

VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Bilan de 20 ans de pilotage du pâturage sur les parcours
de la ferme expérimentale ovine de Carmejane :
Quels effets sur la ressource au regard des objectifs de gestion ?



Marine LUCAZ

Agriculture, Environnement, Territoire

2016

VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Bilan de 20 ans de pilotage du pâturage sur les parcours
de la ferme expérimentale ovine de Carmejane :
Quels effets sur la ressource au regard des objectifs de gestion ?



Marine LUCAZ

Agriculture, Environnement, Territoire

2016

Maîtres de stage :

Pierre-Guillaume GRISOT
François DEMARQUET

Tuteur de stage :

Adrien PINOT



« L'étudiant conserve la qualité d'auteur ou d'inventeur au regard des dispositions du code de la propriété intellectuelle pour le contenu de son mémoire et assume l'intégralité de sa responsabilité civile, administrative et/ou pénale en cas de plagiat ou de toute autre faute administrative, civile ou pénale. Il ne saurait, en cas, seul ou avec des tiers, appeler en garantie VetAgro Sup. »

Remerciements

Je souhaite remercier mes maîtres de stage Pierre-Guillaume GRISOT et François DEMARQUET pour m'avoir donné leur confiance en me confiant cette mission de stage. Je les remercie également pour leur encadrement et l'attention particulière qu'ils ont porté à la rédaction de mon mémoire.

Un grand merci à toute l'équipe de la ferme pour leur accueil, pour m'avoir fait découvrir les pratiques d'élevage de cette belle région et m'avoir permis d'acquérir une logique de « terrain ».

Je remercie également les experts pastoralistes, Marceline PEGLION, Laurent GARDE et les membres de la cellule technique de Carmejane qui ont contribué à ma réflexion sur l'interprétation des résultats et au perfectionnement de mes connaissances sur le pastoralisme.

Merci à Marie-Noëlle FOUILLOUX pour sa pédagogie et son soutien dans la réalisation de mes analyses statistiques.

Enfin, merci à mon tuteur de stage Adrien PINOT pour ses conseils donnés en amont du stage et lors des points téléphoniques réalisés au cours de celui-ci.

Résumé

La mission de stage s'inscrit dans le cadre d'une étude menée sur le pilotage du pâturage des parcours par la ferme expérimentale ovine de Carmejane. Deux protocoles expérimentaux de gestion des parcours se sont succédés, en vue d'atteindre des objectifs spécifiques. Entre 1999 et 2006, un pâturage complet de l'herbe a été conduit dans le but de maîtriser le niveau d'embroussaillage et éviter les dérives de la végétation. Puis, de 2007 à 2016, un pâturage qualifié de « prudent » dans l'étude, a été conduit dans le but d'améliorer l'état corporel des brebis sur parcours d'une part, et d'assurer un renouvellement de la ressource pastorale d'autre part. Après vingt ans d'expérimentation du pâturage sur parcours, un bilan s'imposait. L'étude s'attache à faire la synthèse des résultats acquis sur la dynamique de la ressource pastorale à travers trois campagnes de suivi de la végétation. En parallèle, une attention a été portée aux conditions climatiques de la période d'étude, et aux tendances d'évolution des états corporels des brebis. Les résultats suggèrent que le pâturage complet a tendance à stabiliser voire diminuer le niveau de la ressource pastorale, au point de perdre des journées de valorisation des parcs. Lors du pâturage prudent qui a succédé, une régénération de la ressource pastorale dans son ensemble a été observée, la durée de valorisation des parcs s'est maintenue et les états corporels des brebis tendent à s'améliorer. Ces résultats sont appuyés par une première décennie particulièrement sèche, et la suivante globalement plus chaude, mais aussi plus arrosée. En replaçant ces résultats dans une logique de gestion, le mode de pâturage prudent semble être le meilleur compromis au vu des attentes des gestionnaires. Toutefois, ce mode de gestion sera nécessairement révisé à l'avenir, au regard des nouvelles contraintes auxquelles la ferme est aujourd'hui confrontée (prédation, réchauffement climatique).

Mots-clés : pastoralisme, parcours, pâturage ovin, ressource pastorale, suivi de la végétation, état corporel des brebis.

Abstract

The training mission was part of a study on rangeland grazing management, conducted by sheep experiment station of Carmejane. Two protocols have followed in order to achieve specific objectives. Between 1999 and 2006, a complete grazing was performed in order to stop shrub encroachment and avoid vegetation drift. Then, from 2007 to 2016, less strict grazing was conducted in order to improve the body condition of ewes on the one hand, and ensure vegetation renewal on the other hand. After twenty years of experimentation, an assessment was necessary. The present study aims to synthesize the results obtained on the dynamics of vegetation through three monitoring campaigns. Meanwhile, attention was given to the climatic conditions of the study period, and the evolution trends of sheep body condition. The results suggest that the complete grazing tends to stabilize or even reduce the level of resources to the point of reducing paddock grazing period. Upon less strict grazing, regeneration of vegetation was observed, the paddock grazing period was maintained and body condition tends to improve. These results are supported by a particularly dry first decade and a following one hottest but also more watered. By placing these results in a management vision, it seems that less strict grazing is the best compromise given the expectations of the managers. However, this management will necessarily be revised in the future, given the new constraints that the farm is facing today (wolf predation, global warming).

Key-words : pastoralism, rangeland, sheep grazing, rangeland vegetation, vegetation monitoring, ewes body condition.

Table des matières

Introduction	1
I. Contexte de l'étude : une ferme expérimentale pour l'élevage ovin préalpin.....	3
1. Un milieu naturel contraignant pour l'agriculture.....	3
1.1. Le climat	3
1.2. Le relief.....	3
2. Les systèmes d'élevage ovins pastoraux de la région	3
2.1. Typologie des systèmes	3
2.2. Les enjeux des systèmes ovins pastoraux	4
3. La ferme expérimentale ovine de Carmejane.....	5
3.1. Cadre décisionnel et missions.....	5
3.2. Le système de production	5
4. La place du pastoralisme dans le système d'exploitation de Carmejane	6
4.1. Mode d'utilisation des parcours	6
4.2. Place des parcours dans le système d'alimentation	7
4.3. Une contrainte nouvelle : la prédation	7
4.4. Les objectifs de la gestion des parcours.....	8
II. Problématique et objectifs de l'étude	9
1. Objectifs de l'étude	9
2. Des constats sur la végétation et les animaux qui posent question	9
2.1. L'évolution du niveau de valorisation moyen des parcours	9
2.2. L'évolution de la ressource pastorale	10
2.3. L'état corporel des brebis.....	14
3. Hypothèses de travail	15
III. Méthodologie	16
1. Des données accumulées depuis 1996	16
2. Le protocole expérimental de pâturage des parcours	16
3. Suivi de la végétation	17
3.1. Protocole d'inventaire.....	17
3.2. Analyse des données	18
4. Suivi de l'Etat Corporel des brebis sur parcours	18
4.1. La notation de l'état corporel des brebis	18
4.2. Analyse des données	19
5. Etude climatique de la période d'étude	19
5.1. Sources de données.....	19

5.2.	Estimation de l'évapotranspiration réelle	20
5.3.	Tests de comparaison de moyennes	20
5.4.	Analyse descriptive : l'Analyse en Composante Principales / classification	20
6.	Synthèse de la démarche méthodologique	21
IV.	Résultats	22
1.	Suivi de la végétation	22
1.1.	Evolution de la strate herbacée	22
1.2.	Evolution de la strate arbustive très accessible (h < 80 cm)	24
1.3.	Evolution de la strate arbustive peu accessible (80 < h < 200 cm).....	25
2.	Profils climatiques annuels.....	26
3.	Niveau de valorisation des parcs	27
4.	Evolution de l'état corporel des brebis.....	28
V.	Discussion	29
1.	L'évolution de la ressource sous deux régimes de pâturage	29
1.1.	Strate herbacée : l'impact du mode de pâturage varie en fonction du milieu.....	29
1.2.	Strate ligneuse basse : une interaction de multiples facteurs	31
1.3.	Strate ligneuse haute : une baisse de recouvrement inattendue sur la 1ère décennie..	32
2.	Des conditions climatiques défavorables sur la première période d'étude	33
3.	Evolution du niveau de valorisation : un équilibre enfin trouvé ?	34
4.	Une amélioration de l'état corporel suite au pâturage prudent	36
VI.	Perspectives : des pistes de gestion à explorer	37
1.	Pâturage complet ou prudent, quelles sont les conclusions ?.....	37
2.	Pistes de réflexion pour la gestion.....	38
2.1.	La gestion de la ressource en Genêt	38
2.2.	La reprise du développement arbustif ou le début d'un embroussaillage ?.....	38
2.3.	L'avenir des parcours dans un contexte climatique de réchauffement	38
2.4.	Une contrainte nouvelle : la prédation par le loup.....	39
	Conclusion générale	40
	Bibliographie	41
	Annexes	44

Liste des illustrations

Figure 1 : Productions agricoles de la région PACA	1
Figure 2 : L'orientation agricole dominante par commune en 2010	1
Figure 3 : Carte des étages bioclimatiques de la région PACA	3
Figure 4 : Diagramme ombrothermique moyen de la station de Carmejjane	3
Figure 5 : Sol de poudingue. Source personnelle.....	3
Figure 6 : Paysage de la vallée de la Bléone	4
Figure 7 : Les trois races régionales.....	4
Figure 8 : Fonctionnement du système d'élevage de Carmejjane	5
Figure 9 : Photographie d'un parc.	6
Figure 10 : Les capacités de report sur pied des groupes botaniques et des milieux	6
Figure 11 : Couverture des besoins alimentaires du troupeau en Matière Sèche en 2014.....	7
Figure 12 : Schéma de conduite des deux troupeaux intégrant le système d'alimentation.....	7
Figure 13 : Synthèse du protocole de pilotage du pâturage sur les parcours de Carmejjane	8
Figure 14 : Evolution du niveau de valorisation annuel sur la première période de pâturage .	10
Figure 15 : Deux modes d'utilisation pastorale d'une chênaie pubescente.....	10
Figure 16 : Relation entre l'ETR du printemps et la phytomasse des parcours de Carmejjane.	11
Figure 17 : Influence des facteurs du milieu et du mode d'exploitation	12
Figure 18 : Relation entre la richesse floristique et la pression de pâturage,.....	13
Figure 19 : Evolution de la consommation des herbacées (a) et des ligneux (b) en fonction de la saison de pâturage	13
Figure 20 : Evolution de l'état corporel des brebis au cours du cycle de production.....	14
Figure 21 : Evolution du gros disponible dans les parcs de Carmejjane.....	14
Figure 22 : Schéma de conduite des 2 troupeaux intégrant les séquences pastorales étudiées	18
Figure 23 : Evolution de la strate herbacée	22
Figure 24 : Evolution des espèces herbacées sur les 20 ans d'étude	23
Figure 25 : Evolution des herbacées dans les boisements de résineux	23
Figure 26 : Evolution des herbacées en pâturage hivernal.....	23
Figure 27 : Représentations graphique du modèle statistique.....	24
Figure 28 : Evolution des ligneux très accessibles en fonction de la saison d'utilisation	24
Figure 29 : Evolution des ligneux peu accessibles en fonction de la saison d'utilisation	25
Figure 30 : Evolution des recouvrements moyens des trois espèces ligneuses dominantes	25
Figure 31 : Comparaison de l'ETR et de la température du printemps entre les 2 périodes....	26
Figure 32 : Discrétisation des années selon leur "favorabilité" à la pousse de l'herbe.....	26
Figure 33 : Evolution de la phytomasse herbacée potentielle au cours du printemps	26
Figure 34 : Evolution du niveau de valorisation moyen des parcs entre 1996 et 2014.....	27
Figure 35 : Evolution du niveau de valorisation moyen des parcs de printemps / été et de la phytomasse herbacée printanière potentielle.....	27
Figure 36 : Variation en 10 ans de la somme des occurrences et des coefficients d'abondance-dominance pour la flore de 50 placettes permanentes de Provence.....	33

Liste des tableaux

Tableau 1: Les enregistrements disponibles pour l'étude.....	16
Tableau 2 : Saison d'affectation des parcs étudiés	16
Tableau 3 : Critères de sortie de parc sur les herbacées et les arbustes	16
Tableau 4 : Principaux milieux et leurs espèces dominantes es parcours de Carmejane.....	17
Tableau 5 : Résultats des tests statistiques sur la strate herbacée	22
Tableau 6 : Résultats des tests statistiques sur la strate ligneuse basse.....	24
Tableau 7 : Résultats des tests statistiques sur la strate ligneuse haute.....	25
Tableau 8 : Résultats des tests statistiques sur les variations de NEC	28
Tableau 9 : Evolution de la variation de NEC au cours des deux périodes de pâturage.....	28
Tableau 10 : Synthèse des résultats	29
Tableau 11 : Bilan des deux modes de pâturage étudiés.....	37

Les données économiques

Les résultats départementaux provisoires en 2014

Montant (million d'euros)	Alpes Hte-Pce	Htes Alpes	Alpes Marit.	BdR	Var	Vaucluse	PACA
Production totale	202,3	161,8	70,4	737,8	650,1	990,6	2 812,9
dont Prod. végétale	148,2	105,4	52,8	705,0	625,6	944,7	2 581,7
fruits	63,7	64,8	5,5	232,5	14,4	275,5	656,5
vins	7,5	0,6	0,5	132,7	345,5	467,0	953,8
fleurs	2,4	2,4	38,6	24,7	241,1	98,0	407,1
légumes frais	18,0	1,2	7,4	262,3	14,8	74,2	378,0
dont Prod. animale	39,1	45,6	14,9	13,7	11,1	13,6	138,0
ovins et caprins	19,7	17,5	9,4	2,3	6,0	4,1	59,1
Subventions sur les produits	4,7	5,0	0,9	5,9	1,2	1,2	18,8

Figure 1 : Productions agricoles de la région PACA (Agreste, 2015)

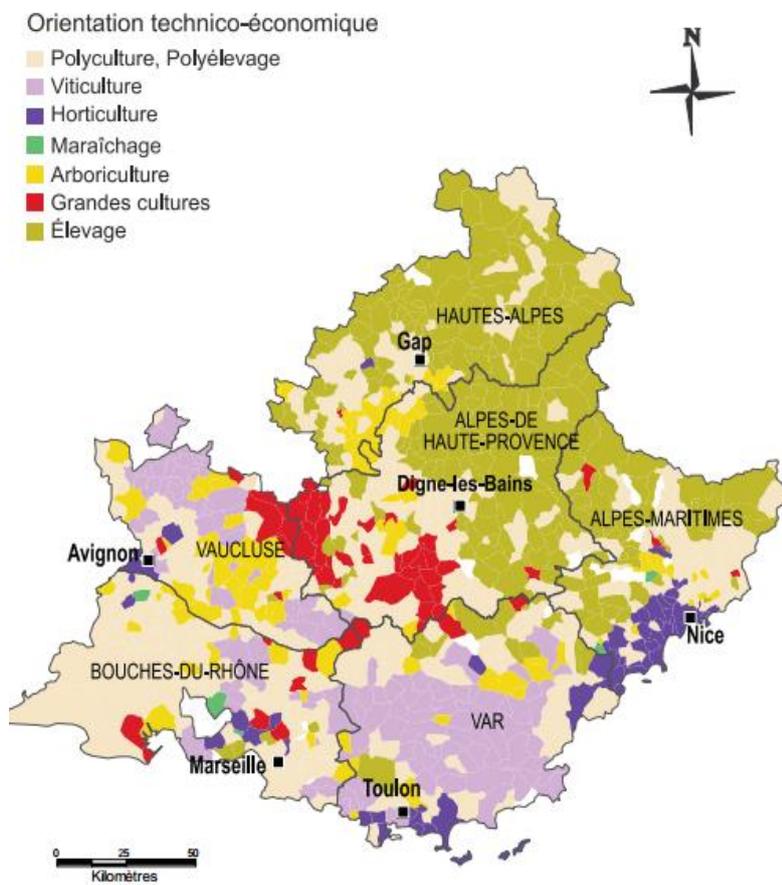


Figure 2 : L'orientation agricole dominante par commune en 2010 (Agreste, 2015)

Introduction

En région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, le poids économique du secteur de l'élevage reste loin derrière celui des productions végétales (cf. figure 1), mais l'orientation des exploitations de la région est fortement marquée par l'élevage ou la polyculture-élevage (cf. figure 2). La région PACA est d'ailleurs la deuxième région ovine française avec 11% du cheptel national en 2014 (Agreste, 2015). Elle est la région qui a le mieux résisté à la baisse générale du cheptel ovin sur la dernière décennie, avec une tendance à l'accroissement de la taille des troupeaux (400 brebis par élevage en moyenne) et à la diminution du nombre d'élevages (Inosys, 2014). Riche d'une diversité de paysages et de milieux naturels, la région PACA se caractérise par son élevage extensif et pastoral (Inosys, 2014).

Le pastoralisme, un mode d'élevage traditionnel et extensif, peut être défini comme étant l'art de tirer parti de l'hétérogénéité des milieux naturels pour en exploiter la ressource végétale spontanée, ce uniquement par le pâturage des animaux d'élevage. Dans le Sud-Est de la France, le pastoralisme se caractérise par l'utilisation de surfaces pastorales de diverses natures, qui peuvent être proches du siège d'exploitation (parcours) ou s'organiser à l'échelle régionale ou interrégionale en ayant recours aux transhumances estivales en alpage (estives collectives) ou hivernales. Les parcours du Sud-Est sont des milieux secs et peu productifs, souvent embroussaillés ou boisés, fréquemment accidentés : steppes, pelouses sèches, landes à genêt ou à buis, garrigues, forêts de chênes et de pins... Les surfaces pastorales (parcours et alpages) représentent un quart du territoire de la région PACA et 63% de sa surface agricole et pastorale (CERPAM, non daté).

En valorisant les zones naturelles non mécanisables, le pastoralisme est une réponse à la demande d'entretien des paysages et de gestion des milieux naturels qui émane de la société. En effet, les surfaces pastorales présentent souvent un intérêt écologique majeur, soutenu par les différents dispositifs de protection de la biodiversité très développés en région PACA : Parcs Nationaux, Réserves Naturelles, Espaces Naturels Sensibles, sites Natura 2000, *etc.* Le multi-usage et la richesse écologique des zones pastorales explique pourquoi le pastoralisme est aujourd'hui confronté à des enjeux de territoire passionnés, parfois sources de conflits (prédation par le loup), de recherche de compromis (chasse) et de partenariat à développer (forestiers).

La motivation des éleveurs pastoraux à utiliser ces surfaces peu productives réside dans la recherche de l'autonomie fourragère et de la réduction des coûts d'alimentation, s'appuyant sur des savoir-faire spécifiques pour satisfaire les besoins alimentaires des animaux. Ainsi, une véritable technicité pastorale existe autour de la gestion de la ressource, dont l'approche est bien différente des régions herbagères : optimisation de la valorisation de l'espace en articulant l'ensemble des parcelles, diversité des modes d'exploitation de l'herbe, concept de saison-pratique, report sur pied, gardiennage, *etc.* (Guérin *et al.*, 2009).

Ces techniques pastorales développées par les acteurs de terrain constituent des retours d'expérience précieux que les chercheurs et les techniciens ont traités pour faire émerger la science du pastoralisme. Située au carrefour de l'écologie et des sciences animales, le pastoralisme vise à trouver un certain équilibre entre l'élevage et les milieux naturels. La problématique étant de concilier une utilisation durable de la ressource d'une part, et des performances de production satisfaisantes au regard des objectifs des éleveurs d'autre part. La mission de stage qui m'a été confiée par l'Institut de l'Élevage partage complètement cette approche. Basée sur la ferme expérimentale ovine de Carmejane dans les Alpes-de-Haute-Provence, j'ai dressé le bilan de vingt ans de pilotage du pâturage sur les parcours de la ferme. Plus précisément, ce bilan s'appuie sur une appréciation des effets de deux modes de pâturage contrastés sur la ressource pastorale et sur les états corporels des brebis.

Évaluer l'impact de la gestion pastorale sur la ressource apparaît primordial dans un souci de durabilité des pratiques. De nombreux travaux ont étudié l'impact du pâturage sur la végétation à des échelles diverses : conséquences morphologiques et physiologiques (Briske *et al.* 2008), études des traits fonctionnels (Díaz *et al.* 2007), évolution de la composition spécifique (Dumont *et al.*, 2007; Garde *et al.* 2011), conséquences sur la production primaire (Pulido *et al.*, 2016). Toutefois, les réponses des végétations spontanées sont parfois singulières et variables en fonction du contexte d'exploitation actuel et passé. L'approche locale, à travers l'expérimentation dans un contexte donné, reste à privilégier pour pouvoir définir et ajuster les orientations de gestion des surfaces pastorales. C'est bien l'objectif de mon étude.

J'ai choisi de construire ce mémoire de la façon suivante :

- une présentation du contexte de l'étude pour appréhender les enjeux du sujet ;
- une partie consacrée aux objectifs de l'étude, aux questionnements posés par le sujet et aux hypothèses émises après une revue de la bibliographie ;
- une description de la démarche méthodologique mise en œuvre ;
- une analyse des résultats obtenus, leur discussion au regard de la littérature scientifique disponible et la proposition de pistes de réflexion pour la gestion pastorale future.



Figure 3 : Carte des étages bioclimatiques de la région PACA (Garde, 1996)

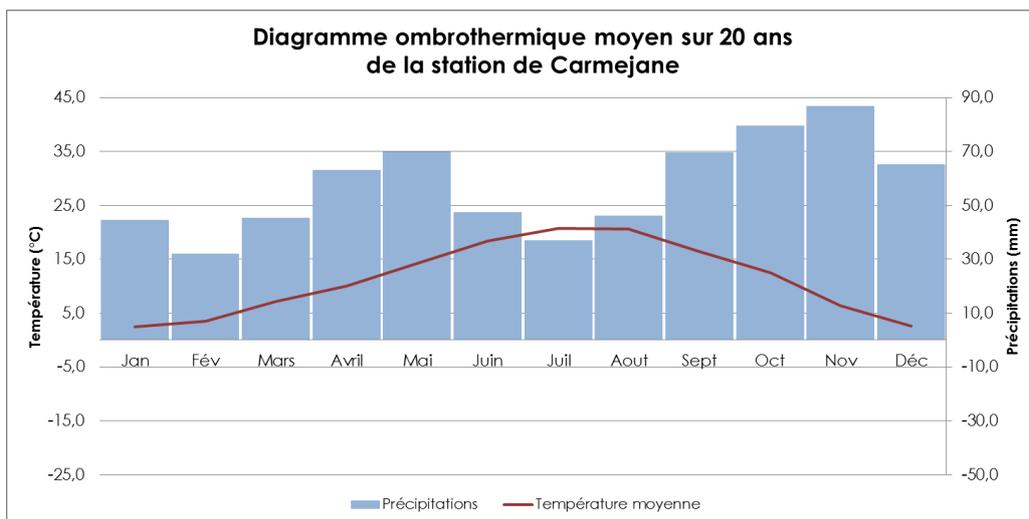


Figure 4: Diagramme ombrothermique moyen de la station de Carmejane



Figure 5 : Sol de poudingue. Source personnelle

I. Contexte de l'étude : une ferme expérimentale pour l'élevage ovin préalpin

Ce premier chapitre vise à situer le cadre de l'étude à travers une présentation du contexte agricole préalpin et du lieu support de l'étude, la ferme expérimentale ovine de Carnejane. La dernière partie de ce chapitre se consacre plus particulièrement à la composante pastorale de la ferme.

1. Un milieu naturel contraignant pour l'agriculture

La ferme expérimentale ovine de Carnejane est située au cœur de la zone Préalpes du département des Alpes-de-Haute-Provence, aux abords de la ville de Digne-les-Bains (cf. figure 3). Les Préalpes de Digne se caractérisent par des conditions pédoclimatiques et topographiques contraignantes pour les activités agricoles.

1.1. Le climat

Le climat possède une double influence méditerranéenne et montagnarde qui confère des spécificités particulières : des précipitations très variables et mal réparties, une période de sécheresse marquée en été (cf. figure 4) et des hivers plus ou moins rigoureux selon le relief. La croissance végétale est brutale au printemps (mars à juin), elle est suivie d'un creux estival très marqué, puis d'une repousse en automne. Cependant, au vu de la variabilité des précipitations (interannuelle et inter-saisonnière), la fenêtre de pousse de la végétation est très irrégulière.

1.2. Le relief

La topographie est fortement marquée par la montagne. Dans la zone préalpine, deux grands ensembles dictent la répartition spatiale des activités agricoles :

- ❖ les fonds de vallées de la Durance et de ses affluents, caractérisés par des sols formés d'alluvions et de colluvions, sont valorisés par les grandes cultures et les prairies généralement sous irrigation ;
- ❖ les « collines » provençales (cf. figure 6, page suivante), espaces naturels de relief variable, ont des sols argileux/limoneux fragiles à l'érosion, à tendance calcaire (marnes, poudingues ; cf. figure 5). Ces surfaces sont fréquemment boisées (forêts spontanées ou reboisement de résineux), même si des cultures de plantes aromatiques (lavande, lavandin, sauge) peuvent également s'y trouver. Ces collines sont surtout valorisées par l'élevage, notamment ovin allaitant, qui les intègre pleinement dans ses surfaces pastorales locales.

2. Les systèmes d'élevage ovins pastoraux de la région

2.1. Typologie des systèmes

La connaissance du contexte environnemental préalpin permet de mieux comprendre pourquoi l'élevage ovin allaitant s'y est installé de manière préférentielle par rapport à d'autres départements de la région PACA. Pourtant, cette dominance de l'élevage ovin viande ne peut pas se résumer à un système unique.



Figure 6 : Paysage de la vallée de la Bléone
Source personnelle



Figure 7 : Les trois races régionales. A gauche : Mérinos d'Arles ; au centre : Mourerous ; à droite : Préalpes du Sud
Source : appam06.fr

Bien au contraire, c'est une diversité de systèmes qui forme ainsi la richesse et les spécificités agricoles des Préalpes. Trois races régionales dominent les élevages : la Mérinos d'Arles, la Préalpes du Sud et la Mourérous (cf. figure 7). Cette diversité des systèmes peut être appréhendée par une typologie des élevages pastoraux, basée sur leurs stratégies d'alimentation et en particulier la proportion prise par les surfaces pastorales dans le système. Cette typologie permet de distinguer plusieurs systèmes de production que l'on résumera ici en trois principaux :

- ❖ Le système herbassier : ce système valorise les surfaces fourragères « sur pied » exclusivement. Les troupeaux sont donc mobiles et transhument régulièrement pour suivre le développement de la végétation tout au long de l'année, de la plaine de la Crau aux montagnes alpines.
- ❖ Le système pastoral : ici, le siège de l'exploitation est situé dans une zone pastorale qui constitue une part importante du système d'alimentation, mais des surfaces de sécurité assurent un complément de ressource fourragère (prairies de fauche).
- ❖ Le système agro-pastoral : dans ce dernier cas, le siège de l'exploitation est généralement situé dans une zone cultivable, en fond de vallée. Le système combine alors des surfaces cultivées et productives (grandes cultures, prairies) avec des surfaces pastorales (collines, estives collectives) valorisées à certaines périodes de l'année.

2.2. Les enjeux des systèmes ovins pastoraux

Si le contexte technico-économique de la filière ovine en région PACA présente des atouts (grande région consommatrice d'agneau, approvisionnement régional déficitaire, abattoirs bien répartis, filières qualité, *etc.*), cette filière présente aussi un certain nombre de faiblesses. Les performances techniques des élevages sont inférieures à la moyenne nationale (productivité numérique par brebis de 0,89 contre 1,17 au niveau national), les coûts de production restent élevés, et la filière reste très dépendante des soutiens publics attribués aux zones de handicaps naturels (Inosys, 2014). Plusieurs leviers d'action sont envisagés par les acteurs de la filière pour faire face à ces constats : amélioration de la productivité numérique (augmentation du taux de mise bas, baisse du taux de mortalité), réduction des coûts de production (maîtrise des charges d'alimentation liées au distribué), amélioration du niveau de valorisation du produit (proportion d'agneaux certifiés sous signes de qualité, développement des circuits-courts), conforter les outils de transformation (abattage, découpe). Mais au-delà de ces enjeux technico-économiques, un enjeu majeur de la filière reste l'installation de jeunes, freinés par les conditions de travail propres à l'élevage ainsi que par le contexte récent de la prédation.

Dans ce contexte, les attentes des éleveurs sont grandes vis-à-vis de leurs organismes professionnels, des instituts techniques et de recherche. L'Institut de l'Élevage, structure porteuse de l'étude présentée ici, s'inscrit dans une démarche d'acquisition de connaissances et de diffusion de solutions pour répondre aux problématiques de la filière. L'un des moyens mobilisés par l'Institut de l'Élevage est le support « ferme expérimentale ». En France, l'unique ferme expérimentale dédiée à la production ovine allaitante en contexte préalpin est la ferme expérimentale ovine de Carmejane.

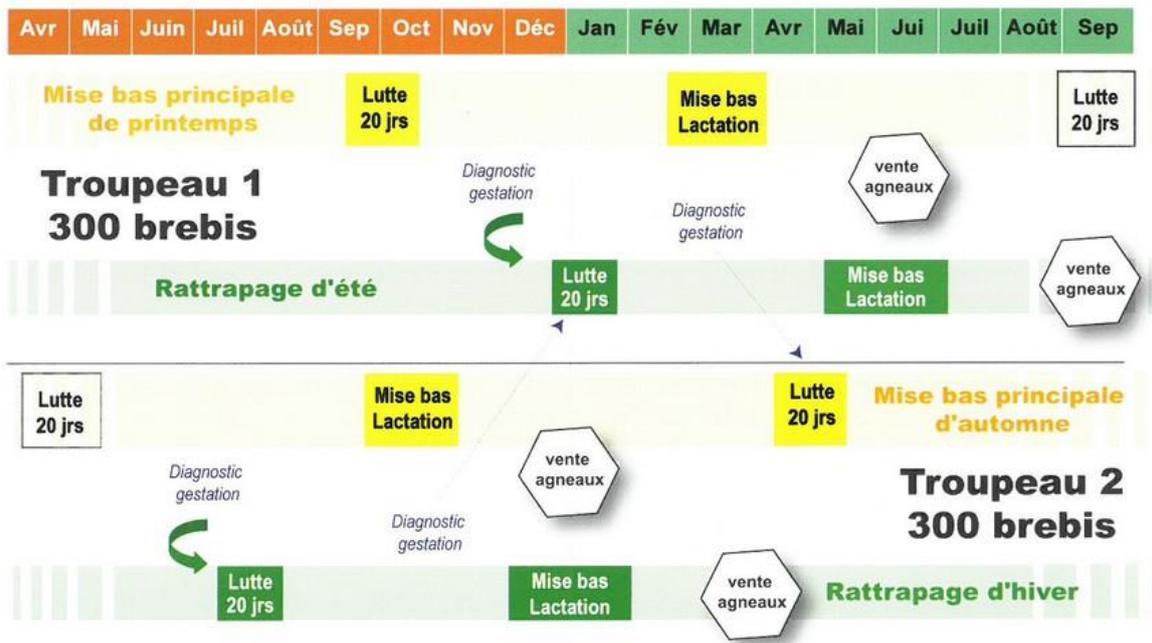


Figure 8: Fonctionnement du système d'élevage de Carnejane (source interne de la ferme expérimentale)

3. *La ferme expérimentale ovine de Carmejane*

3.1. Cadre décisionnel et missions

La ferme expérimentale ovine de Carmejane est une unité de l'Établissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricole (EPLEFPA) de Digne Carmejane. Quatre missions principales lui sont attribuées :

- ❖ La production de viande d'agneau ;
- ❖ La formation / pédagogie en étant le support des travaux pratiques des élèves du lycée ;
- ❖ L'expérimentation en grandeur nature avec la recherche d'innovations adaptables aux systèmes d'élevage préalpins sur les thèmes de l'alimentation des agneaux de bergerie, la reproduction, la gestion du pâturage sur parcours ;
- ❖ La sélection génétique par l'hébergement du centre d'élevage des béliers des trois races régionales.

Son fonctionnement global est régi par un conseil d'administration et un conseil de gestion. Les programmes expérimentaux sont définis en étroite relation avec l'Institut de l'Élevage (qui en assure la coordination), des organismes du développement agricole (la Maison Régionale de l'Élevage, les Chambres d'agriculture départementales, le Centre d'Études et de Réalisations Pastorales Alpes Méditerranée) et les Organisations de Producteurs « Agneau soleil » et « Ciel d'Azur ». D'autres partenariats sont également construits avec l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA), Montpellier SupAgro ou encore l'organisme de sélection Races Ovines du Sud Est (ROSE).

Les détails du fonctionnement de la ferme, des objectifs poursuivis et des différents axes de recherche expérimentaux sont disponibles en annexe 1. Après une courte présentation du système de production, une attention particulière sera portée sur le contexte pastoral de la ferme de Carmejane et les orientations de gestion prises sur les parcours.

3.2. Le système de production

Située dans la vallée de la Bléone, à une dizaine de kilomètres de Digne-les-Bains dans le village du Chaffaut-Saint-Jurson, la ferme expérimentale ovine de Carmejane peut être assimilée au cas-type « système préalpin transhumant spécialisé » et qualifiée de système « agro-pastoral ». Le cheptel est constitué de 650 brebis de race Préalpes. Le cheptel est conduit en deux troupeaux séparés de taille équivalente, l'un suivant un cycle de production avec agnelage de fin d'hiver, l'autre à l'automne (cf. figure 8). Des luttes de rattrapage sont également pratiquées, conduisant à deux périodes d'agnelage supplémentaires en juin et en décembre. Environ 750 agneaux de bergerie par an sont vendus en circuit-long à la coopérative « Agneau soleil ». La ferme s'inscrit dans une démarche de qualité à travers le respect des cahiers des charges de deux signes officiels de qualité, le Label Rouge et l'IGP « Agneau de Sisteron ». Sans entrer dans le détail, ces cahiers des charges impliquent d'une part l'utilisation de parcours dans le système d'alimentation des brebis (composante terroir) et d'autre part une fourchette stricte pour l'âge et le poids des agneaux à l'abattage (composante qualité). En conséquence, ces objectifs supposent une technicité forte des éleveurs pour concilier un objectif de production précis (croissance rapide des agneaux), l'utilisation de races rustiques locales et le maintien affirmé d'une composante pastorale dans le système d'exploitation.



Figure 9 : Photographie d'un parc. Au premier plan, une lande à aphyllante ; au second plan, un taillis de chêne blanc ; au dernier plan, un boisement de pins noirs. Source personnelle

Période principale de pâturage	Début de printemps	Printemps	Transition printemps/été	Été	Automne	Arrière saison	Hiver
Type de végétation							
Pelouse grandes graminées	+	+++			+		
Pelouse petites graminées	+	+++	+		+		+
Lande bonne qualité		+++	++	++	++	++	+
Lande qualité médiocre		+++	+++	++	++	++	+
Bois feuillus		+	+++	+++	++	+++	++
Bois résineux			+	+++	++	++	+

(+) éventuellement (++) satisfaisant (+++) le plus adapté

Figure 10 : Les capacités de report sur pied des groupes botaniques et des milieux (d'après Guérin & Gautier, 2004)

Système de type agro-pastoral, le foncier de la ferme compte une base cultivable en grande partie irrigable de 51 hectares dont 39 sont destinés à la Surface Fourragère Principale (prairies multi-espèces, luzerne, sainfoin). Les 12 hectares restant sont cultivés en céréales (orge, maïs) et protéagineux (pois) pour l'intra-consommation. L'autosuffisance est assurée pour les fourrages, et l'est pratiquement pour les concentrés (93%). A ces surfaces s'ajoutent environ 500 hectares de parcours en « colline » qui s'étendent sur 14 km au sud du siège de l'exploitation (cf. annexe 2). Les surfaces pastorales, situées en grande partie dans la forêt communale du Chaffaut et dans la forêt domaniale du Plateau, sont en convention pluriannuelle de pâturage. L'utilisation de ces surfaces publiques est à « partager » avec d'autres usagers (forestiers, chasseurs, randonneurs) dont les objectifs ne rencontrent pas toujours ceux du pastoralisme. Depuis 2006, la ferme a intégré deux estives collectives pour faire face à une augmentation du cheptel et à une baisse du niveau de valorisation des parcours. Il s'agit du groupement pastoral du col-bas sur la commune de Lauzet Ubaye et le groupement pastoral de la Selle sur la commune de Prads Haute Bléone.

4. La place du pastoralisme dans le système d'exploitation de Carmejane

Les parcours de Carmejane se caractérisent par un relief vallonné, accidenté et aux pentes accentuées, culminant à près de 1000 m d'altitude. Les milieux présents sont caractéristiques des parcours préalpins embroussaillés (Garde, 1996) : une mosaïque de milieux entre landes à aphyllante, taillis clairs de chêne pubescent et reboisement à pins noir d'Autriche développés sur des substrats de marnes ou de poudingues (cf. figure 9). Dans un système pastoral, cette hétérogénéité est vue comme un atout à valoriser.

4.1. Mode d'utilisation des parcours

L'utilisation des parcours s'effectue en parcs clôturés électrifiés, aujourd'hui divisés en 25 parcs de taille très variable (21 hectares en moyenne \pm 10 ha). Chaque parc connaît une unique utilisation annuelle, et une spécialisation saisonnière plus ou moins marquée, en fonction des capacités de report sur pied des milieux (cf. figure 10) et de leur exposition : les parcs constitués principalement de landes ouvertes sont utilisés au printemps ou à l'automne ; les parcs exposés Sud, dominés par l'Aphyllante de Montpellier, sont gardés en report sur pied pour une valorisation hivernale. Cette espèce supporte en effet mal une utilisation de printemps du fait de sa physiologie particulière. Avant la transhumance en estives collectives, les parcs boisés étaient pâturés préférentiellement en été pour profiter du décalage de la pousse de l'herbe. D'autres parcs, constitués d'une mosaïque de milieux, sont moins spécialisés et servent ainsi de soudures d'inter-saison ou de parcs de sécurité. Au-delà de ces critères basés sur les caractéristiques des parcs, des contraintes liées aux conventions pluriannuelles de pâturage imposent parfois la saison d'utilisation (périodes de chasse). Une description détaillée de chaque parc est disponible en annexe 3.

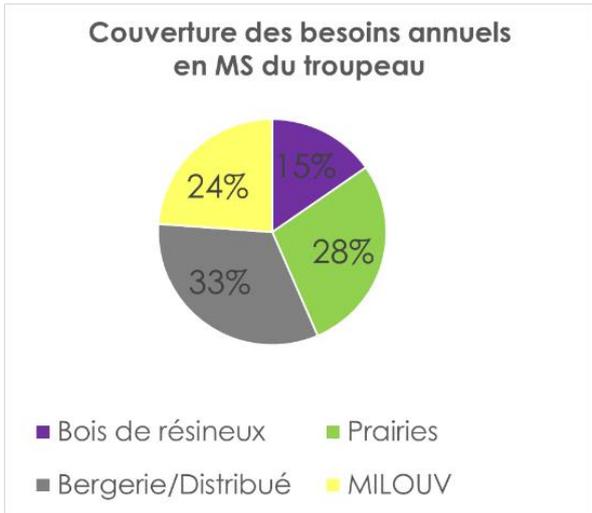


Figure 11 : Couverture des besoins alimentaires du troupeau en Matière Sèche (MS) en 2014. Les parcours sont constitués des « bois de résineux » et des « milouv » correspondant aux milieux ouverts embroussaillés.

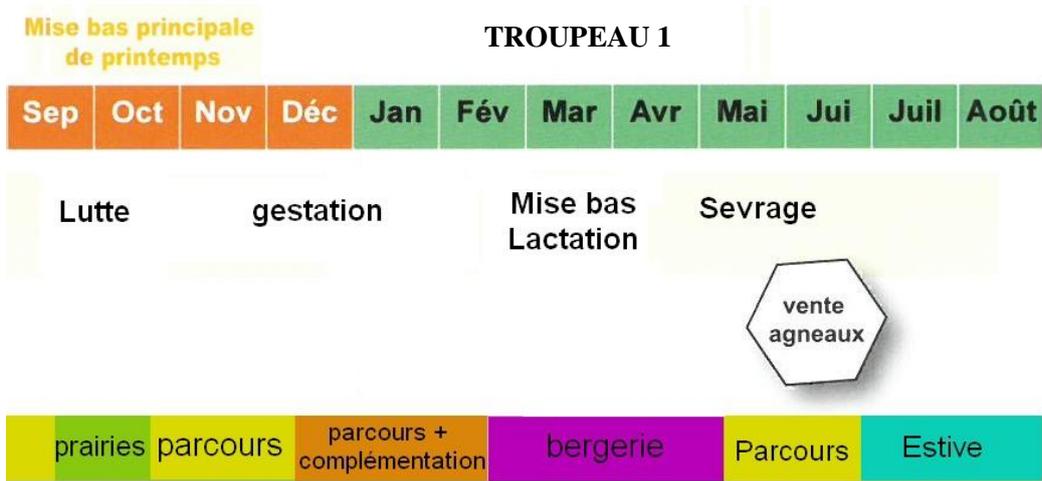


Figure 12 : Schéma de conduite des deux troupeaux intégrant le système d'alimentation

4.2. Place des parcours dans le système d'alimentation

Les parcours de Carmejane contribuent pour environ 40% aux besoins annuels des brebis (en matière sèche). Les deux troupeaux¹ valorisent les parcours à des périodes clés du cycle de production, lorsque les besoins des brebis sont réduits à l'entretien : la période de début de gestation (jusqu'à 6-8 semaines avant la mise-bas) et la période qui suit le sevrage des agneaux.

A l'automne, c'est le troupeau T1 en gestation qui pâture les parcours. En hiver, le troupeau T2 prend le relais pendant sa phase d'entretien avant la mise en lutte. Au printemps, les brebis T1 tarées et les brebis T2 gestantes réalisent une séquence sur parcours avant la montée en estive en fin de printemps / début de l'été. Lors d'essais expérimentaux sur le pâturage des parcours à des périodes de forts besoins, les brebis peuvent être amenées à pâturer en période de flushing, de lutte ou de fin de gestation. Dans ces derniers cas, un pâturage en tri² est réalisé, et des complémentations énergétiques sont apportées. Le schéma en figure 12 synthétise sous la forme d'un calendrier les séquences d'alimentation des deux troupeaux (bergerie, prairie, parcours, estive) en relation avec leurs stades physiologiques.

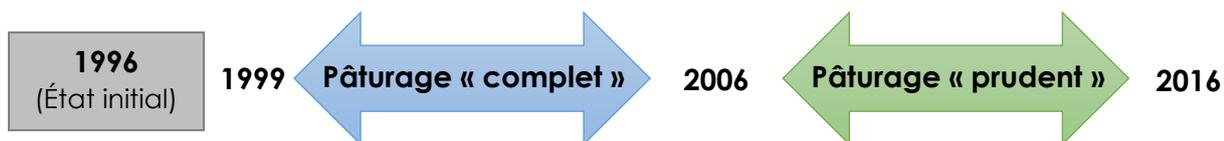
4.3. Une contrainte nouvelle : la prédation

L'étude des séquences d'alimentation montre bien que la période de bergerie est limitée à la mise-bas des brebis et à la phase d'allaitement des agneaux, soit trois mois dans l'année pour chaque troupeau. Le reste du temps, le troupeau est conduit au pâturage en plein air intégral, soit en parcours au sein de parcs clôturés, soit en prairies clôturées en grillage et filets électriques mobiles. Cette conduite est aujourd'hui remise en cause par une contrainte nouvelle, la prédation par le loup. Au printemps 2015, deux lots constitués de brebis en gestation et en lutte alors en colline ont subi pour la première fois sur le siège de l'exploitation des attaques de loup. D'après le diagnostic de vulnérabilité réalisé dans la foulée par le CERPAM (Garde et Golé, 2015), toutes les conditions sont en effet réunies pour faciliter son approche : conduite en parc sans gardiennage, parcours embroussaillés au relief marqué (faible visibilité), zone inhabitée. Le diagnostic a permis d'élaborer une typologie des risques pour l'ensemble des surfaces. Si théoriquement, les prairies proches de l'exploitation se voient attribuer le risque le plus faible et les zones de parcours le risque le plus fort, cette différence de risque doit pourtant être relativisée. En effet, les capacités d'adaptation du prédateur sont telles, qu'il approche désormais les troupeaux le jour comme la nuit, parfois même à proximité des habitations.

Dans le secteur, trois meutes fixées sont connues (Monges, Issole-Verdon, Montdenier). Situées à moins de 30 km de la ferme à vol d'oiseau, le risque face à des loups en exploration est indéniable. Dans un système d'élevage complexe comme celui de Carmejane (prépondérance du pâturage, nombre élevé de lots d'animaux en simultané), cette nouvelle contrainte risque de bouleverser les orientations pastorales de la ferme à l'avenir. Aujourd'hui, les premiers moyens de protection, ont d'ores et déjà été mis en place : parcage de nuit sur parcours et chiens de protection (berger des Abruzzes) pour chacun des lots en pâturage. Outre la charge de travail supplémentaire qu'ils créent, il n'est pas évident que ces seuls moyens soient soutenables à long terme.

¹ Les troupeaux supplémentaires liés aux luttes de rattrapage sont omis de la description par soucis de simplification.

² Le pâturage en tri permet aux brebis d'exercer une pleine sélection sur les plantes les plus à même de satisfaire leurs besoins. Les plantes peu appétentes et/ou peu nutritives sont ainsi délaissées (refus).



Des objectifs à tester :

- Le maintien de l'équilibre floristique
- La maîtrise de l'embroussaillage
- Le renouvellement de la ressource
- Le maintien de l'état corporel des brebis



Le regard porté sur l'état de la végétation dans le secteur-pilote du parc :



Taux de refus

Maintien du « gros » disponible jusqu'en fin de pâturage



Strate herbacée « raclée » en fin de pâturage indépendamment de l'espèce



Aphyllante de Montpellier



Brachypode penné



Genêt cendré

Figure 13 : Synthèse du protocole de pilotage du pâturage sur les parcours de Carmejane

Sources des images : Aphyllante : <http://coloriages.dessins.free.fr> ;

Brachypode penné : <http://viagallica.com> ; Genêt cendré : <http://www.peiresc.org>

4.4. Les objectifs de la gestion des parcours

L'enjeu du pastoralisme est de concilier de bonnes performances animales avec une gestion raisonnée des surfaces, en prenant en compte à la fois la maîtrise de l'embroussaillage et la pérennité de la ressource. Pour y répondre, des points de repères sur les animaux et sur la végétation sont nécessaires pour évaluer le mode de conduite. Dans le cadre de l'axe de recherche sur les parcours mené depuis une vingtaine d'années à Carmejane, les expérimentations visent à tester des indicateurs simples de prise de décision de la sortie de parc. Depuis 1999, la ferme expérimentale de Carmejane, en partenariat avec l'Institut de l'Élevage et les organismes membres de la Cellule Technique, met en place un protocole expérimental d'utilisation des parcours en vue d'atteindre certains objectifs de gestion. Entre 1999 et 2016, il convient de distinguer deux grandes périodes correspondant à deux stratégies différentes de gestion des parcours.

Lors de la première période, de 1999 à 2006, le pâturage des parcours a été conduit avec l'objectif de maîtriser la végétation. Plus précisément, deux objectifs étaient poursuivis : le maintien de l'équilibre floristique et la maîtrise du niveau d'embroussaillage. Pour ce faire, un pâturage complet annuel de l'herbe (Demarquet *et al.*, 2007) a été réalisé, basé sur un taux de refus très faible à la fin de la séquence de pâturage dans le parc (< 10 %). La figure 13 résume le protocole de pilotage du pâturage sur parcours. En 2006, un inventaire de la ressource a été réalisé pour marquer la fin de ce premier mode de gestion. Si la stratégie de pâturage a rempli son objectif en permettant l'ouverture de nombreux secteurs embroussaillés, des questions ont été soulevées quant à l'impact de ce « raclage » de l'herbe sur la pérennité de la végétation (ressource herbacée et ligneux fourragers) d'une part, et sur les performances zootechniques du troupeau (états corporels des brebis en fin de séquence pastorale) d'autre part.

Dès lors, une révision des objectifs a permis de construire une nouvelle stratégie de pâturage des parcours, mise en place en 2007 et poursuivie jusqu'à aujourd'hui. Les objectifs sur la végétation sont désormais d'assurer le renouvellement de la ressource (de chaque strate) tout en stabilisant la broussaille. Un objectif zootechnique a également été instauré, cherchant à maintenir l'état corporel des brebis à la sortie de la séquence pastorale. Pour réaliser ces objectifs, un pâturage modéré (Garde *et al.*, 2014) qualifié dans l'étude de « prudent » a été mis en place. Le terme « prudent » est employé en référence aux objectifs de gestion, qui ont pour but de « ménager » la ressource et les animaux. Ce mode de pâturage est basé sur la révision des critères de sortie de parc précédemment établis, en se basant sur la méthode « grenouille³ » développée par Agreil (2003). Désormais, ce n'est plus le niveau de raclage qui est mesuré, mais la hauteur de deux herbacées dominantes (Aphyllante de Montpellier, Brachypode penné) et le recouvrement d'un arbuste fourrager, le Genêt cendré. Entre 2014 et 2016, un nouvel inventaire de la végétation a été effectué pour marquer la fin de ce deuxième mode de gestion.

Suite à ces vingt années de gestion pastorale contrastée, un bilan s'impose. Pour répondre aux questions soulevées sur l'évolution de la ressource, les effets de la révision des critères de sortie de parcs sur les états corporels des animaux doivent être évalués.

³ Cette méthode est basée sur le concept de satisfaction du comportement d'ingestion des brebis sur parcours, à partir du maintien de l'équilibre des prises alimentaires de gros et de petits formats. Ce concept est détaillé dans le paragraphe 2.3 du chapitre II.

II. Problématique et objectifs de l'étude

Dans ce chapitre, je présente les objectifs que je poursuis à travers ce travail et la problématique globale de l'étude. Je propose ensuite une discussion approfondie des constats et des hypothèses formulées dans le cadre d'études précédentes, qui ont par ailleurs permis d'aboutir à la problématisation de l'étude. Les hypothèses de travail tirées de cette discussion sont résumées dans une dernière partie, afin de faire la transition vers le prochain chapitre consacré à la démarche méthodologique.

1. Objectifs de l'étude

Cette étude se place dans la continuité des travaux réalisés à Carmejane dans le cadre de l'axe de recherche sur les parcours : règles de pilotage du pâturage dans les parcs, sylvopastoralisme, place des parcours dans le système d'alimentation des brebis.

La problématique globale de l'étude est de comprendre dans quelle mesure les modalités de gestion du pâturage des parcours de la ferme ont impacté la ressource pastorale :

« Bilan de 20 ans de pilotage du pâturage sur les parcours de la ferme expérimentale ovine de Carmejane : quels effets sur la ressource au regard des objectifs de gestion ? »

Ainsi, la présente étude n'a pas vocation à étudier l'impact du pâturage sur la biodiversité végétale, ni l'impact du pâturage au regard du chargement instantané. Elle s'attache par contre à faire la synthèse des résultats acquis sur la dynamique de la ressource pastorale à travers trois campagnes de suivi du recouvrement de la végétation espacées sur une période de vingt ans. En parallèle, j'ai choisi de porter une attention particulière aux conditions climatiques de la période d'étude, car le protocole de suivi de la végétation n'a pas inclus de zones témoins (exclus). En complément de ces résultats qui constituent le fond de mon travail, je présente les tendances d'évolution des états corporels des brebis sur parcours en fonction des deux modes de gestion. En prenant du recul sur ces conclusions, je me replace ensuite dans une logique pastorale, pour envisager ce que ces résultats suggèrent en termes de révision de la stratégie de gestion des parcours de Carmejane.

2. Des constats sur la végétation et les animaux qui posent question

Lors du bilan effectué à la fin de la première période d'expérimentation sur les règles de pilotage du pâturage sur parcours (2006), des tendances ont été mises en évidence sur le niveau de valorisation annuel des parcs, sur l'évolution des strates de végétation et sur les états corporels des animaux. Ces items sont repris un à un dans les paragraphes suivants.

2.1. L'évolution du niveau de valorisation moyen des parcours

Le niveau de valorisation d'un parc se traduit par le nombre de journées de pâturage d'une brebis par hectare et par an (jb/ha/an). Cet indicateur est calculé à partir du chargement instantané pondéré par le nombre de jours de pâturage. Il reflète ainsi un certain niveau de ressource (lui-même dépendant des conditions climatiques de l'année) confronté à une pression de pâturage donnée. A Carmejane, les deux niveaux de « pression » de pâturage appliqués à la végétation ne dépendent pas du chargement instantané qui est resté stable sur les vingt ans. C'est la durée de présence, traduite par des critères de sortie des parcs basés sur l'état de la végétation qui ont été modifiés entre les deux périodes, parfois modulés par les aléas (neige, risque prédation, contraintes expérimentales).

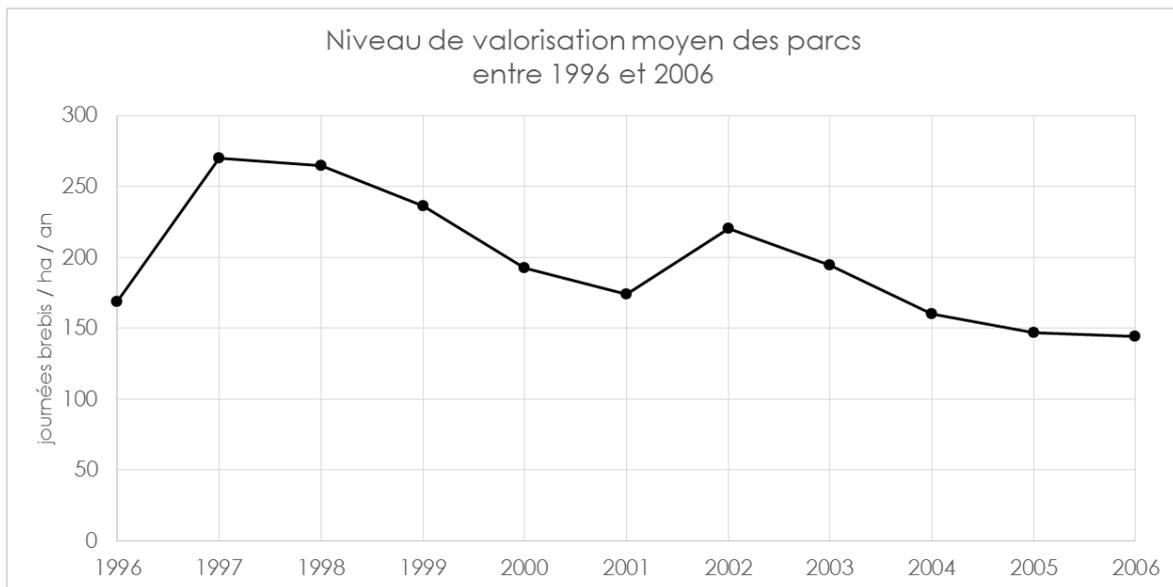


Figure 14 : Evolution du niveau de valorisation annuel moyen sur la première période de pâturage

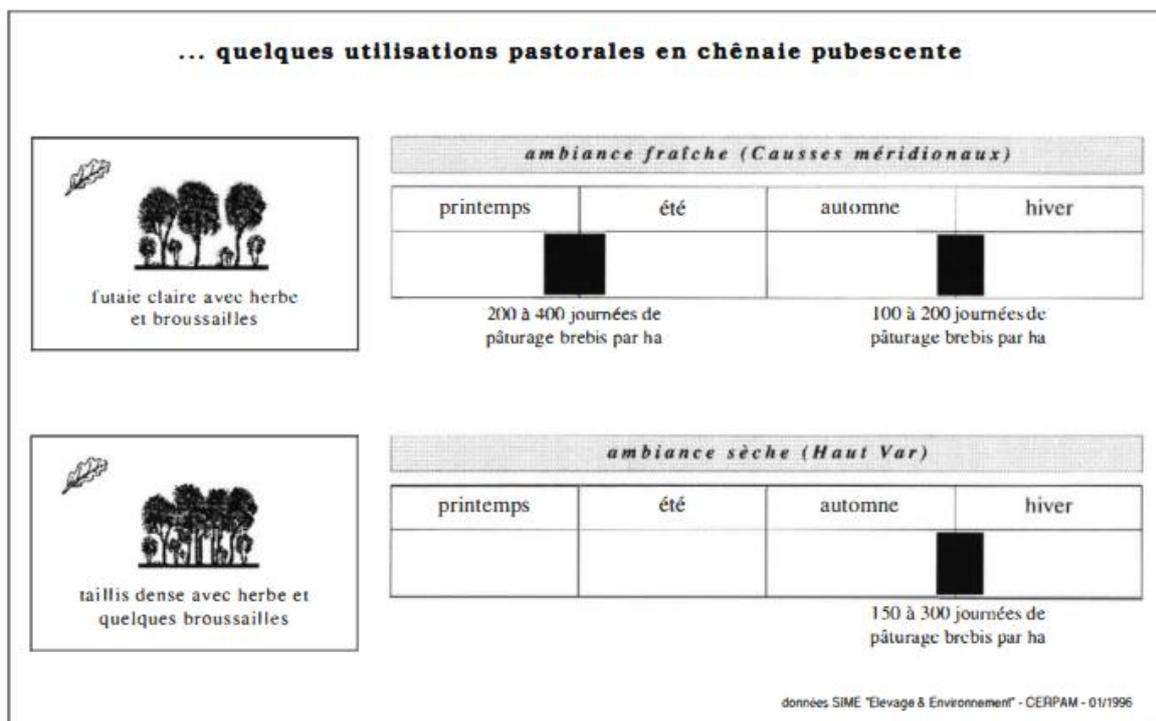


Figure 15 : Deux modes d'utilisation pastorale d'une chênaie pubescente (D'après Bellon et al., 1996)

Le niveau de valorisation moyen des parcs n'a pratiquement pas cessé de baisser sur la période de 1996 à 2006 (cf. figure 14). Le niveau de valorisation moyen cache cependant de fortes disparités inter-parcs. Les facteurs à l'origine de cette variabilité ont déjà été étudiés à Carmejane par Soler (2009). Elle a notamment mis en évidence l'influence de la saison d'utilisation. En effet, le niveau de ressource disponible est directement lié aux stades phénologiques des espèces, qui sont saisonnés. Par exemple (cf. figure 15), si une chênaie pubescente peut fournir au printemps une ressource équivalente à 200-400 journées brebis par hectare ; une exploitation en automne / hiver réduira la durée d'utilisation à moins de 200 journées brebis par hectare.

D'autres facteurs, qui n'ont pas été mis en évidence à Carmejane, peuvent induire une différence de niveau de valorisation entre les parcs : le degré de spécialisation, le type de milieu, la superficie, la topographie, *etc.* L'effet du degré de spécialisation du parc à une saison a été mis en évidence par (Loiseau *et al.*, 1998). Sur une durée suffisante, l'adaptation des plantes et le développement de stratégies clonales peuvent ainsi s'opérer sous la pression d'un mode de conduite permanent. D'après le guide pastoral des espaces du Sud-Est de la France (Garde, 1996), le niveau de valorisation annuel varie en fonction du milieu : celui d'une lande à aphyllante est évalué entre 50 et 250 journées brebis/ha/an, celui d'une chênaie pubescente sèche entre 150 et 250 jb/ha/an. A Carmejane, le niveau de valorisation des parcs était proche de la fourchette haute dans les années 90, mais se retrouve en bas de fourchette en 2006. Quant aux reboisements de pins noirs, l'intérêt pastoral décroît avec la fermeture progressive du couvert arboré. Entre 30 et 90% de recouvrement, le niveau de valorisation peut passer de 1000 (sur sols productifs) à moins de 150 jb/ha/an.

Dans le cadre de mon étude, je n'ai pas retravaillé ces facteurs de variations. J'ai par contre porté une attention particulière à la comparaison du niveau de valorisation moyen entre la première et la deuxième période d'étude. L'objectif étant de confronter les tendances 1996-2006 et 2007-2016 à l'évolution de la végétation sur ces mêmes périodes. L'hypothèse que je pose est la suivante : la diminution du niveau de valorisation moyen observée sur la première période traduit une réduction de la ressource pastorale, qui peut être liée au mode de pâturage trop sévère, et/ou à des conditions climatiques peu favorables à la production des parcours.

2.2. L'évolution de la ressource pastorale

Le niveau de la ressource des parcours de Carmejane est évalué à partir du suivi du recouvrement de trois strates de végétation (herbacée, arbustive très accessible < 80 cm, arbustive peu accessible 80 < h < 200 cm) et des espèces dominantes qui les composent. Afin de pouvoir poser des hypothèses de travail solides, je propose dans cette partie une courte revue de la littérature scientifique ayant traité des facteurs d'influence de l'évolution de la végétation soumise au pâturage.

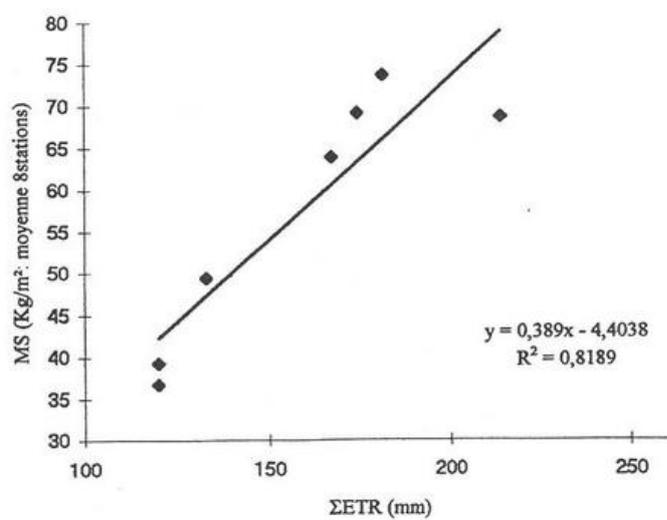


Figure 16 : Relation entre l'ETR cumulée du printemps et la phytomasse des parcours de Carmejane (D'après Escallier, 1995)

Les conditions climatiques, la fertilité du milieu et le mode d'exploitation de la végétation considérée font partie des principaux facteurs fréquemment étudiés dans la littérature scientifique. Dans un souci de concision, je m'attacherai plus particulièrement à décrire la réponse de la végétation au stress climatique (sécheresse, hausse des températures), puis aux effets principaux du pâturage (intensité, saison, comportement de l'herbivore).

Le climat Les facteurs climatiques qui influent sur la production végétale sont principalement de nature hydrique : les précipitations et leur distribution annuelle, la température et l'évapotranspiration potentielle (ETP). L'ETP correspond à la quantité d'eau qui peut s'évaporer par le sol et par la transpiration des plantes dans un contexte non limitant (Cochard *et al.*, 2013). Elle est fonction du climat qui apporte l'énergie nécessaire à cette évapotranspiration (température, précipitations, vent, rayonnement). Ainsi, en situation de bonne alimentation hydrique, les pertes d'eau par transpiration foliaire sont remplacées de manière quasiment continue par les prélèvements d'eau des racines (Lemaire, 2008). Mais l'ETP est un indicateur global et théorique. Pour connaître l'évapotranspiration réelle (ETR), les caractéristiques du sol doivent être prises en compte : on parle de « réserve utile » pour exprimer le stock d'eau que peut contenir un sol. Celle-ci varie principalement en fonction du type de sol, de sa profondeur et de sa teneur en cailloux (Gis sol, non daté).

Dans le cadre d'une étude de l'offre pastorale des parcours de Carmejane, Escallier (1995) a montré qu'une relation linéaire existe entre la production de phytomasse herbacée et l'évapotranspiration réelle cumulée (ETR) du printemps (cf. figure 16). Le printemps constitue en effet la principale saison de pousse de l'herbe sous le climat méditerranéen. Dans son étude, il a pu montrer que la phytomasse herbacée peut varier du simple au double. La variabilité interannuelle des précipitations qui caractérise le climat méditerranéen se répercute clairement sur la production annuelle des herbacées. Pour les ligneux, la relation est certainement plus complexe. Etant donné leur capacité d'enracinement plus importante, une certaine inertie face aux sécheresses ponctuelles peut s'observer. Mais lorsque les sécheresses se succèdent, ils montrent des signes de dépérissement (Vennetier, 2012).

Au vu de ces éléments, une analyse climatique prend toute son importance. Les indicateurs que j'ai choisi de prendre en considération sont l'ETR et la température moyenne du printemps, saison principale de pousse de la végétation. Malgré les limites que comporte mon analyse (saison restreinte, estimation de l'ETR), elle donne des éléments d'interprétations simples basés sur un modèle développé pour les parcours de Carmejane. Mon objectif étant de pouvoir mettre en évidence des « points de rupture » sur les 20 ans susceptibles d'influencer le niveau de la ressource, et de nuancer le cas échéant les effets imputés au mode de gestion.

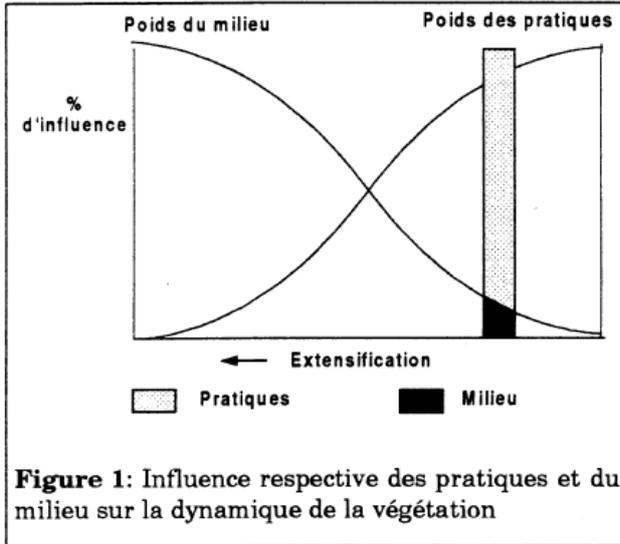


Figure 17 : Influence des facteurs du milieu et du mode d'exploitation sur l'évolution de la végétation (d'après Balent et al., 1993)

Si le climat reste un élément déterminant à long terme (structure de la végétation, composition des communautés) comme à court terme (variation d'abondance des espèces), les experts s'accordent à dire que sur une période d'une dizaine d'années, le facteur ayant le plus d'influence sur la dynamique de la végétation est le mode d'exploitation (Escallier 1995 ; Fuhlendorf *et al.*, 2001 ; Guérin et Agreil, 2007). Globalement, plus l'intensité des pratiques augmente, moins les facteurs du milieu interviennent dans la dynamique de la végétation (cf. figure 17). L'extensivité des pratiques produit l'effet inverse.

Le pâturage Le pâturage est l'action de broutage des végétaux par un herbivore. En premier lieu, c'est donc le comportement de l'animal au pâturage (aptitudes de l'espèce, expérience, comportement spatial, choix alimentaires) qui détermine quel sera l'impact sur la végétation considérée. Les brebis exercent leurs préférences alimentaires en consommant prioritairement les espèces appétentes. En plus des préférences alimentaires, les brebis développent une « stratégie alimentaire » qui doit satisfaire leurs besoins d'ingestion dans le temps et l'espace (Agreil, 2003).

Le comportement des brebis au pâturage ne se résume pas à des préférences alimentaires. Un comportement spatial peut être observé, d'autant plus dans les milieux pastoraux hétérogènes. En particulier, la topographie du parc est connue pour influencer la fréquentation des brebis : l'impact du pâturage est généralement plus fort dans les « hauts » de parc et autour des points de focalisation (abreuvoirs, pierre à sel, *etc.*) que dans les « bas » de parcs et les zones excentrées (Hauwuy, 1988). La structure du milieu (forme du relief, degré de fermeture et de visibilité, obstacles à la circulation) et la diversité des couverts végétaux constituent d'autres facteurs d'interaction qui peuvent moduler le comportement des brebis dans les milieux hétérogènes (Rossignol, 2006 ; Lécivain *et al.*, 2013).

Toutefois, ces comportements au pâturage sont soumis d'une part, à un mode de conduite du troupeau, et d'autre part, à un « mode de gestion » qui tous deux modifient les choix naturels des animaux. Le mode de conduite du troupeau fait référence à la conduite de l'alimentation (Etienne et Balandier, 2003) : la présence de complémentation et leur nature (azoté non protéique, protéique...) peut modifier la pression exercée par les brebis sur la ressource et par conséquent, moduler l'impact du mode de gestion. Par exemples, l'utilisation d'une complémentation sur parcours allonge la durée d'utilisation permise par le niveau de ressource ; l'utilisation de compléments azotés augmente le taux de consommation des ligneux. Le mode de gestion du pâturage se caractérise d'abord par son degré d'intensité (chargement animal, fréquence, durée de pâturage). Ceci dit, plusieurs facteurs d'interaction peuvent moduler les effets de l'intensité du pâturage : la saison d'utilisation (pousse de l'herbe, arrière-saison, report sur pied), les caractéristiques topographiques du parc pâturé, la productivité du milieu...

L'intensité du pâturage La littérature scientifique dans ce domaine montre que le chargement animal doit être raisonné au regard de la capacité du milieu en question (Hervé, 1998). L'augmentation du chargement animal modifie le comportement alimentaire des animaux. D'après Hauwuy (1988), la proportion d'espèces herbacées dans le régime alimentaire est d'autant plus élevée que la charge instantanée est faible.

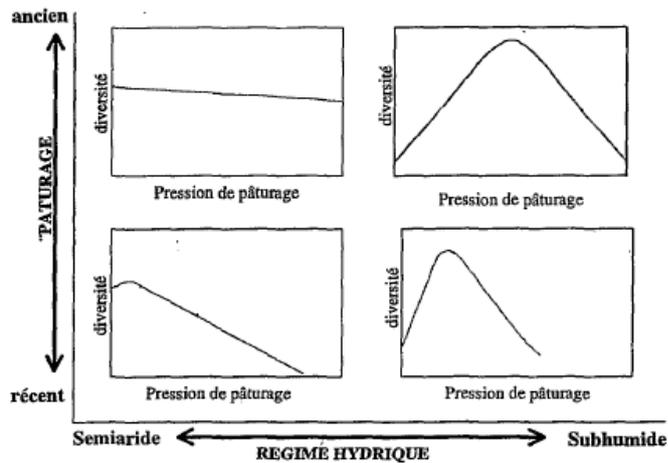


Figure 18: Relation entre la richesse floristique et la pression de pâturage, en fonction du régime hydrique et de l'histoire pastorale (d'après Perevolotsky et Etienne, 1999)

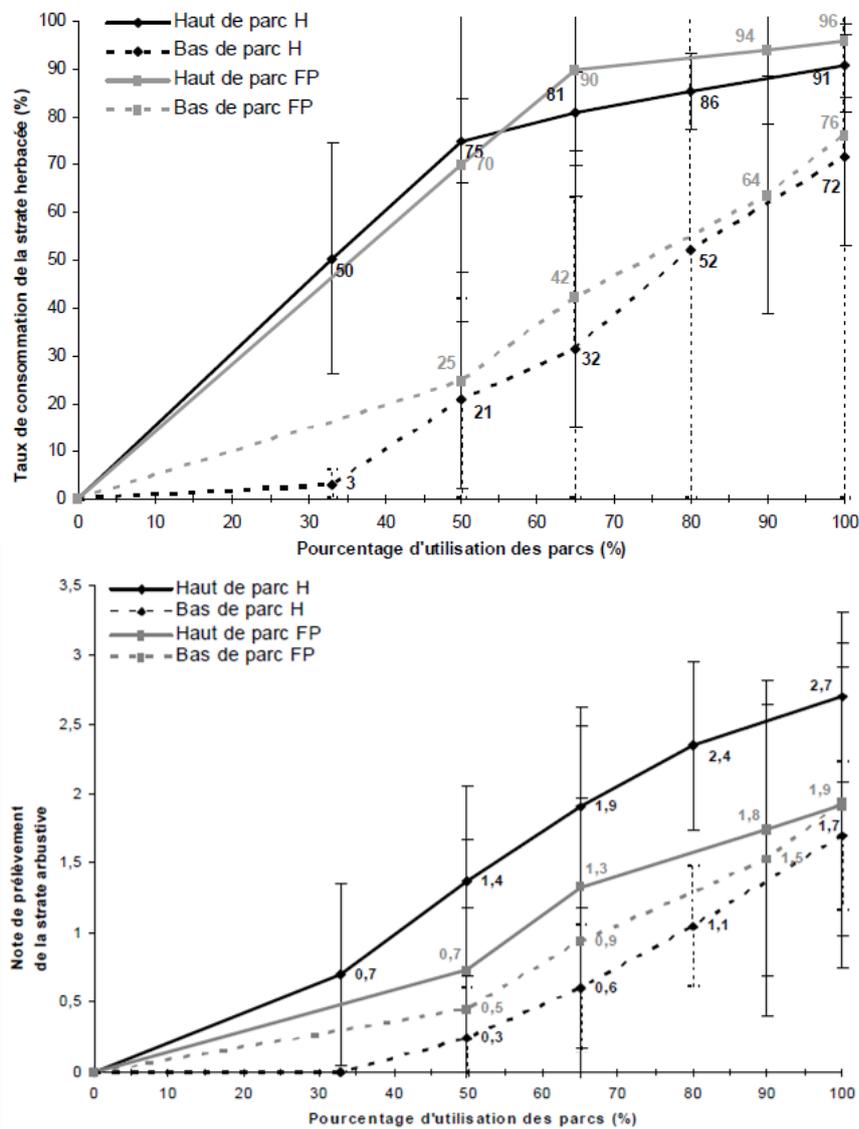


Figure 19 : Evolution de la consommation des herbacées (a) et des ligneux (b) en fonction de la saison de pâturage : Hiver (H) ; Fin de Printemps (FP) et de la topographie du parc (d'après Bignon, 2007)

Autrement dit, les brebis consomment moins de broussaille sous une faible pression de pâturage. La durée et la fréquence du pâturage sont d'autres leviers de gestion qui modifient le comportement alimentaire des animaux et les capacités de régénération des plantes (Briske et al., 2008). L'augmentation du temps de séjour des brebis dans un parc favorise un report croissant sur la ressource ligneuse et sur les herbacées grossières (Hauwuy 1988), ce d'autant plus qu'ils permettent aux animaux de faire des « grosses bouchées » qui compensent ainsi les « petites bouchées » sur l'herbe devenue rase. Cependant, cette substitution n'empêche pas d'observer dans certains cas des phénomènes de surconsommation des espèces appétentes (Teague et al., 2013). Quant à la fréquence de pâturage, elle est généralement faible dans les parcours, du fait de leur faible productivité.

La saison d'utilisation La saison de pâturage est un facteur d'interaction qui implique deux éléments : la réponse de la plante en lien avec sa phénologie (impact plus prononcé en période de reproduction, de constitution de réserves) et les préférences alimentaires de l'animal à la saison (Pollock *et al.*, 2007). La réponse des plantes à la saison de pâturage est très variable en fonction de l'espèce et du milieu considéré. Il n'y a donc pas de réponse unanime. Du point de vue animal, les préférences alimentaires sont à mettre en relation avec le stade de développement de la plante à une saison donnée : il conditionne en effet la disponibilité (*e.g.* ligneux caduques indisponibles en hiver) et le niveau d'appétence de la plante à cette saison (le degré de lignification est plus important à contre-saison). Ces variations de préférences alimentaires en fonction des saisons se traduisent par des taux de consommation variable sur l'année pour une espèce donnée (Etienne et Balandier, 2003). Une étude menée par Bignon (2007) à Carmejane a ainsi montré que le taux de consommation des herbacées varie peu entre une utilisation hivernale et printanière, alors que celui des ligneux est plus élevé en hiver (cf. figure 19).

Les conditions du milieu L'impact de l'intensité du pâturage diffère en fonction de la productivité du milieu : les milieux semi-arides et peu productifs n'ont pas les mêmes réponses que les milieux productifs et/ou de zones humides (Proulx et Mazumder, 1998 ; Osem *et al.*, 2002). La figure 18 illustre ces dynamiques contrastées sur la richesse floristique. Dans le cas des milieux productifs, la diversité augmente avec l'intensité du pâturage, jusqu'à atteindre un optimum situé à une pression intermédiaire (Milchunas *et al.*, 1988). Ici, le facteur limitant du développement végétal n'est pas la ressource en eau, mais la lumière. C'est donc le phénomène de compétition qui est en jeu, le pâturage agissant alors comme un élément « facilitateur » pour les espèces peu compétitrices. Dans le cas des milieux peu productifs, un pâturage intensif fait chuter la diversité végétale. Proulx et Mazumder (1998) suggèrent que la limitation des ressources du milieu nuit à la régénération de la végétation après la perturbation. Mais après une longue histoire pastorale, l'impact du pâturage apparaît négligeable. L'adaptation des espèces sélectionnées au cours de l'histoire pastorale (développement de stratégies de tolérance ou d'évitement) est à l'origine de leur résilience. Dans la région méditerranéenne, dotée d'une longue tradition pastorale, le pâturage a ainsi façonné une biodiversité maximale (Perevolotsky et Seligman, 1998).

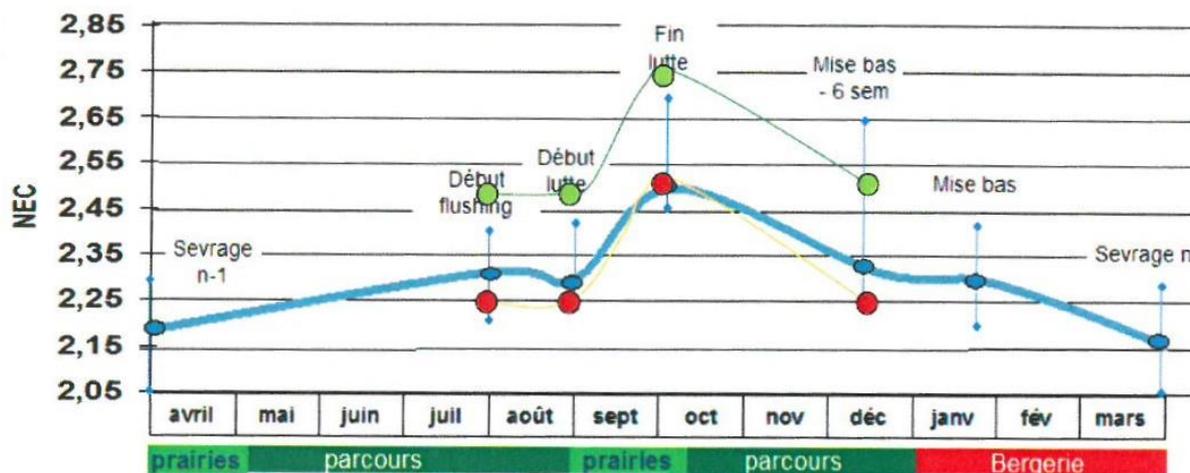


Figure 20 : Evolution de l'état corporel des brebis au cours du cycle de production (source : De Laage, 2012)

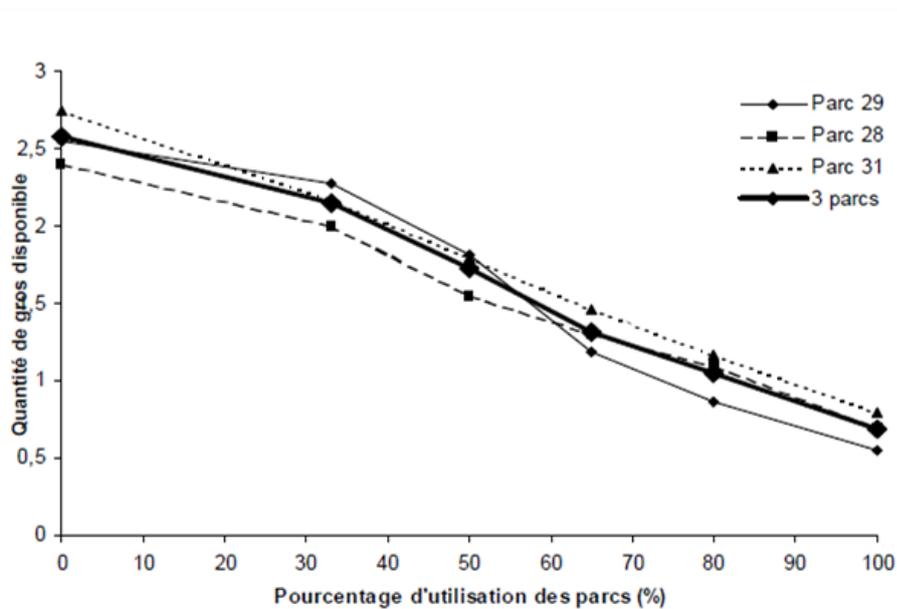


Figure 21 : Evolution du gros disponible dans les parcs de Carmejane (Bignon, 2007)

2.3. L'état corporel des brebis

Malgré leurs nombreux atouts dans un système pastoral, les parcours restent généralement des milieux peu productifs. Pour l'éleveur, une question primordiale est l'adéquation entre le niveau de ressource disponible et les besoins alimentaires de son troupeau à un moment donné du cycle de production. Si les périodes de pâturage sur parcours concordent généralement avec les stades physiologiques de faibles besoins, les éleveurs « comptent » aussi sur la rusticité de leurs animaux. En élevage pastoral, les races rustiques employées ont en effet la particularité de pouvoir aisément jongler entre des périodes de mobilisation et des périodes de reconstitution de leurs réserves corporelles. C'est le concept de la « brebis accordéon ». L'évolution de l'état corporel des brebis au cours d'un cycle de production est présentée en figure 20. Ces aptitudes à la variation d'état corporel sont variables en fonction du stade physiologique, de la saison de pâturage, de l'âge, de l'état de l'animal avant la séquence, et des aptitudes individuelles (Marmuse 2014). Ceci dit, dans certains systèmes où les phases de reconstitution des réserves corporelles sont limitées, l'intérêt de la brebis accordéon peut être remis en cause. A Carmejane, Marmuse (2014) a ainsi montré que différents profils peuvent se distinguer au sein d'un troupeau, certains étant capables de maintenir un état stable tout au long du cycle de production.

La Note d'Etat Corporel (NEC) est un indicateur qui permet de mesurer la dynamique de mobilisation ou de reconstitution de réserves corporelles sur une période donnée (Marmuse 2014). A Carmejane, l'état corporel des brebis en fin de séquence pastorale n'a pas toujours été satisfaisant au regard de l'objectif de « maintien d'état ». Plus précisément, De Laage (2012) a montré que sur des séquences d'entretien en fin de printemps / été, le maintien de l'état corporel est généralement atteint. Par contre, sur des séquences de début de gestation en automne / hiver, le maintien de l'état corporel n'est atteint qu'une année sur cinq. En conséquence, la mise en place de complémentations voire de séquences de « retape » des brebis faibles en bergerie doivent être envisagées.

Suite à ces constats mitigés, une modification des objectifs de gestion des parcours a permis d'introduire en plus des objectifs sur la végétation, un objectif zootechnique. Bignon (2007) a ainsi travaillé sur la révision des critères de sortie de parc des parcours de Carmejane, en intégrant les connaissances récemment acquises sur le comportement d'ingestion des brebis en parcours : dans sa thèse, Agreil (2003) montre qu'au-delà de la valeur nutritive de la ressource pastorale, les brebis ont besoin d'alterner très fréquemment au cours d'un repas des prises alimentaires de gros et de petits formats. Cette affirmation a été testée à Carmejane à travers l'étude du « gros disponible » dans les parcours. Les conclusions tirées sont celles d'un probable déséquilibre des prises alimentaires, apparaissant dès les deux tiers d'utilisation du parc en mode complet (cf. figure 21 ; Bignon, 2007). Ce déséquilibre est encore plus marqué dans les hauts de parcs. Suite à ces résultats, la révision des critères de sortie de parc a donc intégré cette nécessité de conserver du gros disponible jusqu'à la fin de la séquence de pâturage.

3. Hypothèses de travail

En guise de bilan pour ce chapitre, je propose une reformulation des hypothèses de travail sur lesquelles l'étude repose.

Un mode de pâturage sévère impacte négativement le niveau de la ressource pastorale.

L'hypothèse posée est la suivante : le raclage conduit en continu sur la première période (1999-2006) est à l'origine d'une diminution du recouvrement herbacé et ligneux. La revue à la baisse de la pression de pâturage sur la deuxième décennie devrait relancer la dynamique de la végétation. Par ailleurs, la strate ligneuse basse (< 80 cm, hauteur du garrot des brebis) devrait également être plus sensible au pâturage que la strate peu accessible aux animaux (80 cm < h < 200 cm).

Le type de milieu (degré de fermeture arborée, préférence des brebis pour les milieux ouverts), la saison d'utilisation des parcs (modifie le taux de consommation des ligneux) et le dénivelé (zones hautes sur fréquentées, zones basses délaissées) sont des facteurs qui, selon la littérature scientifique, peuvent moduler l'effet du mode de pâturage.

La diminution du niveau de valorisation s'explique par un pâturage inadapté au renouvellement de la ressource pastorale.

La diminution du niveau de valorisation moyen observée sur la première période (à indicateurs de sortie constants) traduit une réduction de la ressource pastorale, qui peut être liée au mode de pâturage trop sévère, et/ou à des conditions climatiques peu favorables à la production des parcours.

L'amélioration de l'état corporel des brebis sur parcours tient au maintien de l'équilibre des prises alimentaires dans les parcs.

Lors du pâturage complet, la non satisfaction du comportement d'ingestion des brebis sur les parcours est à l'origine d'états corporels parfois peu satisfaisants en fin de séquence pastorale. Lors du pâturage prudent, les critères de sorties de parc ont intégré le besoin de « gros » disponible jusqu'en fin de séquence de pâturage. La révision des critères de sortie de parc doit donc montrer une amélioration de l'état de sortie des brebis (*i.e.* une réduction de la variation de NEC négative) sur la deuxième décennie d'étude.

Tableau 1: Les enregistrements disponibles pour l'étude

	Enregistrements disponibles	Période d'enregistrement	Utilisation dans l'étude
Calendrier de pâturage	numéro de parc surface effectif animaux date d'entrée / sortie Cause de sortie	1996-2015	Calcul du niveau de valorisation annuel (jb/ha/an)
Relevés de végétation	Numéro de parc/faciès Position Type de milieu Saison d'affectation Recouvrements de végétation*	Campagne 1996 Campagne 2006 Campagne 2014/16	Evolution des recouvrements entre : l'état initial la fin du pâturage complet la fin du pâturage prudent
Notes d'état corporel (NEC)	<u>Brebis en gestation</u> : NEC Fin Lutte NEC Mise-Bas -6/8 semaines <u>Brebis en entretien post-sevrage</u> : NEC Sevrage (n-1) NEC Début Lutte	2001 - 2015	Calcul de la variation de NEC entre le début et la fin de séquence physiologique sur parcours
Données météo	<u>Station de Carmejane</u> : Précipitations journalières Températures min, max journalières <u>Station de Saint Auban</u> : ETP journalière	1996-2016	Estimation de l'ETR cumulée du printemps Températures moyennes mensuelles du printemps

* arbres, ligneux hauts, ligneux bas, herbacées, aphyllante de Montpellier, grandes graminées, petites graminées, légumineuses, diverses

Tableau 2 : Saison d'affectation des parcs étudiés

Parc	Saison d'utilisation	Regroupement pour l'étude*
2	Fin de printemps	Fin de printemps / Eté / Automne (P/E/A)
3	Printemps / Eté / Automne	
5	Automne	
7	Eté	
9	Eté / Automne / Hiver	Hiver
10	Hiver	
13		
16		

* La distinction P/E/A et hiver tient sa pertinence au fait que le report sur pied d'été / automne est théoriquement de meilleure qualité qu'en hiver

III. Méthodologie

1. Des données accumulées depuis 1996

Depuis 1996, vingt années d'enregistrement ont permis d'accumuler des données sur le suivi du pâturage, de la végétation des parcours, et des états corporels des brebis lors des séquences pastorales. Le tableau 1 ci-contre synthétise les enregistrements disponibles et leur utilisation dans cette étude.

Dans ce chapitre, je présente les méthodes mobilisées⁴ pour tester chacune des hypothèses de travail formulées précédemment. Par ordre d'apparition :

- ❖ Le protocole de pâturage des parcours
- ❖ L'analyse de la végétation
- ❖ L'analyse climatique
- ❖ L'analyse de l'état corporel des brebis

2. Le protocole expérimental de pâturage des parcours

L'objectif de l'expérimentation menée sur les parcours est de comparer deux modes de pâturage d'intensité différente.

La conduite du pâturage Le pâturage dans les parcours de Carmejane s'effectue en parcs clôturés. Chaque parc est affecté à une saison d'utilisation majoritaire (cf. tableau 2), pour une unique utilisation annuelle.

Le pilotage Les règles de pilotage du pâturage sont basées sur l'observation de l'état de la végétation lors de la sortie des animaux, dans un secteur bien précis : le secteur-pilote. Le secteur pilote correspond à une zone de pâturage homogène dont la végétation est caractéristique de la ressource du parc que l'on cherche à valoriser (Demarquet *et al.*, 2007). La sortie des animaux est décidée sur l'observation de critères bien précis en fonction des objectifs fixés. Entre 1999 et 2006, un pâturage complet de l'herbe a été expérimenté. Le critère de sortie de parc du pâturage complet est un prélèvement de l'herbe à un taux de 90% (raclage) dans le secteur-pilote. Entre 2007 et 2016, les critères de sortie de parc ont été modifiés en raison d'un passage à un pâturage plus « prudent ». La décision de sortie des animaux s'effectue désormais sur des hauteurs de deux herbacées dominantes, l'aphyllante de Montpellier et le brachypode penné. Un niveau de prélèvement du genêt cendré est également observé. Les valeurs seuils pour chaque critère sont les suivantes :

Tableau 3 : Critères de sortie de parc sur les herbacées et les arbustes

Brachypode		Aphyllante		Genêt cendré
Haut de parc	Milieu de parc	Haut de parc	Milieu de parc	Niveau de prélèvement < 1/3 du recouvrement
10 cm	15 cm	6 cm	12 cm	
25% de refus	50% de refus	15% de refus	30% de refus	

⁴ L'analyse des niveaux de valorisation annuels n'ont pas fait l'objet d'analyses nécessitant la présentation d'une méthode d'étude. Ils n'apparaissent donc pas dans ce chapitre.

Tableau 4: Principaux milieux et leurs espèces dominantes rencontrées sur les parcours de Carmejane

Landes à aphyllante	
Strate arbustive	<i>Genista cinerea</i> , <i>Juniperus communis</i> , <i>Amelanchier ovalis</i> , <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Dorycnium pentaphyllum</i>
Strate herbacée	<i>Aphyllanthes monspeliensis</i> , <i>Bromus erectus</i> , <i>Brachypodium pinnatum</i> , <i>Festuca ovina</i> , <i>Carex humilis</i> , <i>Carex halleriana</i> , <i>Lotus corniculatus</i> , <i>Coronilla minima</i> , herbacées diverses



Chênaies pubescentes	
Strate arborée Recouvrement : 36% ± 9	<i>Quercus pubescens</i>
Strate arbustive	<u>Zone sèche</u> : <i>Juniperus communis</i> , <i>Amelanchier ovalis</i> , <i>Genista cinerea</i> , <i>Rosa canina</i> <u>Zone fraîche</u> : <i>Cytisus sessilifolius</i> , <i>Cornus sanguinea</i>
Strate herbacée	<i>Brachypodium pinnatum</i> , <i>Bromus erectus</i> , <i>Festuca ovina</i> , <i>Carex humilis</i>



Reboisements à Pins noirs	
Strate arborée Recouvrement : 52% ± 12	<i>Pinus nigra</i>
Strate arbustive	<i>Genista cinerea</i> , <i>Amelanchier ovalis</i>
Strate herbacée	<i>Brachypodium pinnatum</i> , herbacées diverses



3. *Suivi de la végétation*

3.1. Protocole d'inventaire

Echantillonnage Le suivi de la végétation a été réalisé dans 8 parcs représentant environ le tiers de la surface pastorale de Carmejane. L'unité de relevé est le faciès, un secteur homogène d'un point de vue de la végétation et du relief. Chaque parc est divisé en un certain nombre de faciès (variable en fonction de la taille du parc). Au total, 90 faciès ont été inventoriés. La végétation d'un faciès est fractionnée en quatre strates : herbacée, arbustive basse (majorité de feuilles à une hauteur inférieure à 80 cm) ; strate arbustive haute (hauteur comprise entre 80 cm et 2 m). La strate arborée n'a été caractérisée qu'à l'état initial (1996). Le détail concernant la caractérisation des faciès est disponible en annexe 4.

Protocole La méthode suivie sur le terrain est la suivante :

1. Pré-zonage des faciès sur la base de photographies aériennes infrarouges
2. Balayage du faciès dans son ensemble
3. Description des strates par une estimation visuelle du recouvrement moyen observé sur l'ensemble du faciès
4. Relevé des espèces constitutives de chaque strate et estimation des recouvrements individuels

Mesures effectuées Les données recueillies sont donc : le recouvrement moyen de la strate, sa composition spécifique et le recouvrement de chaque espèce estimé selon l'échelle :

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• 0 : absente• r : rare• + : recouvrement inférieur à 5%• Classes de recouvrement : 5% – 10% – 15% – 20% (...) |
|---|

Le recouvrement de l'espèce est une estimation de la surface foliaire pour les ligneux ; et de la plante entière pour les herbacées. Il s'agit ainsi d'une estimation de la ressource fourragère et non d'un recouvrement de la végétation au sens écologique. Les espèces dominantes pour chacun des types de milieux rencontrés sur les parcours de Carmejane sont répertoriées dans le tableau 4. La fiche de terrain employée pour les inventaires est disponible en annexe 5.

Dans la strate herbacée, les groupes botaniques étudiés ne correspondent pas forcément à la typologie employée par les botanistes. Il s'agit de groupes « fonctionnels » qui ont du sens d'un point de vue pastoral. On distingue ainsi les grandes graminées (brachypode penné, brome érigé), les petites graminées (fétuque ovine, carex divers), l'aphyllante de Montpellier (qui, au vu de sa dominance, est considérée comme un groupe), les légumineuses (lotier, coronille, astragale, sainfoin...) et les diverses (regroupant des espèces de toutes familles).

Répétitions Trois inventaire au cours des deux dernières décennies ont été réalisés : une caractérisation initiale des faciès de végétation en 1996 ; une campagne de relevés de clôture de dix années de pâturage complet en 2006 ; une campagne de clôture de dix années de pâturage prudent en 2014/2016. Pour cette dernière campagne, l'inventaire s'est étalé sur deux ans : 45 faciès inventoriés en 2014, l'autre moitié en 2016, au cours de mon stage.

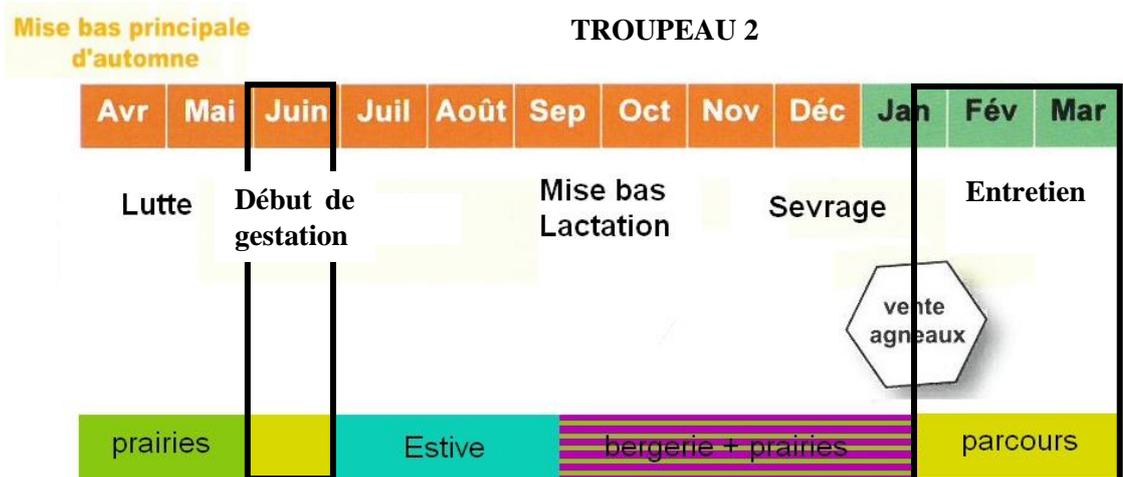
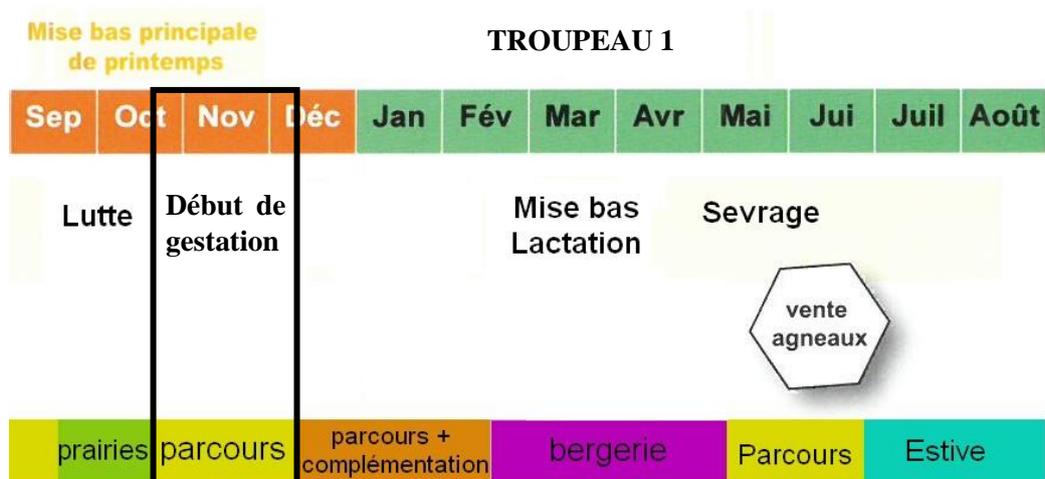


Figure 22 : Schéma de conduite des deux troupeaux intégrant les séquences pastorales étudiées (encadrés noirs)

Les trois campagnes de relevés ont été réalisées par la même personne, mais accompagnée par des observateurs différents. Le biais lié à l'observateur est donc limité dans l'étude.

3.2. Analyse des données

Suite à la construction de la base de données, une analyse descriptive approfondie a été réalisée à partir de représentations graphiques. Trois variables-réponse ont ensuite été retenues pour conduire une analyse statistique. Il s'agit du recouvrement de chaque strate :

- ❖ La strate herbacée
- ❖ La strate ligneuse basse / très accessible (hauteur < 80 cm)
- ❖ La strate ligneuse haute / peu accessible ($80 < h < 200$ cm)

Le logiciel R et le package nlme ont permis d'utiliser la méthode des modèles linéaires à effets mixtes pour analyser la relation entre la variable réponse, le recouvrement de végétation (herbacées / ligneux bas / ligneux hauts), et la conduite du pâturage matérialisée par trois campagnes de relevés (1996 ; 2006 ; 2016).

Dans le modèle, plusieurs facteurs à effets fixes ont été testés. Le facteur étudié est la conduite du pâturage (état initial : 1996, pâturage complet : 2006, pâturage prudent : 2016). Les facteurs contrôlés sont le type de milieu (boisement de résineux, de feuillus, landes), la position du faciès dans le parc (haut, milieu, bas), la saison d'utilisation du parc (hiver, printemps/été/automne). Deux facteurs à effets aléatoires « nichés » ont été testés pour tenir compte de la variabilité inter-parc et inter-faciès (le faciès étant niché dans un parc). Un premier modèle complet a été réalisé avec tous les effets fixes. La sélection du modèle s'est opérée à travers le critère d'information d'Akaike (AIC) qui a permis d'éliminer les facteurs non significatifs. Le modèle retenu (un par variable-réponse) est par conséquent un modèle simplifié qui ne prend en compte que les effets et les interactions de facteurs significatifs. Le détail de la démarche statistique suivie est disponible en annexe 6 pour chacune des variables-réponse étudiées.

4. *Suivi de l'Etat Corporel des brebis sur parcours*

4.1. La notation de l'état corporel des brebis

Protocole L'appréciation des réserves corporelles des brebis se fait par la méthode de palpation dans la zone lombaire. Une grille de notation propose l'attribution de notes (NEC) allant de 0 à 5, avec une précision au quart de point (cf. annexe 7). A Carnejane, les deux troupeaux sont notés au début et à la fin de chaque stade physiologique.

Echantillonnage Seules les séquences physiologiques correspondant à des périodes de pâturage sur parcours ont été étudiées (cf. figure 22). Autrement dit, des périodes où les brebis sont « à l'entretien » et ont de faibles besoins. Ainsi, pour le troupeau T1 (agnelage de fin d'hiver), je me suis intéressée à la séquence de début de gestation (1,5 mois) qui a lieu en automne. La NEC de « Fin de Lutte » constitue la borne de début de séquence, et la NEC « 6-8 semaines avant la mise-bas » constitue la borne de fin.

Pour le troupeau T2, j'ai étudié deux séquences physiologiques : la phase de début de gestation sur parcours de fin de printemps (bornes identiques, sur 1 mois), et la phase d'entretien (suite au sevrage des agneaux) sur parcours d'hiver (2,5 mois). Pour cette dernière phase, les

bornes de la séquence pastorale sont la NEC réalisée au sevrage (année n-1) et la NEC de Début de Lutte (année n). Les brebis sont identifiées individuellement, et différenciées par classe d'âge⁵ : les jeunes brebis (< 2 ans), les adultes (3-6 ans), les vieilles brebis (7 ans ou plus). Seules les brebis ayant eu une performance de mise-bas ont été analysées (en cause, l'accès aux données). Au total, la base de données est constituée de 6694 individus (identifiant brebis).

Répétitions 15 années de suivi de la NEC ont été étudiées pour cette étude : de 2001 à 2015. Elles se superposent ainsi pratiquement à l'expérimentation sur le pâturage des parcours.

4.2. Analyse des données

Suite à la construction de la base de données, une analyse descriptive approfondie a été réalisée à partir de représentations graphiques et de calcul de fréquences. L'analyse statistique a porté sur la variable-réponse « variation de NEC » : différence entre la borne de début et de fin de séquence sur parcours.

Le logiciel R et le package lme4 ont permis d'utiliser la méthode des modèles linéaires à effets mixtes pour analyser la relation entre la variable réponse, la variation de NEC, et la conduite du pâturage matérialisée par deux modalités (pâturage complet, pâturage prudent) qui regroupent respectivement les années 2001 à 2006 et les années 2007 à 2015.

Dans le modèle, plusieurs facteurs à effets fixes ont été testés. Le facteur étudié est la conduite du pâturage. Les effets contrôlés sont : le troupeau x stade physiologique x saison (T1 gestation d'automne, T2 gestation de fin de printemps, T2 entretien d'hiver), la classe d'âge (jeune, adulte, vieille brebis), la NEC de début de séquence (covariable). Des effets aléatoires croisés ont été testés pour tenir compte de la variabilité interindividuelle (identifiant brebis) et interannuelle (année). Le détail de la démarche statistique est disponible en annexe 8.

5. *Etude climatique de la période d'étude*

L'analyse climatique a pour objet de caractériser les années de la période d'étude : 1996 – 2016, dans le but d'apporter des éléments de réponse complémentaires à l'évolution de la végétation. Les éléments du climat qui influencent majoritairement la production végétale ont été présentés précédemment (pousse de printemps, précipitations, températures). J'ai ainsi fait le choix de travailler à partir d'un indicateur synthétique qui traduit les conditions de température et d'humidité du printemps, sur un territoire précis : l'évapotranspiration réelle. De plus, cet indicateur est très corrélé à la production de phytomasse herbacée, et cette relation linéaire a déjà été modélisée sur les parcours de Carmejane.

5.1. Sources de données

Une station météo est en place à Carmejane depuis plus de vingt ans, permettant l'accès aux données de températures et de précipitations journalières depuis 1996. L'étude a également nécessité des données d'évapotranspiration potentielle (ETP). Ces données m'ont été communiquées par Météo France, pour la station de Château-Arnoux Saint-Auban (située à une vingtaine de kilomètres).

⁵ L'âge de l'année considérée est calculé à partir de la date de la mise-bas

5.2. Estimation de l'évapotranspiration réelle

L'évapotranspiration est la quantité totale d'eau qui s'évapore du sol et des plantes. Lorsque la disponibilité en eau n'est pas limitative, ce flux tend vers une limite que l'on nomme évapotranspiration potentielle (ETP). Mais lorsque le sol est à son taux d'humidité naturel, on parle d'évapotranspiration réelle (ETR). Si l'ETP n'est liée qu'aux conditions climatiques d'une saison donnée, L'ETR est en plus affectée à un lieu précis. L'estimation de l'ETR fait donc nécessairement intervenir les caractéristiques du sol de la zone étudiée. Pour réaliser cette estimation, je me suis basée sur la méthode proposée par l'Université Virtuelle Environnement et Développement Durable (UVED). La démarche que j'ai suivie est la suivante :

1. Estimation de la Réserve Utile (RU) des sols des parcours via les équations de régression linéaire de Rawls
2. Calcul de l'ETR décadaire entre mars et juin sur la période 1996-2016

Si $RU + P > ETP$; alors $ETR = ETP$ Si $RU + P < ETP$; alors $ETR = RU + P$

avec : P : précipitations décadaires

L'estimation de la RU des sols des parcours de Carmejane a fait l'objet de plusieurs hypothèses (sur les caractéristiques des sols) qui sont détaillées en annexe 9. De la même manière, le calcul de l'ETR décadaire a fait l'objet d'une hypothèse de départ qui est discutable : la réserve du sol du début de l'année (première décade de janvier) a été initialisée sur la valeur de la RU. Or ceci suppose que les sols soient saturés au 1er janvier de chacune des années étudiées, ce qui n'est pas forcément vérifié. Le détail de la démarche est disponible en annexe 10. En plus de ces approximations, l'indicateur ETR possède une limite : il ne prend pas bien en compte le phénomène d'orage, qui entraîne davantage de ruissellement que de remplissage de la RU. Ainsi, les résultats de l'analyse climatique qui vont suivre doivent être pris avec précaution. Il est possible de se fier aux tendances présentées, mais en aucun cas aux valeurs exactes.

5.3. Tests de comparaison de moyennes

Un test de comparaison de moyennes pour variables non paramétriques (test de Kruskal-Wallis) a été appliqué pour déterminer si la température et l'ETR moyens de la première période (1996-2006) sont significativement différents de ceux de la deuxième période (2007-2016), au seuil de 5%.

5.4. Analyse descriptive : ACP et classification

Afin d'établir une typologie des printemps de la période 1996-2016, j'ai effectué une analyse factorielle à partir des variables de températures et d'ETR cumulées du printemps (moyennes entre mars et juin). Ainsi, 21 individus (années) ont été projetés sur un cercle des corrélations à deux axes principaux (formés par les variables climatiques). L'objectif de cette analyse a été de déterminer quel(s) paramètre(s) principal(aux) caractérisent le plus chaque année. Suite à cette ACP, une classification ascendante hiérarchique a été appliquée pour différencier les années entre elles et ainsi former des groupes d'affinité.

6. Synthèse de la démarche méthodologique

Travaux précédents

ETUDE DE LA RESSOURCE PASTORALE ESCALLIER (1995), ROMAGNY (2006), SOLER (2009)	STRATEGIES DE PATURAGE DES PARCOURS BIGNON (2007), SOLER (2009)	ETUDE DE L'ETAT CORPOREL DES BREBIS ZOUKEKANG (2007), DE LAAGE (2012), MARMUSE (2014)
--	---	---

Problématique

20 ANS DE PILOTAGE DU PATURAGE SUR PARCOURS :		
EVOLUTION DE LA VEGETATION ?	EVOLUTION DU NIVEAU DE VALORISATION DES PARCS ?	EVOLUTION DES ETATS CORPORELS DES BREBIS ?

Recherche bibliographique

REPONSES DES PLANTES A PLUSIEURS ECHELLES AU PATURAGE ET SES MODALITES	EFFETS DU CLIMAT SUR LA RESSOURCE : TROUVER UN INDICATEUR SYNTHETIQUE	FACTEURS D'INFLUENCE DE LA VARIATION D'ETAT CORPOREL DES BREBIS
--	---	---



SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Suivi de la végétation

8 PARCS, 45 FACIES A INVENTORIER EN 2016

Construction des bases de données

BASE « VEGETATION »	BASE « Jb/ha »	BASE « NEC »	BASE « METEO »
---------------------	----------------	--------------	----------------

Analyses statistiques

ANALYSES DESCRIPTIVES MODELES LINEAIRES A EFFETS MIXTES
--

Résultats



EXPLIQUER L'EVOLUTION DE LA VEGETATION DES PARCOURS	EVALUER LES OBJECTIFS DE GESTION DU PATURAGE	PROPOSER DES PISTES DE GESTION DES PARCOURS
---	--	---

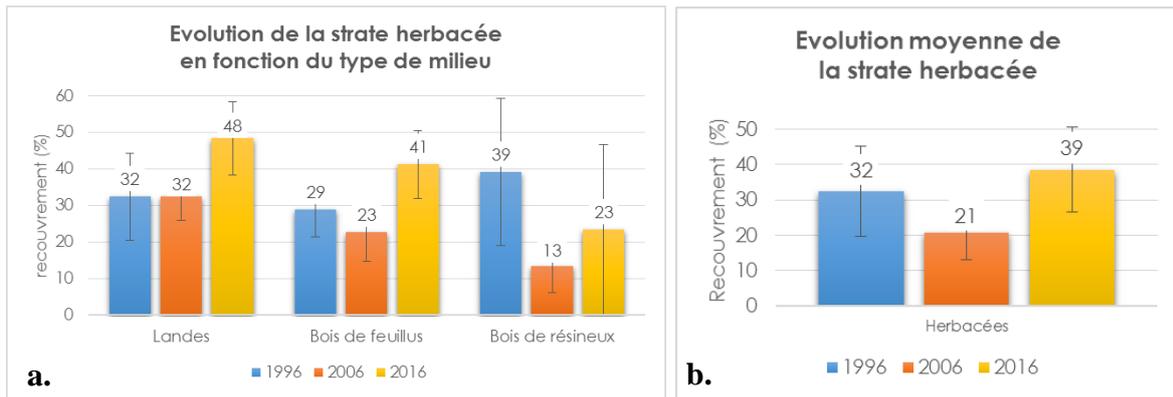
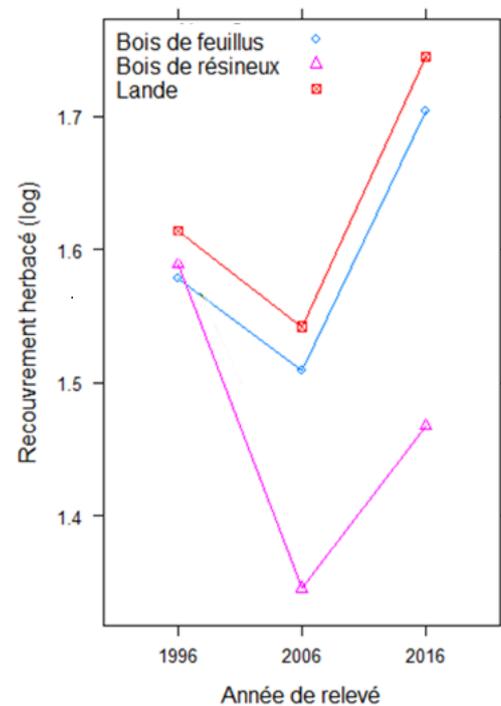


Figure 23: Evolution de la strate herbacée (données brutes)

Tableau 5 : Résultats du modèle statistique sur la strate herbacée

Test de Fisher	ddl	F-value	p-value
Année	2	77,92	<0,0001 ***
Type de milieu	3	1,377	0,71
Année x type de milieu	6	63,95	<0,0001 ***

	Test de Student	Estimate	ddl	t-ratio	p-value
Effet seul "année"	1996-2006	-8,60	162	8,43	<0,0001 ***
	2006-2016	-9,31	162	-8,94	<0,0001 ***
	1996-2016	-9,04	162	-0,92	0,626
Bois de feuillus	1996-2006	-8,83	162	3,17	0,005 **
	2006-2016	-9,36	162	-8,73	<0,0001 ***
	1996-2016	-9,25	162	-5,62	<0,0001 ***
Bois de résineux	1996-2006	-8,25	162	8,27	<0,0001 ***
	2006-2016	-9,24	162	-4,3	0,0001 ***
	1996-2016	-8,68	162	4,12	0,0002 ***
Landes	1996-2006	-8,82	162	3,4	0,0024 **
	2006-2016	-9,37	162	-9,07	<0,0001 ***
	1996-2016	-9,26	162	-5,85	<0,0001 ***



Représentation graphique des lsmeans prédites par le modèle statistique (échelle logarithmique)

IV. Résultats

1. Suivi de la végétation

J'ai organisé la présentation des résultats du suivi de la végétation des parcours de Carmejane par strate de végétation. Je commence par décrire les résultats de l'analyse statistique sur la strate herbacée, puis celle de la strate ligneuse basse ($h < 80$ cm), et pour finir celle de la strate ligneuse peu accessible ($80 \text{ cm} < h < 200$ cm). Les résultats des tests statistiques sont complétés par une analyse descriptive des groupes d'espèces constituant les strates.

1.1. Evolution de la strate herbacée

D'après le test de Fisher réalisé sur le modèle sélectionné (cf. annexe 6), le mode de pâturage a un effet très significatif sur la strate herbacée lorsqu'il est en interaction avec le type de milieu et indépendamment du reste (cf. tableau 5). Le type de milieu « seul » n'a pas d'influence significative. Les autres facteurs de contrôle (saison d'utilisation, position du faciès dans le parc) n'influencent pas le recouvrement herbacé au sens statistique.

La réalisation d'un test de Student a permis de mettre en évidence les interactions significatives entre le mode de pâturage et les trois milieux présents dans les parcs étudiés : les landes, les bois de chênes, les reboisements de pins noirs. Dans les landes et les bois de feuillus, le pâturage complet a stabilisé le recouvrement herbacé (cf. figure 23a). Dans les plantations de résineux, une baisse de recouvrement très significative est observée (de $39 \pm 20\%$ à $13 \pm 7\%$)⁶. Après dix ans de pâturage prudent, une reprise du développement herbacé est observée dans les trois types de milieux. Les landes, les bois de feuillus et de résineux gagnent respectivement 16, 18 et 10 points de recouvrement par rapport à 2006. Le bilan après vingt ans est très positif pour les landes (+ 16 points entre 1996 et 2016) et les bois de feuillus (+12 points). Dans les plantations de résineux, le recouvrement de la strate en 2016 reste bien inférieur au recouvrement initial (- 16 points).

Lorsque ce facteur de contrôle est corrigé, le recouvrement herbacé varie significativement en fonction de l'année de relevé. Il a globalement diminué après dix ans de pâturage complet (de $32 \pm 13\%$ à $21 \pm 8\%$) et augmenté après le pâturage prudent (de $21 \pm 8\%$ à $39 \pm 12\%$) pour retrouver un recouvrement équivalent à son état initial (cf. figure 23b).

⁶ Les valeurs données entre parenthèse correspondent aux valeurs brutes (cf. histogrammes) et non aux valeurs estimées par le modèle statistique (cf. tableau des résultats des tests). Ceci est valable pour l'ensemble des résultats présentés dans l'étude.

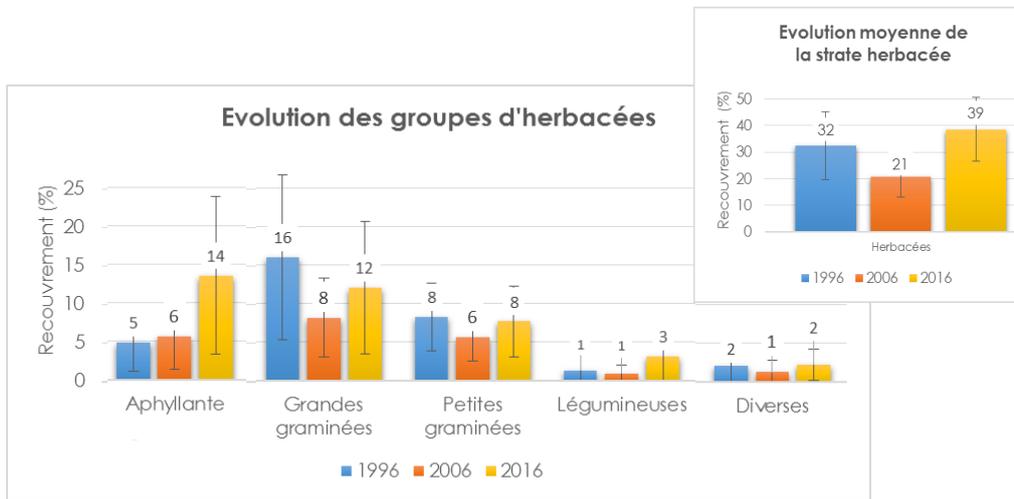


Figure 24 : Evolution des espèces herbacées sur les 20 ans d'étude

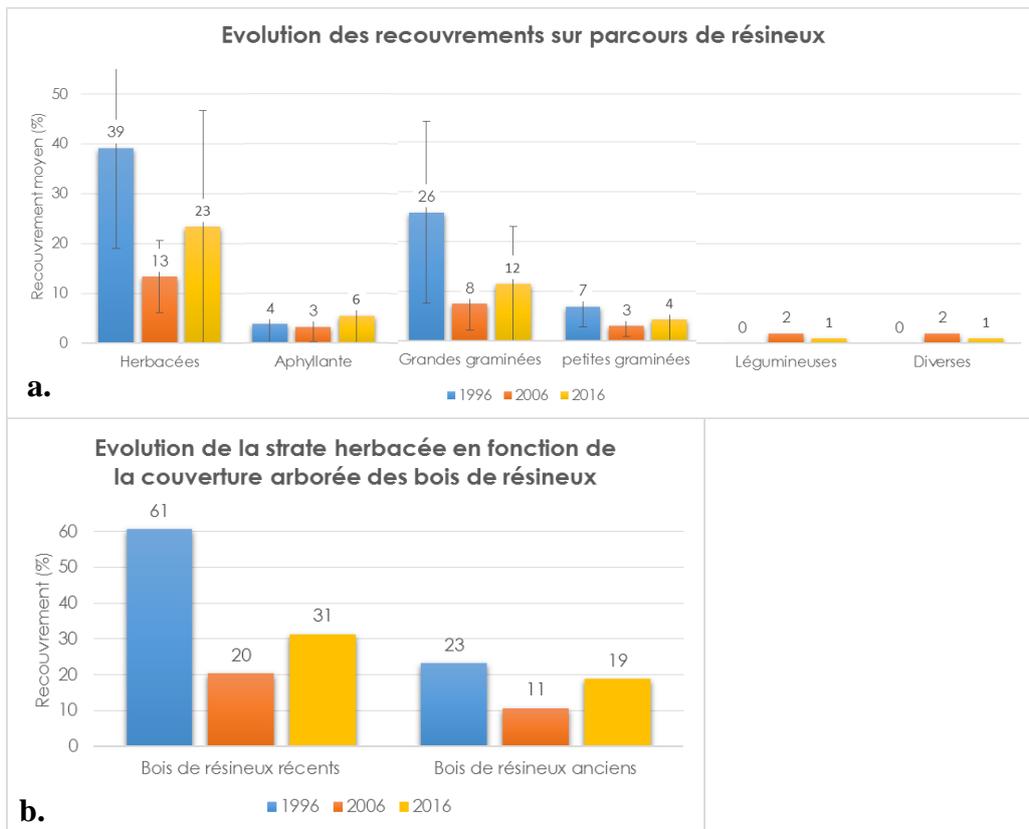


Figure 25 : Evolution des herbacées dans les boisements de résineux (cf. annexe 11a pour les autres milieux)

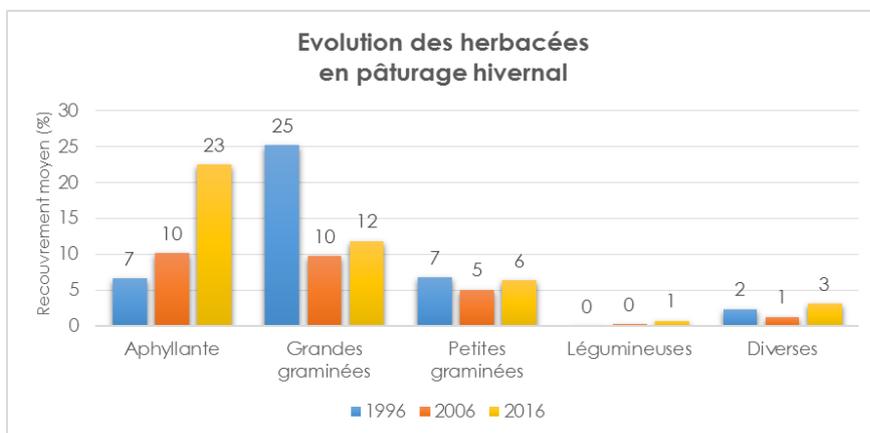


Figure 26 : Evolution des herbacées en pâturage hivernal (cf. annexe 11b pour les autres saisons)

Etude descriptive complémentaire de la strate herbacée

Les tests statistiques ont confirmé un effet significatif du mode de pâturage sur la strate herbacée. Je propose d'aller plus loin en détaillant les évolutions de chaque groupe d'espèces constituant la strate. Les résultats présentés ci-après n'ont pas fait l'objet de tests statistiques.

Les grandes graminées (Brome érigé, Brachypode penné), les petites graminées (Fétuque ovine, Carex de Haller, Carex humble) et l'aphyllante de Montpellier sont les groupes botaniques qui contribuent le plus à la ressource herbacée. Ce sont ces groupes d'espèces qui expliquent majoritairement les variations de recouvrement de la strate herbacée (cf. figure 24). La dynamique d'évolution des légumineuses et des espèces diverses est de très faible amplitude par rapport aux autres groupes. Entre 1996 et 2006, les légumineuses conservent un recouvrement moyen de $1 \pm 2\%$. Suite au pâturage prudent, le recouvrement moyen a triplé. Toutefois, cette moyenne cache une forte variabilité en fonction des faciès ($3 \pm 3\%$). Les espèces diverses semblent maintenir un recouvrement stable sur les vingt ans. Ainsi, aucune dérive de végétation (surdéveloppement d'espèces par rapport à d'autres) n'est à déplorer suite à l'abaissement de la pression de pâturage ; si ce n'est un gain net de recouvrement en aphyllante par rapport à l'état initial.

En fonction du type de milieu, certaines espèces semblent réagir différemment suite au pâturage complet : l'aphyllante reste stable quel que soit le milieu ; les grandes graminées restent stables dans les landes, et diminuent dans les milieux boisés (cf. figure 25a et annexe 11a). Plus particulièrement, les grandes graminées diminuent majoritairement dans les boisements les plus récents, ceux plantés dans les années 70 (cf. figure 25b). Il s'agit du milieu où elles sont également les plus abondantes initialement. La reprise du développement herbacé dans les landes suite au pâturage prudent ne s'observe que chez l'aphyllante et les légumineuses. Les graminées repartent à la hausse uniquement dans les bois.

En tenant compte de la saison d'utilisation, l'évolution des espèces sur les vingt ans ne semble pas montrer de tendances particulières (cf. figure 26 et annexe 11b). La perte de recouvrement des grandes graminées dans les parcs d'hiver (- 15 points) entre 1996 et 2006 n'est pas attribuable au pâturage hivernal, mais au pâturage dans les boisements de résineux plantés dans les années 70. Sur cette même période, l'aphyllante se maintient dans les parcs de fin de printemps / été / automne, mais semble augmenter dans les parcs d'hiver. L'analyse du parc spécialisé de plein printemps (P 2) met en évidence un développement de l'aphyllante dans ce parc qui en était initialement dépourvu.

L'influence du dénivelé sur la strate herbacée n'est pas mise en évidence dans l'étude.

En résumé : la baisse générale du recouvrement herbacé observée en 2006 est principalement liée à celle des grandes graminées dans les boisements. Le développement des autres espèces (dominées par l'aphyllante) semble avoir été « stoppé ». La reprise de développement observée en 2016 est principalement liée à celle de l'aphyllante dans les landes et les bois de feuillus, et dans une moindre mesure à celle des grandes graminées (uniquement dans les boisements) et des légumineuses (uniquement dans les landes).

Tableau 6 : Résultats du modèle statistique sur la strate ligneuse basse

Test de Fisher	ddl	F-value	p-value
Année	2	66,33	<0,0001 ***
Type de milieu	3	34,04	<0,0001 ***
Position	3	4,45	0,21
Année x type de milieu	6	3,71	0,71
Année x saison	2	65,9	<0,0001 ***
Année x position	6	14,01	0,029 *

	Test de Student	Estimate	ddl	t-ratio	p-value
Effet seul "année"	1996-2006	-5	154	-3,30	0,003 **
	2006-2016	-8	154	-3,97	<0,0001 ***
	1996-2016	-13	154	-7,05	0,0003 ***
Effet seul "type de milieu"	feuillus - résineux	9	76	4,81	<0,0001 ***
	feuillus - landes	-4	76	-3,39	0,08
	résineux - landes	-13	76	-7,00	<0,0001 ***
Hiver	1996-2006	1	154	0,21	0,97
	2006-2016	-8	154	-2,70	0,02 *
	1996-2016	-7	154	-2,48	0,03 *
P/E/A	1996-2006	-8	154	-6,03	<0,0001 ***
	2006-2016	-9	154	-3,87	0,0005 ***
	1996-2016	-17	154	-9,53	<0,0001 ***

Haut	1996-2006	-3	154	-1,84	0,159
	2006-2016	-8	154	-3,48	0,001 **
	1996-2016	-12	154	-5,27	<0,0001 ***
Milieu	1996-2006	-5	154	-2,05	0,102
	2006-2016	-2	154	-0,64	0,794
	1996-2016	-6	154	-2,62	0,02 *
Bas	1996-2006	-8	154	-3,15	0,005 **
	2006-2016	-8	154	-2,23	0,06
	1996-2016	-16	154	-5,27	<0,0001 ***

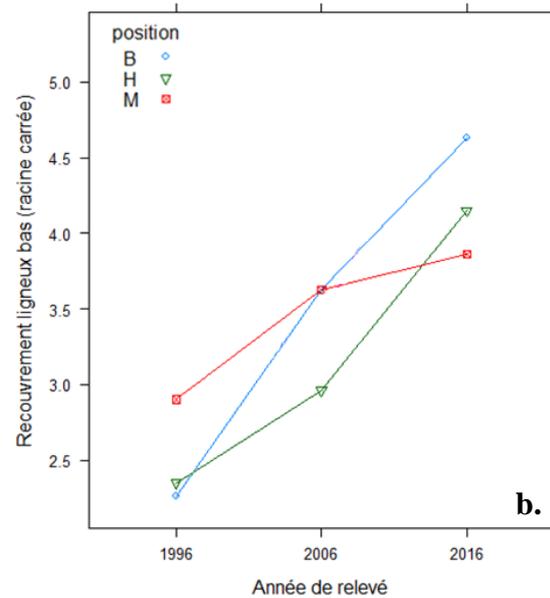
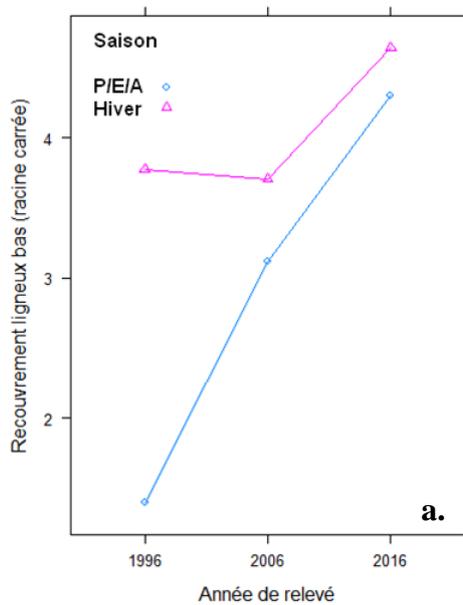


Figure 27: Représentations graphiques du modèle (lsmeans) : a. interaction mode de pâturage / saison ; b. interaction mode de pâturage / position.

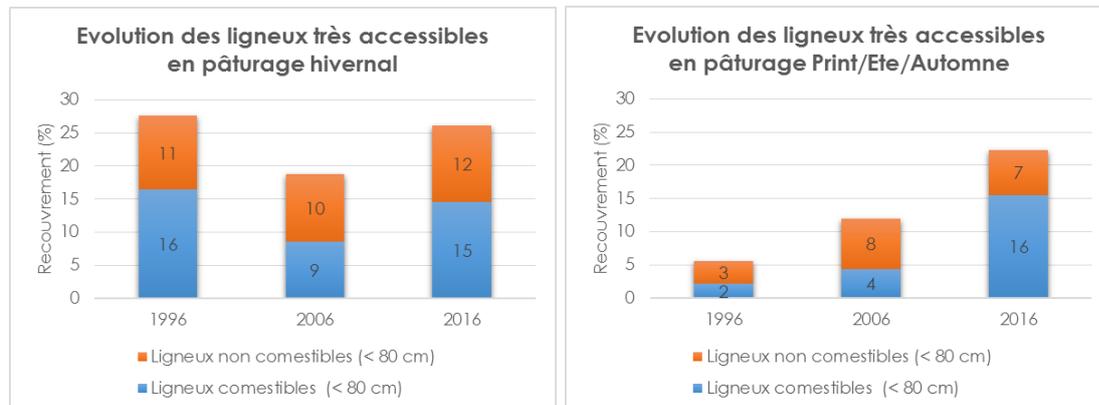


Figure 28 : Evolution des ligneux très accessibles en fonction de la saison d'utilisation (données brutes)

1.2. Evolution de la strate arbustive très accessible (h < 80 cm)

D'après le test de Fisher, le mode de pâturage a un effet très significatif sur la strate ligneuse très accessible lorsqu'il est en interaction avec la saison d'utilisation et la topographie (cf. tableau 6).

Le test de Student a permis de mettre en évidence les interactions significatives entre le mode de pâturage et la saison d'utilisation des parcs : hiver vs. fin de Printemps / Eté / Automne (P/E/A). Les parcs pâturés en hiver voient leur recouvrement baisser (mais non significativement) après dix ans de pâturage complet (cf. figure 27a). Celui-ci augmente dans les parcs de fin de printemps / été / automne. Plus précisément, ces variations sont principalement dues aux ligneux comestibles (cf. figure 28). Par exemple, le genêt cendré voit son recouvrement presque divisé par deux en 2006 dans les parcs d'hiver (non illustré). Dans les parcs de P/E/A, toutes les espèces arbustives sont concernées par la hausse de recouvrement. Suite à dix ans de pâturage prudent, une hausse de recouvrement des ligneux (essentiellement comestibles) s'observe quelle que soit la saison. Toutefois, il faut noter que le genêt continue de régresser dans les parcs d'hiver (non illustré).

Des interactions significatives ont également été mises en évidence entre le mode de pâturage et la position du faciès (haut vs. milieu vs. bas). Après dix ans de pâturage complet, le recouvrement des ligneux bas reste équivalent à son état initial dans les hauts et milieux de parcs, et augmente significativement dans les bas de parcs (cf. figure 27b). Suite à dix ans de pâturage prudent, le recouvrement augmente significativement dans les hauts de parcs. La hausse observée dans les bas de parc n'est pas significative au seuil de 5%. Dans les milieux de parcs, le recouvrement est resté stable.

Lorsque les facteurs de contrôle sont corrigés, le mode de pâturage reste un facteur significatif de l'évolution de la strate (cf. tableau 6). Cependant, l'évolution globale de la strate suite au pâturage complet cache de fortes disparités décrites précédemment. Le pâturage prudent a par contre largement favorisé une reprise à la hausse, ce dans tous les parcs. En vingt ans, il faut noter un gain net de recouvrement des ligneux bas par rapport à l'état initial.

Enfin, le recouvrement arbustif bas varie également en fonction du type de milieu, ce indépendamment du reste (cf. tableau 6). Le recouvrement reste équivalent dans les landes et les bois de feuillus. Par contre, le recouvrement de la strate arbustive basse est clairement plus faible dans les bois de résineux (par rapport aux deux autres milieux).

En résumé : De manière générale, la ressource ligneuse basse est plus développée dans les landes et les bois de feuillus. Le pâturage complet limite le développement arbustif bas, alors que le pâturage prudent le favorise (sans toutefois pouvoir parler d'embroussaillage). Plus précisément, le pâturage complet n'impacte la ressource que dans les parcs d'hiver (espèces comestibles en particulier). Dans les parcs P/E/A, les ligneux se développent.

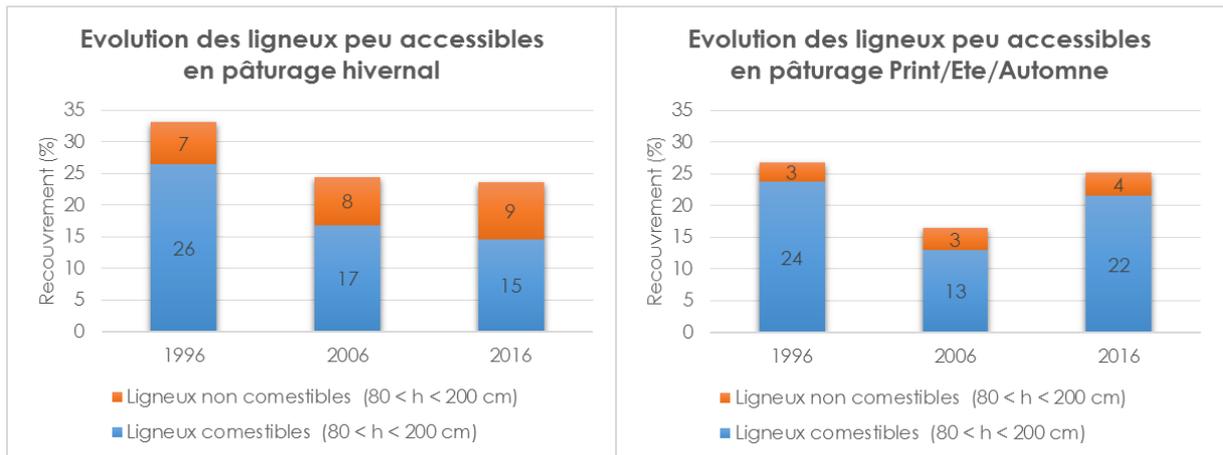
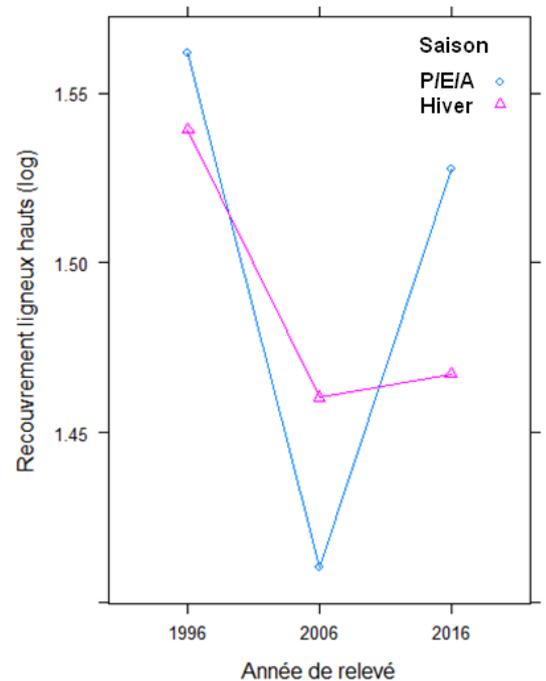


Figure 29 : Evolution des ligneux peu accessibles en fonction de la saison d'utilisation (données brutes)

Tableau 7 : Résultats des tests statistiques sur la strate ligneuse haute

Test de Fisher	ddl	F-value	p-value
Année	2	51,5	<0,0001 ***
Saison	1	0,11	0,73
Année x saison	2	10,64	0,004 **

	Test de Student	Estimate	ddl	t-ratio	p-value
Effet seul "année"	1996-2006	-8,71	166	6,8	<0,0001 ***
	2006-2016	-9,13	166	-3,58	0,001 **
	1996-2016	-8,88	166	3,02	0,008 **
Hiver	1996-2006	-8,83	166	3,06	0,007 **
	2006-2016	-9,00	166	-0,26	0,96
	1996-2016	-8,83	166	2,69	0,02 *
P/E/A	1996-2006	-8,59	166	6,86	<0,0001 ***
	2006-2016	-9,22	166	-5,16	<0,0001 ***
	1996-2016	-8,93	166	1,5	0,29



Représentation graphique des lsmeans prédites par le modèle statistique (échelle logarithmique)

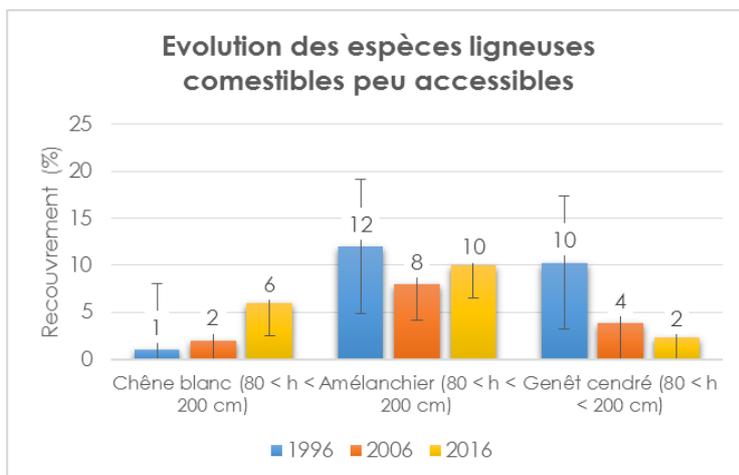


Figure 30 : Evolution des recouvrements moyens des trois espèces ligneuses dominantes

1.3. Evolution de la strate arbustive peu accessible ($80 < h < 200$ cm)

D'après le test de Fisher, le mode de pâturage a un effet significatif sur la strate ligneuse peu accessible lorsqu'il est en interaction avec la saison d'utilisation (cf. tableau 7). Corrigé des facteurs de contrôle, le mode de pâturage reste un facteur très significatif du recouvrement arbustif haut. Le type de milieu et la position du faciès ne sont pas des facteurs qui modulent l'impact du mode de pâturage.

Le test de Student a permis de mettre en évidence des interactions significatives entre le mode de pâturage et la saison d'utilisation des parcs. Après dix ans de pâturage complet, le recouvrement de la strate ligneuse haute a baissé significativement, ce quelle que soit la saison d'utilisation du parc. Plus précisément, cette diminution est attribuable aux espèces comestibles (cf. figure 29). La broussaille non comestible est restée stable sur les vingt ans d'études et ce dans tous les parcs. Après dix ans de pâturage prudent, le recouvrement augmente de manière très significative dans les parcs de fin de printemps / été / automne. Par contre, il reste équivalent à son niveau de 2006 dans les parcs d'hiver.

Lorsque les facteurs de contrôle sont corrigés, le mode de pâturage reste un facteur significatif du recouvrement arbustif haut. Après dix ans de pâturage complet, la strate a beaucoup régressé (de $29 \pm 13\%$ à $19 \pm 9\%$). Au contraire, le pâturage prudent a favorisé une reprise à la hausse en 2016 ($25 \pm 11\%$). Cette hausse observée en 2016 ne permet pas pour autant de retrouver le recouvrement initial.

Etude descriptive complémentaire de la strate ligneuse peu accessible

Je propose d'approfondir ici le comportement des trois espèces ligneuses dominantes de la strate comprise entre 80 cm et 2 m de hauteur, sans que les tendances décrites aient fait l'objet de tests statistiques. La figure 30 présente l'évolution de l'amélanchier à feuilles ovales, du genêt cendré et du chêne blanc. Après dix ans de pâturage complet, le genêt semble être plus impacté que les autres espèces. Il perd en effet la moitié de son recouvrement initial. L'amélanchier en perd le tiers. Le recouvrement moyen du chêne sur la totalité de l'échantillon est trop faible pour établir des tendances, mais il semble au minimum se maintenir. En 2016, alors que l'amélanchier et le chêne voient leur recouvrement augmenter, celui du genêt cendré poursuit sa baisse. En vingt ans, son recouvrement a été divisé par cinq.

En résumé : De manière générale, la ressource ligneuse haute a régressé au cours de la première décennie, pour ensuite reprendre un développement significatif entre les relevés de 2006 et 2016. Plus précisément, le genêt cendré est l'espèce la plus touchée. Cette espèce fourragère d'importance ne parvient pas à se redévelopper clairement sous un pâturage prudent.

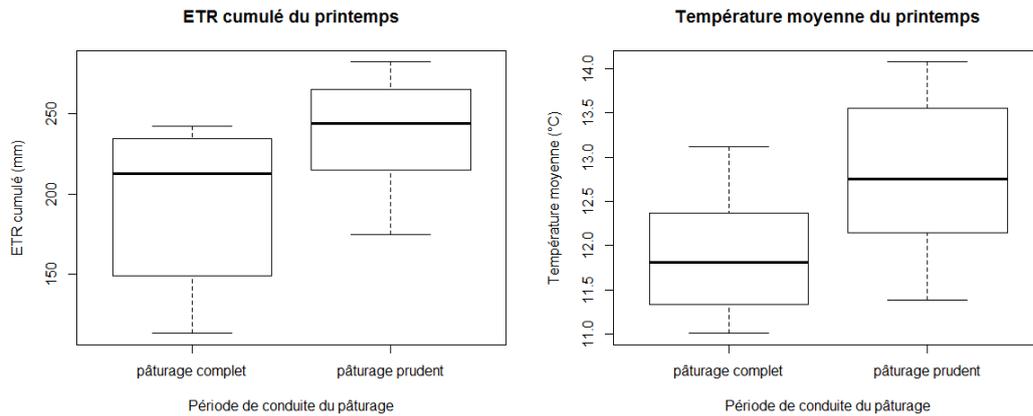


Figure 31 : Comparaison de l'ETR cumulée et de la température du printemps entre les deux périodes d'étude. Les traits pleins indiquent les médianes et non les moyennes.

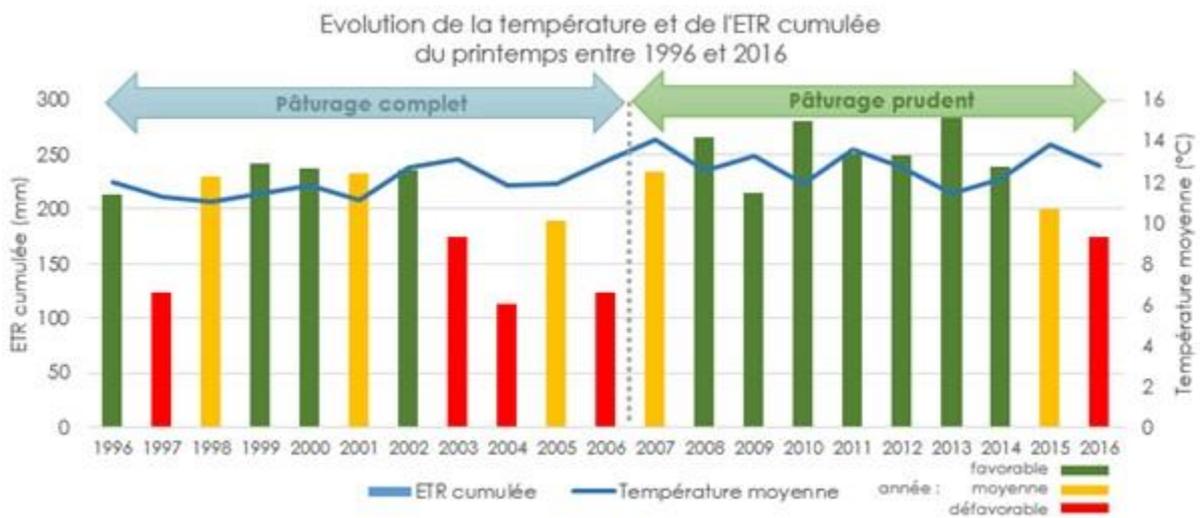


Figure 32 : Discretisation des années selon leur degré de "favorabilité" à la pousse de l'herbe

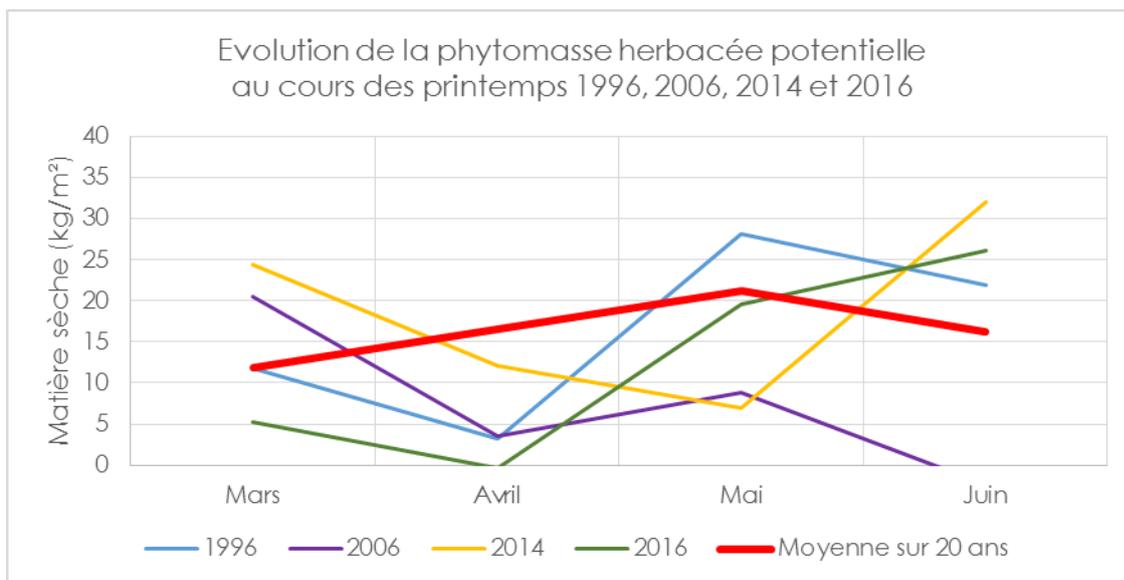


Figure 33 : Evolution de la phytomasse herbacée potentielle au cours du printemps pour chaque année de relevé

2. Profils climatiques annuels

La comparaison des températures moyennes et de l'ETR cumulée entre les deux périodes d'étude par le test de Kruskal-Wallis fait ressortir une différence significative ($p < 0,05$). En moyenne, les conditions printanières entre 2007 et 2016 sont plus chaudes ($\Delta T = + 0,9^\circ\text{C}$) et plus arrosées ($\Delta \text{ETR} = + 47 \text{ mm}$) que sur la première période (cf. figure 31).

L'ACP fait ressortir deux axes principaux qui expliquent 92,5% de l'information du modèle (cf. annexe 12). Un premier axe est caractérisé par une opposition sécheresse – humidité (variables précipitations et ETR cumulée). Le second axe est caractérisé par une opposition froid – chaud (variable température moyenne). Couplée à une classification, cette ACP a permis d'établir une typologie des années (cf. annexe 12). Il ressort cinq profils climatiques printaniers. J'ai ensuite discrétisé ces profils (classes) en trois modalités selon une échelle de favorabilité pour la pousse de la végétation (cf. figure 32). Les années appartenant aux classes 1 et 2 sont considérées défavorables, celles appartenant aux classes 3, 4 et 5 sont considérées comme favorables. La modalité « année moyenne » est formée par des années mal représentées par leur classe, car situées à la frontière d'une classe favorable et défavorable (1998, 2001, 2005 2007, 2009, 2015). Au cours de la première période de pâturage, et plus particulièrement en fin de période (2003 à 2006), les profils printaniers moyens ont tendance à être défavorables à la pousse de l'herbe. En effet, des sécheresses successives (2003 et 2004) suivies par des années moyennes ont clôturés la première période d'étude. La période 2007 – 2016 est plus homogène : sept années sur 10 sont classées favorables.

Pour illustrer avec plus de précision l'impact des conditions météorologiques des années de relevés, j'ai modélisé la phytomasse printanière « potentielle » pour chaque année de relevé, d'après l'équation linéaire établie par Escallier (1995) sur les parcours de Carmejane (cf. figure 33). En moyenne sur vingt ans, la pousse printanière potentielle atteint son pic en mai. Le printemps 1996, campagne de « l'état initial », se situe dans les normales saisonnières. La pousse de l'herbe est rendue possible à partir du mois d'avril. Au contraire, le printemps 2006 fut très sec et chaud dès le mois d'avril. La pousse potentielle de l'herbe est très réduite par rapport aux normales. Le printemps 2014 est plutôt humide mais irrégulier, avec un manque de pluie critique au plein printemps. En 2014, la pousse de l'herbe pourrait s'être concentrée sur la fin de saison. Le printemps 2016 fut sec en début de printemps, mais les précipitations du mois de mai assure une ETR dans les normales (et donc une pousse en théorie correcte).

La modélisation de la production potentielle de phytomasse herbacée (permise par le climat) sur les années de relevés permet une analyse plus fine que la classification réalisée à partir de « moyennes saisonnières ». En effet, elle tient compte de la variation intra-saisonnière et traduit donc mieux la « favorabilité » d'un printemps à la pousse de l'herbe. Les années 2014 et 2016 l'illustrent bien : si l'ETR cumulée total de 2014 est supérieure aux normales (respectivement 239 contre 215 mm), la répartition des pluies ne rencontre pas le « créneau » de pousse majoritaire du plein printemps (période où les températures deviennent clémentes). En 2016, l'ETR cumulée est inférieure aux normales (175 contre 215 mm). Mais la répartition des pluies est cette fois-ci plus en phase avec le plein printemps. La production herbacée n'est donc potentiellement pas affectée par le manque de pluies du début de saison de l'année 2016.

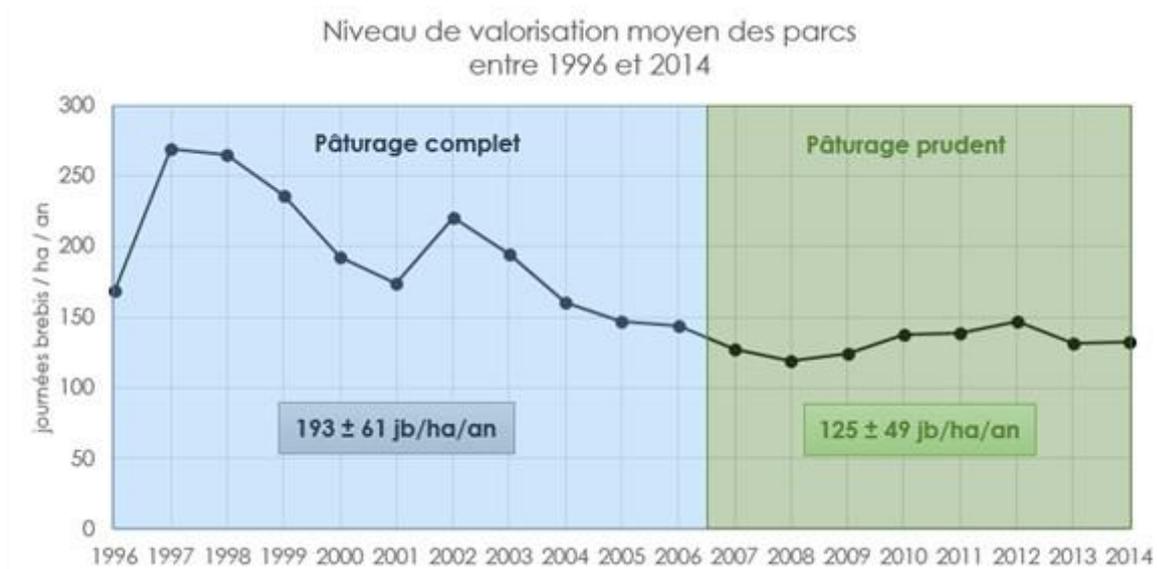


Figure 34 : Evolution du niveau de valorisation moyen des parcs entre 1996 et 2014

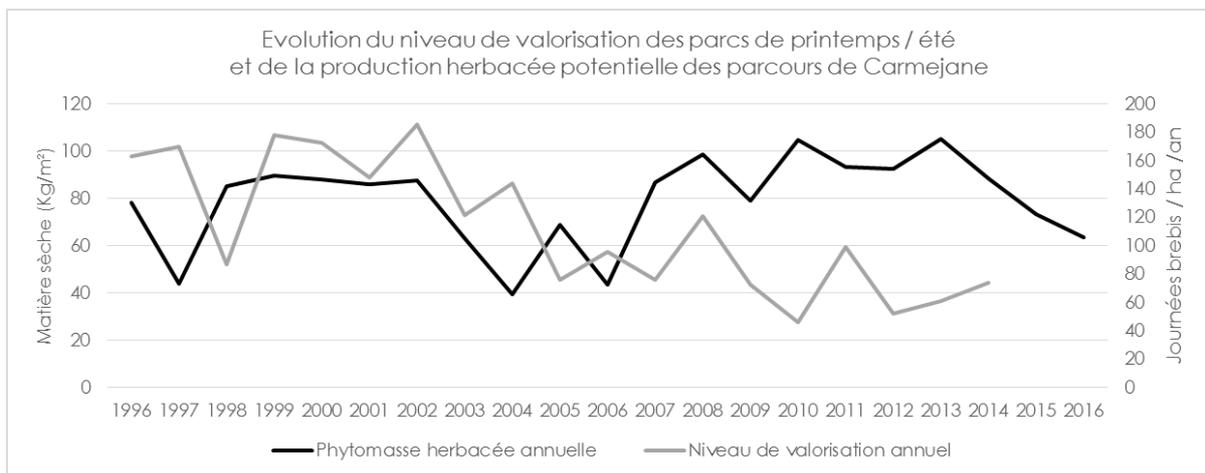


Figure 35 : Evolution du niveau de valorisation moyen des parcs de printemps / été et de la phytomasse herbacée printanière potentielle

En réalité, les deux approches climatiques que je présente sont complémentaires. Si la première permet de mieux interpréter l'effet du climat de l'année considérée, la deuxième approche permet de déceler des tendances (séquences successives globalement défavorables ou favorables).

En résumé, les printemps de la première décennie sont surtout marqués par les sécheresses successives des dernières années. Au contraire, la période 2006-2016 est marquée par des printemps dans l'ensemble humides. Le printemps 1996 est potentiellement le plus favorable à la production herbacée, suivi des printemps 2014 et 2016. Le printemps 2006 fut clairement défavorable à la pousse de l'herbe, qui n'a probablement eu qu'une « fenêtre étroite » de pousse entre avril et mai.

3. Niveau de valorisation des parcs

Le niveau de valorisation moyen des parcs a globalement baissé entre 1996 et 2006. La pente est particulièrement forte entre 1997 et 2001, puis entre 2002 et 2006. Par la suite, une faible hausse s'amorce jusqu'en 2012 (cf. figure 34). En cette fin⁷ de deuxième période, le niveau semble se stabiliser autour de 130 jb/ha/an. La moyenne de valorisation est respectivement de 193 ± 61 jb/ha/an sur la décennie de pâturage complet, contre 125 ± 49 jb/ha/an sur la décennie de pâturage prudent.

Un focus sur l'évolution du niveau de valorisation de neuf parcs de printemps / été⁸ permet d'apprécier son évolution en relation avec la pousse potentielle de l'herbe au printemps (permise par le climat), à défaut de connaître la production réellement réalisée sur la période d'étude (cf. figure 35). Au cours de la période 1996-2006, le niveau de valorisation moyen des parcs de printemps - été suit assez la tendance de la production d'herbe potentielle (avec une année de retard). Lorsque cette dernière est stable (1998-2002), le niveau de valorisation fluctue peu ; tandis que lorsque la production potentielle chute (2003-2006), le niveau de valorisation marque une baisse notable. Les printemps 1997 et 1998 font exception.

Au cours de la deuxième période, cette relation n'existe plus. Alors que les conditions climatiques deviennent très favorables à la pousse printanière, le niveau de valorisation des parcs poursuit sa baisse jusqu'en 2010. Il semble ensuite amorcer une phase de stabilisation (les variations interannuelles s'amenuisent).

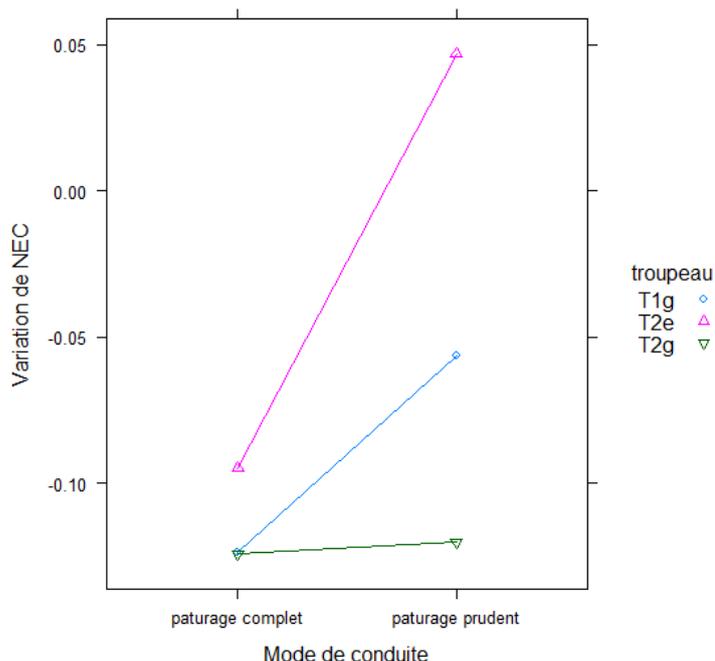
⁷ La fin de la deuxième période s'arrête en 2014. En effet, les brebis n'ont pratiquement pas été sur les parcours en 2015, en raison de l'attaque du loup survenue au printemps. L'année 2016 n'étant pas terminée, elle n'a donc pas été incluse non plus.

⁸ L'analyse climatique ayant porté uniquement sur les profils printaniers des années (par manque de temps), il n'a donc pas été possible de faire le même travail sur les parcs d'automne ou d'hiver.

Tableau 8 : Résultats des tests statistiques sur les variations de NEC (cf. annexe 8 pour les résultats détaillés)

Test de Fisher	ddl	F-value	p-value
Troupeau	2	6,67	0,03 *
Mode de pâturage	1	0,4	0,52
Classe d'âge	2	163,12	<0,0001 ***
NEC de début	1	2468,06	<0,0001 ***
Troupeau x mode pâturage	2	66,16	<0,0001 ***
Classe d'âge x mode de pâturage	2	21,24	<0,0001 ***

Test de Student	Estimate	ddl	z-ratio	p-value
T1 gestation				
complet - prudent	-0,06	-	-1,19	0,23
T2 gestation				
complet - prudent	0,00	-	-0,07	0,94
T2 entretien				
complet - prudent	-0,14	-	-2,47	0,01 *
Jeune				
complet - prudent	-0,10	-	-1,79	0,07
Adulte				
complet - prudent	-0,03	-	-0,7	0,47
Vieille				
complet - prudent	-0,07	-	-1,25	0,2
Classe d'âge				
Adulte - Jeune	0,09	-	13,94	<0,0001 ***
Adulte - Vieille	0,06	-	7,24	<0,0001 ***
Jeune - Vieille	-0,02	-	-3,34	0,002 **



Représentation graphique des lsmeans prédites par le modèle statistique

T1g : T1 gestation sur parcours d'automne
 T2g : T2 en gestation sur parcours de fin de printemps
 T2e : T2 en entretien sur parcours d'hiver

Tableau 9: Evolution de la variation de NEC au cours des deux périodes de pâturage (données brutes en fréquence)

	Jeunes		Adultes		Vieilles	
	Perte	Maintien / gain	Perte	Maintien / gain	Perte	Maintien / gain
T1 gestation						
pâturage complet	53%	47%	52%	48%	54%	46%
pâturage prudent	48%	52%	45%	55%	48%	52%
T2 gestation						
pâturage complet	61%	39%	52%	48%	49%	51%
pâturage prudent	51%	49%	48%	52%	51%	49%
T2 entretien						
pâturage complet	31%	69%	31%	69%	26%	74%
pâturage prudent	7%	93%	13%	87%	13%	87%

4. Evolution de l'état corporel des brebis

D'après le test de Fisher, la variation de NEC sur parcours dépend du troupeau, de la classe d'âge, de la NEC de début de séquence et du mode de pâturage lorsqu'il est en interaction avec le troupeau et la classe d'âge (cf. tableau 8). Dans cette étude, le facteur étudié est la conduite du pâturage en interaction avec le troupeau (T1 gestation sur parcours d'automne, T2 gestation sur parcours de fin de printemps, T2 entretien sur parcours d'hiver). Les autres effets intégrés au modèle statistique sont des facteurs de contrôle. Par souci de concision et de respect des finalités de l'analyse, seul l'effet contrôlé lié à l'âge est discuté ici.

Les adultes (3-6 ans) tendent à reconstituer plus facilement leurs réserves corporelles sur parcours que les jeunes et vieilles brebis (cf. test de Student, figure 8). Les jeunes brebis (< 2 ans) mobilisent davantage leurs réserves corporelles que les vieilles brebis (+ 7 ans), en particulier lorsqu'elles sont en gestation sur parcours de fin de printemps (troupeau T2). L'interaction entre l'âge et le mode de pâturage ne montre pas d'effets significatifs au seuil de 5%. Il semble toutefois que le mode de pâturage prudent ait bénéficié à toutes les classes d'âges, et aux jeunes brebis du troupeau T2 à l'entretien en particulier (cf. tableau 9).

Après dix ans de pâturage prudent, les brebis en entretien sur parcours d'hiver (troupeau T2) améliorent significativement leur état corporel par rapport au pâturage complet. Le graphique illustre cette évolution (valeurs de lsmeans). Les valeurs brutes indiquent un gain moyen de $0,04 \pm 0,19$ à $0,27 \pm 0,14$ (non illustré). La proportion d'individus qui se situent dans une dynamique de reconstitution des réserves (maintien ou gain) augmente dans toutes les classes d'âge : +24 points chez les jeunes, + 18 points chez les adultes, + 13 points chez les vieilles brebis (cf. figure 9).

Aucune amélioration significative entre les deux modes de pâturage n'est observée chez les brebis en début de gestation. En effet, la proportion d'individus qui se situent dans une dynamique de mobilisation ou de reconstitution de réserves reste à peu près équivalente sur les deux périodes (cf. tableau 9). Le graphique indique que l'effet du mode de pâturage est encore plus faible chez les gestantes du troupeau 2 (pâturage de fin de printemps).

En résumé : les jeunes et les vieilles brebis ont davantage de mal à reconstituer leurs réserves corporelles sur parcours. Seules les brebis à l'entretien sont dans une dynamique de reconstitution de leur état corporel sur parcours ; les brebis gestantes mobilisent presque toujours leurs réserves corporelles. Le pâturage prudent améliore significativement le phénomène de reconstitution des réserves corporelles chez les brebis en entretien sur parcours d'hiver. Une tendance à l'amélioration de l'état corporel s'observe chez les gestantes, mais cela reste non significatif.

Tableau 10 : Synthèse des résultats

	Pâturage complet	Pâturage prudent
Strate herbacée	Stabilisation du recouvrement dans les landes et bois de feuillus Baisse des graminées dans les bois de résineux les plus récents Pas d'influence du raclage sur l'aphyllante dans les parcs d'hiver	Reprise du développement herbacé dans tous les milieux, sans dérive floristique notable.
Strate arbustive basse	Diminution du recouvrement dans les parcs d'hiver. Les parcs pâturés au P/E/A ne sont pas affectés par ce mode de pâturage	Reprise du développement arbustif bas dans tous les parcs, indépendamment de la saison
Strate arbustive haute	Diminution du recouvrement dans tous les parcs.	Reprise du développement arbustif haut dans les parcs de P/E/A. Le recouvrement dans les parcs d'hiver n'a pas évolué.
Niveau de valorisation annuel des parcs	Le niveau de valorisation des parcs de printemps/été suit précisément la tendance prise par la production herbacée potentielle. Le niveau de valorisation moyen a baissé sur la période.	Le niveau de valorisation de ces mêmes parcs n'est pas lié directement à la production herbacée potentielle. Le niveau de valorisation moyen est resté constant sur la période.
Conditions climatiques	Les quatre dernières années de la période 1996-2006 ont été marquées par des sécheresses.	La décennie 2007-2016 est globalement plus chaude, mais aussi plus arrosée. Aucune séquence de sécheresse « dramatique » n'est à déplorer.
Etat corporel des brebis	Chez les gestantes, il y a autant de brebis qui perdent de la NEC que de brebis qui en gagnent/maintiennent. Les brebis à l'entretien sur parcours d'hiver gagnent des points de NEC dans les deux tiers des cas.	Les brebis en gestation maintiennent le statu quo par rapport à la première décennie (l'amélioration n'est pas significative). Les brebis à l'entretien gagnent désormais des points de NEC dans 90% des cas. L'amélioration par rapport à la décennie précédente est significative.

V. Discussion

Avant d'engager la discussion des hypothèses de l'étude, je propose une synthèse des résultats mis en évidence par chaque analyse (cf. tableau 10). Elle pourra servir de support pour la discussion.

1. L'évolution de la ressource sous deux régimes de pâturage

1.1. Strate herbacée : l'impact du mode de pâturage varie en fonction du milieu

Un impact plus fort du pâturage complet dans les bois de résineux

Après dix ans de pâturage complet, la ressource herbacée est restée stable dans les landes et les bois de feuillus (maintien de l'aphyllante et des grandes graminées), mais a diminué dans les bois de résineux (perte des grandes graminées). Cette chute de recouvrement dans les boisements de résineux pourrait s'expliquer par une modification du comportement d'exploration des brebis. En effet, il est possible d'imaginer qu'avant la mise en place de ce mode de pâturage « contraignant » pour les animaux (avant 1999), les bois de résineux n'étaient que peu explorés par les brebis. Un argument en cette faveur est le fort recouvrement relevé en 1996 : il pourrait traduire une accumulation de biomasse en report sur pied de plusieurs années. En condition de pâturage complet, les animaux sont amenés à explorer davantage le parc pour satisfaire leurs besoins d'ingestion journaliers. En explorant les bois de résineux, ils ont ainsi fait chuter le niveau de la ressource, essentiellement constituée de brachypode penné.

Dans les landes, les grandes graminées (brome érigé, brachypode penné) et l'aphyllante de Montpellier ont été contenues par le raclage. Le brome et le brachypode sont connues pour être des espèces agressives (compétitrices) dans les communautés végétales (Garde *et al.*, 2011). Si ce comportement est très adapté lorsque le milieu est exploité par la fauche (barre de coupe unique favorisant les espèces à croissance rapide), ces grandes graminées sont défavorisées dans les milieux pauvres et pâturés (Taylor *et al.* 1993 ; Lavorel *et al.*, 1999). Suite à cette inhibition du développement de la strate herbacée pendant dix ans, le pâturage prudent a clairement permis une reprise à la hausse, quel que soit le milieu et pour tous les groupes herbacés. Cette dynamique (inhibition sous une pression sévère, reprise du développement sous une pression modérée) traduit en fait une certaine plasticité de ces espèces au pâturage (Garde *et al.* 2011). Les effets d'un pâturage plus « intense » sont donc réversibles chez ces espèces. Les légumineuses sont au contraire souvent décrites comme intolérante au pâturage (Lavorel *et al.*, 1999) en lien avec une faible capacité de récupération après la défoliation (Rochon *et al.*, 2004). Un pâturage moins sévère sur la deuxième décennie leur est donc sûrement favorable.

Une influence de la fermeture des vieux boisements de résineux sur le niveau de ressource

L'étude de l'influence du type de milieu suggérait aussi un effet possible du degré de fermeture du milieu sur le niveau de ressource herbacé. L'analyse statistique ne l'a pas mis en évidence. Cette observation est compréhensible pour les bois de chênes blancs (le feuillage marcescent n'inhibe pas le développement de la végétation de sous-bois quelle que soit la densité du peuplement ; Bellon *et al.* 1996). En règle générale, dans les boisements de résineux, la production fourragère est directement liée au couvert forestier (Etienne et Balandier, 2003). En fait, il s'agit d'un biais dans l'analyse, dû au regroupement de plantations de pins noirs des années 50 et d'autres plus récentes (de vingt ans environ).

La ressource herbacée est en fait beaucoup plus importante dans les boisements les plus récents (37% contre 17% en moyenne sur les vingt ans, différence non testée statistiquement). Msika (1993) a étudié le développement de la ressource pastorale dans les bois de pins noirs. D'après cet auteur, le niveau de la ressource pastorale devient critique quand le peuplement dépasse 60% de recouvrement et 30 ans d'âge. En 1996, les boisements des années 70 avaient un recouvrement arboré de $44 \pm 9\%$, contre $57 \pm 12\%$ pour ceux des années 50. Les observations concordent donc avec ceux attendus dans la littérature.

La saison d'utilisation n'influence pas le recouvrement herbacé

L'hypothèse formulée au départ sur l'impact modéré de la saison de pâturage est vérifiée sur la strate herbacée. Les résultats confirment ainsi qu'une utilisation hivernale de l'herbe en report sur pied n'impacte pas la production primaire de l'année suivante (Pottier, 2011). De plus, les taux de consommation de l'herbe par les brebis restent très similaires entre un pâturage de printemps ou d'hiver (Bignon, 2007). La « pression » exercée par les brebis est donc la même quelle que soit la saison. Par ailleurs, la dynamique de l'aphyllante est identique quelle que soit la saison, malgré sa sensibilité au pâturage de printemps (Garde, 1996). Il faut rappeler que dans l'étude, aucun parc de plein printemps n'a été suivi, mis à part le parc 2. Si l'aphyllante était quasi absente dans ce parc durant la première décennie, sa présence devient notable en 2016. Il se trouve que ce parc a été utilisé plusieurs fois à l'automne à partir de 2007. Cette observation est donc une bonne illustration de la sensibilité de l'aphyllante à la saison d'utilisation, plutôt qu'à l'intensité de pâturage. De plus, ce constat indique que cette espèce est plastique : elle se développe facilement dès que le mode d'exploitation lui devient favorable.

L'hétérogénéité du parc lié à la topographie n'influence pas le recouvrement herbacé

La topographie du parc n'est pas un facteur amplifiant l'impact de l'intensité de pâturage sur la strate herbacée. Si en général cette théorie est vérifiée, elle est minimisée dans les parcours de Carmejane grâce à la gestion du pâturage en parcs clôturés et aux secteurs-pilotes, placés idéalement (en milieu de parc) pour tenir compte de cet effet. Les résultats confirment donc la pertinence de cette méthode pour la prise de décision de la sortie de parc.

L'impact de vingt ans de pâturage sur la ressource herbacée : que faut-il retenir ?

L'évolution à la baisse⁹ de la strate herbacée après dix ans de pâturage complet concerne principalement les boisements de résineux, et plus particulièrement ceux plantés dans les années 70. Toutefois, ce mode de gestion sévère conduit en continu ne permet pas le renouvellement de la ressource (le développement est inhibé). Un risque d'épuisement à long terme ne peut donc pas être ignoré. J'ai montré précédemment que la durée d'utilisation des parcours était significativement plus élevée au cours de la période de pâturage complet. Certains travaux montrent qu'un pâturage trop long peut nuire à la ressource qui peine alors à reconstituer ses réserves (Teague *et al.*, 2013). Un pâturage moins long en moyenne, comme pratiqué sur la deuxième décennie, est donc souhaitable pour limiter ce risque et favoriser le développement de la ressource. Par ailleurs, la régénération de la ressource des bois de résineux est plus lente que les autres milieux. Une fermeture du milieu après 20 ans est certainement en cause.

⁹ Les boisements de résineux étant très fréquents dans les parcours de Carmejane, c'est ce qui explique leur poids dans la tendance générale de la strate herbacée.

Cette observation suggère la nécessité de développer des actions sylvicoles pour éclaircir le peuplement forestier. Ces pistes de gestion sont discutées en détail dans le dernier chapitre.

1.2. Strate ligneuse basse : une interaction de multiples facteurs

L'impact du pâturage complet ne s'observe que dans les parcs pâturés en hiver

Après dix ans de pâturage complet, la ressource en ligneux très accessibles aux animaux a été globalement contenue. Toutefois, les résultats des analyses statistiques mettent en évidence que cette moyenne cache deux réalités : un gain de ressource dans les parcs de printemps / été / automne ; et un maintien dans les parcs d'hiver (voire une perte du genêt cendré, le principal ligneux fourrager persistant). Ce résultat confirme les observations faites à Carnejeane sur le taux de consommation des ligneux par les brebis (Hauwuy 1988 ; Bignon 2007) La part du genêt cendré dans le régime alimentaire des brebis est effectivement plus importante en hiver. Je précise que cela ne signifie pas pour autant que les ligneux ne sont pas impactés aux autres saisons. C'est la faible diversité des ligneux disponibles en hiver qui crée la pression supplémentaire subie par le genêt cendré. Autrement dit, plus l'espèce appétente est dominante et disponible à la saison, plus l'impact mesuré est élevé (Etienne et Balandier, 2003). Aux autres saisons, les ligneux caducs (chêne blanc, amélanchier à feuilles ovales, alisier blanc, cornouiller sanguin...) s'ajoutent au genêt cendré dans la part ligneuse du régime alimentaire des brebis. La ressource ligneuse étant d'une part plus diversifiée, et d'autre part moins consommée qu'en hiver, la dynamique de développement semble ainsi moins impactée.

Suite au pâturage prudent, la ressource repart à la hausse dans les parcs d'hiver. C'est donc bien l'intensité du pâturage qui est à l'origine d'une pression plus forte sur les ligneux en hiver. Ces observations vont dans le sens de l'un des principes de gestion du pâturage : plus la pression exercée sur la strate herbacée est élevée, plus les animaux consomment la broussaille et contiennent son développement. Rousset & Lepart (1999) ont ainsi montré qu'un pâturage d'intensité croissante de la strate herbacée augmente significativement la probabilité de prélèvement des semis de ligneux, (quelle que soit l'appétibilité de l'espèce) ; ceci pouvant alors jouer considérablement sur le blocage de la dynamique ligneuse du milieu. Ce principe n'est cependant pas réservé au pâturage hivernal. Malgré les explications avancées sur les taux de consommation, il semble étonnant que la dynamique ligneuse ne soit pas impactée par le pâturage complet dans les parcs de printemps / été / automne.

Une précision s'impose toutefois pour le genêt cendré, qui n'est pas reparti à la hausse entre 2006 et 2016. Cette espèce sensible au pâturage régresse lorsque les prélèvements dépassent 30% de la pousse de l'année et lorsque le pâturage est répété en continu sur plusieurs années (Gautier, 2006). Il semble que le pâturage complet ait fortement impacté les capacités de reproduction du genêt, qui, même sous une gestion sensée le ménager, peine à se redévelopper. Sa pousse lente en est la cause. De jeunes pieds de genêt ont été observés lors des relevés 2016. Bien qu'ils n'aient pas fait l'objet d'une quantification, ils traduisent peut-être le début d'un lent renouvellement. Un suivi précis du genêt cendré est peut-être à envisager pour mieux comprendre ses capacités de régénération sous un régime de pâturage donné.

Une maîtrise de l'hétérogénéité du parc aléatoire

Une maîtrise supérieure de l'hétérogénéité du parc par le pâturage complet n'est pas évidente sur la strate ligneuse basse. Ces résultats ne concordent pas avec la littérature, qui indique qu'une intensité de pâturage plus faible favorise le comportement naturel des brebis à

Délaisser les bas de parcs (Hauwuy 1988 ; Rossignol 2006). Il est possible que la méthode du « secteur-pilote » décrite précédemment soit en partie la cause de ces observations.

Une ressource plus développée dans les milieux ouverts ou clairsemés

Les ligneux bas sont clairement plus abondants dans les landes et les taillis de chênes. Plus précisément, ce sont les boisements de pins noirs les plus anciens qui ont une ressource très réduite (plantations anciennes : 6% contre 14% dans les bois plus récents). L'effet du type de milieu ne tient pas ici à la nature même du milieu, mais bien à la disponibilité en lumière qui nuit au développement des espèces héliophiles (genêt cendré, amélanchier, Dorycnie à cinq feuilles...).

1.3. Strate ligneuse haute : une baisse de recouvrement inattendue sur la 1^{ère} décennie

La différenciation de deux strates vis-à-vis de la ressource ligneuse visait à montrer un impact plus modéré du pâturage sur les ligneux hauts, théoriquement moins accessibles aux brebis. Pourtant, les résultats évoquent l'inverse : le pâturage complet freine « seulement » le développement de la strate très accessible, et fait régresser la strate haute. La pertinence de la hauteur limite choisie (le garrot des brebis) semble remise en cause.

De manière générale, la ressource ligneuse haute a régressé au cours de la première décennie, pour ensuite reprendre un développement significatif entre 2006 et 2016. Cette dynamique à la baisse suite au pâturage complet n'est influencée que par la saison d'utilisation : le pâturage hivernal impacte davantage le genêt cendré, alors que le pâturage de printemps / été / automne impacte l'amélanchier. S'agissant des deux espèces dominantes et appétentes de la strate arbustive comprise entre 80 cm et 2 m de hauteur, il est aisé de comprendre pourquoi le pâturage complet accroît le taux de consommation de ces espèces (déjà plus élevé à leur saison respective). Suite au pâturage prudent, si l'amélanchier reprend une dynamique à la hausse, ce n'est pas le cas pour le genêt. La population de cette espèce peine plus à régénérer sa strate haute, qui a vieilli sous le pâturage complet et a subi de la mortalité (observation de terrain). Il est connu que cette espèce n'a pas une très grande longévité sous pression de pâturage (10-15 ans) (Gautier, 2006). Le temps de régénération est plus long sur la strate haute, puisqu'il faut attendre que de jeunes pieds grandissent assez – sans être contenus par le pâturage – pour dépasser 80 cm de haut.

Le chêne blanc est également bien représenté sur les parcours de Carmejane. Son recouvrement est resté stable sur la première décennie, ce quelle que soit la saison de pâturage. Son taux de consommation est pourtant connu pour être plus élevé que les deux espèces précédentes. Sur les parcours de Carmejane, Garde (1990) avait évalué son taux de consommation entre 50 et 70% (contre 25-50% pour l'amélanchier, 15-45% pour le genêt). Les effets de la défoliation sur le chêne blanc ont été étudiés par Leouffre (1991). D'après ses travaux, pour que la production primaire du chêne blanc soit stoppée, il faut que le taux de consommation de la strate soit supérieur à 60%. Cette affirmation semble se vérifier sous un pâturage complet, qui fait probablement tendre le taux de consommation vers sa borne haute. L'auteur précise qu'une augmentation du taux de consommation altère généralement le rapport feuilles / bois. A long terme, il n'est donc pas souhaitable de maintenir une pression trop élevée sur les chênes.

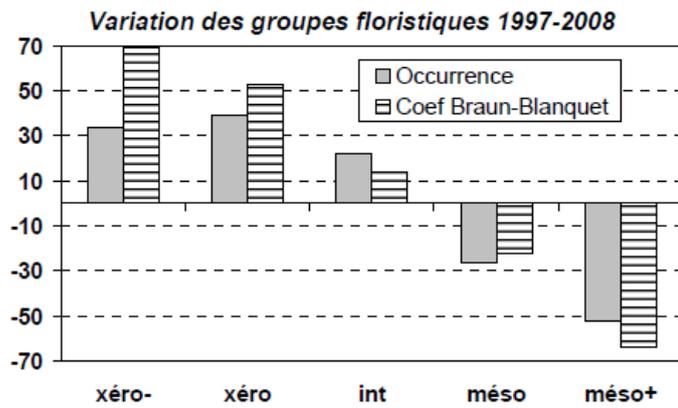


Figure 36 : Variation en 10 ans de la somme des occurrences et des coefficients d'abondance-dominance pour la flore de 50 placettes permanentes de Provence (D'après Vennetier 2012). Plantes classées en 5 groupes suivant leur adaptation à la sécheresse et à la chaleur:

- méso+ = plantes les plus exigeantes en humidité et fraîcheur,
- méso = plantes demandant de l'humidité et de la fraîcheur,
- int = groupe intermédiaire,
- xéro = plantes supportant les sécheresses habituelles et fortes températures,
- xéro-: plantes les plus résistantes aux sécheresses fortes et canicules

De manière inattendue, les résultats suggèrent que les animaux consomment manifestement cette strate initialement qualifiée de « haute ». Toutefois, une question peut être posée quant aux effets des sécheresses successives de 2003-2006. Ne pourraient-elles pas avoir accentué l'impact réel du pâturage sur cette strate ?

2. Des conditions climatiques défavorables sur la première période d'étude

Pour Fuhlendorf *et al.* (2001) qui ont étudié pendant 44 ans la végétation pastorale au Texas, l'intensité de pâturage établit le changement de direction à moyen et long terme de la communauté végétale, alors que les événements climatiques épisodiques définissent la trajectoire et la force du changement à court terme. Ainsi, des conditions climatiques « anormales » peuvent influencer l'état de la végétation observée à un instant *t*. Fynn & O'Connor (2000) ont étudié les effets du chargement animal et des précipitations sur les dynamiques de la végétation de savanes pendant dix ans. S'ils ont montré que les précipitations jouent un rôle primordial dans la variabilité de la production herbacée, un pâturage sévère influence négativement la production en conditions de sécheresses. Dans l'étude, les printemps 2003 à 2006 ont été marqués par des épisodes répétés de sécheresses. La baisse de recouvrement herbacé observé en 2006 est probablement liée à une combinaison de facteurs climatiques et d'exploitation « intense ».

Vennetier (2012) a étudié l'impact du réchauffement climatique sur les dépérissements des forêts méditerranéennes entre 1998 et 2008. Il indique qu'en Provence, le climat de cette période a été « *anormalement chaud et sec, reproduisant à l'avance ce que les scénarios climatiques prédisent dans cette région pour les années 2040-2050* ». Il affirme que le réchauffement climatique qui s'opère nettement en Provence (+ 1,5°C en trente ans), est une tendance lourde qui influence le dépérissement forestier et la modification de la flore du sous-bois. Il observe une substitution claire des espèces mésophiles par des espèces xérophiles sur cette période (cf. figure 36). Berger (2010) a étudié l'impact du climat sur le dépérissement du chêne blanc en région PACA. Il montre ainsi que le dépérissement de certaines stations apparaît à partir d'un seuil critique de déficit hydrique estival (Bilan hydrique = Précipitations - ETP). Il précise également que l'impact du déficit hydrique est limité dans les zones où le sol peut « compenser » le climat. Ce sont surtout les stations situées en sommet de colline et en haut de pente que les dépérissements sont observés. Dans les fonds de vallon, cette espèce est plus à même de résister aux sécheresses extrêmes. Dans mon analyse, je n'ai pas pu aller à ce niveau de précision. La distinction des chênaies fraîches des chênaies sèches pourrait être pertinente dans le cadre d'une étude de l'impact climatique sur les parcours de Carnejane. Toutefois, au vu du contexte de réchauffement global, ces sites de « compensation locale » du climat ne le seront peut-être plus dans quelques années d'après les experts.

La deuxième décennie a été beaucoup plus arrosée, même si les températures sont toujours à la hausse. Le même auteur affirme que le chêne pubescent dispose d'une capacité de résilience importante, lui permettant de reprendre facilement son développement suite à des perturbations. Quant aux espèces herbacées, elles ont généralement moins d'inertie que les ligneux. Spécialement en contexte méditerranéen, le retour de conditions d'humidité satisfaisantes se traduit normalement par leur développement rapide. A Carnejane, un relevé complémentaire de la végétation (parcs identiques à ceux suivis ici) a été effectué en 2009 par Soler (2009) dans l'objectif d'étudier les capacités de récupération de la ressource suite aux sécheresses successives.

La récupération est apparue significative dans la strate herbacée, qui gagne ainsi 4 points de recouvrement entre 2006 et 2009. La résistance de l'aphyllante, des grandes et petites graminées au stress hydrique (Pérez-Ramosa *et al.*, 2013) est donc clairement établie, ce même après des accidents climatiques (Garde *et al.*, 2011). Par contre, les légumineuses sont connues pour être plus sensibles aux variations interannuelles du climat (Díaz *et al.*, 2007). Leur augmentation sur la deuxième décennie pourrait être due à une combinaison de facteurs (pâturage moins sévère et décennie humide).

Chez les ligneux, Soler (2009) a montré que les arbustes bas voient leur recouvrement augmenter significativement sur les trois ans (+ 6 points), alors que celui des arbustes hauts reste stable. Si elle avait conclu à un probable vieillissement de la population arbustive lié à l'impact du pâturage sur leur reproduction, j'ai pu montrer en 2016 une dynamique de reprise significative de cette strate (sauf pour le genêt cendré). Les sécheresses de la première période, à l'origine d'un déficit hydrique printanier en 2004 et 2006 (respectivement de - 51 mm et - 37 mm, contre +98 mm en moyenne) ont peut-être conduit au dépérissement des « vieux » arbustes. Le temps nécessaire à la régénération par de nouveaux pieds est donc plus long qu'une simple reprise des individus survivants. Pour le genêt cendré, une combinaison de facteurs (pâturage impactant la reproduction et dépérissement suite aux sécheresses) explique probablement son retard par rapport aux autres espèces arbustives.

Teague *et al.* (2013) soulignent l'importance des périodes de repos de la végétation en zone sèche où la croissance de la végétation est lente, de courte durée et sporadique. Dans ce cas, plus que des périodes de pâturage courtes, ces parcours demandent surtout des temps de récupération longs (un an ou plus) et une flexibilité accrue en termes de durée et de période de pâturage. En plus de la durée, les conditions climatiques sur cette période de repos doivent être favorables à la croissance pour assurer une réelle régénération (Taylor *et al.*, 1993).

Si ma caractérisation climatique a été partielle car basée sur un indicateur climatique de la production herbacée du printemps, les travaux sur le dépérissement des ligneux dans la région PACA permettent de généraliser mes conclusions à la ressource pastorale dans son ensemble. Le relevé de l'année 2006 ne peut certainement pas être interprété en omettant la composante climatique. Elle pourrait d'ailleurs expliquer au moins autant que le pâturage, pourquoi la strate des ligneux hauts a chuté en 2006, et semble plus lente à la reprise en 2016. Sur la deuxième décennie d'étude, les conditions climatiques sont plus clémentes à la pousse de l'herbe. De plus, il n'y a pas de phénomène de sécheresses printanières successives pouvant affecter les ligneux. Il est simplement possible de constater une bonne récupération de la végétation gérée prudemment, en conditions climatiques favorables. Afin d'affirmer de manière plus sereine quelle serait la part réelle du pâturage ou du climat dans l'évolution de la végétation, l'expérimentation aurait dû intégrer soit, des zones témoins (exclus), soit, une étude en simultané des deux pressions de pâturage. Une répétition plus fréquente des relevés (au minimum deux par décennie d'étude) aurait également permis d'affiner les dynamiques de végétation observées.

3. Evolution du niveau de valorisation : un équilibre enfin trouvé ?

Comme nous l'avons vu précédemment, une perte significative du niveau de la ressource pastorale (en particulier la strate herbacée et arbustive haute) a été observée après dix années de pâturage complet. A noter que cette baisse s'opère sur toute la période, même avant les séquences climatiques de sécheresses de 2003-2006.

Suite au pâturage prudent, le niveau de ressource dans son ensemble est reparti à la hausse. Les données disponibles ne m'ont pas permis de mettre en relation directe l'évolution du niveau de valorisation avec celle des recouvrements végétaux (seulement trois campagnes de relevés disponibles). J'ai par contre établi une relation entre le niveau de valorisation des parcs de printemps- été et la production herbacée « potentielle » au cours des vingt ans. Sur la première période, le niveau de valorisation semble suivre la tendance de la production herbacée potentielle. L'exception de 1997-1998 mérite une explication. Elle est liée au fait que le protocole d'application du pâturage complet n'était pas encore en vigueur. La forte variation observée entre 1998 et 1999 est ainsi probablement liée au changement de gestion (mise en place du raclage, qui valorise nécessairement plus le parc¹⁰). Sur la deuxième décennie, le niveau de valorisation ne semble pas lié directement aux conditions climatiques favorables à la pousse de l'herbe.

Ces résultats mettent clairement en évidence le rôle du mode de gestion des parcours. Le pâturage complet, qui correspond à un raclage de la strate herbacée, réduit fortement la probabilité de report d'une partie de la biomasse d'une année sur l'autre. C'est d'ailleurs son rôle, puisqu'il vise à uniformiser le comportement alimentaire des animaux en limitant les refus. De ce fait, le niveau de ressource herbacée disponible d'une année sur l'autre n'est pratiquement lié qu'à la production végétale de l'année. Si un accident climatique de plein printemps survient, le niveau de valorisation pourrait être alors directement affecté. En réalité, cela dépend également des conditions climatiques de l'automne : le phénomène ne peut se produire que si la pousse d'automne n'a pas compensé celle du printemps. Lorsque plusieurs accidents climatiques de plein printemps se succèdent sans être compensés, la végétation s'épuise et le niveau de valorisation ne peut donc que diminuer. C'est certainement ce qui s'est passé sur la fin de la première décennie, entre 2003 et 2006.

Dans le cas du mode de pâturage prudent, la ressource est « ménagée » dans le sens où l'on ne cherche pas à consommer tout le potentiel disponible (contrairement au raclage). C'est donc normal que le niveau de valorisation reste bas, malgré la production potentielle permise par le climat. S'il n'est pas possible de conclure sur l'intérêt de ce mode de gestion en situation de sécheresse critique, il a au moins permis une très bonne récupération des trois strates de végétation. En particulier, le recouvrement des herbacées a retrouvé son état initial, celui des arbustes bas (comestibles) l'a dépassé.

En résumé, ces interprétations suggèrent que le pâturage complet conduit en continu pendant dix ans a entraîné une diminution de la ressource au point de faire perdre des journées d'utilisation des parcs. Je nuance toutefois mes propos en ajoutant que cette perte d'environ 60 j/b/ha/an¹¹ a probablement été accentuée par les conditions climatiques défavorables à la production des parcours. Au contraire, le pâturage « prudent » semble assurer une stabilisation du niveau de valorisation, mais au prix d'un niveau relativement faible. Cette tendance a été appuyée par une période globalement plus chaude et plus arrosée.

¹⁰ le raclage implique la consommation de la litière accumulée des années précédentes.

¹¹ Différence entre la moyenne 1996-1999 (état avant le démarrage effectif du protocole) et 2006.

4. Une amélioration de l'état corporel suite au pâturage prudent

L'effet de l'âge sur les capacités de reconstitution / mobilisation de réserves corporelles a déjà été mis en évidence à Carmejane (De Laage, 2012 ; Marmuse, 2014). En règle générale, les adultes sont les individus les plus aptes au maintien / reprise d'état corporel. Les vieilles brebis mobilisent davantage leurs réserves corporelles que les autres classes d'âge pendant la phase de gestation, et peinent à reconstituer leurs réserves en phase d'entretien. L'état de la dentition pourrait être un facteur d'explication ; l'usure des dents étant une cause de réforme courante chez les brebis rustiques (Marmuse, 2014). Mes résultats suggèrent pourtant que ce sont surtout les jeunes brebis, et particulièrement du troupeau T2 en gestation (de fin de printemps), qui peinent le plus à reconstituer leurs réserves. D'après De Laage (2012), ceci s'explique facilement par le fait que les brebis de moins de deux ans sont encore en croissance. De ce fait, leurs besoins sont plus importants, et pas toujours satisfaits par l'offre alimentaire des parcours. De plus, les jeunes brebis sont encore en phase « d'apprentissage » vis-à-vis de l'utilisation de la ressource des parcours. Toutefois, mes résultats révèlent qu'un pâturage moins sévère que le raclage améliore leur capacité à reconstituer leurs réserves.

La différence s'opère par contre entre les séquences physiologiques : un effet significatif est observé dans le troupeau T2 à l'entretien alors que les brebis gestantes ne montrent pas d'amélioration nette suite à ce mode de pâturage. A première vue, seuls les animaux aux besoins les plus faibles (besoins d'entretien) profiteraient du changement de régime du pâturage, ce malgré des conditions de pâturage plus difficiles (report sur pied hivernal théoriquement de qualité nutritive réduite). En réalité, cela s'explique surtout par la durée de la séquence pastorale étudiée. Alors que le troupeau T2 à l'entretien passe deux mois et demi sur parcours entre le sevrage et le début de la prochaine lutte, le troupeau T1 en début de gestation n'a passé que trente à quarante jours sur les parcours. Une étude plus approfondie serait nécessaire, en intégrant la séquence de gestation en entier¹² (jusqu'à la mise-bas).

Ceci dit, il faut remarquer qu'une amélioration de l'état corporel des brebis avant la mise en lutte a des implications positives pour le système d'élevage. D'après la littérature, le niveau de NEC des brebis avant la lutte est corrélé à la fertilité. A Carmejane, Zouké kang (2007) a aussi montré que c'est la cinétique d'état corporel avant et pendant la lutte qui améliore la fertilité. Autrement dit, lorsque les brebis sont dans une dynamique de reconstitution de leurs réserves avant et pendant la lutte, la fertilité des brebis tend à être meilleure. Une gestion raisonnée du pâturage – qui tient compte de l'état de sortie des brebis – semble ainsi pertinente dans le système d'élevage de Carmejane, qui vise à améliorer la productivité du troupeau.

Il est important de replacer ces résultats dans le contexte expérimental de l'étude : le suivi des NEC n'a pas été pensé pour établir une relation directe avec l'évolution de la végétation. En effet, si les brebis ont pâturé l'ensemble des parcours de Carmejane, le suivi de la végétation n'a été effectué que sur un tiers de ces parcours. De plus, la variation de NEC s'établit entre les bornes d'une séquence pastorale (intégrant plusieurs parcs, et pas toujours les mêmes chaque année). Une autre limite tient à la méthode employée : le recouvrement de la végétation n'est pas proportionnel à la quantité de biomasse disponible. Il varie plus lentement qu'elle (Soler, 2009).

¹² La fin de gestation n'avait pas été intégrée à l'étude parce que des complémentations s'opèrent lors de cette phase.

Tableau 11: Bilan des deux modes de pâturage étudiés au regard des objectifs de gestion des parcours

	Pâturage complet	Pâturage prudent
Maîtrise de l'embroussaillage	Stoppe la dynamique arbustive basse et réduit la strate haute, y compris dans les zones normalement peu fréquentées.	Assure une reprise du développement des arbustes, maîtrise non parfaite dans les zones peu fréquentées. Il ne s'agit toutefois pas d'un embroussaillage. Mais sur une durée > 10 ans, la question reste posée.
Equilibre floristique de la strate herbacée	Toutes les espèces sont contenues indépendamment des préférences alimentaires des brebis.	Aucune dérive notable de la flore n'est à déplorer. Seule l'aphyllante, une bonne espèce pastorale, semble se développer de manière conséquente.
Renouvellement des trois strates de végétation	Stabilisation de la strate herbacée, sauf les graminées qui sont impactées. Perte de la ressource arbustive fourragère Risque d'épuisement de la végétation	Augmentation de la strate herbacée et arbustive fourragère, stabilisation du genêt. La régénération de la strate herbacée est toutefois plus lente dans les bois de résineux (en lien avec leur fermeture).
Niveau de valorisation annuel	Elevé à court terme, se dégrade lorsque les conditions climatiques deviennent défavorables.	Faible au regard de l'état initial, mais stable sur 10 ans lorsque les conditions climatiques sont globalement favorables. La question reste posée dans des conditions climatiques défavorables.
Maintien de l'état corporel des brebis	Maintien d'état assuré dans 55% des cas en moyenne.	Maintien d'état assuré dans 65% des cas en moyenne et jusqu'à 90% pour les brebis à l'entretien (moyenne pessimiste car n'intègre pas la séquence pastorale dans son ensemble pour les brebis en gestation).

Une mesure de la densité de végétation ou de la phytomasse aurait été plus représentative de la biomasse disponible. Pour être encore plus précis, une caractérisation de la qualité du report sur pied (fin de printemps, automne, hiver) serait également pertinente pour mieux comprendre les variations d'états corporels sur parcours. Ces méthodes sont encore plus chronophages que la mesure du recouvrement ; elles imposeraient donc de réduire l'échantillonnage des parcs suivis.

Ainsi, s'il est possible de conclure à un effet globalement positif du pâturage prudent sur l'état corporel des brebis, il ne faut pas oublier que l'étude ne permet pas d'affirmer que cette évolution est directement liée au renouvellement de la ressource pastorale. D'autres facteurs, inhérents au système d'alimentation et à la conduite générale du troupeau, pourraient également avoir un rôle.

VI. Perspectives : des pistes de gestion à explorer

1. Pâturage complet ou prudent, quelles sont les conclusions ?

L'étude de la végétation a mis en évidence une influence manifeste du mode de pâturage sur les trois strates de végétation. Cependant, le degré d'impact et les implications pastorales ne sont pas les mêmes entre la ressource herbacée et ligneuse. Cette dernière partie permet de faire la synthèse des éléments de connaissances acquis par l'étude, et qui pourront servir de support pour la révision du plan de gestion pastorale. Les effets de chaque mode de pâturage au regard des objectifs de gestion sont répertoriés dans le tableau 11. Globalement, le pâturage prudent s'est révélé être un bon compromis pour satisfaire les objectifs qui sont désormais prioritaires aux yeux des gestionnaires de la ferme : maintien de l'état des animaux et renouvellement de la ressource pastorale. Par ailleurs, le pâturage prudent s'attache à ne pas « consommer » tout le potentiel disponible. De ce fait, en cas de « coup dur », une marge de manœuvre reste toujours possible pour exploiter en pâturage complet la ressource et satisfaire les besoins fourragers du troupeau.

Si le pâturage prudent ménage la ressource et stabilise le niveau de valorisation annuel des parcs, cela se fait au prix d'une perte d'un certain nombre de journées brebis hectare par rapport à la décennie de pâturage complet. La différence de valorisation entre les deux périodes est d'environ 68 journées brebis par hectare. Pour compenser ce manque sous le régime de pâturage prudent, il serait nécessaire d'acquérir 50% de surfaces pastorales supplémentaires. C'est l'une des raisons qui ont poussé la ferme à passer en système transhumant (alpages collectifs). De plus, des incertitudes persistent sur la pertinence de ce mode de gestion en conditions climatiques défavorables. La poursuite du suivi de l'évolution du niveau de valorisation annuel est donc à préconiser, en portant une attention particulière lorsqu'une séquence climatique défavorable se présentera. En attendant, des pistes de réflexion et d'action peuvent être engagées pour se rapprocher davantage des objectifs de gestion des parcours.

2. Pistes de réflexion pour la gestion

Outre le mode de pâturage, les résultats de l'étude ont soulevé plusieurs points qui méritent une attention particulière dans le cadre d'une révision de la gestion des parcours.

2.1. La gestion de la ressource en genêt

La gestion de la ressource en ligneux fourragers est mon premier point. Dans les parcs d'hiver, j'ai pu montrer que la régénération du genêt cendré reste problématique même après dix ans de pâturage « prudent ». Un moyen efficace d'assurer la reproduction de l'arbuste serait la mise en défend de secteurs définis pour assurer la régénération par le semis (Soler, 2009). Toutefois, cette technique est difficilement envisageable à l'échelle de l'ensemble des parcs d'hiver. Le temps consacré à cette tâche serait en effet très long. Plutôt que la mise en défend, il peut plus facilement être envisagé une mise en repos des parcs d'hiver sur une échelle pluriannuelle.

Une mise en repos des parcs, dont la fréquence serait à définir en fonction des capacités de la ferme (surfaces de repli disponibles) pourrait assurer une reprise de développement plus rapide que ce n'est le cas actuellement. Dans le cas où la surface pastorale ne permettrait pas cette mise en repos, la question de la déspecialisation de certains parcs pourrait se poser. Puisque le pâturage estival impacte moins le genêt, un changement d'affectation provisoire des parcs d'hiver pourrait être bénéfique à sa reprise. Pour rappel, la spécialisation des parcs d'hiver tient d'une part à leur couvert herbacé dominé par l'aphyllante et à leur exposition (préférentiellement sud). D'autre part, cette spécialisation peut être liée aux exigences de la convention pluriannuelle de pâturage lorsque le parc est utilisé par les chasseurs en automne. Une déspecialisation reste donc délicate, même si l'aphyllante s'est révélée être une espèce plastique au changement d'exploitation (cf. évolution dans le parc 2). Envisager une déspecialisation de courte durée pourrait être un bon compromis pour d'une part, ménager le genêt, et d'autre part, ne pas mettre en péril la pérennité de l'aphyllante.

2.2. La reprise du développement arbustif ou le début d'un embroussaillage ?

Le mode de pâturage prudent a permis une reprise du développement arbustif en général (amélanchier, chêne, *etc.*). Même si la dynamique de reprise après dix ans reste modeste et principalement liée aux ligneux fourragers, une fermeture du milieu pourrait s'opérer progressivement sur quinze ou vingt ans. En conséquence, ce risque de fermeture du milieu doit être suivi attentivement pour que des secteurs de parcs ne soient pas délaissés petit à petit par les brebis. La mise en place de clôtures de refend dans les zones délaissées pourrait être envisagée pour contrer le comportement des animaux. Si à l'avenir, le pâturage prudent ne se révèle pas être un moyen durable de gestion de l'embroussaillage, il faudra peut-être intégrer des moyens de gestion autres que le pâturage (débroussaillage manuel ou mécanique, brûlage, *etc.*). Une autre solution pourrait être d'intégrer des séquences de plusieurs années de « pâturage complet » pour les parcs concernés. Toutefois, cette solution implique le risque de détériorer l'état corporel des brebis sur parcours.

2.3. L'avenir des parcours dans un contexte climatique de réchauffement

Un deuxième point d'importance soulevé par l'étude est la prise en compte du réchauffement climatique. Comment préparer l'impact du réchauffement global sur la ressource ? Cette question mérite aujourd'hui qu'on lui prête attention.

Deux pistes peuvent être discutées. En premier lieu, une rotation pluriannuelle des parcs semble inévitable dans des contextes climatiques « extrêmes » (canicules et séquences successives de sécheresses) ; contextes qui seront de plus en plus fréquents à l'avenir. Cette rotation sous-entend la mise en repos d'un parc suite à des conditions climatiques susceptibles d'entraîner un épuisement de la ressource. Pour autant, cette mise en repos ne peut être efficace que si les conditions climatiques sont favorables à la pousse de la végétation (Taylor *et al.*, 1993).

La seconde piste, qui est d'ailleurs déjà en marche à Carmejane, est le développement du sylvopastoralisme. Les forêts sont en effet les meilleurs espaces « tampons » du climat, car ils modulent la température et maintiennent plus longtemps l'humidité dans le milieu. La résilience de la ressource pastorale des sous-bois au réchauffement climatique est donc une piste d'avenir évidente. Actuellement, des coupes d'éclaircies sont engagées pour favoriser le développement de la ressource du sous-bois (cf. résultats sur la strate herbacée) dans les vieux peuplements de pins noirs (Garandel, 2010). Dans le cadre du plan d'aménagement sylvopastoral de la forêt du Chaffaut, Garandel (2010) a proposé une gestion en futaie irrégulière. Une futaie irrégulière correspond à la gestion d'un peuplement d'âges variés, impliquant des prélèvements réguliers mais de faible volume. La gestion traditionnelle s'applique au contraire à garder un peuplement homogène, dont les éclaircies se font tardivement et pour de gros volumes. Au contraire de ces pratiques traditionnelles qui réduisent fortement la ressource pastorale dès lors que le peuplement dépasse 60% de recouvrement et 30 ans d'âge (Msika, 1993), la futaie irrégulière maintient la ressource fourragère et la structure boisée sur le long terme, limite les impacts sur l'érosion des sols, favorise le mélange d'essences forestières et toutes les aménités qui en découlent (meilleure résilience de la forêt au réchauffement climatique, aux maladies, aux parasites, *etc.*).

2.4. Une contrainte nouvelle : la prédation par le loup

Outre le réchauffement climatique, la ferme fait face aujourd'hui à une contrainte nouvelle qui vient bouleverser le système établi. La prédation par le loup amène en effet à revoir les priorités de gestion, et surtout intégrer le risque de prédation dans la prise de décision. Si aujourd'hui le calendrier de pâturage est ajusté au mieux en fonction des saisons d'utilisation les plus pertinentes, ce ne sera peut-être plus le cas à l'avenir. Les secteurs trop fermés, de faible visibilité ou encore trop éloignés se verront plus souvent abandonnés car trop risqués. La gestion raisonnée des surfaces (d'un point de vue de la végétation) se verra alors réduite aux surfaces de moindre risque. Néanmoins, le risque prédation amène à repenser la gestion en gardiennage par un berger. Il sera peut-être l'occasion d'expérimenter la gestion pastorale non plus en parcs clôturés, mais par le test de techniques de gardiennage (serré, lâcher-dirigé, *etc.*).

Conclusion générale

L'objectif de mon stage était de faire le bilan de vingt ans de pilotage du pâturage sur les parcours de Carmejane, en appréciant les effets de deux modes de gestion du pâturage contrastés. Au regard des objectifs de gestion qui mettent désormais l'état des animaux en priorité, j'ai pu montrer que le mode de pâturage prudent (basé sur le maintien de prises alimentaires de gros format jusqu'à la fin de la séquence de pâturage) semble être le meilleur compromis. Cependant, si ces résultats sont vrais dans le contexte de Carmejane (milieux secs et peu productifs), ils ne sont pas généralisables aux parcours méditerranéens dans leur ensemble, et même plus localement en contexte préalpin (*e.g.* pelouses sèches sur sols profonds). Par ailleurs, mon étude a soulevé la question de l'avenir de la ressource pastorale dans un contexte de réchauffement global, qui semble déjà apparent dans la région PACA.

L'étude marque aussi la fin d'une « ère » pastorale pour la ferme qui doit aujourd'hui revoir ses priorités au regard des contraintes auxquelles doivent faire face les systèmes pastoraux : prédation par le loup, moyens de protection (chiens de protection, renforcement des clôtures électriques, *etc.*) et conflits d'usage sur le foncier qui peuvent en découler. La révision de la gestion des parcours devra donc intégrer ces préoccupations majeures ; et peut-être remettre au second plan les objectifs sur la végétation nécessitant des interventions en contradiction avec les nouvelles priorités (*e.g.* modification de la saison de pâturage, mise en repos de parc, pâturage de secteurs à risque fort de prédation).

Les travaux menés jusqu'à aujourd'hui par la ferme expérimentale de Carmejane ont permis d'explorer de nouveaux modes de gestion, parfois même déceler leurs limites, réfléchir à des nouvelles formes d'utilisation de la ressource pour intégrer plus de pastoralisme dans le système. La ferme constitue ainsi une précieuse « vitrine » des techniques pastorales au service des éleveurs préalpins et d'ailleurs. Elle a pu prouver, par l'expérience, que c'est la pratique de l'éleveur qui crée la ressource dont il dispose.

Bibliographie

- Agreil, C. 2003. Pâturage et conservation des milieux naturels. Une approche fonctionnelle visant à qualifier les aliments à partir de l'analyse du comportement d'ingestion chez la brebis. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon, 361p.
- Agreste. 2015. « Mémento de la statistique agricole. Provence-Alpes-Côtes-d'Azur. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R9315C01.pdf>
- Balent, G., M. Duru, D. Magda, 1993. Pratiques de gestion et dynamique de la végétation des prairies permanentes : Une méthode pour le diagnostic agro-écologique, une application aux prairies de l'Aubrac et de la vallée de l'Aveyron. Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement, INRA Editions, pp.284-301.
- Bellon, S., B. Cabannes, M. Dimanche, G. Guérin, L. Garde, et B. Msika. 1996. Les ressources sylvopastorales des chênaies méditerranéennes. *Forêt méditerranéenne* XVII (3): 197-209.
- Berger, C. 2010. Détermination de la sensibilité au changement climatique du Chêne pubescent en région PACA. Mémoire de fin d'études, CRPF PACA, Bordeaux Sciences Agro, 34p.
- Bignon, P. 2007. Le pâturage des ovins en parcours hétérogènes : Prise en compte des facteurs du milieu et du comportement d'ingestion du troupeau dans la recherche d'indicateurs de sortie de parcs. Mémoire de fin d'études, ISARA Lyon, 78p.
- Briske, D. D., J. D. Derner, J. R. Brown, S. D. Fuhlendorf, W. R. Teague, K. M. Havstad, R. L. Gillen, A. J. Ash, et W. D. Willms. 2008. Rotational Grazing on Rangelands: Reconciliation of Perception and Experimental Evidence. *Rangeland Ecology & Management* 61 (1): 3-17.
- CERPAM. 2016. Le pastoralisme en région Provence-Alpes-Côtes-d'Azur. [En ligne] http://www.cerpam.fr/crbst_27.html (Page consultée le 06/09/2016)
- Cingolani, A., I. Noy-Meir, et S. Díaz. 2005. Effects on Rangeland Diversity: A Synthesis of Contemporary Models. *Ecological Applications* 15 (2): 757-73.
- Cochard, C., J. Bloor, M. Zwicke, et M. Duru. 2013. Impacts du changement climatique sur les prairies permanentes. In: Journées AFPF - Prairies, systèmes fourragers et changement climatique (p. 69-80), Paris.
- De Laage, M. 2012. Variabilité des profils de l'état corporel des brebis allaitante en système pastoral. Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure d'Agriculture, Angers, 75p.
- Demarquet, F., T. Romagny, D. Gautier, et G. Guérin. 2007. Pâture des parcours hétérogènes avec des ovins : bilan de l'application de la méthode du secteur pilote. *Renc. Rech. Ruminants*, n° 14: 192.
- Díaz, S. 2007. Plant trait responses to grazing - a global synthesis. *Global Change Biology*, n° 13: 313-41.
- Dumont, B., A. Farruggia, et J.P. Garel. 2007. Pâturage et biodiversité des prairies permanentes. *Renc. Rech. Ruminants*, n° 14: 17-24.
- Escallier, F. 1995. De la végétation des parcours à l'identification d'une offre pastorale. Mémoire de fin d'études, Institut de l'Élevage, ENITA de Clermont-Ferrand, 34p.
- Etienne, M., et P. Balandier. 2003. Interactions bétail-végétation dans les systèmes sylvo-pastoraux en France. *Schweiz. Z. Forstwes.*, n° 154: 161-68.
- Fuhlendorf, S. D., D. D. Briske, et F. E. Smeins. 2001. Herbaceous Vegetation Change in Variable Rangeland Environments: The Relative Contribution of Grazing and Climatic Variability. *Applied Vegetation Science* 4 (2): 177-88.
- Fynn, R. & O'Connor, T., 2000. Effect of stocking rate and rainfall on rangeland dynamics and cattle performance in a semi-arid savanna, South Africa. *Journal of Applied Ecology*, Vol. 37, pp. 491-507.
- Garandel, M. 2010. De la réalisation à l'application concrète d'une méthodologie pour la construction de projets sylvopastoraux. Mémoire de fin d'études, Institut de l'Élevage, AgroParisTech-ENGREF, 156p.

- Garde, L. 1990. Ressources pastorales en Haute-Provence et modélisation de la relation végétation / troupeau. Univ. d'Aix-Marseille III, 172p.
- Garde, L. 1996. *Guide pastoral des espaces naturels du sud-est de la France*. CERPAM, Méthodes et communication, 254p.
- Garde, L., et S. Golé. 2015. Expertise de vulnérabilité, ferme expérimentale de Carmejane. CERPAM, 30p.
- Garde, L., G. Guende, B. Beylier, C. Fonty, et R. Gaudin. 2011. Les pelouses sommitales du Lubéron, sentinelles du réchauffement climatique. Evolution des écosystèmes pâturés sur trente ans, 1982-2011. *Courrier scientifique du Parc Naturel Régional du Lubéron*, n° 10: 92-116.
- Garden L., Brosse-Genevet E., Caraguel B., Dellavedova M., Romagny T., Senn O., 2014. Evaluation du pâturage sur parcours et alpages, *Pastum*, 101, 12-23.
- Gautier, D. 2006. Pâture la broussaille... Connaître et valoriser les principaux arbustes du Sud de la France. *Techniques pastorales*, Institut de l'élevage, s.p.
- Guérin, G., et C. Agreil. 2007. Qualifier les surfaces pastorales pour combiner le renouvellement des ressources alimentaires et la maîtrise des couverts végétaux. Acquis, enjeux et questions actuelles. *Renc Rech. Ruminants* 14: 145-52.
- Guérin, G., C. Moulin, et E. Tchakérian. 2009. Les apports de l'approche des systèmes pastoraux à la réflexion sur la gestion des ressources des zones herbagères. *Fourrages*, n° 200: 489-98.
- Hauwuy, A. 1988. Le comportement spatial et alimentaire d'ovins sur parcours en Haute-Provence. » Mémoire de fin d'études, CERPAM, Institut National Agronomique de Paris-Grignon, 65p.
- Hervé, D. 1998. Capacité de charge animal ou indicateur de pression des ressources fourragères. In : *Pression sur les Ressources et Raretés*, Montpellier, pp.37-49.
- Inosys. 2014. Quels bilans technico-économiques pour les élevages ovins viande de PACA en appui technique ? Institut de l'Élevage, 12p.
- Lavorel, S., S. McIntyre, et K. Grigulis. 1999. Plant response to disturbance in a Mediterranean grassland: How many functional groups? *Journal of Vegetation Science* 10: 661-72.
- Lécrivain, E., Garde L, Dormagen E., Beylier B., Dureau R., 2013. Troupeaux ovins dans des parcours embroussaillés: le comportement animal fournit de nouveaux critères pour le diagnostic pastoral. *Fourrages*, pp.159-168.
- Lemaire, G. 2008. Sécheresse et production fourragère. *Innovations Agronomiques. Innovations agronomiques*, n° 2: 107-23.
- Leouffre, M.C. 1991. Effet du pâturage caprin sur la dynamique de production fourragère de taillis de chêne en région méditerranéenne française. Eléments pour une gestion pastorale. Thèse de doctorat, Aix-en-Provence: Université Paul Cézanne (Aix Marseille 3), 92p.
- Loiseau, P., F. Louault, et G. L'Homme. 1998. Gestion des écosystèmes pâturés en situations extensives: apports de l'écologie fonctionnelle et perspectives de recherches appliquées en moyenne montagne humide. *Annales de zootechnie*, n° 47: 395-406.
- Marmuse, M. 2014. Capacités d'adaptation des brebis en système ovin viande pastoral dans le sud-est de la France : Caractérisation des dynamiques d'états corporels des individus, répétabilité et performances de production. Mémoire de fin d'études, AgroSup Dijon, 31p.
- Milchunas, D., Osvaldo E. Sala, et W. Lauenroth. 1988. A generalized model of effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *American naturalist* 132: 87-106.
- Msika, B. 1993. Modélisation des relations herbe-arbre sous peuplements de *Quercus pubescens* Willd. et *Pinus austriaca* Hoss. dans les Préalpes du sud. Un outil d'aide à la décision en aménagement sylvopastoral. Thèse de doctorat, Marseille: Université Paul Cézanne (Aix Marseille 3), 120p.
- Osem, Y., Perevolotsky, A. & Kigel, J., 2002. Grazing effect on diversity of annual plant communities in a semi-arid rangeland: Interactions with small-scale spatial and temporal variation in primary productivity. *Journal of Ecology*, 90(6), pp. 936-946.

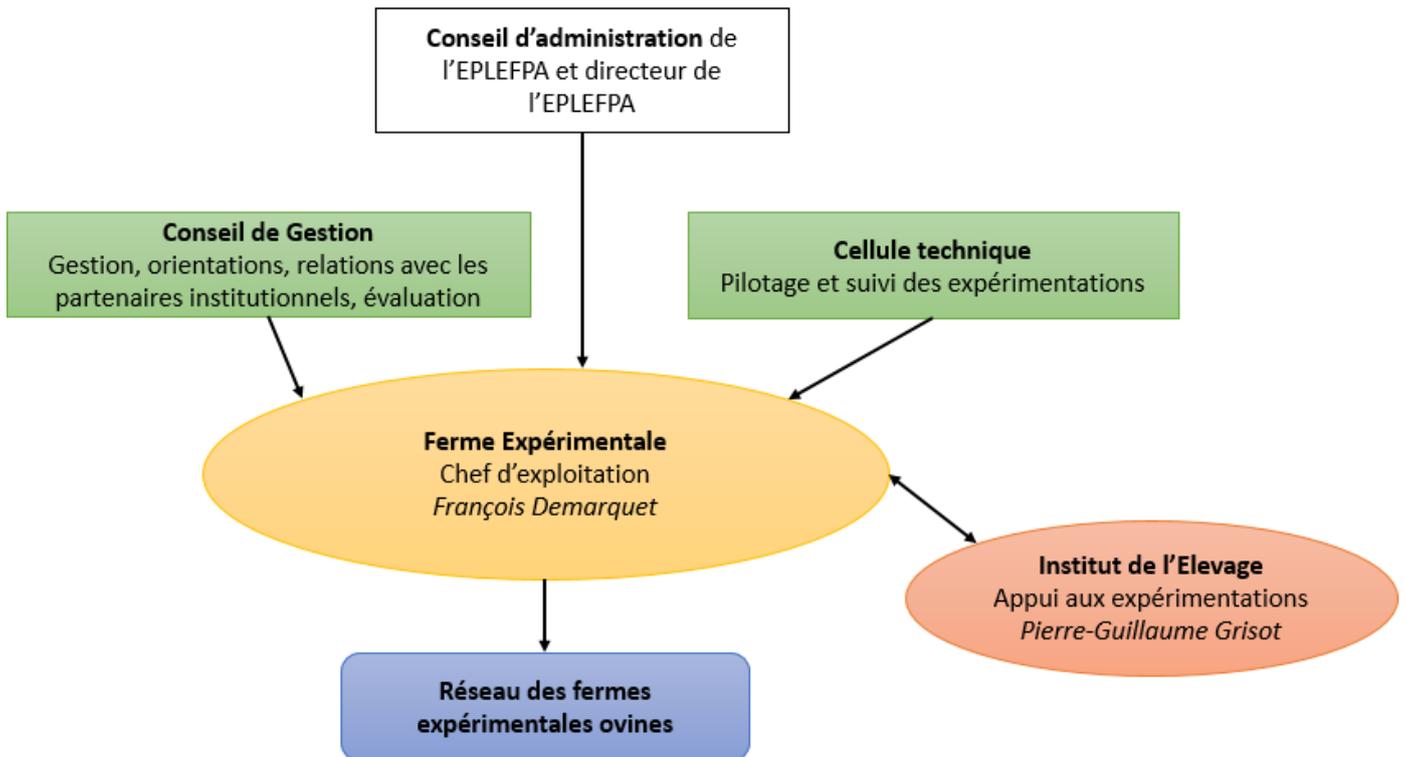
- Perevolotsky, A., et M. Etienne. 1999. La gestion raisonnée des parcours du Bassin Méditerranéen : Un défi pour le XXIème siècle. *CIHEAM - Options Méditerranéennes*, 129-36.
- Perevolotsky, A., et N. G. Seligman. 1998. Role of grazing in Mediterranean rangeland ecosystems. Inversion of a paradigm. *BioScience* 48 (12): 1007-17.
- Pérez-Ramosa, I.M., F. Volaireb, M. Fatteta, A. Blancharda, et C. Roumeta. 2013. Tradeoffs between functional strategies for resource-use and drought-survival in Mediterranean rangeland species. *Environmental and Experimental Botany* 87: 126-36.
- Pollock, M.L., C.J. Legg, J.P. Holland, et C.M. Theobald. 2007. Assessment of Expert Opinion: Seasonal Sheep Preference and Plant Response to Grazing. *Rangeland Ecology & Management* 60 (2): 125-35.
- Pottier, E. 2011. L'herbe pâturée au fil des saisons. Institut de l'Élevage, CIIRPO, s.p.
- Proulx, M. & Mazumder, A., 1998. Reversal of grazing impact on plant species richness in nutrient poor vs. nutrient rich ecosystems. *Ecology*, 79, 2581–2592.
- Pulido, M. 2016. The impact of heavy grazing on soil quality and pasture production in rangelands of SW Spain. *Land Degradation and Development*, 12, s.p.,doi:10.1002/ldr.2501.
- Gis sol. *Réserve utile en eau des sols*. [En ligne] <https://www.gissol.fr/thematiques/reserve-utile-en-eau-des-sols-18> (Page consultée le 06/09/2016)
- Rochon, J., C.J. Doyle, J.M. Greef, A. Hopkins, G. Molle, M. Sitzia, D. Scholefield, et C.J. Smith. 2004. Grazing legumes in Europe: a review of their status, management, benefits, research needs and future prospects. *Grass and Forage Science* 59: 197-214.
- Rossignol, N. 2006. Hétérogénéité de la végétation et du pâturage : conséquences fonctionnelles en prairies naturelle. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 192p.
- Rousset, O., et J. Lepart. 1999. Evaluer l'impact du pâturage sur le maintien des milieux ouverts. Le cas des pelouses sèches. *Fourrages* 159: 223-35.
- Soler, D. 2009. Gestion durable de la végétation et maintien des performances animales : élaboration de nouveaux schémas de conduite du pâturage sur parcours. Mémoire de fin d'études, Montpellier Sup Agro, 55p.
- Taylor, C. A., J. R. Taylor, T. D. Brooks, et N. E. Garza. 1993. Effects of short duration and high-intensity, low-frequency grazing systems on forage production and composition. *Journal of Range Management* 46 (2): 116-21.
- Teague, R., F. Provenza, U. Kreuter, T. Steffens, et M. Barnes. 2013. Multi-Paddock Grazing on Rangelands: Why the Perceptual Dichotomy between Research Results and Rancher Experience? *Journal of Environmental Management* 128: 699-717. doi:10.1016/j.jenvman.2013.05.064.
- UVED. *Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)*. [En ligne] http://uved.univ-lemans.fr/Grain-1_Kit_1-Bilan/co/grain_Exo_04.html (Page consultée le 06/09/2016)
- Vennetier, M. 2012. Changement climatique et dépérissements forestiers : causes et conséquences. *Changement climatique et modification forestière*, CNRS, p50-60.
- Zoukekang, E. 2007. Etat Corporel des brebis : relations avec les performances de reproduction et applications pratiques dans un système préalpin pastoral. Mémoire de fin d'études, Montpellier Sup Agro, 63p.

Annexes

Annexe 1 : La ferme expérimentale ovine de Carmejane	I
Annexe 2 : Parcellaire de la ferme expérimentale ovine de Carmejane	II
Annexe 3 : Description des parcs de Carmejane	III
Annexe 4 : Caractérisation des faciès à l'état initial	IV
Annexe 5 : Fiche de terrain pour le suivi de la végétation	V
Annexe 6 : Démarche statistique pour l'étude de la végétation	VI
Annexe 7 : Protocole de notation de la NEC	XII
Annexe 8 : Démarche statistique pour l'étude des NEC	XII
Annexe 9 : Estimation de la RU	XVII
Annexe 10 : Estimation de l'ETR	XVIII
Annexe 11 : Graphiques supplémentaires de l'analyse de la végétation	XIX
Annexe 12 : ACP et classification des profils climatiques printaniers	XX

Annexe 1 : La ferme expérimentale ovine de Carmejane

Annexe 1a : Cadre décisionnel de la ferme expérimentale ovine de Carmejane



Annexe 1b : Les objectifs du système de conduite

En lien avec les évolutions du contexte ovin, les objectifs poursuivis par la ferme sont :

- L'amélioration de la productivité par la réduction des périodes improductives ;
- La participation au décalage de production et de vente des agneaux ;
- Le maintien d'une orientation pastorale ;
- Garder une cohérence avec les systèmes préalpins ;
- Collaborer avec l'Organisme de Sélection sur la génétique

Annexe 1c : Les grandes thématiques expérimentales

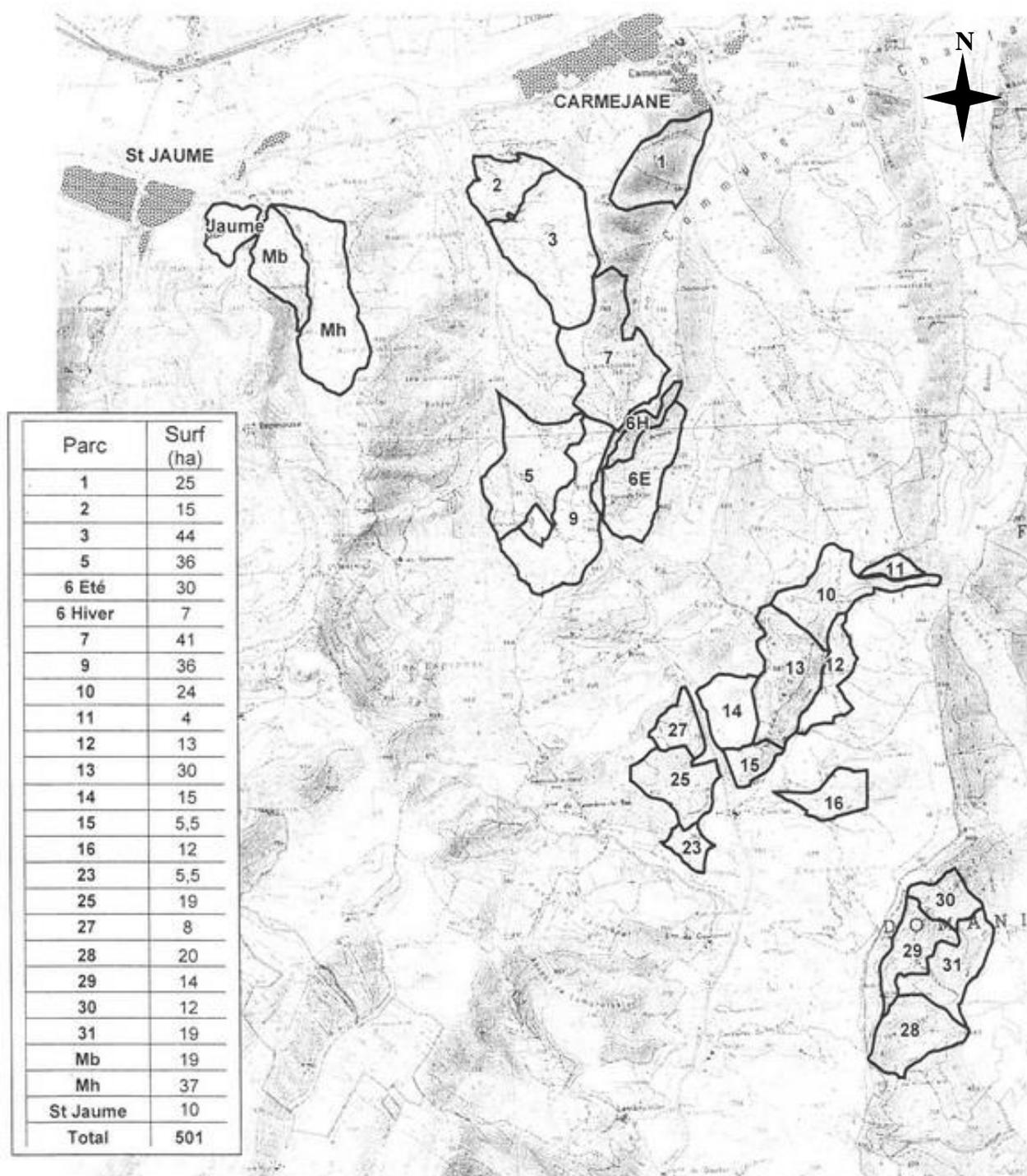
Les expérimentations s'organisent autour de trois axes de recherche :

- **Les brebis** : la préparation à la lutte, la fin de gestation, la lactation à l'herbe / en bergerie, l'amélioration des résultats de reproduction...
- **Les agneaux** : l'utilisation d'aliments fermiers, la qualité des agneaux et le Label, le croisement viande, la maîtrise des coûts de production...
- **Les parcours** : l'étude des règles de pilotage des parcours, la maîtrise de l'embroussaillage, la gestion sylvopastorale...

Annexe 2 : Parcellaire de la ferme expérimentale ovine de Carmejane

Les parcs suivis : 2 – 3 – 5 – 7 – 9 – 10 – 13 – 16

PARCELLAIRE DE LA FERME EXPERIMENTALE DE CARMEJANE



Surface Fourragère Principale Ovine (St JAUME, CARMEJANE)



Parcours (500 ha)

Annexe 3 : Description des parcs de Carmejane

N° parc	PARCS DE FIN PRINTEMPS / ÉTÉ		
	P 2	P 7	p 17
Ancienneté	1985	1985	1995
Taille	16	41	11
Exposition	O	E/O	NO
Végétation	Bois de résineux (65 ans)		Bois de feuillus
Jb/ha/an 96-06	142	63	239
Jb/ha/an 06-16	85	44	-

N° parc	PARCS PEU SPECIALISES P/E/A		
	p 1	P 3	P 5
Ancienneté	1985	1985	1985
Taille	24	45	36
Exposition	E	O	O
Végétation	Bois de résineux (65 ans)		
Jb/ha/an 96-06	186	99	109
Jb/ha/an 06-16	51	57	82

N° parc	PARCS DE PRINTEMPS / AUTOMNE		
	P Mb	P Mh	P StJ
Ancienneté	1990	1990	2003
Taille	18	40	10
Exposition	NE	NO	N
Végétation	Bois de feuillus		
Jb/ha/an 96-06	368	157	216
Jb/ha/an 06-16	165	45	252

N° parc	PARCS PEU SPECIALISES E/A/H				
	P été	P 9	P 12	p 15	p 27
Ancienneté	1985	1985	1995	1995	1995
Taille	30	36	13	5,5	9
Exposition	NE	NO	O	SO	E
Végétation	Bois de résineux (65 ans)		Bois de résineux (45 ans)	Bois de feuillus	
Jb/ha/an 96-06	92	110	249	248	206
Jb/ha/an 06-16	68	76	130	145	84

N° parc	PARCS D'HIVER											
	p 8	p 14	p 16	p 25	P 6h	p 10	p 11	P 13	p 28	p 29	p 30	p 31
Ancienneté	1992	1995	1995	1995	1985	1995	1995	1995	2003	2005	2005	2005
Taille	16	15	12	19	7	24	4	30	20	45	12	19
Exposition	E	SO	S	E	SE	E	S	SE	SE	E	SE	E
Végétation	Bois de feuillus				Bois de résineux (65 ans)	Bois de résineux (45 ans)						
Jb/ha/an 96-06	177	241	327	141	180	308	277	208	179	136	142	215
Jb/ha/an 06-16	-	92	207	151	129	288	180	121	125	131	128	209

Annexe 4 : Caractérisation des faciès à l'état initial

Critères d'échantillonnage

Les faciès retenus doivent posséder une ressource herbacée et arbustive suffisamment abondante et évitent les bois denses. La représentativité (surface) vis-à-vis de l'ensemble des parcours de Carmejane et la répartition topographique des faciès sont prises en compte.

Recouvrement arboré : Elimination des faciès boisés à plus de 80 % (la ressource est trop faible)

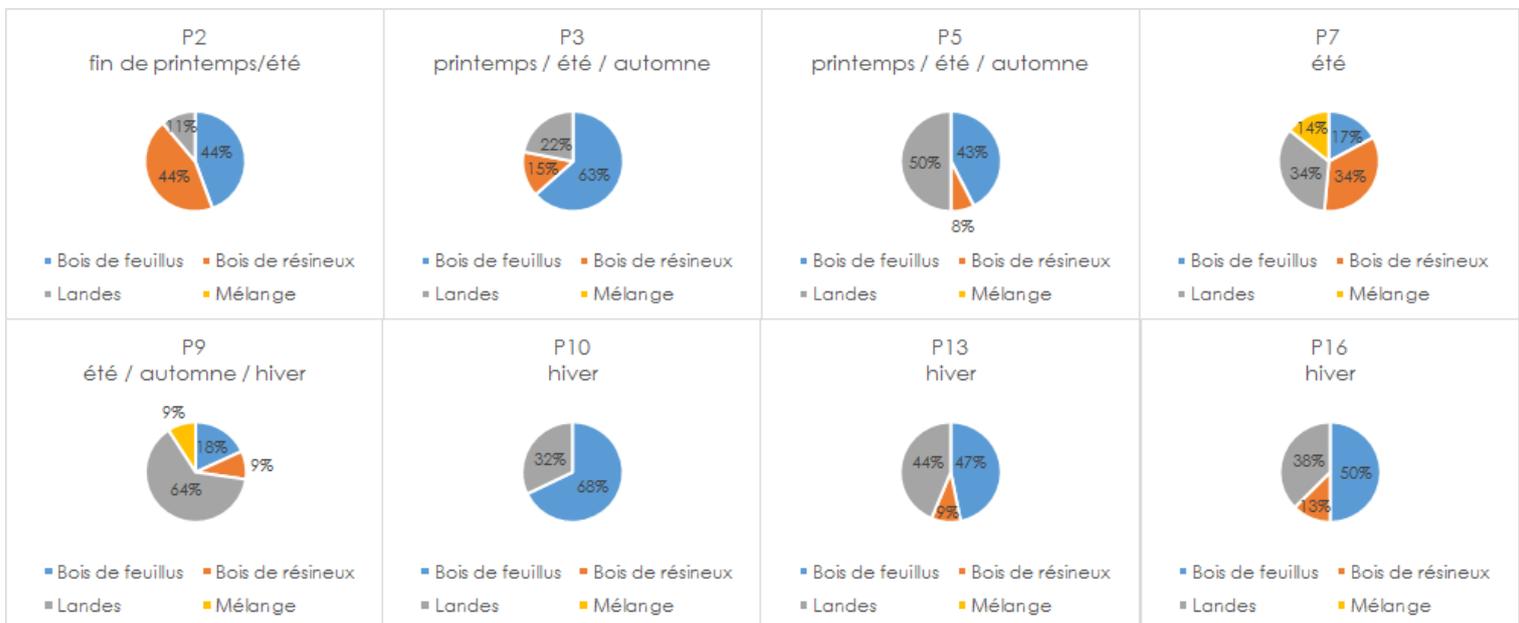
Recouvrement herbacé et arbustif : Elimination des faciès avec moins de 15 % d'herbe et 30 % d'arbustes (car ne fixent pas les animaux au pâturage) ;

Surface du faciès : Elimination des faciès représentant moins de 1.5 % de la surface totale du parc ;

Hypothèse : les faciès de moins de 1.5 % de la surface totale du parc ne sont pas représentatifs.

Localisation du faciès : selon leurs positions en haut (H), milieu (M), bas de parc (B). Un faciès est considéré en bas, milieu ou haut de parc lorsqu'il est respectivement localisé dans le 1/3 bas, 1/3 central ou 1/3 haut du parc après calcul du dénivelé.

Répartition* des types de milieux dans les 8 parcs étudiés



* en pourcentage du nombre de faciès

Annexe 5 : Fiche de terrain pour le suivi de la végétation

Exemple de fiche pour le parc 9 :

PARC 9												
ARB. HAUTS		faciès	P°	Arbustes hauts (entre 0.8 et 2m)			C			Ah		
Unité'				Gc	Ao	Autres					Tot	
914	Landé claire avec beaucoup d'herbe		H									
921	Landé fermée avec peu d'herbe		H									
950	Bois assez clair de feuillus, peu embroussaillé avec peu d'herbe		B									
954	Bois assez clair de résineux, peu embroussaillé avec de l'herbe		BE									
ARB. BAS		faciès	P°	Arbustes bas (<0.8m)			C			Ab		
Unité'				Gc	Ao	Autres					Tot	
914	Landé claire avec beaucoup d'herbe		H									
921	Landé fermée avec peu d'herbe		H									
950	Bois assez clair de feuillus, peu embroussaillé avec peu d'herbe		B									
954	Bois assez clair de résineux, peu embroussaillé avec de l'herbe		BE									
HERBES		faciès	P°	GG			PG			H		
Unité'				Br	Be	Autres	Fo	Ch	Autres	Am	légum	divers
914	Landé claire avec beaucoup d'herbe		H									
921	Landé fermée avec peu d'herbe		H									
950	Bois assez clair de feuillus, peu embroussaillé avec peu d'herbe		B									
954	Bois assez clair de résineux, peu embroussaillé avec de l'herbe		BE									

P° : position du faciès

Gc : Genista cinerea

Ao : Amélanchier ovalis

C : comestible

NC : non comestible

Tot : recouvrement total de la strate

Br : Brachypodium pinnatum

Be : Bromus erectus

Fo : Festuca ovina

Ch : Carex humilis

Am : Aphyllantes monspeliensis

Legum : légumineuses

Divers : familles diverses

Annexe 6 : Démarche statistique pour l'étude de la végétation

1. Démarche

1.1 Présentation du jeu de données

- ✓ Variables-réponse : % recouvrement herbacé, % ligneux bas, % ligneux haut
- ✓ 260 observations (faciès)
- ✓ 3 répétitions

variable	stockage	Définition de la variable
annee	nominale	année de relevé de végétation (1996 = état initial ; 2006 = 10 ans de pâturage complet ; 2016 = 10 ans de pâturage prudent)
parc	nominale	numéro d'identification du parc (N=8)
facies	nominale	numéro d'identification du faciès (N=90)
position	nominale	position du faciès dans le parc (Haut, Milieu, Bas)
typologie	nominale	type de milieu (bois de feuillus, bois de résineux, landes)
mode_uti	nominale	saison d'utilisation du parc (constant = hiver, changement = printemps/été/automne)
log_lbh	entier continu	Logarithme décimal du % de recouvrement des ligneux hauts
rac_lbb	entier continu	Racine carrée du % de recouvrement des ligneux bas
log_h	entier continu	Logarithme décimal du % de recouvrement des herbacées

Le plan d'échantillonnage du jeu de données est à mesures répétées (les mêmes individus = faciès sont mesurés 3 fois) et déséquilibré (quelques individus manquants). De ce fait, le modèle statistique le plus approprié est un modèle linéaire à effets mixtes. La fonction « lme » du logiciel R (package nlme) a été utilisée.

1.2 Distribution de la variable-réponse

D'après le test de normalité de Shapiro-Wilk, les variables-réponse ne suivent pas une distribution normale ($p < 0.05$). En effet, les données étant des pourcentages, leur distribution se rapporte plutôt à une loi de Poisson. Les variables-réponse ont été « transformées » de manière à se rapprocher des conditions de normalité et d'homoscédasticité. La normalité et l'égalité des variances des résidus étant des conditions requises par les modèles linéaires à effets mixtes, la transformation des variables-réponse est préférable pour espérer valider ces conditions (Fouilloux, comm. pers.).

Les transformations réalisées sont répertoriées dans le tableau suivant :

Recouvrement herbacé	Recouvrement ligneux bas	Recouvrement ligneux hauts
Log10(variable + 10)	Sqrt(variable)	Log10(variable + 10)

1.3 Variables testées dans le modèle

Variables-réponse	Log (% herbacé)	Racine carrée (% ligneux bas)	Log (% ligneux haut)	
Effets fixes	Année de relevé (annee)	Type de milieu (typologie)	Position du faciès (position)	Saison (mode_uti)
Effets aléatoires	Facies	parc	Facies niché dans parc	

1.4 Construction du modèle statistique

Un premier modèle complet a été réalisé avec tous les effets fixes et les interactions :

- ✓ Les effets seuls : année, type de milieu, position du faciès, saison d'utilisation ;
- ✓ Une interaction entre l'année de relevé et le type de milieu corrigée du reste ;
- ✓ Une interaction entre l'année de relevé et la position corrigée du reste ;
- ✓ Une interaction entre l'année de relevé et la saison d'utilisation corrigée du reste.

La sélection du modèle s'est opérée à travers le critère d'information d'Akaike (AIC) basé sur la méthode du maximum de vraisemblance (méthode pénalisant les modèles les moins parcimonieux). Le modèle retenu (un par variable-réponse) est par conséquent un modèle simplifié qui ne prend en compte que les effets et les interactions de facteurs significatifs. Les modèles retenus pour chaque variable-réponse sont répertoriés dans le tableau ci-dessous :

		Log (% herbacé)	Racine carrée (% ligneux bas)	Log (% ligneux haut)
Effets fixes	Facteurs seuls	Année de relevé	Année de relevé Type de milieu	Année de relevé
	Facteurs d'interaction	Année x Type de milieu	Année x Saison Année x Position	Année x Saison
Effets aléatoires		Parc / faciès		

La méthode du maximum de vraisemblance restreinte (REML) a ensuite été employée sur le modèle retenu (plus appropriée dans le cas des modèles mixtes). Les tests statistiques lancés sur le modèle retenu pour chaque variable-réponse sont :

- ✓ Un test de Fisher pour évaluer la significativité des facteurs ;
- ✓ Un test de Student avec ajustement de Tukey pour évaluer la significativité des interactions entre les modalités des facteurs (révélés significatifs par le test de Fisher)

2. Résultats des tests statistiques : recouvrement herbacé

2.1 Lsmeans

Effet de l'année en fonction du type de milieu

```
> lsmeans(mod, pairwise~annee|typologie)
$lsmeans
typologie = Bois de feuillus:
annee  lsmean      SE df lower.CL upper.CL
1996   1.578399 0.03137697 7  1.504204  1.652594
2006   1.509118 0.03137697 7  1.434923  1.583313
2016   1.703865 0.03168487 7  1.628942  1.778788

typologie = Bois de résineux :
annee  lsmean      SE df lower.CL upper.CL
1996   1.588885 0.03791046 7  1.499241  1.678529
2006   1.345720 0.03720658 7  1.257741  1.433700
2016   1.467668 0.03720658 7  1.379688  1.555647

typologie = Lande:
annee  lsmean      SE df lower.CL upper.CL
1996   1.614194 0.03062412 7  1.541779  1.686608
2006   1.542194 0.03062412 7  1.469779  1.614608
2016   1.745075 0.03142797 7  1.670760  1.819391
```

Note : Les valeurs de lsmeans sont à l'échelle logarithmique (elles n'ont pas été basculées dans l'échelle de la variable-réponse).

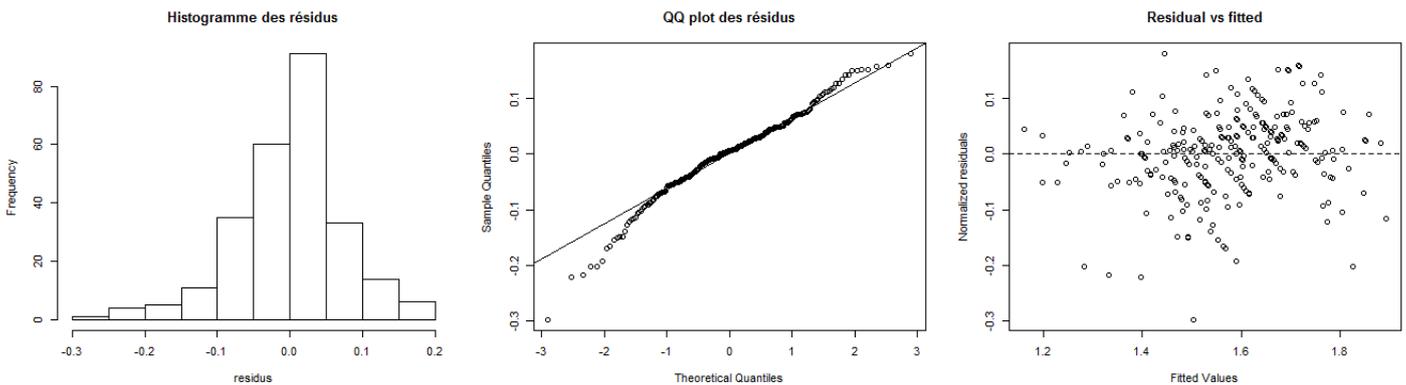
Effet de l'année « seul »

(1996 = Etat initial ; 2006 = pâturage complet ; 2016 = pât. prudent)

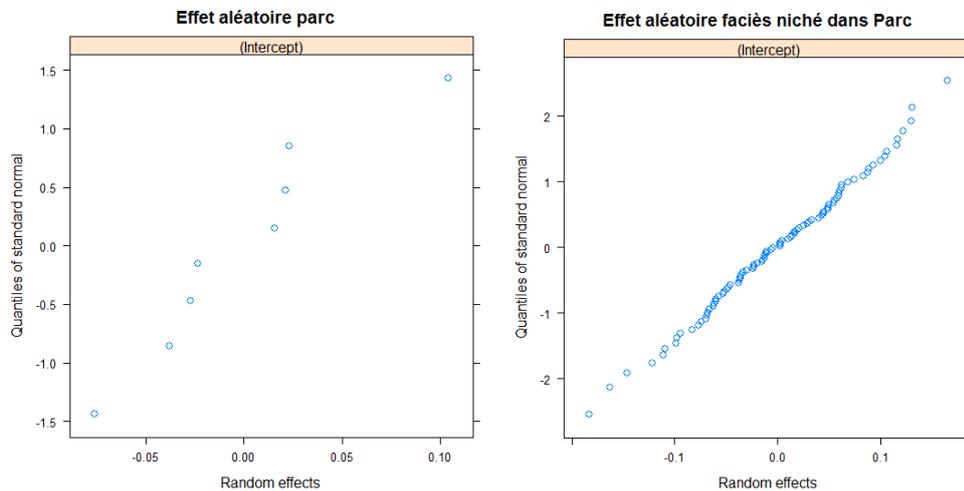
```
> contrast(ls)
      contrast      estimate      SE  df t.ratio p.value
1996 effect  0.04321306  0.01025455 162   4.214 <.0001
2006 effect -0.10339849  0.01018929 162  -10.148 <.0001
2016 effect  0.06018544  0.01076943 162   5.589 <.0001
```

2.2 Vérification des hypothèses du modèle

Etude des résidus : l'étendue des résidus sur le graphique « Residual vs fitted » et la disposition des points sur le QQ plot en une droite suggèrent que les hypothèses de normalité et d'homoscédasticité semblent raisonnables. Elles ne sont toutefois pas validées par les tests statistiques.



Etude des effets aléatoires : les effets aléatoires se disposent de manière à se rapprocher d'une droite et par conséquent ne montrent pas d'écart manifeste à la normalité.



3. Résultats des tests statistiques : recouvrement ligneux bas

3.1 Lsmeans

Effet de l'année en fonction de la saison

Changement = P/E/A ; constant = hiver

```
> lsmeans(mod, pairwise~annee|mode_utili)
$lsmeans
mode_utili = changement:
  annee  lsmean      SE df lower.CL upper.CL
1996  1.395497  0.4249557  7  0.3906361  2.400357
2006  3.120086  0.4248984  7  2.1153605  4.124811
2016  4.301907  0.4375456  7  3.2672763  5.336538

mode_utili = constant:
  annee  lsmean      SE df lower.CL upper.CL
1996  3.774463  0.4441842  6  2.6875830  4.861342
2006  3.703277  0.4422764  6  2.6210657  4.785488
2016  4.640445  0.4544938  6  3.5283385  5.752551
```

Note : Les valeurs de lsmeans sont à l'échelle racine carrée (elles n'ont pas été basculées dans l'échelle de la variable-réponse).

Effet de l'année en fonction de la position du faciès

H = haut ; M = Milieu ; B = Bas

```
> lsmeans(mod, pairwise~annee|position)
$lsmeans
position = B:
  annee  lsmean      SE df lower.CL upper.CL
1996  2.261452  0.4163949  6  1.242571  3.280334
2006  3.622930  0.4162014  6  2.604521  4.641338
2016  4.626615  0.4335862  6  3.565668  5.687562

position = H:
  annee  lsmean      SE df lower.CL upper.CL
1996  2.352449  0.3598056  6  1.472037  3.232862
2006  2.962203  0.3595668  6  2.082374  3.842031
2016  4.148242  0.3675289  6  3.248931  5.047553

position = M:
  annee  lsmean      SE df lower.CL upper.CL
1996  2.902787  0.3722888  6  1.991830  3.813745
2006  3.627825  0.3674557  6  2.728693  4.526957
2016  3.859578  0.3777015  6  2.935376  4.783781
```

Effet de l'année de relevé « seul »

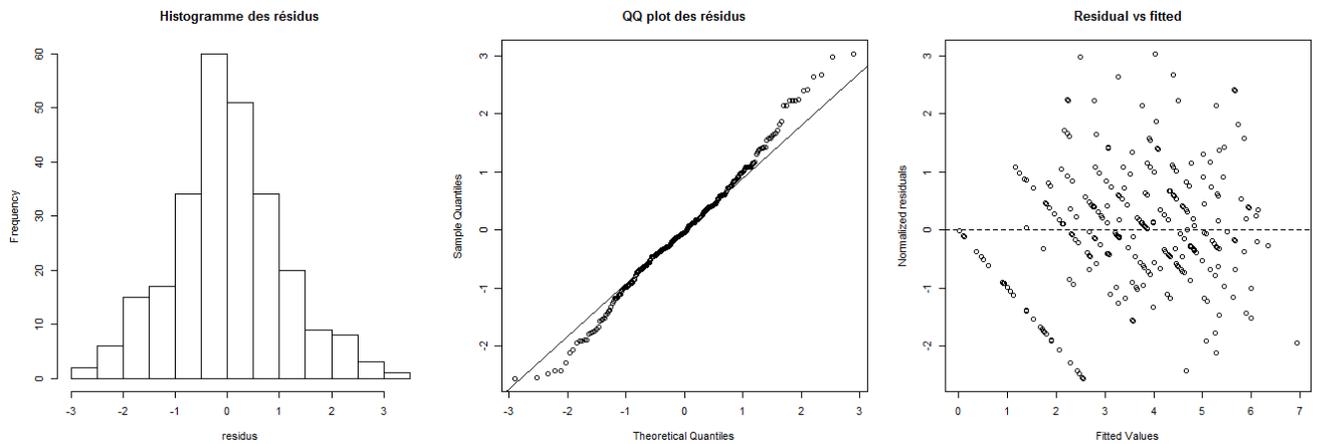
```
> ls1
  annee  lsmean      SE df lower.CL upper.CL
1996  2.584980  0.3204015  6  1.800985  3.368974
2006  3.411681  0.3194946  6  2.629906  4.193456
2016  4.471176  0.3329769  6  3.656411  5.285941
```

Effet du type de milieu « seul »

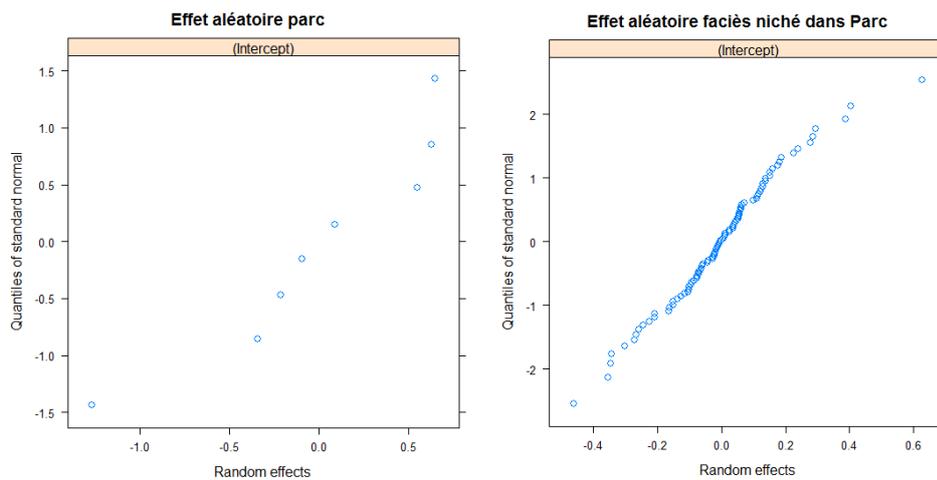
```
> ls2
  typologie      lsmean      SE df lower.CL upper.CL
Bois de feuillus  3.922743  0.3045954  6  3.177425  4.668061
Bois de résineux  2.628840  0.3323010  6  1.815729  3.441951
Bois en mélange  2.977229  0.4602572  6  1.851020  4.103438
Lande             4.428304  0.2991213  6  3.696381  5.160227
```

3.2 Vérification des hypothèses du modèle

Etude des résidus : le test de normalité de Shapiro-Wilk appliqué aux résidus indique qu'ils suivent une distribution normale ($p=0.14$). Le test de Bartlett ne confirme pas l'homoscédasticité.



Etude des effets aléatoires : les effets aléatoires se disposent de manière à se rapprocher d'une droite et par conséquent ne montrent pas d'écart manifeste à la normalité.



4. Résultats des tests statistiques : recouvrement ligneux hauts

4.1 Lsmeans

Effet de l'année en fonction de la saison

```

$lsmeans
mode_util = changement:
  annee  lsmean      SE df lower.CL upper.CL
1996    1.561873 0.04564153  7  1.453948  1.669799
2006    1.410246 0.04564153  7  1.302321  1.518171
2016    1.527647 0.04593959  7  1.419017  1.636276

mode_util = constant:
  annee  lsmean      SE df lower.CL upper.CL
1996    1.539320 0.04767213  6  1.422670  1.655969
2006    1.460381 0.04742567  6  1.344335  1.576427
2016    1.467289 0.04790118  6  1.350079  1.584498

```

Note : Les valeurs de lsmeans sont à l'échelle logarithmique (elles n'ont pas été basculées dans l'échelle de la variable-réponse).

Effet de l'année de relevé « seul »

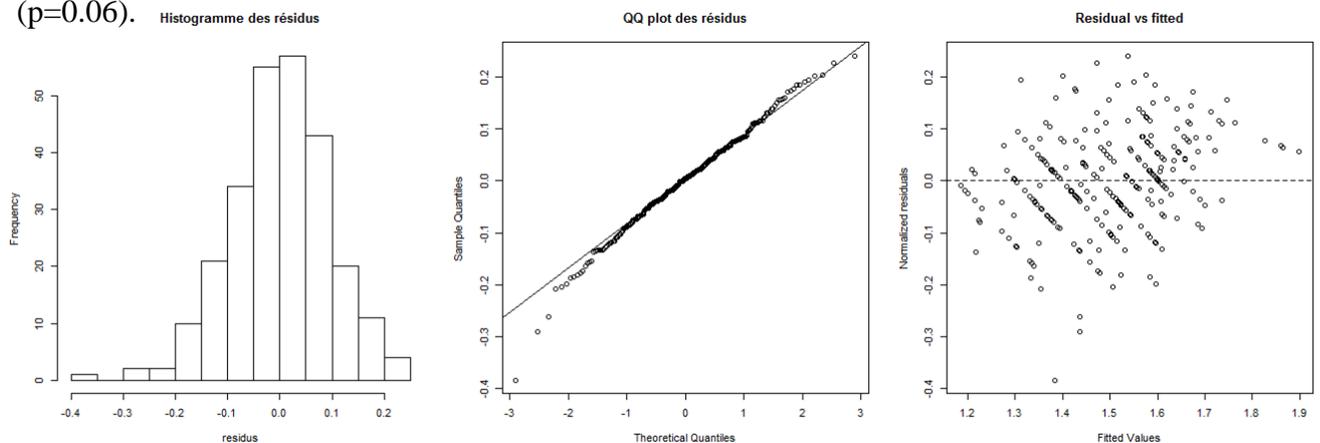
```

> lsl
  annee  lsmean      SE df lower.CL upper.CL
1996    1.550597 0.03299917  6  1.469851  1.631343
2006    1.435313 0.03291027  6  1.354785  1.515842
2016    1.497468 0.03318497  6  1.416267  1.578668

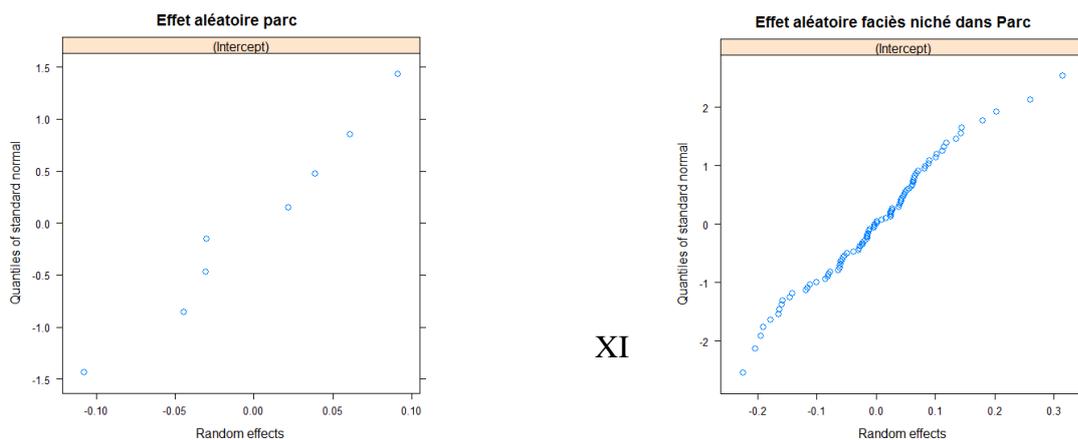
```

4.2 Vérification des hypothèses du modèle

Etude des résidus : le test de Shapiro-Wilk indique que les résidus suivent une loi normale ($p=0.08$). Le test d'égalité des variances de Bartlett valide également leur homoscédasticité ($p=0.06$).



Etude des effets aléatoires : les effets aléatoires se disposent de manière à se rapprocher d'une droite et par conséquent ne montrent pas d'écart manifeste à la normalité.



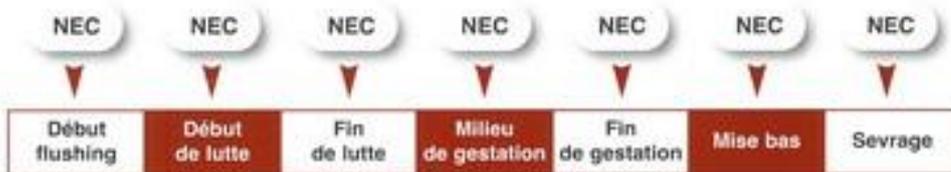
Annexe 7 : Protocole de notation de la NEC



→ La Note d'Etat Corporel (NEC)

Objectifs de la NEC et périodes de réalisation à Carmejane

La productivité du troupeau est fortement dépendante de l'adéquation entre les besoins des animaux et les disponibilités fourragères. L'appréciation du niveau des réserves corporelles des brebis par notation permet de juger de la couverture des besoins, notamment sur parcours. Des notations par palpation de la région lombaire sont effectuées sur tous les lots d'animaux à des périodes physiologiques clés. Cela permet d'adapter et de réajuster la conduite des animaux et de l'alimentation en fonction des objectifs fixés. Des notes complémentaires peuvent être réalisées pour des essais particuliers.



Coupe de la colonne vertébrale au niveau des reins



1 Les quatre étapes de l'attribution d'une note d'état corporel par maniement de la région lombaire de la brebis (Russel et al., 1984 ; cités par Dedieu et al., 1991)

1 Apprécier la proéminence des apophyses épineuses des vertèbres



2 Apprécier la proéminence des apophyses transverses des vertèbres



3 Apprécier le développement des muscles sous-lombaires



4 Apprécier le développement de la noix



Source : fiches techniques de la ferme expérimentale de Carmejane

Annexe 8 : Démarche statistique pour l'étude des NEC

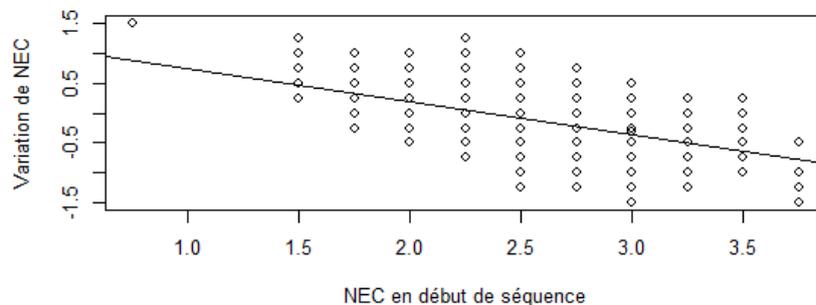
1. Démarche

1.1 Présentation du jeu de données

- ✓ Variable réponse : variation de NEC (vnec)
- ✓ 6694 observations
- ✓ 15 répétitions

variable	stockage	Définition de la variable
annee	nominale	année (2001-2015)
troupeau	nominale	troupeaux selon le stade physiologique et la saison de pâturage (T1g, T2g, T2e)
id_brebis	nominale	numéro d'identification de la brebis
classe_age	nominale	Classe d'âge de la brebis (jeune, adulte, vieille)
conduite_paturage	nominale	conduite du pâturage sur la période considérée (2001-2006 = complet ; 2007-2015 = prudent)
dnec	réel continu	NEC au début de la séquence pastorale
vnec	réel continu	Variation de NEC sur la séquence pastorale

1.2 Relations entre les variables continues et la variable réponse



L'étude des relations permet de déceler d'éventuelles covariables. La NEC de début de séquence est une covariable de la variation de NEC (corrélation négative). Pour pouvoir utiliser le modèle statistique, la liaison entre la variable réponse (vnec) et la covariable (dnec) ne doit pas dépendre de la et variable explicative (conduite_paturage). Après avoir centré la covariable, une analyse de variance a été réalisée pour tester l'hypothèse d'une NEC de début de séquence (dnec) différente en fonction de la conduite du pâturage. Le test indique d'accepter l'hypothèse nulle : pas de différence significative ($p=0.10$) en fonction du mode de pâturage.

1.3 Distribution de la variable-réponse

D'après le test de normalité de Anderson-Darling, la variable « variation de NEC » (vnec) ne suit pas une distribution normale ($p < 0.05$). Toutefois, la visualisation graphique montre que la symétrie de la distribution est correcte. La variable « brute » (non transformée) est gardée pour l'analyse.

Les tests d'égalité des variances de Bartlett, d'Ansari et de Fligner-Killeen nous indiquent que la variable réponse ne respecte pas la condition d'homoscédasticité.

Les conditions requises par les modèles linéaires ne sont pas respectées. De plus, le plan d'échantillonnage du jeu de données est à mesures répétées. C'est donc le modèle linéaire à effets mixtes qui doit être utilisé.

1.4 Variables testées dans le modèle

Variable-réponse	Variation de NEC (vnec)		
Effets fixes	Mode de pâturage	Troupeau	Classe d'âge
Covariable	NEC de début de séquence		
Effets aléatoires	Identifiant brebis	Année	

1.5 Construction du modèle statistique

Un modèle complet a été réalisé avec tous les effets fixes et les interactions :

- ✓ Les effets seuls : mode de pâturage, troupeau, classe d'âge
- ✓ Une interaction entre le mode de pâturage et le troupeau corrigée du reste ;
- ✓ Une interaction entre le mode de pâturage et la classe d'âge corrigée du reste ;

Le modèle complet a été sélectionné car les effets se sont révélés significatifs. De plus, l'objectif de cette analyse était d'étudier exclusivement l'interaction troupeau / mode de pâturage. La correction de l'ensemble des facteurs de contrôle par le test de Student était donc nécessaire.

Les effets aléatoires « identifiant brebis » et « année » étant croisés, la fonction « lmer » du logiciel R (package lme4) a été utilisée. La méthode employée (REML) et les tests statistiques réalisés sur le modèle ont été identiques à ceux réalisés sur les données de végétation.

2. Résultats des tests statistiques : variation de NEC

2.1 Lsmeans

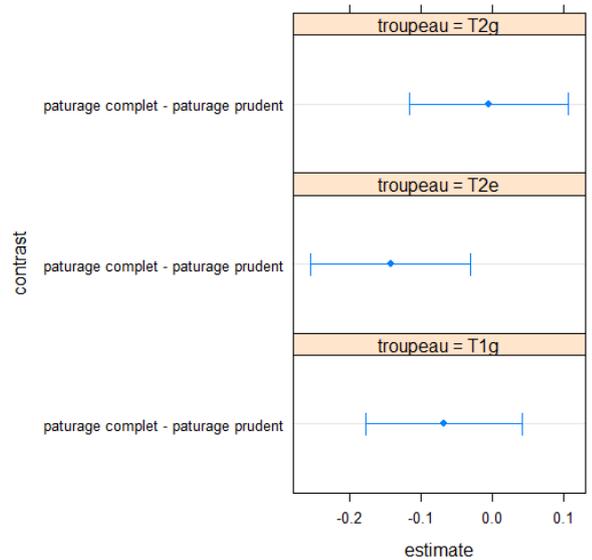
Effet de la conduite du pâturage en fonction du troupeau

```
troupeau = T1g:
conduite_paturage      lsmean      SE df  asymp.LCL  asymp.UCL
paturage complet     -0.12349996  0.04347884  NA -0.20871692 -0.038283012
paturage prudent     -0.05621559  0.03552697  NA -0.12584717  0.013415987
```

```
troupeau = T2e:
conduite_paturage      lsmean      SE df  asymp.LCL  asymp.UCL
paturage complet     -0.09481374  0.04400203  NA -0.18105613 -0.008571345
paturage prudent      0.04686842  0.03683442  NA -0.02532571  0.119062549
```

```
troupeau = T2g:
conduite_paturage      lsmean      SE df  asymp.LCL  asymp.UCL
paturage complet     -0.12409914  0.04375680  NA -0.20986090 -0.038337385
paturage prudent     -0.12005470  0.03584690  NA -0.19031334 -0.049796060
```

Results are averaged over the levels of: classe_age, dnecc
Confidence level used: 0.95



Effet de la conduite du pâturage en fonction de la classe d'âge

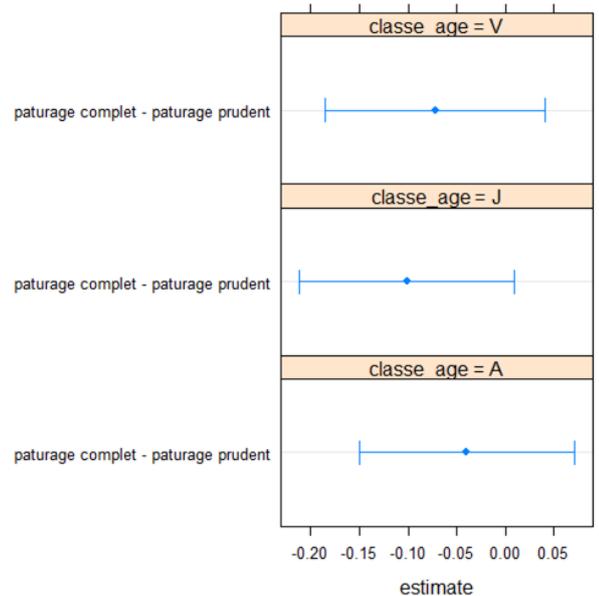
(J = jeune ; A = Adulte ; V = Vieille)

```
classe_age = A:
conduite_paturage      lsmean      SE df  asymp.LCL  asymp.UCL
paturage complet     -0.046328163  0.04347910  NA -0.1315456  0.038889308
paturage prudent     -0.006583356  0.03569262  NA -0.0765396  0.063372885
```

```
classe_age = J:
conduite_paturage      lsmean      SE df  asymp.LCL  asymp.UCL
paturage complet     -0.170011700  0.04347630  NA -0.2552237 -0.084799726
paturage prudent     -0.068920115  0.03574411  NA -0.1389773  0.001137055
```

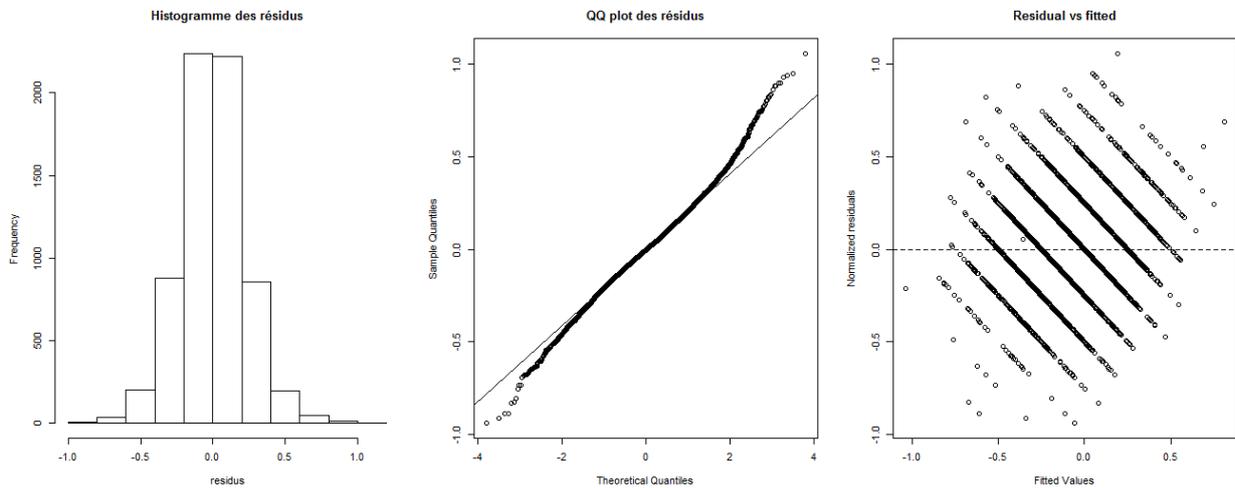
```
classe_age = V:
conduite_paturage      lsmean      SE df  asymp.LCL  asymp.UCL
paturage complet     -0.126072981  0.04431984  NA -0.2129383 -0.039207686
paturage prudent     -0.053898402  0.03648353  NA -0.1254048  0.017607998
```

Results are averaged over the levels of: troupeau, dnecc
Confidence level used: 0.95

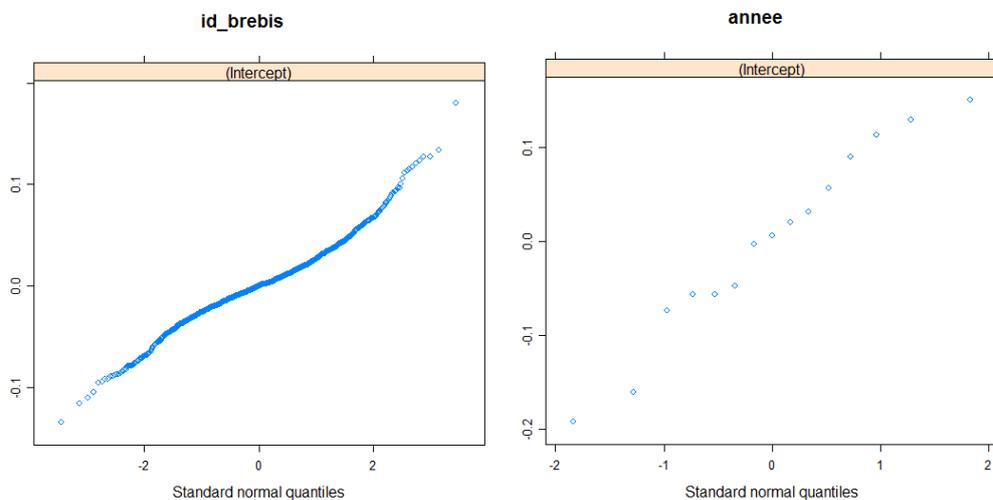


2.2 Vérification des hypothèses du modèle

Etude des résidus : Les tests de normalité et d'égalité des variances indiquent de rejeter l'hypothèse nulle. Cependant, la visualisation graphique n'indique pas d'écart manifeste à la normalité ou à l'homoscédasticité. La symétrie des résidus est correcte, cela étant le critère le plus important (Fouilloux, comm. pers.).



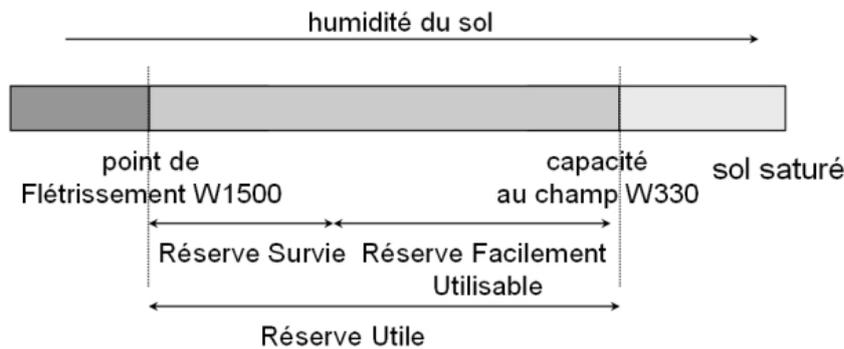
Etude des effets aléatoires : les effets aléatoires se disposent de manière à se rapprocher d'une droite.



Annexe 9 : Estimation de la RU

La réserve utile des sols des parcours de Carmejane a été estimée à partir des équations de régression linéaire de Rawls. Ces équations font intervenir :

- L'humidité au point de flétrissement (W330) : teneur en eau à -330 hPa (en mm/m)
- L'humidité à la capacité au champ (W15000) : teneur en eau à -15 000 hPa (en mm/m)
- La teneur en argile* (Ar) en %
- La teneur en sable* (Sa) en %
- La teneur en matière organique* (MO) en %



Source : UVED (<http://uved.univ-lemans.fr/>)

$$W330 = 257,6 - (2 \times Sa) + (3,6 \times Ar) + (29,9 \times MO)$$

$$W15000 = 26 + (5 \times Ar) + (15,8 \times MO)$$

$$RU \text{ terre fine} = (W330 - W15000) \times \text{Hauteur de l'horizon du sol}$$

$$RU \text{ sol (mm)} = RU \text{ terre fine} * (1 - \% \text{cailloux})$$

W330	345,8
W15000	202,6
RU terre fine ¹	42,96
RU sol ²	32,22

¹Profondeur du sol : 0,3 m

²Correction cailloux : 0,75

* Les teneurs en argile, sable et en matière organique ont été obtenues à partir des analyses de sols disponibles (une analyse effectuée sur la prairie 1, la plus proche des parcours).

Annexe 10 : Estimation de l'ETR

L'ETR décadaire est calculé à partir de l'ETP décadaire, la RU du sol et les précipitations décadaires selon la formule :

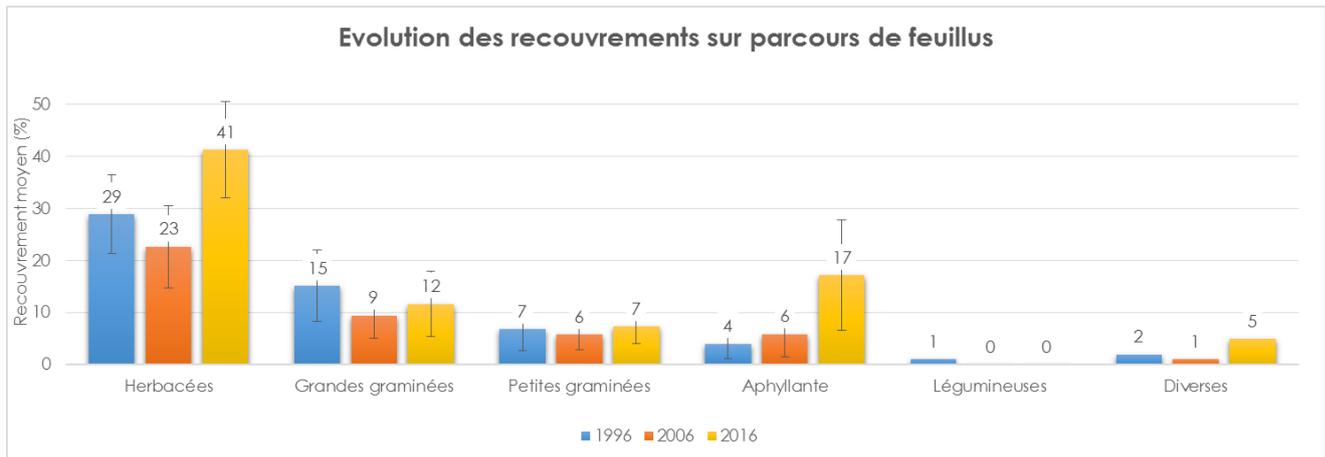
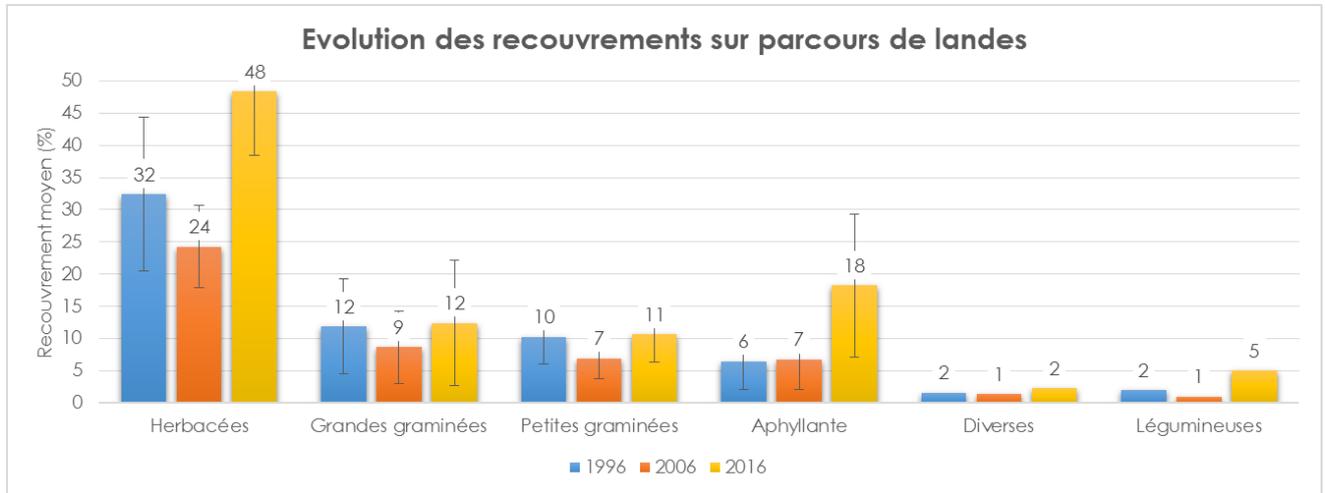
$\begin{aligned} \text{Si } RU + P > ETP & ; \text{ alors } ETR = ETP \\ \text{Si } RU + P < ETP & ; \text{ alors } ETR = RU + P \end{aligned}$

avec : P : précipitations décadaires

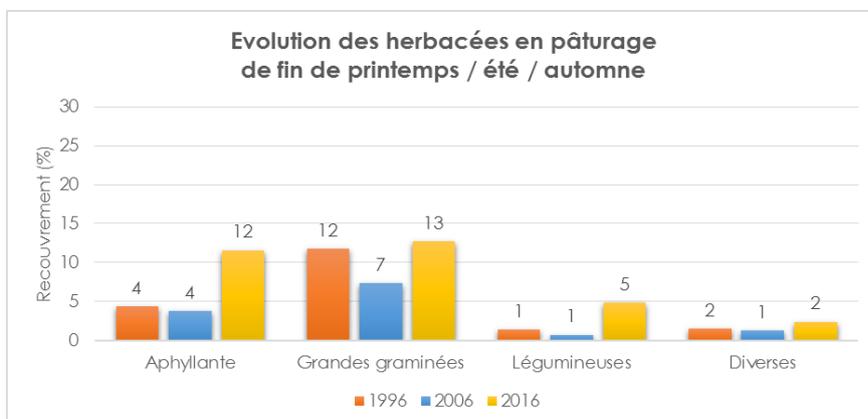
Les valeurs d'ETP ont été obtenues par la station météo de Château-Arnoux Saint-Auban. Pour se rapprocher des valeurs d'ETP des parcours de Carmejane, une correction a été attribuée aux valeurs ($ETP * 0,85$). Cette correction est basée sur des travaux précédents réalisés à Carmejane sur le climat (Démarquet, comm. pers.).

Annexe 11 : Graphiques supplémentaires de l'analyse de la végétation

Annexe 11a : Evolution des groupes herbacés en fonction du type de milieu

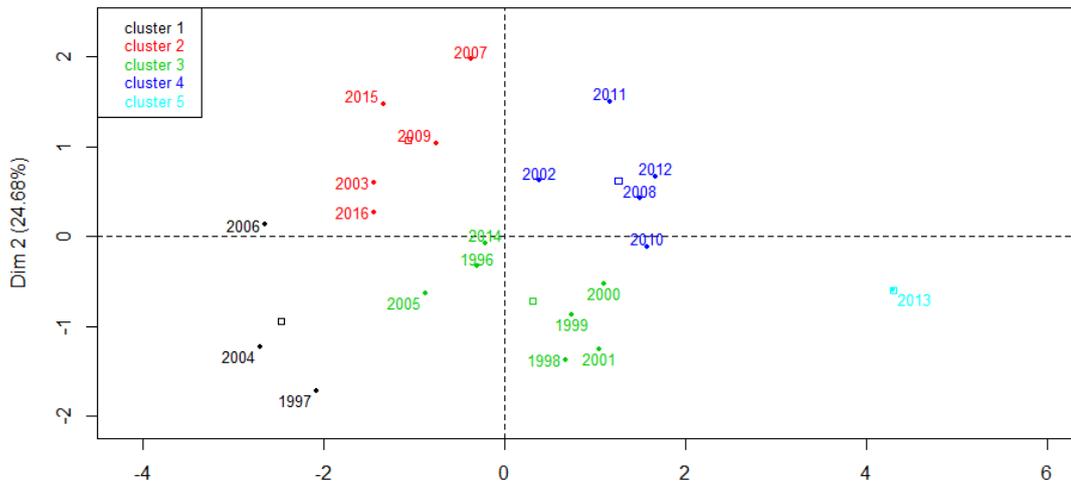


Annexe 11b : Evolution des groupes herbacés en pâturage de printemps / été / automne

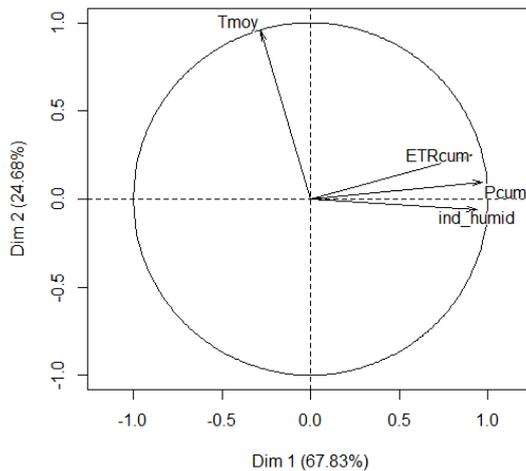


Annexe 12 : ACP et classification des profils climatiques printaniers

Factor map



Variables factor map (PCA)



- Classe 1** : printemps secs et frais
- Classe 2** : Printemps chauds et secs
- Classe 3** : Printemps normaux à frais
- Classe 4** : Printemps chauds et humides
- Classe 5** : Printemps humides

Pourcentage d'inertie expliquée par axe principal

comp	eigenvalue	percentage of variance	cumulative percentage of variance
comp 1	2.71	67.83	67.83
comp 2	0.99	24.68	92.50
comp 3	0.22	5.45	97.96
comp 4	0.08	2.04	100.00

Les deux premiers axes expliquent à eux seuls 92.5% de l'inertie du modèle. Le troisième axe n'apporte pas d'information supplémentaire (eigen value $\ll 1$).

Description des axes principaux

```

$Dim.1
$Dim.1$quanti
      correlation p.value
Pcum          0.97      0
ind_humid     0.94      0
ETRcum        0.91      0

$Dim.2
$Dim.2$quanti
      correlation p.value
Tmoy          0.95      0
    
```

L'axe 1 est caractérisé par un gradient d'humidité. Plus les années se rapprochent de la droite du graphique, plus le printemps a été humide.

L'axe 2 est caractérisé par un gradient de température. Plus les années se rapprochent du haut du graphique, plus le printemps a été chaud.

Contributions des années à la construction des axes

	Coordonnées		Contributions		Cosinus	
	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2
1996	-0.31	-0.33	0.17	0.53	0.19	0.23
1997	-2.07	-1.72	7.55	14.28	0.58	0.40
1998	0.68	-1.37	0.82	9.06	0.19	0.76
1999	0.75	-0.87	0.98	3.68	0.36	0.49
2000	1.09	-0.53	2.10	1.34	0.68	0.16
2001	1.05	-1.25	1.92	7.59	0.40	0.58
2002	0.39	0.62	0.26	1.87	0.13	0.33
2003	-1.45	0.61	3.67	1.78	0.83	0.15
2004	-2.70	-1.23	12.80	7.28	0.80	0.17
2005	-0.88	-0.63	1.34	1.93	0.61	0.32
2006	-2.65	0.14	12.33	0.09	0.93	0.00
2007	-0.37	1.97	0.24	18.78	0.03	0.95
2008	1.49	0.42	3.90	0.86	0.84	0.07
2009	-0.75	1.04	1.00	5.19	0.33	0.62
2010	1.57	-0.12	4.35	0.06	0.83	0.00
2011	1.17	1.51	2.39	10.95	0.35	0.58
2012	1.67	0.67	4.92	2.18	0.77	0.12
2013	4.30	-0.59	32.39	1.70	0.93	0.02
2014	-0.20	-0.07	0.07	0.03	0.05	0.01
2015	-1.34	1.47	3.16	10.47	0.45	0.55
2016	-1.44	0.27	3.63	0.35	0.96	0.03

Les années 2004, 2006 et 2013 contribuent le plus à la formation de l'axe 1. 2004 et 2006 correspondent en effet à des printemps particulièrement secs, tandis que le printemps 2013 a été anormalement pluvieux.

Les années 1997 et 2007 contribuent le plus à la formation de l'axe 2. Le printemps 1997 a été anormalement froid, tandis que le printemps 2007 a été très chaud.

Les années 1996 et 2014 ne sont pas bien représentées sur les deux axes. Il s'agit en réalité d'années « normales » dont les températures et les précipitations / ETR sont proches des normales saisonnières.



VetAgro Sup



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES INGENIEUR

AGRICULTURE, ENVIRONNEMENT, TERRITOIRE

MAITRES DE STAGE :

GRISOT, Pierre-Guillaume (Institut de l'Elevage)
DEMARQUET François
(Ferme expérimentale ovine de Carmejane)

TUTEUR PEDAGOGIQUE :

PINOT Adrien

RESUME :

La mission de stage s'inscrit dans le cadre d'une étude menée sur le pilotage du pâturage des parcours par la ferme expérimentale ovine de Carmejane. Deux protocoles expérimentaux de gestion des parcours se sont succédés, en vue d'atteindre des objectifs spécifiques. Entre 1999 et 2006, un pâturage complet de l'herbe a été conduit dans le but de maîtriser le niveau d'embroussaillement et éviter les dérives de la végétation. Puis, de 2007 à 2016, un pâturage qualifié de « prudent » dans l'étude, a été conduit dans le but d'améliorer l'état corporel des brebis sur parcours d'une part, et d'assurer un renouvellement de la ressource pastorale d'autre part. Après vingt ans d'expérimentation du pâturage sur parcours, un bilan s'imposait. L'étude présentée s'attache à faire la synthèse des résultats acquis sur la dynamique de la ressource pastorale à travers trois campagnes de suivi de la végétation. En parallèle, une attention a été portée aux conditions climatiques de la période d'étude, et aux tendances d'évolution des états corporels des brebis. Les résultats suggèrent que le pâturage complet a tendance à stabiliser voire diminuer le niveau de la ressource pastorale, au point de perdre des journées de valorisation des parcs. Lors du pâturage prudent qui a succédé, une régénération de la ressource pastorale dans son ensemble a été observée, la durée de valorisation des parcs s'est maintenue et les états corporels des brebis tendent à s'améliorer. Ces résultats sont appuyés par une première décennie particulièrement sèche, et la suivante globalement plus chaude, mais aussi plus arrosée. En replaçant ces résultats dans une logique de gestion, il semble que le mode de pâturage prudent soit le meilleur compromis au vu des attentes des gestionnaires. Toutefois, ce mode de gestion sera nécessairement révisé à l'avenir, au regard des nouvelles contraintes auxquelles la ferme est aujourd'hui confrontée (prédation du loup, réchauffement climatique).

Mots-clés : pastoralisme, gestion des parcours, pâturage ovin, ressource pastorale, suivi de la végétation, état corporel des brebis.

LUCAZ, Marine, 2016. *Bilan de 20 ans de pilotage du pâturage sur les parcours de la ferme expérimentale ovine de Carmejane : quels effets sur la ressource au regard des objectifs de gestion ?* Mémoire de fin d'études. VetAgro Sup, Clermont-Ferrand, 44 p.