	20,00	9,09	Prunus sp.	2,22	9,09
Poa annua	20,00	27,27	Pseudorchis albida	2,22	0,00
Alchemilla xanthochlora	17,78	27,27	Ranunculus serpens	2,22	36,36
Anemone nemorosa	17,78	18,18	Rosa sp.	2,22	0,00
Dactylorhiza maculata	17,78	9,09	Rumex crispus	2,22	0,00
Poa pratensis	17,78	0,00	Silene vulgaris	2,22	0,00
Carex caryophylla	15,56	18,18	Thesium alpinum	2,22	0,00
Cuscuta epithimum	15,56	9,09	Trisetum flavescens	2,22	9,09
Solidago virgaurea	15,56	27,27	Veronica arvensis	2,22	0,00
Thymus pulegioides	15,56	9,09	Carex ovalis	0,00	9,09
Veronica officinalis	15,56	18,18	Crataegus monogyna	0,00	9,09
Danthonia decumbens	13,33	9,09	Crepis paludosa	0,00	9,09
Carex sp.	11,11	0,00	Cruciata laevipes	0,00	9,09
Holcus lanatus	11,11	0,00	Deschampsia caespitosa	0,00	9,09
Lathyrus montanus	11,11	27,27	Euphorbia cyparissias	0,00	9,09
Rumex acetosella	11,11	36,36	Galeopsis tetrahit	0,00	9,09
Hieracium sp.	8,89	9,09	Glechoma hederacea	0,00	9,09
Hypericum maculatum	8,89	9,09	Juniperus communis	0,00	9,09
Melampyrum pratense	8,89	0,00	Lychnis flos-cuculi	0,00	9,09
			Melampyrum sp.	0,00	9,09
			Narcissus pseudo-narcissus	0,00	9,09
			Pteridium aquilinum	0,00	9,09
			Rubus sp.	0,00	9,09
			Sorbus aria	0,00	9,09

En **rouge** les espèces dont la fréquence est moindre en relevé contractualisé
 En **bleu** les espèces dont la fréquence est plus importante en relevé contractualisé

6.1.4.3 Comparaison des relevés en Prairies d'Altitude

Les relevés réalisés dans les PA ont été comparés sur la base de la fréquence des espèces en fonction des modalités de contractualisation (tableau 9).

Même si les 2 échantillons étudiés présentent une différence en termes d'échantillonnage (44 relevés contractualisés pour 21 non contractualisés), une comparaison a tout de même été réalisée afin d'affiner l'approche synchronique. Les échantillons ne suivant pas une distribution normale, le test de Wilcoxon (5%) a été utilisé pour comparer les fréquences des espèces entre les relevés contractualisés et non contractualisés au sein des PA.

=> **Une différence statistiquement significative est mise en évidence par ce traitement statistique entre les 2 jeux de données.**

Le **tableau 9** illustre les espèces qui présentent une fréquence moins importante dans les chaumes non contractualisées : *Arnica montana*, *Nardus stricta*, *Galium saxatile*, *Poa chaixii*, *Viola lutea* et *Meum athamanticum*. Or ces espèces sont indicatrices de milieux bien conservés...

Néanmoins, les différences restent relativement faibles entre les deux types de PA, ce qui peut s'expliquer par :

- Une faible représentation des parcelles non contractualisées.
- Certains exploitants agricoles appliquant déjà des pratiques agricoles en adéquation avec les contrats MAE refusent la contractualisation de leurs parcelles ; ils souhaitent en effet conserver l'entier usage de leur parcelle et refusent toute contrainte dans la conduite de leur exploitation agricole.

6.1.4.4 Conclusions

D'un point de vue statistique, les comparaisons floristiques entre les parcelles contractualisées et non contractualisées ne montrent pas de différences pour les secteurs classés en « chaume lande pelouse » ou « prairie d'altitude remarquable ». Il est probable que l'échantillonnage des parcelles non engagées soit relativement faible en raison du fort taux de contractualisation et que sur ces quelques parcelles non engagées, les pratiques soient contraintes par les faibles possibilités d'intensification liées à la pente, la présence de roches isolées etc... Néanmoins la tendance est que les parcelles *non contractualisées* présentent des fréquences moyennes en espèces remarquables plus faibles.

Par contre au niveau des parcelles en « prairies d'altitude », on perçoit en 2015 une différence significative de composition floristique entre les parcelles engagées et les parcelles non engagées et sont moins riches en espèces sensibles....

Tableau 9 : Comparaison floristique entre les PA contractualisés et non contractualisés

Nom du relevé	PA contractualisé	PA non contractualisé		PA contractualisé	PA non contractualisé
<i>Richesse spécifique</i>	<i>13,05</i>	<i>13,23</i>		<i>13,05</i>	<i>13,23</i>
	<i>Fréquences (%)</i>			<i>Fréquences (%)</i>	
Espèces les plus sensibles à l'intensification					
Arnica montana	13,64	6,82	Cuscuta epithimum	4,55	0,00
Calluna vulgaris	2,27	11,36	Dactylorhiza maculata	4,55	4,55
Vaccinium myrtillus	18,18	15,91	Deschampsia caespitosa	4,55	0,00
Vaccinium vitis-idaea	6,82	4,55	Euphrasia rostkoviana	4,55	4,55
Espèces mésophiles défavorisées par l'intensification agricole					
Genistella sagittalis	20,45	9,09	Genista pilosa	4,55	9,09
Deschampsia flexuosa	20,45	20,45	Lathyrus montanus	4,55	2,27
Galium saxatile	45,45	29,55	Leontodon autumnalis	4,55	4,55
Luzula luzuloides	2,27	6,82	Lotus pedunculatus	4,55	0,00
Nardus stricta	40,91	27,27	Plantago major	4,55	2,27
Poa chaixii	47,73	20,45	Poa sp.	4,55	4,55
Pulsatilla alba	0,00	6,82	Polygala vulgaris	4,55	0,00
Viola lutea	31,82	25,00	Silene dioica	4,55	0,00
Espèces favorisées par l'intensification					
Achillea millefolium	59,09	25,00	Succisa pratensis	4,55	0,00
Agrostis capillaris	88,64	47,73	Agrostis stolonifera	2,27	0,00
Dactylis glomerata	40,91	2,27	Ajuga reptans	2,27	2,27
Festuca rubra	93,18	45,45	Alopecurus pratensis	2,27	0,00
Phleum pratense	11,36	2,27	Botrychium lunaria	2,27	0,00
Rumex acetosa	54,55	27,27	Caltha palustris	2,27	0,00
Rumex obtusifolius	22,73	2,27	Capsella bursa-pastoris	2,27	0,00
Trifolium pratense	79,55	29,55	Cardamine pratensis	2,27	2,27
Trifolium repens	90,91	27,27	Carex flacca	2,27	0,00
Urtica dioica	2,27	2,27	Carex nigra	2,27	0,00
Autres espèces					
Ranunculus acris	86,36	36,36	Carex pallascens	2,27	2,27
Veronica chamaedrys	81,82	36,36	Carex pulicaris	2,27	0,00
Anthoxanthum odoratum	70,45	40,91	Cirsium palustre	2,27	4,55
Achillea millefolium	59,09	25,00	Crepis paludosa	2,27	0,00
Meum athamanticum	59,09	25,00	Digitalis purpurea	2,27	2,27
Taraxacum officinale	54,55	13,64	Elymus repens	2,27	0,00
Alchemilla xanthochlora	47,73	20,45	Eriophorum vaginatum	2,27	0,00
Cerastium fontanum	47,73	27,27	Festuca pratensis	2,27	0,00
Campanula rotundifolia	45,45	29,55	Galeopsis tetrahit	2,27	0,00
Leontodon pyrenaicus	45,45	38,64	Galium mollugo	2,27	0,00
Polygonum bistorta	45,45	22,73	Gnaphalium norvegicum	2,27	2,27
Stellaria graminea	40,91	18,18	Helianthemum nummularium	2,27	2,27
Luzula campestris	38,64	15,91	Heraclium sphondylium	2,27	0,00
Potentilla erecta	38,64	25,00	Holcus mollis	2,27	0,00
Seseli pyrenaicum	38,64	18,18	Hypericum maculatum	2,27	0,00
Poa annua	36,36	11,36	Hypericum sp.	2,27	0,00
Lolium perenne	34,09	6,82	Hypochoeris radicata	2,27	4,55
Plantago lanceolata	31,82	18,18	Juncus acutiflorus	2,27	0,00
Leucanthemum vulgare	29,55	13,64	Juncus articulatus	2,27	0,00
Rhinanthus minor	22,73	18,18	Juncus conglomeratus	2,27	0,00
Rumex acetosella	22,73	11,36	Juncus effusus	2,27	0,00
Hieracium pilosella	18,18	6,82	Maianthemum bifolium	2,27	0,00
Holcus lanatus	18,18	4,55	Myosotis arvensis	2,27	0,00
Festuca ovina	13,64	4,55	Narcissus pseudo-narcissus	2,27	0,00
Poa pratensis	13,64	4,55	Parnassia palustris	2,27	0,00
Poa trivialis	13,64	4,55	Pedicularis sylvatica	2,27	0,00
Carex sp.	9,09	2,27	Phyteuma nigrum	2,27	4,55
Cynosurus cristatus	9,09	6,82	Phyteuma sp.	2,27	0,00
Knautia dipsacifolia	9,09	2,27	Pimpinella major	2,27	0,00
Poa compressa	9,09	2,27	Pimpinella saxifraga	2,27	0,00
Thymus pulegioides	9,09	4,55	Prunella vulgaris	2,27	2,27
Gentiana lutea	9,09	9,09	Prunus sp.	2,27	0,00
Carex ovalis	6,82	4,55	Ranunculus repens	2,27	0,00
Carex pilulifera	6,82	9,09	Sarothamnus scoparius	2,27	0,00
Centaurea nigra	6,82	0,00	Silene vulgaris	2,27	4,55
Danthonia decumbens	6,82	0,00	Solidago virgaurea	2,27	4,55
Galium verum	6,82	9,09	Sorbus aucuparia	2,27	2,27
Geranium sylvaticum	6,82	2,27	Stachys officinalis	2,27	2,27
Hieracium sp.	6,82	2,27	Thesium alpinum	2,27	0,00
Lotus corniculatus	6,82	9,09	Tragopogon pratensis	2,27	0,00
Platanthera sp.	6,82	0,00	Trisetum flavescens	2,27	0,00
Ranunculus serpens	6,82	2,27	Veronica arvensis	2,27	0,00
Rhinanthus alectorolophus	6,82	0,00	Vicia cracca	2,27	0,00
Veronica officinalis	6,82	6,82	Vicia sepium	2,27	0,00
Anemone nemorosa	4,55	2,27	Viola palustris	2,27	0,00
Anthriscus sylvestris	4,55	2,27	Barbarea vulgaris	0,00	2,27
Arrhenatherum elatius	4,55	2,27	Briza media	0,00	2,27
Carex caryophyllaea	4,55	2,27	Bromus hordeaceus	0,00	2,27
			Luzula multiflora	0,00	2,27
			Melampyrum pratense	0,00	2,27
			Platanthera chlorantha	0,00	2,27
			Polygonatum verticillatum	0,00	4,55
			Viola sp.	0,00	2,27

En rouge les espèces dont la fréquence est moindre en relevé contractualisé

6.2 L'approche diachronique

6.2.1 Les objectifs

La démarche diachronique a ici pour objet **de comparer l'évolution dans le temps** des 184 relevés de végétation. On comparera ainsi ici les résultats de 2015 :

- ⇒ Avec ceux de 1999/2000 : relevés de Laurent Alnot ;
- ⇒ Avec ceux de 2007 & 2008 (stages de C. Page 2007 et E. Laurent 2008)

Il faudra ici prendre en compte que lors de ces 3 campagnes, des observateurs différents sont mobilisés et également qu'en 2007 – 2008, il s'agit de relevés partiels.

6.2.2 Echantillonnage

Le **tableau 10** présente le bilan des relevés utilisables dans le cadre de l'approche diachronique.

Tableau 10 : Echantillon utilisable dans le cadre de l'étude diachronique

Type de contrat	Nombre de relevés
PA contractualisée	44
PA non contractualisée	20
PAR contractualisée	45
PAR non contractualisée	10
CLP contractualisée	48
CLP non contractualisée	11

A noter que 6 relevés réalisés en 2015 ne pourront être utilisés dans le cadre de cette comparaison car il s'agit de nouveaux relevés. Ils correspondent à 4 CLP, 1 PAnc et 1 PARnc.

Ainsi, les analyses diachroniques porteront sur un total de 178 relevés qui correspondent :

- aux relevés simplifiés réalisés par C. Page en 2007 ;
- aux relevés simplifiés réalisés par E. Laurent en 2008 ;
- aux relevés réalisés en 2007 par F. Dupont sur la commune de Goldbach ;
- aux relevés réalisés en 2007 sur la Réserve Naturelle du Frankenthal-Missheimle ;
- aux relevés de 2010 de F. Dupont sur le chaume de Sérichamps côté vosgien.

Les 178 relevés disponibles ont été comparés à leurs homologues réalisés lors des précédentes campagnes (2007/2008/2010). Dans la mesure où les relevés de 2007 et 2008 correspondent à des relevés simplifiés, les comparaisons ne pourront être possibles que sur les espèces bioindicatrices relevées à l'époque.

Pour les relevés plus anciens de Laurent Alnot, se pose la question de leur comparaison avec les données de 2015. En effet, seuls 44 relevés de 1999 ont été analysés en 2008 (Laurent, 2008) par le biais d'une approche comparative menée sur les espèces indicatrices retenues.

Afin de permettre la prise en compte de ces premiers résultats intermédiaires (2008), le parti a été pris de suivre le protocole statistique développé à l'époque (Laurent, 2008). En effet, étant donné que seuls 44 placettes étaient retenues pour l'analyse diachronique en 2007 - 2008, il a été décidé de privilégier un comparatif 2007 - 2008 avec 2015 sans reprendre les données initiales de L. Alnot 1999 - 2001. Par contre des retours aux relevés initiaux pourront être utilisés pour appréhender des comparaisons particulières.

6.2.3 Analyses statistiques

6.2.3.1 *Test de normalité des 2 échantillons*

La normalité des 2 échantillons (2007-2008-2010 et 2015 ; jeu de 178 relevés) a été testée afin d'identifier les types de tests statistiques à mobiliser (test de normalité de Shapiro-Wilk sur la base de la fréquence des différentes espèces bioindicatrices au sein des échantillons). La distribution des échantillons étant normale, des tests paramétriques sont à réaliser.

6.2.3.2 *Test de comparaison des 2 échantillons*

Analyse sur la totalité des relevés de 2015

Afin de comparer les 2 échantillons historiques de données, le test t de Student pour des échantillons appariés a été utilisé. **Les 2 échantillons de 178 relevés ne présentent pas de différence significative au niveau des fréquences des espèces bioindicatrices entre la campagne de 2007-2008-2010 et celle de 2015.**

Des résultats similaires ont été obtenus en 2008 (Laurent, 2008) par comparaison avec un jeu de 44 relevés issus des études de Laurent Alnot (relevés réalisés de 1999 à 2001).

Analyse sur les relevés concernés par la mesure « chaume lande pelouse », la mesure « Prairie d'Altitude Remarquable » et la mesure « Prairie d'Altitude »

Afin de comparer les 2 échantillons historiques de données, le test t de Student pour des échantillons appariés a été ici aussi utilisé dans les 3 mesures différentes. **Dans les 3 cas, les 2 échantillons ne présentent pas de différence significative entre les fréquences des espèces bioindicatrices des campagnes de 2007-2008-2010 et 2015.**

6.2.3.3 *AFC des 2 échantillons*

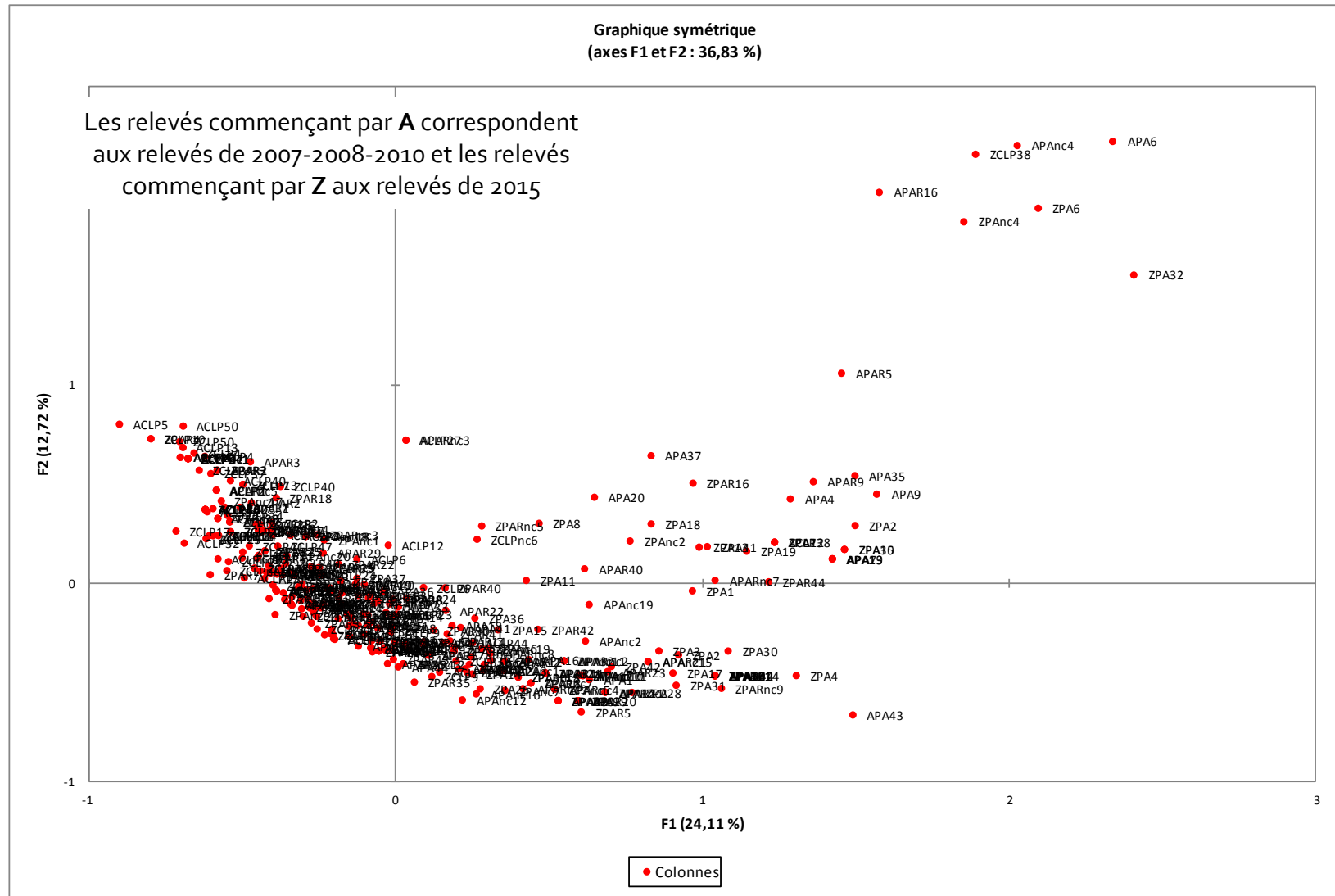
Un autre type de traitement statistique a été utilisé dans la démarche diachronique. Une AFC en présence-absence a été réalisée sur la base des 2 échantillons de 178 relevés (2007-2008-2010 et 2015). Les résultats sont présentés en **figure 9**.

Les deux échantillons temporels doivent être comparés entre eux, sur la base de la **position des relevés au niveau de l'axe 1** (coordonnées sur l'axe 1). Cette analyse permettra de mettre en évidence une éventuelle différence de positionnement des relevés dans la distribution apportée par l'AFC.

La première étape a consisté à vérifier leur normalité au travers du test de normalité de Shapiro-Wilk, sur la base de la fréquence de différentes espèces au sein des échantillons. Cette normalité a été validée et la comparaison des 2 échantillons a été réalisée par le test de Wilcoxon (5%). **Aucune différence significative n'apparaît entre les fréquences des espèces bioindicatrices entre 2008 et 2015.**

Dans la mesure où les mêmes conclusions émanent des analyses de 2008 (Laurent, 2008 : comparaison des données de L. Alnot 199 – 2000 et ceux de 2007 – 2008), il est probable qu'il n'y ait non plus aucune différence significative entre les fréquences des espèces bioindicatrices entre 1999- 2000 et 2015, même si l'échantillonnage n'est pas identique.

Figure 9 : AFC réalisée sur la base des 2 échantillons historiques



6.3 Evaluation de l'effet des MAE sur la flore

6.3.1 Les objectifs

La démarche d'évaluation globale de l'effet des MAE a pour objet **de comparer les relevés contractualisés et non contractualisés entre les campagnes de 2007-2008-2010 et 2015.**

Dans le cadre de ce suivi, cette approche a pour vocation de mettre en évidence les éventuelles différences floristiques entre les hautes chaumes contractualisées et les hautes chaumes non contractualisées sur la base des relevés phytosociologiques simplifiés réalisés lors des 2 campagnes de terrain.

6.3.2 Echantillonnage

Comme présenté en 7.2.2., les 178 relevés disponibles ont été comparés à leur homologue réalisé lors des précédentes campagnes (2007/2008 et 2010). Dans la mesure où les relevés de 2007 et 2008 correspondent à des relevés simplifiés, les comparaisons ne pourront être possibles que sur les espèces bioindicatrices identifiées à l'époque.

Sur la base de ces 178 relevés, la distinction opérée concerne la contractualisation des parcelles où les relevés ont été effectués. Ainsi :

- 137 relevés ont été réalisés dans des parcelles contractualisées ;
- 41 relevés ont été réalisés dans des parcelles non contractualisées.

6.3.3 Analyses statistiques

6.3.3.1 Test de normalité des 2 échantillons

La normalité des 2 échantillons (2007-2008-2010 et 2015) pour les relevés contractualisés et non contractualisés doit être testée afin d'identifier les types de test statistiques à mobiliser. Cette normalité a été appréhendée au travers du test de normalité de Shapiro-Wilk, sur la base de la fréquence de différentes espèces bioindicatrices au sein des 2 échantillons. Les résultats montrent que les données suivent une loi normale.

Cette analyse a été menée :

- sur les relevés contractualisés (comparaison 2007-2008-2010 et 2015) ;
- sur les relevés non contractualisés (comparaison 2007-2008-2010 et 2015).

6.3.3.2 Test de comparaison des 2 échantillons

Afin de comparer les 2 échantillons de données (contractualisés et non contractualisés), le test t de Student pour des échantillons appariés a été utilisé dans un but comparatif.

Il ressort de cette analyse que les **2 échantillons ne présentent pas de différence significative entre les fréquences des espèces bioindicatrices, quelle que soit la campagne appréhendée.**

6.3.3.3 AFC des 2 échantillons

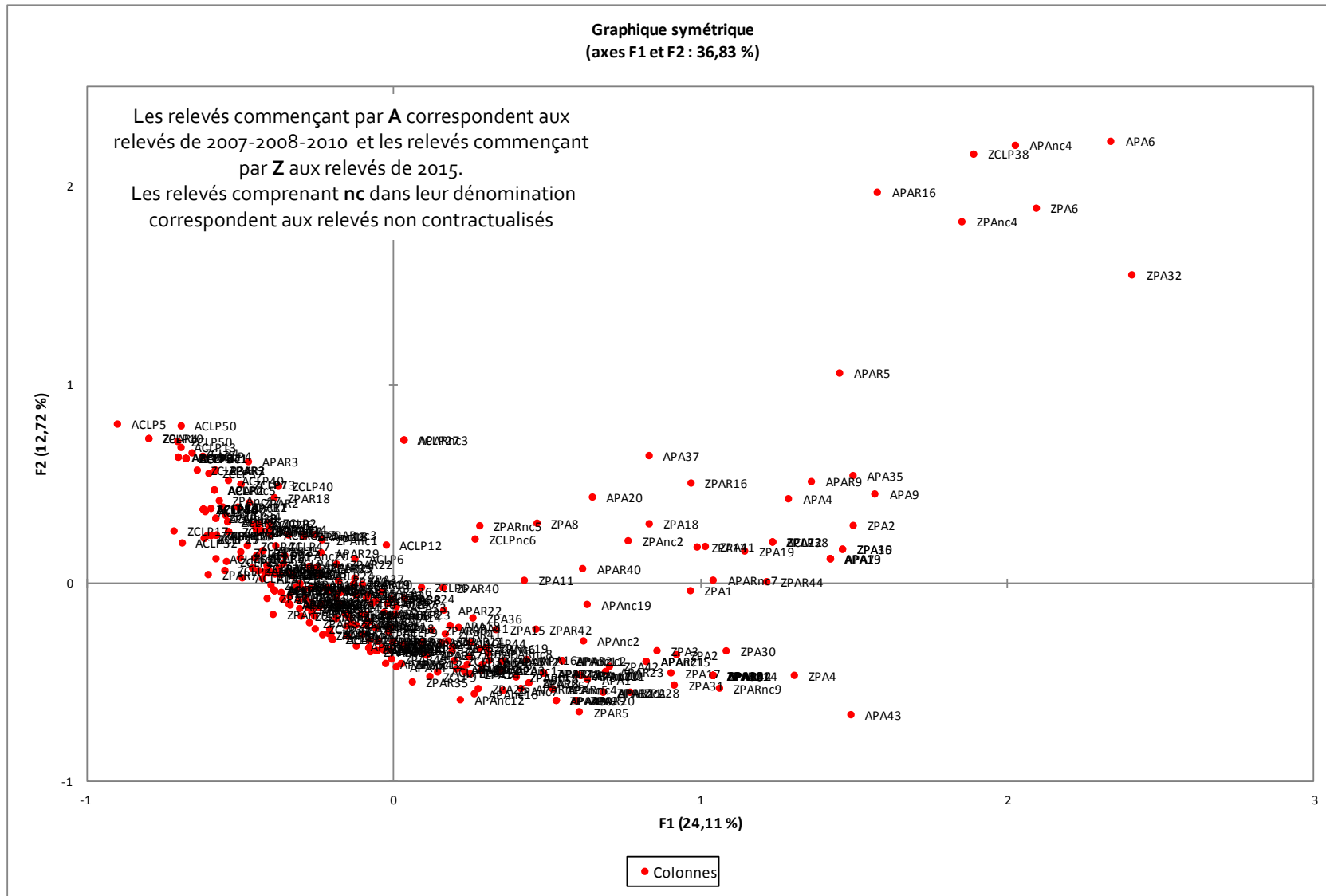
Un autre type de traitement statistique a été utilisé dans la démarche d'analyse des effets des MAE. Une AFC en présence-absence a en effet été réalisée sur la base des 2 échantillons de relevés (2007-2008-2010 et 2015). Les résultats sont présentés en **figure 10**.

Les deux échantillons temporels doivent être comparés entre eux, sur la base de la position des relevés au niveau de l'axe 1 (coordonnées de l'axe 1). Cette analyse permettra de mettre en évidence une éventuelle différence de positionnement des relevés dans la distribution apportée par l'AFC.

La normalité de ces échantillons a été appréhendée au travers du test de normalité de Shapiro-Wilk, sur la base de la fréquence de différentes espèces au sein des 2 échantillons. Les résultats indiquent que les données ne sont pas distribuées normalement et que des tests non paramétriques doivent être utilisés dans la suite de la démarche.

Aucune différence significative au plan statistique n'est mise en évidence entre les relevés réalisés dans des parcelles contractualisées et les relevés réalisés dans les parcelles non contractualisées (test de Mann-Whitney, 5%).

Figure 10 : AFC réalisée sur la base des 2 échantillons contractualisés et non contractualisés



6.4 Analyse par relevé

Les relevés ont été analysés un à un et leur évolution a été appréciée entre 2007 ou 2008, et 2015. L'analyse des espèces indicatrices apparues ou disparues permet d'estimer l'évolution de l'état de conservation. Par exemple la forte régression de la Pulsatille blanche, de l'Arnica et une augmentation significative de la présence de Dactyle et de Trèfles traduit une intensification agricole et une dégradation de l'état de conservation de l'habitat « haute chaume ». Les données 2007 – 2008 ont également été comparées, lorsque cela était possible, aux relevés antérieurs réalisés entre 1999 et 2001 par Laurent Alnot dans le cadre de sa thèse à l'université de Metz. Des évolutions peuvent ainsi être retracées depuis ces années de début de mise en œuvre des mesures agri-environnementales.

6.4.1 60 % des relevés de 2015 correspondent à des chaumes évaluées en bon état de conservation

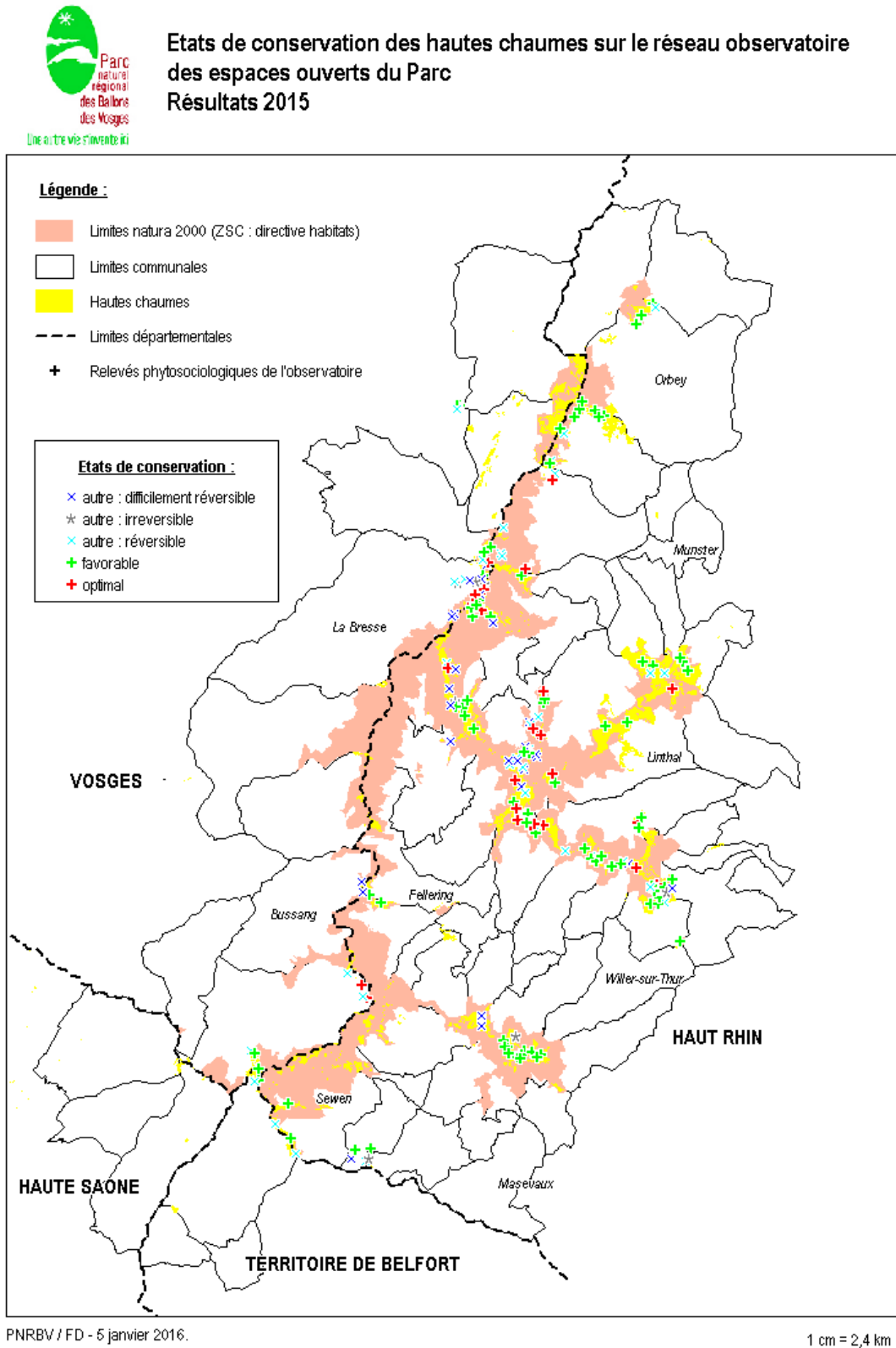
Les résultats de l'état de conservation de 2015 sont présentés en figure 11 page suivante (analyse relevé par relevé). La qualification des états de conservation (« favorable », « optimal », « autre ») se base sur les éléments d'analyse du document d'objectifs en vigueur.

110 relevés sur les 184 réalisés en 2015 présentent un état « favorable » à « optimal », soit 60 % des stations analysées. Les chaumes en état de conservation « optimal » représentent 15,2% de l'échantillon.

Sur les 74 points de relevés en état de conservation jugé non conforme à la directive (état « autre »), 44 présentent des états très dégradés, parfois - pour 7 d'entre eux - de manière irréversible, alors que 40 sont en état estimé comme étant « réversible ».

Cette répartition ne traduit toutefois pas l'état réel de conservation des hautes chaumes des sites natura 2000 des Hautes Vosges dans la mesure où l'échantillonnage est réalisé afin de suivre l'évolution des hautes chaumes en lien avec les cahiers des charges des MAE ; or 64,7 % des relevés concernent des chaumes engagées ou potentiellement engageables (dans le cas de parcelles non contractualisées) en mesure « Chaume lande pelouse d'altitude / CLP » ou « Prairie d'Altitude Remarquable / PAR » correspondant justement à ces chaumes en bon état de conservation. Il semble donc logique d'avoir des pourcentages (60 et 64,7%) assez proches.

Figure 11 : Résultats relevé par relevé de l'état de conservation des habitats



7.4.2. Evolution de l'état de conservation

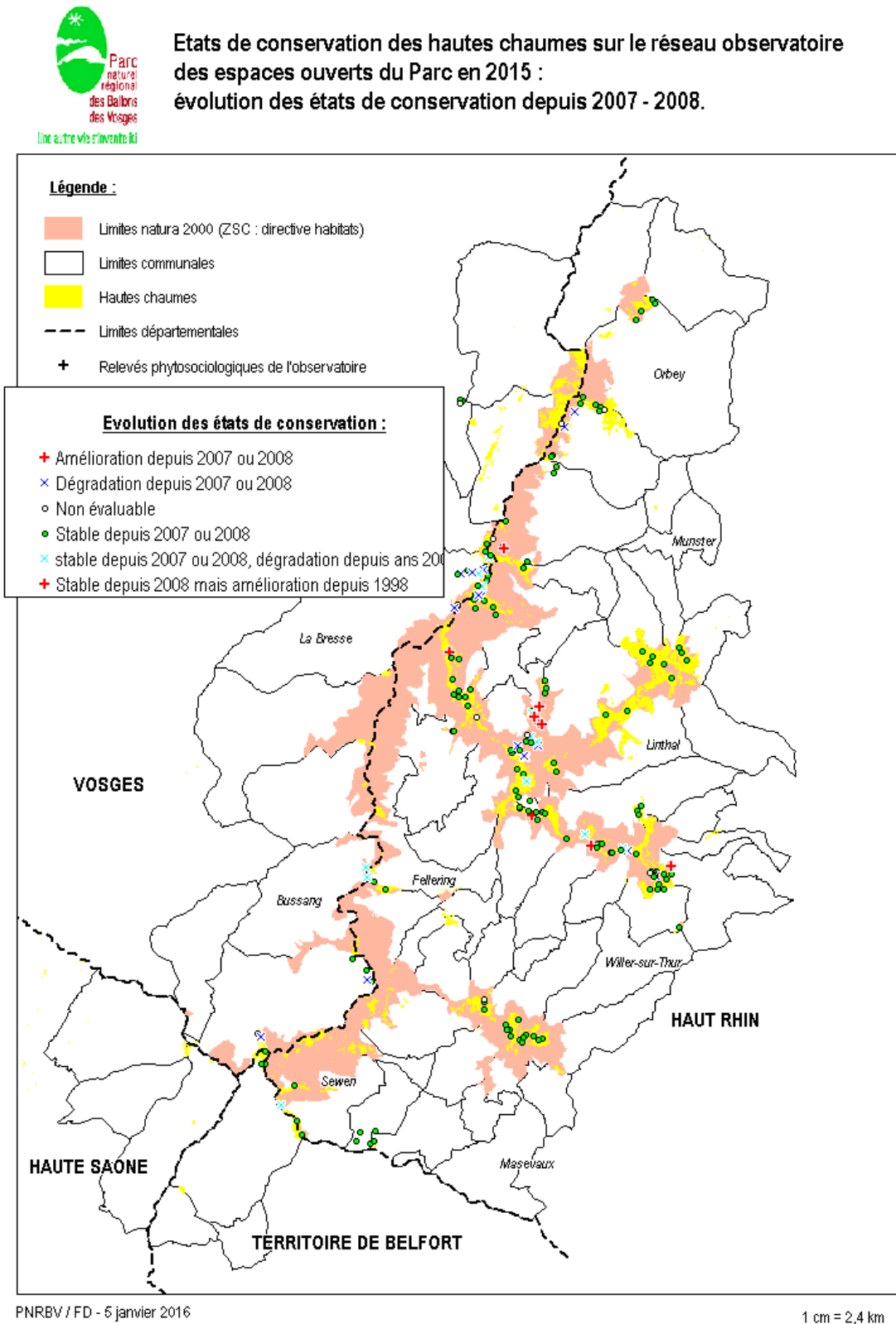
Les résultats de l'évolution de l'état de conservation de 2015 sont présentés en figure 12 pour chaque relevé phytosociologique.

Sur les 184 stations de suivi, en dehors de 10 non évaluables (relevés sur zone perturbée, nouveaux relevés, ...), **148** - soit 85 % de l'échantillon interprétable - **sont restées stables** entre les années 2007-2008 et 2015, ce qui semble corroborer les résultats précédents.

Toutefois sur ces 148 stations, 13 avaient subi des dégradations antérieures à ces années 2007 – 2008 : en effet nous disposons de relevés de références sur 1999 – 2001 par Laurent Alnot. Depuis les années 2007 - 2008, on notera également des changements significatifs sur 9 stations qui se sont améliorées, alors que 16 se sont dégradées.

Au total, depuis les années 2000, on note que **29 relevés de végétation sur 174 interprétables** - soit 16,7 % des relevés - **affichent des dégradations substantielles alors que 10 relevés** (5,7% des relevés) **évoluent favorablement**.

Figure 12 : Evolution de l'état de conservation des relevés au cours du temps



Interprétation des évolutions :

Comment interpréter les évolutions (dégradations ou améliorations) constatées ?

D'après le tableau 11, on voit que sur les 29 relevés qui se sont dégradés, **9 concernent des parcelles non engagées** (éleveur pas intéressé) ou non engageables dans des MAE (concernent des parcelles hors Natura 2000 côté 88 où la contractualisation n'a été possible, en général, que pour les îlots situés *dans les enveloppes* Natura 2000).

Tableau 11 : Explications des évolutions des états de conservation entre les années 2000 ou les années 2007-2008 et 2015

Evolution du relevé de végétation	Cause suspectée	Nombre de relevés concernés	Relevés concernés et détail des évolutions connues
Dégradation	Eleveur non intéressé par les MAE	4 (dans le 88)	Dr2, Dr3, Ju3, Fi3 (chaumes de Drumont, Jumenterie, Firmiss)
Dégradation	Eleveur intéressé mais pas de MAE possible	4 <i>dont 3 dans le 88 et un éleveur franc-comtois sur le 68</i>	Rg3, Sc1, Tel1 (secteurs hors natura 2000 côté 88 : Rouge Gazon, Schmargult), Wis3 (désormais engagé pour ce dernier)
Dégradation	Absence de contractualisation initiale, engagement tardif d'éleveur rétif au départ (années 2010)	1	TA1 (secteur Tanet)
Dégradation	Respect du cahier des charges mais prise en compte des besoins fourragers de l'exploitation pour un contrat « équilibré »	10	St3, GBB1, Ha2, Mo5, Hag1, Sc8, Sz1, Sz4, Sz6, Uf4
Dégradation	<i>A priori</i> non respect du cahier des charges (connaissances de terrain)	10	Br5, Ha4, Ha3, HaB, Ka4, KaB, Hoh1 (fertilisation), Fo5 (drainage récent), Gado1 (surpâturage), Sc4 (fauche et surpâturage)
Dégradation	+ problème vraisemblable de sursemis suite aux dégâts de sangliers sur les hautes-chaumes	1	Sz1
Amélioration	Cahier des charges MAE contraignant impliquant des modifications de pratiques (arrêt de fertilisation) négociées par les éleveurs	8	GBF, Ma2 et Ma6, UfA, Uf1, Uf5, ToA
Amélioration	Cause non connue (baisse doses de fumiers ? diminution pression de pâturage ?)	2	FrA, Mo1

Dans 10 cas, les dégradations intéressent des parcelles engagées en MAE mais au niveau desquelles une intensification a été « acceptée » pour des **motifs d'équilibre agri-environnemental** : il s'agit de chaumes où l'exploitant avait initialement peu de surfaces à vocations fourragères et où il a été conjointement validé ces évolutions négatives dès lors qu'elles permettaient de protéger par ailleurs le reste des chaumes tout en garantissant un

équilibre entre ces surfaces à vocation fourragère et des surfaces à vocation plus environnementales. Pour rappel ces choix ont été assumés par le collectif pilotant les MAE sur le versant haut-rhinois du Parc (DTT 68, Conseil départemental 68, Chambre d'agriculture Alsace, PNRBV) puis ont été validés *in fine* en CDOA.

Il est à déplorer des **évolutions négatives en dépit de cahiers des charges contraignants** pour 10 relevés de végétation. Néanmoins ces cas restent localisés à quelques chaumes, disons à quelques exploitants qui ont été signalés à l'administration ou rappelés à l'ordre par le Parc naturel régional des Ballons des Vosges. Ces secteurs devront faire l'objet d'une attention renforcée ces prochaines années afin de ne pas jeter l'opprobre sur cette opération qui par ailleurs montre des résultats intéressants.

Enfin pour 1 relevé ici, mais *a priori* plus largement sur 4 relevés (pour 3 relevés cette augmentation n'entraîne pas de modification d'états de conservation : cas de chaumes déjà très dégradées au départ), des augmentations significatives d'espèces introduites semblent traduire les sursemis réalisés par les éleveurs suite aux **dégâts de sangliers**, qui contribuent à leur manière à la dégradation de l'état de conservation des hautes chaumes.

En ce qui concerne les évolutions positives, elles sont essentiellement imputées aux **modifications de pratiques imposées par les cahiers des charges des MAE**. C'est le cas sur l'ancienne chaume « retournée » au Rothenbach versant Metzeral, au Markstein, au Uff Rain et au Grand Ballon où l'effet MAE est renforcé par la **convention « Arnica »** et l'implication des communes propriétaires (Munster, Felling, Oderen, Ranspach, Soultz).

Ainsi on ne note pas d'amélioration sur des parcelles non engagées : sur les 43 placettes disposées dans ces chaumes hors MAE, 9 soit près de 21 % évoluent défavorablement.

Synthèse :

Cette analyse menée relevé par relevé semble confirmer l'intérêt des MAE sur la conservation des hautes chaumes : maintien de pratiques extensives, arrêt de l'extension des zones à vocation fourragères même si des évolutions avaient été acceptées ici ou là, quelques restaurations encouragées.

Au contraire en dehors de ce dispositif, l'état se dégrade même si de belles surfaces sont encore présentes et si, en regardant ce qui n'est pas contractualisé au regard de ce qu'il l'est, cela ne représente pas beaucoup de surfaces. Toutefois des secteurs actuellement hors MAE mériteraient des interventions ciblées en complément.

7 Conclusions et discussions

7.1 Les analyses statistiques

Les différentes analyses statistiques mobilisés dans la présente étude ont abouti aux conclusions suivantes :

- **L'approche synchronique (comparaison la même année – 2015) :**
 - aucune différence statistiquement significative n'est démontrée au niveau des relevés de 2015 entre le lot des parcelles contractualisées et celles non contractualisées dans les contrats de type *Chaume lande pelouse d'altitude*, *Prairies d'altitude* ou *Prairie d'altitude remarquable* ;
 - des différences (non statistiquement significatives) pour les 3 mesures MAE étudiées appréhendées (CLP, PAR et PA) sont démontrées en ce qui concerne la fréquence des espèces les plus sensibles à l'eutrophisation : elle est moins importante dans les chaumes *non contractualisées* ce qui peut montrer un effet bénéfique des MAE.

Au final en comparant en 2015 les parcelles engagées et les parcelles non engagées pour les mesures « chaume lande pelouse », « prairie d'altitude » et « prairie d'altitude remarquable », le protocole mis en place ne permet pas de différencier statistiquement les deux lots (contrat / pas de contrat), mais on note une tendance à une eutrophisation plus grande dans les lots de parcelles non contractualisées.

- **L'approche diachronique (comparaison des mêmes relevés sur plusieurs années) :**
 - aucune différence statistiquement significative entre les relevés de 2015 et les relevés de la précédente campagne (2007-2008-2010) n'est mise en évidence, que ce soit pour les relevés contractualisés ou pour les relevés non contractualisés ;
 - des résultats similaires sont conclus par extrapolation avec les relevés historiques (1999-2001).
- **L'étude des effets des MAE sur la végétation :**
 - aucune différence statistiquement significative entre les relevés contractualisés et non contractualisés, que ce soit pour les relevés de 2015 ou les relevés précédents (2007-2008-2010).

Les hautes chaumes semblent donc globalement stables depuis la mise en place des MAE.

- **L'analyse de l'évolution des états de conservation des chaumes :**
 - En 2015 60 % des relevés phytosociologiques réalisés présentent un état de conservation évalué comme bon, résultat cohérent avec l'échantillonnage qui

prend en compte de manière ciblée des parcelles engagées dans différents contrats ;

- par rapport aux évolutions de la végétation depuis les années 2007-2008, lorsque l'on regarde les relevés non plus globalement *mais en détail*, on confirme que 85% des relevés sont effectivement similaires.
- En remontant plus loin l'analyse jusqu'aux années 2000, on retrouve des résultats identiques. Ainsi a contrario 16,7 % des relevés affichent depuis lors **des dégradations substantielles alors que 10 relevés (5,7% des relevés) évoluent favorablement** essentiellement en raison des dispositions des cahiers des charges des MAE qui s'appliquent.

Cette analyse confirme que les MAE ont favorisé la conservation des hautes chaumes et permis, à la marge, l'amélioration de certains secteurs.

7.2 Discussion sur les résultats statistiques

Les tests statistiques ne mettent pas en évidence de différences floristiques globale pour les 3 types de mesures MAE et en fonction de la contractualisation des parcelles ou non. Ce résultat pourrait sembler relativement décevant à première vue au regard des efforts techniques et financiers engagés depuis plusieurs décennies, mais il faut toutefois prendre en compte les éléments suivants :

- Le **fort taux de contractualisation des MAE sur les hautes chaumes** implique un déséquilibre entre les échantillons « contractualisés » et « non contractualisés ». Les mesures Prairies d'Altitude (PA), Prairies d'Altitude Remarquable (PAR) et Chaumes Landes Pelouses (CLP) couvrent ensemble en 2015 plus de 93 % de la surface contractualisée sur les chaumes... Toutefois malgré cette situation des analyses statistiques valides ont pu être mobilisées.
- Les **pratiques agricoles peuvent être bien entendues être favorables également sur les chaumes non contractualisées**. Des éleveurs ne souhaitent pas s'engager ou ne peuvent pas le faire (cas d'exploitants ayant leur siège d'exploitation hors zone de montagne) mais ont des pratiques favorables, notamment sur des chaumes où la mécanisation est difficile...
- Le **résultat actuel (2015) de contractualisation correspond au fruit d'un important travail de concertation engagé depuis 1995**. Progressivement, à chaque étape, la surface contractualisée n'a cessé d'augmenter entre l'époque des CTE, puis des CAD, des MAET et enfin des MAEC. Ainsi, dans l'échantillon 2015 des parcelles contractualisées, tous les cas de figure coexistent : des parcelles anciennement intensifiées gérées désormais de manière plus extensive, des parcelles n'ayant jamais été intensifiées, des parcelles engagées dans les dispositifs agri-environnementaux

depuis 2002, d'autres depuis 2010, Ce panachage historique des parcelles peut en partie expliquer les résultats obtenus en 2015.

7.3 Conclusion générale

Au final, l'utilité des MAE sur les hautes chaumes et leurs effets sont surtout une **garantie du maintien d'habitats ouverts d'altitude de grande qualité depuis plus de 20 ans**. Le fort taux de souscription des MAE permet ainsi de conserver d'importantes surfaces d'habitats d'intérêt communautaire prioritaire. Soulignons que ces habitats naturels sont difficilement, voire impossibles à restaurer : une lande pelouse riche en Arnica, Pensée des Vosges etc et qui est intensifiée est perdue à jamais, on ne peut en effet reconstituer le sol riche en matière organique et pauvre en élément minéraux qui prévalait à ces formations végétales d'altitude.

Le protocole mis en place ici le montre : la végétation des hautes chaumes est restée stable depuis la mise en place des MAE.... En l'absence de MAE, que se serait-il passé... ? De nombreux éleveurs n'hésitent pas à dire que *sans ce dispositif* ils auraient aménagé des prés de fauche, étendu les zones fertilisées, broyé les landes à myrtille. Ils ne l'auraient pas fait insidieusement, mais parce que souvent ils sont en déficit fourrager, ils ont perdu des terrains mécanisables ou de qualité dans les vallées (urbanisation, aménagements divers), ils souhaitent installer leur enfant, ou bien tout simplement parce que de vastes surfaces plates des hautes chaumes sont mécanisables ou pourraient l'être facilement...

Cette analyse ne doit toutefois pas occulter des problématiques qui ne sont pas réglés dans le cadre des MAE. Citons en particulier :

- Le problème croissant des dégâts de gibier et notamment des sangliers : les retournements des prairies impliquent des remises en état récurrentes des chaumes et donc le recours à l'introduction de matériel génétique extérieur au massif par le semis avec des graines sélectionnées de graminées etc ;
- Les problèmes locaux de piétinement lié à la fréquentation touristique, qui nécessitent des interventions régulières avec l'ensemble des partenaires (club vosgien, syndicats mixtes etc) ;
- Les pertes de terrains mécanisables dans les vallées, qui ne peuvent être compensées sur les hautes chaumes en raison des dispositifs de protection mis en place ;
- les changements globaux qui induisent des dépôts d'azote et de polluants en tout genre en altitude, avec des effets très préoccupants sur la biodiversité.

D'autre part des dégradations sont constatées *en dehors des zones contractualisées en MAE* - par exemple des landes subalpines réputées primaires dans le secteur du Hohneck - et pourraient inciter à mobiliser d'autres outils pour la préservation de ces habitats d'intérêt communautaire, notamment des outils réglementaires.

Initié en 2007 et complété depuis lors de différentes campagnes de terrain (2008, 2010 et 2015), **l'Observatoire des espaces ouverts de la montagne vosgienne du Parc naturel régional des Ballons des Vosges peut actuellement être considéré comme un dispositif solide** permettant un suivi régulier de la végétation des hautes chaumes. Il s'appuie en 2015 sur un réseau de 184 stations de suivi qui présente les atouts suivants :

- une bonne localisation des points de relevés (localisation GPS), dont certains sont équipés de bornes de type géomètre. La mise en place progressive de cet observatoire permet d'améliorer à chaque suivi la localisation des dispositifs en raison notamment des avancées technologiques (performance accrue des GPS) ;
- les différentes modalités agricoles y sont représentées (3 types d'habitats comprenant chacun des parcelles contractualisées et non contractualisées).

Cet observatoire pourra ainsi être mobilisé au cours des prochaines années afin de poursuivre l'analyse des hautes chaumes en lien avec les MAE, l'évaluation des états de conservation des habitats d'intérêt communautaire demandée dans le cadre de natura 2000, mais aussi de mesurer les effets des changements climatiques sur la végétation de ces habitats d'altitude.

Bibliographie

- Alnot L., 1998. Eléments d'évaluation de la biodiversité des hautes chaumes des Vosges par l'utilisation de bioindicateurs végétaux (*Arnica montana*) et animaux (Orthoptères). Mémoire de DEA Sciences Agronomiques / Université de Metz, ENSAIA : 35 p. + annexes.
- Alnot L., 2002. Les groupements végétaux des herbages d'altitude soumis aux activités agricoles des Hautes Chaumes des Vosges. Caractérisation phytosociologique, état de conservation, définition de bioindicateurs végétaux : cas particulier d'*Arnica montana* L. Rapport de synthèse. WELEDA, Parc naturel régional des Ballons des Vosges. Université de Metz. 45 p.
- Blanchet R., 2012. Effets des pratiques agricoles et des infrastructures agro-écologiques sur la diversité végétale. Master FAGE. Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement. Université de Lorraine, Institut de l'élevage, INRA. 42 p.
- Bobbink R., Braun S., Nordin A., Power S., Schütz K., Strengbom J., Weijters M. & Tomassen H., 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. RIVM Report 680359002. Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). Noordwijkerhout. 246 p.
- Caporn S.J.M., Ashenden T.W. & Lee J.A., 2000. The effect of exposure to NO₂ and SO₂ on frost hardiness in *Calluna vulgaris*. Environmental and Experimental Botany, 43. 111-119.
- Carbiener R., 1966. La végétation des Hautes-Vosges dans ses rapports avec les climats locaux, les sols et la géomorphologie. (Comparaison à la végétation sub-alpine et autres massifs montagneux à climat « allochtone » d'Europe occidentale). Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences, Faculté des Sciences de Paris, Centre d'Orsay I. 114 p.
- Carly S., Dupré C., Gaudnik C., Dorland E., Dise N., Gowing D., Bleeker A., Alard D., Bobbink R., Fowler D., Vandvik V., Corcket E., Mountford J.O., Aarrestad P.A., Muller S. & Diekmann M., 2011. Changes in species composition of European acid grasslands observed along a gradient of nitrogen deposition. Journal of Vegetation Science, 22(2).207-215.
- Cholet J., Collaud R., Dupont F., Ferrez Y. (coord.), Giovannacci L., Hennequin C., Simler N. & Vangendt J., 2015. Référentiel phytosociologique des milieux ouverts du Massif des Vosges et valorisation agro-écologique des systèmes herbagers. Tranche 1 (2013-2015-2015). Parc naturel régional des Ballons des Vosges, Parc naturel régional des Vosges du Nord, Conservatoire Botanique d'Alsace, Conservatoire botanique national de Franche-Comté - Observatoire régional des Invertébrés, Pôle lorrain du futur Conservatoire botanique national Nord-Est, 287 p. + annexes.
- Dähler W., 1992a. Long-term influence of fertilization in a *Nardetum* – the management of great quantities of data from permanent plots. Vegetatio, 103. 135-140.
- Dähler W., 1992b. Long-term influence of fertilization in a *Nardetum* – results from the test plots of Ludi, W on the Schynige platte. Vegetatio, 103. 141-150.
- Dueck T.A. & Elderson J., 1992. Influence of NH₃ and SO₂ on the growth and competitive ability of *Arnica montana* L. and *Viola canina* L. New Phytol., 122. 507-514.
- Dupré C., Carly J.S., Ranke T., Bleekers A., Pepler-Lisbach C., Gowing D.J.G., Dise N.B., Dorland E., Bobbink R. & Diekmann M., 2010. Change in species richness and composition in European acidic grasslands over the past 70 years : the contribution of cumulative atmospheric nitrogen deposition. Global Change Biology. 344-357.
- Gaudnik C., Corcket E., Clément B., Delmas C.E.L., Gombert-Courvoisier S., Muller S., Stevens C.J. & Alard D., 2011. Detecting the footprint of changing atmospheric nitrogen deposition loads on acid grasslands in the context of climate change. Global Change Biology, 17. 3351-3365.

- Gaujour, E., Amiaud, B., Mignolet, C., Plantureux, S., 2012. Factors and processes affecting plant biodiversity in permanent grasslands. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32, 133-160.
- Hegg O., 1984. Long-term influence of fertilization on some species of the *Nardetum* at the Schynige platte above Interlaken. *Ang. Bot.*, 58. 141-145.
- Hegg O., 1992. Long-term influence of fertilization on some species of the *Nardetum* – the experimental field of Ludi Werner on Schynige Platte. *Vegetatio*, 103. 133.
- Hegg O., Feller U., Dähler W. & Scherrer C., 1992. Long-term influence of fertilization in a *Nardetum* – phytosociology of the pasture and nutrient contents in leaves. *Vegetatio*, 103. 151-158
- Hejcman M., Klauisová M., Štursa J., Pavlů V., Schellberg J., Hejcmanová P., Hakl J., Rauch O. & Vacek S., 2007a. Revisiting a 37 years abandoned fertilizer experiment on *Nardus* grassland in the Czech Republic. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, n°1-4. 231-236.
- Hejcman M., Klauisová M., Schellberg J. & Honsová D., 2007b. The Rengen Grassland : Plant species composition after 64 years of fertilizer application. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122. 259-266.
- Kleijn D., Bekker R.M., Bobbink R., De Graaf M.C.C., Roelofs J.G.M., 2008. In search for the key biogeochemical factors affecting plant species persistence in heathland and acidic grasslands : a comparison of common and rare species. *Journal of Applied Ecology*, 45. 680-687.
- Page C., 2007. Evaluation et suivi de l'état de conservation et de l'effet des Mesures Agri-Environnementales sur les Haute-Chaumes. Stage de Master 1, Parcours Ecologie Aménagement ; Option Conservation et Restauration des Ecosystèmes. Parc naturel régional des Ballons des Vosges, Université Paul Verlaine - UFR Sciences Fondamentales et Appliquées - Metz. 71 p.
- Laurent E., 2008. Evaluation et suivi de l'état de conservation des Mesures Agri-Environnementales sur les Hautes-Chaumes vosgiennes. Stage de Master 1, Parcours Ecologie Aménagement ; Option Conservation et Restauration des Ecosystèmes. Parc naturel régional des Ballons des Vosges, Université Paul Verlaine - UFR Sciences Fondamentales et Appliquées - Metz. 31 p.
- Schellberg J., Mösel B.M., Kühbauch W., Rademacher I.F., 1999. Long-term effects of fertiliser on soil nutrient concentration on soil nutrient concentration, yield, forage quality and floristic composition of a hay meadow in the Eifel Mountains, Germany. *Grass Forage Sci.*, 54. 195-207.
- Spiegelberger T., Hegg O., Matthies D., Hedlund K. & Schaffner U., 2006. Long-term effects of short-term perturbation in a subalpine grassland. *Ecology*, 87(8). 1939-1944.
- Tenz R., Elmer R., Huguenin-Elie O. & Lüscher A., 2010. Effets de la fumure sur une pelouse à Nard raide. *Recherche Agronomique Suisse*, 1 (5). 176-183.
- Van Dam D., Van Dobben H.F., Ter Braak C.F.J. & De Wit T., 1986. Air pollution as a possible cause for the decline of some phanerogamic species in The Netherlands. *Vegetatio*, 65. 47-52.

Annexe 1 : Les cahiers des charges des contrats MAE

Les cahiers des charges ci-dessous sont ceux des MAE : ils évoluent peu par rapport aux dispositions des engagements précédents des CAD ou des CTE.

MESURES AGRO-ENVIRONNEMENTALES TERRITORIALISEES		DEPARTEMENT DU HAUT-RHIN		
EXPLOITANT :		N° PACAGE :		N° CONTRAT :
OPERATION GESTION DES ESPACES OUVERTS ET HAUTES CHAUMES EN MONTAGNE VOSGIENNE – CAHIER DES CHARGES				
mesure AL_MV68_PA1	Prairies d'altitude		P.D.R.H.	214 - I
	engagements unitaires combinés		mesure conditionnelle	
	socle relatif à la gestion des surfaces en herbe		codification nationale	montant (€/ha/an)
	enregistrement des interventions mécaniques et des pratiques de pâturage		SOCLEH_01	76,00
	limitation de la fertilisation minérale et organique sur prairies et habitats remarquables		HERBE_01	17,00
ajustement de la pression de pâturage sur certaines périodes (chargement à la parcelle)		HERBE_02	0,16	
		HERBE_04	33,00	
TERRITOIRES CONCERNES ET CARACTERISTIQUES				
Sont concernés au sein du périmètre de l'opération de « gestion des espaces ouverts et hautes chaumes en montagne vosgienne haut-rhinoise », les terrains classés dans la catégorie « prairie d'altitude » conformément aux zonages agri-environnementaux communaux. ; il s'agit de prairies d'altitude où les callunes et myrtilles ne sont plus dominantes et laissent la place à des associations de graminées (<i>fétuque rouge</i> , <i>agrostis fin...</i>) et de légumineuse (<i>trèfle...</i>) en raison d'une activité agricole régulière de pâturage ou de fauche.				
OBJECTIF				
L'objectif est de maintenir et développer une activité agricole raisonnée en fonction des caractéristiques particulières de l'environnement des hautes chaumes (eau, paysage, équilibres écologiques...) en vue d'une production de lait ou de viande de qualité.				
CONDITIONS D'ELIGIBILITE				
Pour être éligibles à la mesure, les parcelles doivent être situées dans un secteur classé « prairie d'altitude » selon le zonage agri-environnemental communal.				
ENGAGEMENTS DE L'AGRICULTEUR		CONTRÔLES SUR PLACE		SANCTIONS
L'agriculteur s'engage à :		modalités de contrôle	pièces à fournir	caractère de l'anomalie
maintenir en herbe les parcelles engagées, ne réaliser ni labour, ni nivellement, ni remblaiement, ni dépôt, ni assainissement par drains enterrés,		contrôle visuel	néant	définitive
gérer ces parcelles par la fauche ou le pâturage (ou la combinaison des deux) selon les modalités suivantes :				
si gestion par la fauche	au moins une fauche ou un débroussaillage mécanique par an,	contrôle visuel + cahier de pâturage et de fauche	cahier de pâturage et de fauche	réversible
si gestion par le pâturage	pâturage annuel avec un chargement moyen sur chaque parcelle concernée limité à 1 U.G.B./ha durant la saison de pâturage (durée : 120 jours entre le 1 ^{er} mai et le 31 octobre), élimination possible des refus et des rejets ligneux par intervention mécanique ou manuelle sans travail du sol,	contrôle visuel	néant	réversible
tenir un cahier d'enregistrement des interventions mécaniques et des pratiques de fauche et de pâturage,		cahier de pâturage et de fauche	cahier de pâturage et de fauche	réversible
limiter la fertilisation (hors apports par pâturage) à :				

fertilisation azotée limitée à 40 unités N assimilables /ha/an dont au maximum : 30 unités /ha/an sous forme minérale, deux épandages de fumier, compost ou lisier de 20 tonnes maximum en 5 ans fertilisation P limitée à 60 unités P assimilables /ha/an dont au maximum 20 unités /ha/an sous forme minérale, fertilisation K limitée à 150 unités K assimilables /ha/an dont au maximum 40 unités /ha/an sous forme minérale, amendement calcique limité à 500 unités de CAO/ha sur 2 ans,	analyse du cahier de fertilisation	cahier de fertilisation	réversible	principale totale secondaire seuils
n'effectuer sur ces parcelles : ni épandage de produit phytosanitaire sauf dérogation accordée par la C.D.O.A.,	contrôle visuel	néant	définitive	principale totale
ni brûlage, ni girobroyage, ni semis, ni sursemis, sauf autorisation spécifique accordée par le Préfet après avis de la C.D.O.A. après examen d'un dossier de demande, ni plantation,	contrôle visuel	néant	réversible	secondaire totale
maintenir et entretenir les éléments paysagers : haies, bordures, arbres isolés, points d'eau, dépression humide, clôtures.	contrôle visuel	néant	réversible	secondaire totale
REMUNERATION	126,16 €/ha			

MESURES AGRO-ENVIRONNEMENTALES TERRITORIALISEES		DEPARTEMENT DU HAUT-RHIN			
EXPLOITANT :	N° PACAGE :	N° CONTRAT :			
OPERATION GESTION DES ESPACES OUVERTS ET HAUTES CHAUMES EN MONTAGNE VOSGIENNE – CAHIER DES CHARGES					
mesure AL_MV68_PR3	Prairies d'altitude remarquables	P.D.R.H.	214 - I		
		mesure optionnelle			
	<i>engagements unitaires combinés</i>	<i>codification nationale</i>	<i>montant (€/ha/an)</i>		
	<i>socle relatif à la gestion des surfaces en herbe</i>	SOCLEH_01	76,00		
	<i>enregistrement des interventions mécaniques et des pratiques de pâturage</i>	HERBE_01	17,00		
	<i>absence totale de fertilisation minérale et organique sur prairies et habitats remarquables</i>	HERBE_03	135,00		
<i>ajustement de la pression de pâturage sur certaines périodes (chargement à la parcelle)</i>	HERBE_04	33,00			
<i>retard de fauche sur prairies et habitats remarquables</i>	HERBE_06	47,04			
TERRITOIRES CONCERNES ET CARACTERISTIQUES					
<p>Sont concernés au sein du périmètre de l'opération de « gestion des espaces ouverts et hautes chaumes en montagne vosgienne haut-rhinoise », les terrains classés dans la catégorie « prairie d'altitude remarquable » conformément aux zonages agri-environnementaux communaux.</p> <p>Une gestion agricole traditionnelle de ces prairies d'altitude, sans fertilisation ni amendement a permis le développement et le maintien d'associations végétales de valeur écologique élevée et pourtant en voie de régression à l'échelle européenne. Elles sont dominées par des graminées (nard raide, <i>fétuque rouge</i>, <i>flouve odorante</i>...) accompagnées de nombreuses plantes à fleurs (<i>gentiane</i>, <i>arnica</i>...), de sous-arbrisseaux (<i>callune</i>, <i>myrtille</i>) et parfois d'arbustes, d'arbres et de bosquets isolés.</p> <p>Outre leur intérêt paysager, elles hébergent des espèces végétales remarquables parfois en voie de raréfaction (<i>orchidées</i>, <i>œillets</i>, <i>arnica</i>...) ainsi qu'une faune diversifiée (papillons, criquets...).</p>					
OBJECTIF					
<p>L'objectif est de maintenir l'état de pelouse de ces prairies remarquables en préservant la diversité de la végétation herbacée et semi-ligneuse qui correspond à l'état optimal présentant une valeur patrimoniale élevée.</p> <p>La qualité écologique de ces prairies d'altitude remarquables s'observe notamment à travers la présence de plantes indicatrices parmi la liste suivante :</p>					
<i>Nom latin</i>	<i>Nom vernaculaire</i>	<i>Nom latin</i>	<i>Nom vernaculaire</i>	<i>Nom latin</i>	<i>Nom vernaculaire</i>
<i>Antennaria dioica</i>	Pied de chat	<i>Euphorbia cyparissias</i>	Euphorbe à feuilles de cyprès	<i>Polygala serpyllifolia</i>	Polygala
<i>Arnica montana</i>	Arnica, tabac des Vosges	<i>Galium saxatile</i>	Gaillet des rochers	<i>Pulsatilla alba</i>	Anémone pulsatille blanche
<i>Calluna vulgaris</i>	Callune, fausse bruyère	<i>Genista pilosa</i>	Genêt pileux	<i>Rumex acetosella</i>	Rumex petite oseille
<i>Campanula rotundifolia</i>	Campanule à feuilles rondes	<i>Lilium martagon</i>	Lis martagon	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Myrtille
<i>Chamaespartium sagittalis</i>	Genêt ailé	<i>Lycopodium clavatum</i>	Lycopode en massue	<i>Vaccinium vitis idaeae</i>	Airelle rouge
<i>Dactylorhiza sp</i> , <i>Platanthera sp</i> , <i>Listera sp</i> etc	Orchidées	<i>Melampyrum pratense</i> ou <i>silvaticum</i>	Mélampyre des prés ou des bois	<i>Viola lutea</i> (ssp <i>elegans</i>)	Pensée des Vosges
<i>Deschampsia flexuosa</i>	Canche flexueuse	<i>Nardus stricta</i>	Nard raide		
CONDITIONS D'ELIGIBILITE					
Pour être éligibles à la mesure, les parcelles doivent être situées dans un secteur classé « prairie d'altitude remarquable » selon le zonage agri-environnemental communal.					
ENGAGEMENTS DE L'AGRICULTEUR			CONTRÔLES SUR PLACE		SANCTIONS
L'agriculteur s'engage à : maintenir en herbe les parcelles engagées, ne réaliser ni labour, ni nivellement, ni remblaiement, ni dépôt, ni assainissement par drains enterrés, ni semis, ni sursemis			modalités de contrôle	pièces à fournir	caractère de l'anomalie
			contrôle visuel	néant	définitive
					principale totale

gérer ces parcelles par la fauche ou le pâturage (ou la combinaison des deux) selon les modalités suivantes :					
si gestion par la fauche	fauche après le 15 juillet,	contrôle visuel + cahier de pâturage et de fauche	cahier de pâturage et de fauche	réversible	principale totale
si gestion par le pâturage	pâturage sans contrainte de date, en évitant toute dégradation du sol, avec un chargement moyen sur chaque parcelle concernée limité à 1 U.G.B./ha durant la saison de pâturage (durée : 120 jours entre le 1 ^{er} mai et le 31 octobre),				principale seuils
dans certaines zones les plus marginales de ces chaumes, répertoriées avec l'agriculteur au moment de l'établissement du dossier de candidature au contrat M.A.E.T. et précisées sur les documents graphiques du dossier : uniquement pâturage dans les mêmes conditions que ci-dessus, aucune intervention mécanique sur les ligneux (dans un objectif de conservation des lisières)					

ENGAGEMENTS DE L'AGRICULTEUR (suite)	CONTRÔLES SUR PLACE		SANCTIONS	
	modalités de contrôle	pièces à fournir	caractère de l'anomalie	niveau de gravité
L'agriculteur s'engage à :				
tenir un cahier d'enregistrement des interventions mécaniques et des pratiques de fauche et de pâturage,	cahier de pâturage et de fauche	cahier de pâturage et de fauche	réversible	principale totale
éliminer si nécessaire les refus et des rejets ligneux par intervention mécanique ou manuelle sans travail du sol, après le 15 août,	contrôle visuel	néant	réversible	secondaire totale
n'effectuer sur ces parcelles :				
ni épandage de produit phytosanitaire,	contrôle visuel	néant	définitive	principale totale
ni fertilisation minérale, ni fertilisation organique,	analyse du cahier de fertilisation	cahier de fertilisation	réversible	principale totale
ni brûlage,	contrôle visuel	néant	réversible	secondaire totale
maintenir et entretenir les éléments paysagers : haies, bordures, arbres isolés, points d'eau, dépression humide, clôtures.	contrôle visuel	néant	réversible	secondaire totale
REMUNERATION	308,04 €/ha			

MESURES AGRO-ENVIRONNEMENTALES TERRITORIALISEES		DEPARTEMENT DU HAUT-RHIN		
EXPLOITANT :	N° PACAGE :	N° CONTRAT :		
OPERATION GESTION DES ESPACES OUVERTS ET HAUTES CHAUMES EN MONTAGNE VOSGIENNE – CAHIER DES CHARGES				
mesure AL_MV68_CH1	Chaumes et landes-pelouses d'altitude	P.D.R.H.	214 - I	
	engagements unitaires combinés	mesure conditionnelle		
	socle relatif à la gestion des surfaces en herbe peu productives	codification nationale	montant (€/ha/an)	
	coefficient de réduction appliqué aux surfaces peu productives	SOCLEH_02	55,00	
enregistrement des interventions mécaniques et des pratiques de pâturage	HERBE_01	17		
ajustement de la pression de pâturage sur certaines périodes (chargement à la parcelle)	HERBE_04	33		
TERRITOIRES CONCERNES ET CARACTERISTIQUES				
<p>Sont concernés au sein du périmètre de l'opération de « gestion des espaces ouverts et hautes chaumes en montagne vosgienne haut-rhinoise », les terrains classés dans la catégorie « chaumes et landes pelouses d'altitude » conformément aux zonages agri-environnementaux communaux.</p> <p>Les landes-pelouses sont issues du déboisement de la forêt d'altitude et sont appelées chaumes secondaires. Elles résultent aussi d'une pratique agricole extensive sur les chaumes dites primaires. Elles présentent un équilibre dynamique naturel entre zones à chamaephytes (<i>callune</i>, <i>myrtille</i>...) et graminées (<i>canche gazonnante</i>, <i>fétuque rouge</i>, <i>nard raide</i>...), piquetées d'espèces montagnardes (<i>pulsatille blanche</i>, <i>arnica des montagnes</i>, <i>gentiane jaune</i>, <i>pensée des Vosges</i>...) et ligneuses pionnières (<i>genévrier commun</i>, <i>sorbier</i>).</p> <p>Dans ces espaces peuvent également se trouver des pelouses basses, dominées par les graminées évoquées précédemment, accompagnées localement de plantes à fleurs remarquables et de fougères ou d'espèces semi-ligneuses.</p> <p>La couverture semi-ligneuse (<i>myrtille</i>, <i>callune</i>) est le plus souvent supérieure à 25 %. Ces milieux sont fréquentés par des orthoptères très rares (<i>miramelle des Alpes</i>, <i>sauterelle à sabre</i>, <i>barbitiste ventru</i>) ainsi que par de nombreux oiseaux comme le pipit farlouse.</p> <p>Les landes-pelouses d'altitude évoluent naturellement vers une formation végétale à espèces semi-ligneuses puis vers des boisements après l'abandon de l'activité pastorale.</p> <p>Elles font généralement l'objet d'un pâturage extensif.</p>				
OBJECTIF				
L'objectif est de maintenir leur état de lande en préservant la diversité de la végétation herbacée (<i>pulsatille blanche</i> notamment), semi-ligneuse (<i>myrtille</i> et <i>callune</i>) et ligneuse (espèces à fruits notamment) par la mise en œuvre de pratiques agricoles et pastorales adaptées aux spécificités des espèces végétales caractéristiques de ces milieux.				
CONDITIONS D'ELIGIBILITE				
Pour être éligibles à la mesure, les parcelles doivent être situées dans un secteur classé « chaumes et landes pelouses d'altitude » selon le zonage agri-environnemental communal.				
ENGAGEMENTS DE L'AGRICULTEUR	CONTRÔLES SUR PLACE		SANCTIONS	
L'agriculteur s'engage à :	modalités de contrôle	pièces à fournir	caractère de l'anomalie	niveau de gravité
	maintenir l'état de chaume des parcelles engagées, en n'effectuant : ni labour, ni nivellement, ni remblaiement, ni dépôt, ni assainissement par drains enterrés, ni fauche, ni travail du sol, ni semis, si sursemis, ni plantation	contrôle visuel	néant	définitive
gérer et entretenir ces parcelles uniquement par le pâturage selon les modalités suivantes :				

pâturage annuel permettant de maintenir l'état initial de la lande, chargement moyen sur chaque parcelle concernée compris entre 0,5 et 1 U.G.B./ha durant la saison de pâturage (durée : 120 jours entre le 1 ^{er} mai et le 31 octobre), élimination possible des refus et des rejets ligneux par intervention mécanique ou manuelle localisée et sans travail du sol, après le 15 août,	contrôle visuel + cahier de pâturage	cahier de pâturage	réversible	principale totale principale seuils
tenir un cahier d'enregistrement des interventions mécaniques et des pratiques de pâturage,	contrôle visuel	néant	réversible	secondaire totale
n'effectuer sur ces parcelles : ni épandage de produit phytosanitaire, ni fertilisation minérale, ni fertilisation organique,	cahier de pâturage et des travaux	cahier de pâturage et des travaux	réversible	principale totale
	contrôle visuel	néant	définitive	principale totale
	analyse du cahier de fertilisation	cahier de fertilisation	réversible	principale totale
REMUNERATION		105 €/ha		

Annexe 2 : Les relevés de végétation de 2015