



HAL
open science

Évaluation de la fonctionnalité des diverses structures végétales de la steppe de Crau (Bouches-du-Rhône) en tant que ressource alimentaire pour des troupeaux ovins conduits par des bergers

Pedro Gonzalez Pech

► To cite this version:

Pedro Gonzalez Pech. Évaluation de la fonctionnalité des diverses structures végétales de la steppe de Crau (Bouches-du-Rhône) en tant que ressource alimentaire pour des troupeaux ovins conduits par des bergers. Sciences du Vivant [q-bio]. AgroParisTech, 2011. Français. NNT : . tel-02811139

HAL Id: tel-02811139

<https://hal.inrae.fr/tel-02811139>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Doctorat ParisTech

THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

**L'Institut des Sciences et Industries
du Vivant et de l'Environnement**

(AgroParisTech)

Spécialité : Sciences Agronomiques

présentée et soutenue publiquement par

Pedro Geraldo GONZALEZ PECH

le 24 janvier 2011

**Évaluation de la fonctionnalité des diverses
structures végétales de la steppe de Crau (Bouches-
du-Rhône) en tant que ressource alimentaire pour
des troupeaux ovins conduits par des bergers.**

Directeur de thèse : **Michel MEURET**

Jury

M. Daniel SAUVANT , Prof HDR, UMR Physiologie de la Nutrition et Alimentation, AgroParisTech	Président
M. Silvain PLANTUREUX , Prof., UMR Agronomie et Environnement, Nancy-Université-INRA	Rapporteur
M. François BOCQUIER , Prof., UMR Elevage des Ruminants en Régions Chaudes, Montpellier SupAgro-INRA	Rapporteur
M. Axel WOLFF , Chargé de Mission, Réserve Naturelle des Coussouls de Crau C.E.E.P.	Examineur
M. Cyril AGREIL , Chargé de Recherche, UR Écodéveloppement, Inra d'Avignon	Examineur
M. Joseph BONNEMAIRE , Prof., INA Paris-Grignon	Examineur
M. Michel MEURET , DR2 HDR, UR Écodéveloppement, Inra d'Avignon,	Examineur

Dédicace & remerciements

A Silvia, mi compañera de ésta y tantas mas locas aventuras. No hay suficientes palabras para agradecerte el estar a mi lado en este proyecto y soportar juntos todo lo que ello ha implicado. El tpb que entre tu labo y el mío se fue a jugar con las estrellas all  en el universo podrá estar orgulloso de nosotros.

A mi familia : a todos y cada uno, por su presencia constante del otro lado del skype, del chat, del teléfono ; este documento es también un logro de ustedes. Pero de manera muy especial a Carlos y Carmen por el amor y educación con que nos crecieron. A mis abuelos que siempre me dijeron que llegaría muy lejos. A mis sobrinos, a quienes me gustaría impulsar a que nunca dejen de buscar la respuesta a sus inquietudes.

Quant à mon travail, j'aimerais commencer par remercier Joseph Bonnemaire, professeur   l' cole Doctorale ABIES-AgroParisTech, pour son suivi et son soutien tout au long de mon projet.  galement Michel Meuret, mon directeur de thèse, pour sa rigueur scientifique pour m'avoir fait partager sa connaissance du monde pastoral, et aussi pour ses nombreuses et longues journées passées à essayer de clarifier mon manuscrit en français. Et très spécialement Cyril Agreil pour ses conseils dans l'analyse de "milliers de bouchées", mais surtout pour ses qualités humaines.

De même, Danièle Magda (DR INRA Toulouse) et Axel Wolff (Conservatoire études des écosystèmes de Provence, CEEP) qui ont fait partie de mon comité de pilotage de thèse.

Pour le travail quotidien à l'unité d'écodéveloppement, je tiens à remercier très sincèrement Christine de Sainte Marie, directrice de cette unité au début de ma thèse, qui m'a accueilli à l'INRA d'Avignon et m'a soutenu pendant les périodes critiques de mon séjour.  galement, Claude Napoléone et Marc Tchamitchian, les actuels directeurs de l'unité.

J'ai bien apprécié le travail de terrain avec Marc Vincent, lors de l'échantillonnage "qualité", mais également ses commentaires précis sur l'élevage pastoral de Crau et surtout ses relectures et corrections de mon manuscrit.

Dans mes difficultés pour comprendre quelque chose de tellement entremêlé pour un observateur mexicain comme le sont les Mesures Agri-Environnementales en France, j'ai apprécié l'aide précieuse de Christian Deverre.

Je n'oublie pas Christine Gilly, toujours souriante, pour sa dose de bonne humeur matinale qu'elle nous a apportée tous les lundis.

Hugues Voreux, comédien décontracté, qui sait mettre son humeur pour alléger le sérieux de notre travail tout en étant responsable de la documentation à l'unité. Toujours attentionnées et compréhensives, Viviane Rousselle et Joëlle Pauleau ont su m'orienter dans mes démarches administratives. Enfin, je remercie toute l'équipe de l'écodéveloppement, pour son accueil chaleureux et la sympathie dont elle a fait preuve vis-à-vis de "l'étranger" que je suis.

Que dire encore de Patrick Fabre de la Maison de la Transhumance et d'Axel Wolff de la Réserve Naturelle des Coussouls de Crau, qui m'ont fait découvrir la plaine de la Crau, ses herbes, ses oiseaux, ses troupeaux, ses bergers et ses éleveurs. Leurs connaissances en tant qu'experts de ce milieu ont énormément contribué à mon travail de recherche. Merci aussi à Jean Boutin de l'Ecomusée de Saint Martin de Crau.

À Jeremy Bertrand, stagiaire de la Chambre d'Agriculture du Bouches-du-Rhône (CA 13) et actuellement berger, pour m'avoir laissé l'accompagner en qualité d'observateur pendant ses entretiens avec les bergers, ce qui m'a beaucoup servi pour réaliser les miens. Je remercie également Fanny Sauguet de la CA 13 pour les précieuses informations sur les éleveurs et bergers de cette région. Également, un grand merci à Sabine Débit, du CERPAM, pour sa camaraderie lors des mesures de recouvrement de brachypode et autres visites sur le terrain, mais surtout pour ses encouragements pendant ma thèse.

Et peut être les principaux, c'est-à-dire les bergers, qui auront plus difficilement accès au document écrit, mais néanmoins méritent d'être réunis sur le devant de la scène pour m'avoir permis de plonger au cœur de leurs pratiques. Les bergers avec qui j'ai eu l'opportunité de travailler : Roger MINARD, au Malrif et en Crau ; Clément LÉBOUCHER, en Crau ; et Martial MENARD, aussi en Crau.

Autant à tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, m'ont apporté leur aide : Jean Marie GAUTIER qui m'a fait connaître le Ricou, l'assistant du berger Gérard CALMEJAUNE en montagne, Christian TROUILLARD pour la baraque et ses discussions concernant la production ovine en Crau. Même si l'expérience avec leur troupeau n'a pas été très réussie, j'ai apprécié le travail avec le berger Didier, propriétaire du Ventillon. Merci à l'éleveur René TAVAN pour ses discussions toujours riches en savoir. Merci aux autres éleveurs/bergers avec qui j'ai pu enrichir mon parcours en Crau : Dominique REIS, Jean François PORRACHIA, Isabelle CESANO, Antoine LE GAL, Jean Pierre RICARD, le berger Christian, Saalab et Albadaoui, Olivero SPRITO, et Monique LEMOTTE.

Reste aussi à évoquer : Madame Simone Humm, mon ange gardien, qui m'a secouru pour corriger les maladresses de français de mes paragraphes, Julio ROJAS pour son support dans les statistiques et la "domestication" du logiciel R., Rodrigo ACUÑA, photographe de moutons et, dans son temps libre, chercheur au LIA d'Avignon.

Aux amis français de l'IUT : Rémy et Laetitia pour nous faire partager avec vous les heureux moments de votre mariage et la naissance du Pokemoncito. Merci aussi à Florian Pinaut, Sabine y Cyrilito pour mon initiation aux tartes françaises. Florian Boudin et Kim, Gilles, Frank, merci pour les nombreux moments de détente.

Et aussi à la "Commission de l'ONU" qui s'est réunie pour le café au cours d'après midi à l'IUT : Peter PEIN (Allemagne), Khalil, Abdelatif et Sabir (Maroc), Tembiné (Mali), Sujit (Inde), Florian VERDET (Suisse), Christophe et Eric BLAUDEZ (France).

Al grupo de cuates latinos, de la etapa Nanciense : Manuel Adam, Luis Martinez, Jonhy Prado, Flavio, Christopher Bryan y Desirée, Luis Valenzuela, Yahir y Yolanda, Joel, Sinuhé, Diego, Gilberto, Oscar y familia, Gabriel y familia. Especialmente a Rebeca, Hugo, Andrée y familia ; Luis Camacho, Claudia y familia, Alfonso y Mayra.

De la etapa Avignonnaise : Rodrigo y Mariela, Julio y Sulan, Juan Manuel y Patricia, Guillermo y Luci, Eric SanJuan y Fidelia Ibekwue, Tania y familia. Y a todos con los que coincidimos durante sus breves estancias : Luis Valderrama, Karen, Alma y Raul.

Esta tesis fue realizada gracias al financiamiento de mi país a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México. Cette thèse a été réalisée grâce au financement de mon pays au travers du Conseil National de la Science et Technologie du Mexique.

Evaluation of the functionality of heterogeneous vegetable structures as feeding resource for ovine herds grazed by shepherds in the South East of France.

Summary

The steppe of Crau shelters remarkable kinds of flora and fauna, which habitats are structured and maintained by the ovine grazing by shepherds. The administrators of the Wildlife sanctuary of Crau wish therefore that the stockbreeders continue using the labor of the shepherds. However, the difficult economic context of ovine animal husbandry encourages an increase in the number of ewes entrusted to the same shepherd, with uncertain results on the vegetation. So, the administrators of Wildlife sanctuary are concerned to justify technically the need to support the diversity of pastoral practices. And specially, to anticipate the consequences of an excess of homogenization in the vegetation that may follow upon abandoning shepherding and installing by fences. The managers of the Reserve monitor emblematic animal species, as well as measure the height and plant cover of the brachypode rameux (*Brachypodium retusum* Pers beauv.), a permanent grass structuring the steppe vegetation. This species is generally qualified as « gross » and not much appreciated by ewes. However it represents a key resource at the beginning and end of the grazing season, when the annual species are not available. The objective of this thesis is to value the feeding functionality of the Crau vegetation for ewes grazed in big herds in spring by shepherds. We're concerned to provide information for building a field indicator, operational for qualifying the diverse natures and structures of vegetation according to their functionality for the quotidian ingestion. Our procedure of research is founded in direct observation of ingestion behavior in individuals during the grazing circuit of the journey. It's the first time that this technique is adapted to big herds of more than 1000 ewes. The technique is connected to a multi scale description of the vegetation, to records of shepherding grazing circuits and to semi guided interviews with experimented shepherds. We identified two categories of vegetal structures, functional from the point of view of instantaneous intake in ewes: the "necessary" and "limiting" allowing or not allowing the ewe to reach high levels of intake flow. Most of structures of brachypode, described here as varieties of "grazed morphs" contributes to the category "necessary". This is not the case for structures of dicotyledons and grasses. Concerning the shepherds, they identify four categories of brachypode according to their state of maturity, the type of regrowth and the appetency for ewes. During the circuits, the shepherds encourage the herds to alternate grazing on zones containing an abundance of dicotyledons and zones with abundance of brachypode. It's in the latter where we measured the highest instantaneous intake rate. Nevertheless, in spring the nutritive value of brachypode is smaller than in most other species. In attempting to adopt the animals point of view, and those of shepherds too, this work suggests characterizing the vegetation in a different way from the classical measures of height and plant cover, above all if we intend to appreciate it as a feeding resource. Some morphes of brachypode, of easy identification by their leaf shape, are necessary to obtain higher intake flows. We propose these morphes as an operational indicator to be integrated in monitoring of the vegetation dynamic at Crau. We confirm the role of shepherd in the spatial distribution of grazing. He can by a variety of different actions in his herd encourage the use of different zones of vegetation. He does this, for management reasons of quotidian feeding and the renewal of pastoral resource at the steppe in a multi annual scale.

Key words: farms, biodiversity, pastoralism, ingestion behavior, small ruminants, grazing, shepherds, steppe environment.

Evaluación de la funcionalidad de diversas estructuras vegetales de la estepa de Crau (Bouches-du-Rhône) en tanto que recurso alimentario para rebaños ovinos conducidos por pastores.

Resumen

La estepa de Crau alberga especies de fauna y flora remarcables cuyos hábitats son estructurados y mantenidos desde tiempos remotos por la acción de los rebaños ovinos conducidos en circuitos de pastoreo por los pastores. Los directivos de la Reserva Natural de Crau desean por lo tanto que los productores continúen recurriendo al trabajo de los pastores. Sin embargo, el contexto económico difícil de la producción ovina incita a aumentar el número de borregas confiadas a un mismo pastor, con resultados por demás inciertos sobre la vegetación. Para los directivos de la Reserva, se trata pues de lograr justificar técnicamente la necesidad de mantener la diversidad de prácticas pastorales incluyendo los circuitos de pastoreo de los pastores. Ellos tratan sobre todo, de anticipar las consecuencias de un exceso de homogenización de la vegetación que tendría lugar seguido al abandono de los circuitos de pastoreo en favor del encierro de los rebaños mediante cercas a manera de potreros. En ese sentido, monitoreos de especies animales emblemáticas son efectuadas, así como el seguimiento de la altura y recubrimiento de *Brachypode rameux* (*Brachypodium retusum* Pers beauv.) gramínea perene estructurante del tapis vegetal. Esta especie es generalmente calificada de “tosca” poco apreciada por las borregas. Ella constituye por lo tanto un recurso clave en principio y en fin de temporada de pastoreo cuando las especies anuales no se encuentran disponibles aun. El objetivo de la tesis es evaluar la funcionalidad alimentaria de la vegetación de la estepa de Crau en primavera para las borregas que conforman grandes rebaños y que son conducidas en circuitos de pastoreo por los pastores. Así como aportar los conocimientos para la construcción de un indicador de terreno operacional que permita calificar los diversos tipos y estructuras de vegetación según su funcionalidad para la ingestión a una escala cotidiana. La estrategia de investigación está basada en la observación directa del comportamiento de ingestión en las borregas durante los circuitos de pastoreo cotidianos. Esta es la primera vez que dicha técnica es adaptada a rebaños de más de 1000 borregas. Ella es acoplada a una descripción multi-escalas de la vegetación, a observaciones cartografiadas de los circuitos de pastoreo cotidianos de los pastores, así como a entrevistas semi-dirigidas con pastores experimentados. Identificamos dos categorías de estructuras vegetales, funcionales desde el punto de vista de la ingestión instantánea: las “necesarias” y las “limitadoras”, permitiendo o no a las borregas de alcanzar niveles de flujo de ingestión elevados (en gramos de materia seca por minuto). A diferencia de las estructuras de dicotiledóneas y otras gramíneas, la mayoría de las estructuras del brachypode, descritas aquí bajo la forma de variedades de “morfos pastoreados”, contribuyen a la categoría de “necesarias”. En cuanto a los pastores, ellos identifican cuatro categorías de brachypode según el estado de madurez de la planta, el tipo de rebrote y su apetencia para las borregas. Durante los circuitos de pastoreo, los pastores incitan al rebaño a alternar el pastoreo sobre zonas con pequeñas especies dicotiledóneas y zonas abundantes en brachypode. Es en estas últimas zonas donde fueron registrados los flujos de ingestión instantánea más elevados. En la primavera el brachypode es sin embargo de mucho menor valor nutritivo que la mayoría de las otras especies botánicas. Intentando adoptar el punto de vista del animal, pero también el del pastor, este trabajo de tesis sugiere caracterizar la vegetación de manera diferente a las clásicas medidas de altura y recubrimiento; sobre todo cuando el interés reside en apreciarla como recurso alimentario. Algunos morfos de brachypode, fácilmente identificables según la forma de sus hojas, son necesarios para la obtención de flujos de ingestión elevados. Nosotros proponemos esos morfos como un indicador operacional a integrar en el monitoreo de las dinámicas de vegetación en Crau. Confirmamos también el rol del pastor en la distribución espacial del pastoreo. Por medio de diversas acciones sobre su rebaño y efectuadas a la escala del circuito de pastoreo, el pastor está en capacidad de estimular la utilización de tal o cual zona de vegetación. Ello por razones de gestión de la alimentación cotidiana, pero también de gestión de la renovación de los recursos pastorales de la estepa a una escala multianual.

Palabras clave: Producción animal, biodiversidad, pastoralismo, comportamiento de ingestión, pequeños rumiantes, pastoreo, pastores, medio estepario.

Table des matières

1	Contexte, problématique de terrain et objectif de la thèse	11
1.1	Le contexte	11
1.1.1	Les généralités sur la plaine de Crau	11
1.1.1.1	Caractéristiques générales de la Crau : localisation, extension, origine, sol et climat	12
1.1.1.2	Flore et faune de Crau	15
1.1.2	Le système pastoral de Crau	19
1.1.2.1	Les systèmes transhumants en France	19
1.1.2.2	Les troupeaux ovins transhumants de Crau	20
1.1.2.3	L'utilisation des coussouls	22
1.1.2.4	Le recouvrement en brachypode structure les coussouls de Crau et différencie leurs usages	23
1.1.3	La Crau agressée de partout	25
1.1.4	La création de la Réserve Naturelle des Coussouls de Crau	28
1.1.5	Les Mesures Agri-Environnementales (MAE) dans la Crau sèche	29
1.1.6	Qu'est-il attendu du pâturage en Crau pour la conservation des habitats d'espèces ?	32
1.2	Problématique de terrain	32
1.2.1	Alliance entre les environnementalistes et les pastoralistes	32
1.2.2	L'environnement économique fait pression sur l'environnement naturel	33
1.2.3	Études visant la justification technique du maintien des pratiques de garde par des bergers	34
1.3	Objectif de la thèse	37
2	Revue bibliographique, question de recherche et hypothèses	39
2.1	Revue bibliographique	39
2.1.1	Le comportement alimentaire et la structure de plantes	39
2.1.1.1	Le comportement alimentaire et la structure de plantes	39
2.1.1.2	Les caractéristiques des ruminants et la préhension des plantes	45
2.1.2	<i>Brachypodium retusum</i> : une diversité de formats	51
2.1.3	Les pratiques des bergers de Crau et le comportement alimentaire des troupeaux ovins.	52
2.2	La question de recherche et la délimitation de mon niveau d'implication	57
2.2.1	La question de recherche	57
2.2.2	Délimitation de mon niveau d'implication et hypothèse	57
3	Dispositifs de recherche et méthodes de mesure	61

3.1	Description du dispositif de recherche	61
3.1.1	Description générale du dispositif de recherche	62
3.1.2	Identification et choix des sites d'observation	64
3.1.3	Choix des états de végétation et des catégories des formats de brachypode	68
3.2	Les méthodes de mesure	72
3.2.1	La télémétrie couplée au repérage sur le terrain pour l'identification des types de coussouls et des faciès de végétation	72
3.2.2	La méthode du <i>scan sampling</i> pour l'observation directe de l'ingestion instantanée	73
3.2.3	La grille de codage de prises alimentaires adaptée aux ovins en steppe de Crau	78
3.2.4	La technique des simulations manuelles : l'échantillonnage pour la détermination de la masse et de la qualité des prises alimentaires	81
3.2.5	La spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) pour la détermination de la qualité nutritive.	82
3.2.6	Entretiens avec des bergers et enregistrement de leurs manœuvres et des activités du troupeau.	83
3.3	Expériences dans la mise en œuvre du dispositif expérimental sur le terrain	85
3.3.1	Critères initiaux trop rigides pour le choix des sites d'observation	86
3.3.2	Une phase d'accoutumance réciproque compliquée	86
3.3.3	La place de coussoul "fin" n'a pas pu en fin de compte être utilisée	87
3.3.4	Concernant les difficultés rencontrées pour les observations	88
4	Résultats	91
4.1	Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers	91
4.1.1	Places de pâturage travaillés	91
4.1.2	Construction des jeux de données	94
4.1.2.1	Faisabilité et répétabilité pour distinguer plusieurs types de prises alimentaires réalisées sur une même espèce	94
4.1.2.2	Les séquences d'ingestion observées : durée et nombre effectif.	95
4.1.2.3	Les modalités de discrétisation des données et leurs implications	96
4.1.3	Catégorisation des actions du berger et définition de leur niveau d'influence probable sur le troupeau	97
4.1.4	Description des formats de végétation	108
4.1.4.1	Types de structure, groupes de plantes et morphes prélevés	109
4.1.4.2	Modalités observées dans le prélèvement des prises alimentaires par les brebis.	116
4.1.4.3	Masse des prises alimentaires dans le cas des morphes de brachypode	119
4.1.4.4	Fréquences de collecte observées pour les 109 modalités de "plante-prise".	120
4.1.4.5	Fréquences de collecte des 109 modalités de "plante-prise" selon les faciès.	122
4.1.4.6	Qualité nutritive des plante-prises.	126
4.1.4.7	Résultats de la qualité nutritive selon les morphes de brachypode.	129

4.1.5	Description et analyse exploratoire du flux d'ingestion	131
4.1.5.1	Description générale du comportement d'ingestion et de la réponse fonctionnelle	131
4.1.5.2	Grande variété de plantes prises par séquence de 20 secondes	136
4.1.5.3	Le flux d'ingestion par faciès	136
4.1.6	Description des pratiques des berger interviewés et observés	138
4.1.6.1	Entretiens avec des bergers experts de Crau	138
4.1.6.2	Un tiers des actions du berger sont à effet différé	141
4.1.6.3	Différentes fréquences d'utilisation pour les actions à effet direct ou différé	141
4.1.6.4	Les actions enchaînées à l'échelle du circuit de pâturage : " <i>une suite de tenir et laisser faire</i> ".	144
4.1.6.5	Les actions employées sont ciblées selon les faciès	146
4.1.6.6	Des gammes d'actions spécifiques à chacun des trois bergers.	148
4.2	Le comportement d'ingestion selon la contribution de morphes et plantepries : construction d'un modèle explicatif	150
4.2.1	Justification du besoin de regroupement des structures végétales . . .	150
4.2.2	Construction des classes "physionomiques"	151
4.2.3	Construction d'une variable explicative numérique : modes de calcul de la contribution de classes physionomiques aux séquences de 20 secondes	153
4.2.4	Ajustement d'un modèle additif généralisé pour chaque classe physionomique	154
4.2.5	Regroupement des classes en fonction de la forme du modèle ajusté .	157
4.2.6	Retour sur la réponse fonctionnelle des catégories fonctionnelles et classes physionomiques issues des morphes de brachypode.	159
4.3	Description des variations de flux d'ingestion associées aux actions du berger	163
4.3.1	Caractéristiques des données et implications pour l'analyse et l'interprétation des résultats	163
4.3.2	Les flux d'ingestion observés en considérant les actions comme étant tous à effet direct ou bien en différenciant les actions comme étant à effet direct ou différé.	165
4.3.3	Quels liens entre le niveau d'influence des actions sur le troupeau et les flux d'ingestion observés ?	167
5	Discussion	175
5.1	Démarche et méthode utilisées dans la thèse	175
5.2	Une végétation steppique apparemment frugale mais en réalité assez généreuse pour l'ingestion des brebis	177
5.3	Vu du comportement alimentaire de la brebis, le brachypode s'apparente à un petit arbuste	178
5.4	Le brachypode et d'autres graminées méritent leur appellation de "grossier" .	180
5.5	Les bergers identifient plusieurs types de "grossiers"	181
5.6	Actions de berger sur le troupeau et flux d'ingestion chez des individus . . .	182
6	Conclusion	185
	Liste des illustrations	189

Liste des tableaux	193
Bibliographie	195

Introduction

Les pratiques pastorales dans le sud-est de la France ont tiré profit depuis des siècles de la végétation naturelle en Crau. Le pâturage de ses vastes unités foncières, les "Coussouls", par des troupeaux ovins transhumants et conduits en gardiennage durant la majeure partie de l'année ont façonné ce milieu de steppe aride qui constitue aussi des habitats pour de nombreuses espèces d'oiseaux, de reptiles, d'insectes, de poissons. Cet espace fragile, à l'origine de 60.000 ha, a été menacé dès le XVI^e siècle par l'établissement de prairies irriguées. Il l'est encore de nos jours, du fait de l'empiètement de la pression urbaine, de l'installation de dépôts de gaz naturel, d'autoroutes, d'un aérodrome militaire, et également de cultures de pêche et de maraîchage. Pour le protéger, des défenseurs de la nature, le Conservatoire Études des Écosystèmes de Provence (CEEP), et d'autres associations, ont réussi à classer les 12.000 ha subsistants comme espace naturel protégé dont 7.400 ha en Réserve Naturelle des Coussouls de Crau. Grâce à des procédures agri-environnementales européennes et françaises, des moyens financiers ont été trouvés pour que ces terres continuent à être utilisées par l'élevage pastoral sans que les éleveurs et leurs bergers aient trop à modifier leurs pratiques de pâturage.

Ce n'est pas une seule pratique pastorale homogène qui traditionnellement répandue entre les éleveurs et bergers serait considérée comme étant favorable à la végétation constitutive des habitats d'espèces. Au contraire, c'est la diversité des pratiques entre les éleveurs de Crau qui est jugée positive. Cependant, les éleveurs cherchent à rentabiliser leur production sous contraintes économiques d'une filière ovine qui traverse une assez grave crise. En réponse, sont apparues des tendances pour augmenter les cheptels, améliorer la productivité fourragère en Crau, parfois surcharger les quartiers de pâturage ("places") sur coussouls (plus de bétail laissé à pâturer par unité de surface et de temps), ou bien encore remplacer le berger et son salaire par des clôtures fixes. Les dispositifs d'aide économique à la production ovine, avec subventions orientées en fonction du nombre de brebis, ont également contribué à l'apparition de telles tendances. Les gestionnaires de la Réserve Naturelle sont alors confrontés à la nécessité de mieux anticiper les effets d'un excès d'homogénéisation du couvert pâturé (par exemple, suite à un surchargement, provisoire ou permanent) et aussi de devoir argumenter plus techniquement la nécessité du maintien de la diversité des pratiques pastorales, et notamment celles des bergers lorsqu'ils mènent un troupeau à pâturer dans la journée. Des recherches sur ce thème ont déjà été entreprises, notamment visant à évaluer la grande diversité des espèces végétales selon leurs principaux traits de vie, et notamment à suivre l'évolution de l'une d'entre elles, *Brachypodium retusum* (Pers.) P. Beau., ou brachypode rameux, une graminée adaptée aux conditions steppiques qui structure fortement, du fait de sa capacité de dominance, la couverture végétale des coussouls de Crau. Le recouvrement de cette graminée ainsi que ses dynamiques de régression, maintien ou progression horizontale et verticale ("hauteur d'herbe" et "densité d'herbe") ont été ainsi étudiés comme un indicateur de la biomasse disponible pour le pâturage. Les pratiques pastorales ont été abordées en étudiant les périodes d'utilisation des coussouls, et l'intensité du pâturage qui permettent au brachypode de se développer plus ou moins en recouvrement (surface occupée parfois évaluée par photos aériennes ou satellitaires) et en hauteur (nombre de centimètres par rapport au sol évalué par échantillonnages de terrain). J'ai cherché à contribuer à ce thème en mobilisant les connaissances les plus récentes sur le comportement alimentaire des ovins pâturant des milieux hétérogènes en considérant non seulement la diversité botanique est importante mais aussi celle des format et des architectures des plantes comes-

tibles. La diversité de formats de plantes permet aux ovins d'avoir un plus ample éventail dans leurs possibilités d'ingestion en masse et en qualité nutritive au cours des repas. Une telle diversité qui ne peut s'apprécier en se limitant seulement à l'évaluation de la hauteur des plantes peut être valorisée par les ovins pour stabiliser leur ingestion au fil des journées, même si la végétation est très hétérogène et variable. Dans le cas des coussouls de Crau, c'est le berger qui décide chaque jour des lieux où seront pris les repas. Il détermine donc, par l'organisation des circuits de pâturage, quelle sera la végétation disponible pour l'ingestion du troupeau. C'est aussi lui qui est en mesure de stimuler l'activité d'ingestion du troupeau en enchaînant l'usage des différents secteurs de pâturage au sein de la "place" qui lui est attribuée pour la saison. Les recherches menées à l'unité Écodéveloppement de l'Inra d'Avignon, mon unité d'accueil en thèse, ont contribué de manière importante à l'avancée des connaissances scientifiques sur l'organisation des circuits de pâturage par des bergers, et de son effet sur l'ingestion des repas et de la diversité des plantes, mais aussi sur l'impact des structures des plantes sur la motivation des herbivores à ingérer.

Mon travail de thèse est donc centré sur les pratiques des bergers lorsqu'ils organisent un circuit quotidien ou biquotidien de pâturage, correspondant à un grand repas et sur l'utilisation par leurs troupeaux de la diversité du couvert végétal pendant le circuit en estimant de manière quantitative l'incidence des différentes plantes et de leurs formats sur l'ingestion réalisée en cours de repas. Malgré l'apparente uniformité de la steppe des coussouls de Crau, mon hypothèse est qu'il devrait être possible de distinguer différentes structures de plantes qui permettent d'optimiser l'ingestion des repas en offrant aux brebis la possibilité de brouter plus rapidement (en grammes par minute). Cette fonctionnalité peut être utile au berger, qui ne dispose pas d'un temps infini pour garder son troupeau dans la journée pour le rassasier. Je considère que la lecture fonctionnelle que je propose peut aider à intégrer, dans les études visant le suivi des évolutions des pratiques pastorales et leurs effets sur la végétation constitutive d'habitats, le point de vue des brebis et les pratiques de bergers.

En ce qui concerne l'organisation du corps de la thèse, dans le premier chapitre, je présente en détail mon objectif ainsi que le contexte dans lequel les pratiques pastorales se déroulent en Crau, en précisant les caractéristiques de cette plaine steppique. Je présente également les problématiques auxquelles sont confrontées les gestionnaires soucieux de la préservation de cet espace remarquable. Au deuxième chapitre, je développe une revue bibliographique concernant le comportement alimentaire des ovins au pâturage face à une diversité de plantes et également sur les pratiques des bergers et particulièrement celles qui se développent en Crau. À travers cette synthèse de connaissances, j'identifie l'importance de prendre en compte la diversité des formats des plantes qui sont collectées par les animaux eux-mêmes lors qu'ils sont en condition de grande liberté de choix, comme dans le cas des troupeaux conduits en gardiennage sur milieux hétérogènes en Crau. Ceci m'a conduit à m'interroger sur les catégories pertinentes pour décrire la diversité des structures végétales en steppe de Crau, tout en considérant leur utilité pour la pratique des bergers et l'alimentation des troupeaux. Mon objet de recherche constitué de trois composantes dynamiques : la végétation, les pratiques des bergers et le comportement alimentaire est aussi décrit dans ce deuxième chapitre. Pour répondre à mes interrogations, nous avons conçu un dispositif de recherche exposé au troisième chapitre. Il est basé sur une description multi-échelles de la végétation qui nous a permis d'associer les différentes structures végétales au comportement alimentaire chez la brebis et aux pratiques de bergers. Pour ces deux dernières, nous avons privilégié le recueil des données directement de nos informateurs : les brebis des trou-

peaux de Crau et les bergers. En conséquence, nous avons observé l'ingestion instantanée de manière directe chez les brebis. Cette méthode, déjà validée à l'Inra, est particulièrement pertinente lors de l'observation des animaux pâturent et exprimant leur choix de sélection. En ce qui concerne les pratiques des bergers, nous avons préféré utiliser la technique de l'entretien compréhensif au lieu des questionnaires rigides ou trop encadrés. Nous avons donc privilégié le dialogue avec les bergers. Les résultats constituent le quatrième chapitre. Ils nous permettent de valider pour la première fois, la méthode d'observation directe de l'ingestion instantanée dans le cas de très grands troupeaux ovins grégaires (1300 à 1500 brebis de race Mérinos d'Arles) gardés par des bergers. J'expose, dans une première partie, mes résultats concernant la description des formats de végétation, le flux d'ingestion (en grammes ingérés par minute) et les pratiques de bergers observées en cours de circuit, ainsi que la description qu'utilise les bergers pour faire référence à différentes catégories de brachypode rameux utiles à considérer selon eux pour l'alimentation d'un troupeau. Dans une deuxième partie, j'établi une relation entre le comportement d'ingestion instantanée et les différentes structures de végétation décrites. J'ai identifié, dans cette diversité, celles qui sont, lors de contributions chaque fois plus importants à la séquence d'ingestion, associées à une diminution dans le flux d'ingestion instantané. J'ai identifié également d'autres structures qui sont, lors de contributions chaque fois plus importants à la séquence d'ingestion, associées à une augmentation dans le flux. J'ai associé aussi au flux d'ingestion observé, les différentes manœuvres employées par le berger pour faire pâture le troupeau. Le cinquième chapitre, la discussion, expose les catégories végétales que nos résultats permettent de considérer comme utiles vis-à-vis de l'efficacité d'ingestion dans le cas des brebis, mais également pour la pratique des bergers pendant leurs circuits de gardiennage. Dans les deux cas, le rôle des différents formats de brachypode rameux, parfois à "hauteur d'herbe" égale, nous apparaît déterminant. La gamme de flux d'ingestion que le berger peut réussir à obtenir de ses animaux est large et peut être obtenue avec une grande flexibilité dans le choix de secteurs pâtures par le berger. Le sixième chapitre, les conclusions, comporte quelques perspectives pour la prise en compte de la fonctionnalité alimentaire des catégories végétales lors des suivis de dynamiques de végétation dans les Coussouls de Crau.

Chapitre 1

Contexte, problématique de terrain et objectif de la thèse

Sommaire

1.1 Le contexte	11
1.1.1 Les généralités sur la plaine de Crau	11
1.1.2 Le système pastoral de Crau	19
1.1.3 La Crau agressée de partout	25
1.1.4 La création de la Réserve Naturelle des Coussouls de Crau	28
1.1.5 Les Mesures Agri-Environnementales (MAE) dans la Crau sèche	29
1.1.6 Qu'est-il attendu du pâturage en Crau pour la conservation des habitats d'espèces ?	32
1.2 Problématique de terrain	32
1.2.1 Alliance entre les environmentalistes et les pastoralistes	32
1.2.2 L'environnement économique fait pression sur l'environnement naturel	33
1.2.3 Études visant la justification technique du maintien des pratiques de garde par des bergers	34
1.3 Objectif de la thèse	37

1.1 Le contexte

1.1.1 Les généralités sur la plaine de Crau

La plaine de Crau est avant tout le résultat d'un processus séculaire d'interactions entre des activités humaines (agriculture, industrie, armée...) et l'espace naturel. Ce paysage reflète les valeurs selon lesquelles il a été ordonné, c'est-à-dire, celles des sociétés pastorales transhumantes établies depuis l'époque romaine (Badan et al., 1995). À partir des travaux d'irrigation au XVI^e siècle, l'installation de prairies permanentes qui constituent la Crau humide (12.500 ha) a été possible. Le reste de cette vaste plaine steppique est appelé la Crau sèche ; malgré son apparence assez désertique, homogène et sans limites, elle est organisée

en un maillage de pistes et de propriétés : les coussouls. Du point de vue phytoécologique, le coussoul est une pelouse à asphodèle et à stipe (Devaux et al., 1983).

1.1.1.1 Caractéristiques générales de la Crau : localisation, extension, origine, sol et climat

La Crau est située dans le sud-est de la France (43°33'N, 4°52'W) à environ 50 km au nord-ouest de Marseille (Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Département des Bouches-du-Rhône). Cette plaine forme un triangle (voir figure 1.1) d'environ 60.000 ha, situé entre le massif calcaire des Alpilles au nord, le Rhône et la Camargue à l'ouest, l'Étang de Berre à l'est et le golfe de Fos-sur-Mer au sud (Fabre et Boutin, 2002).

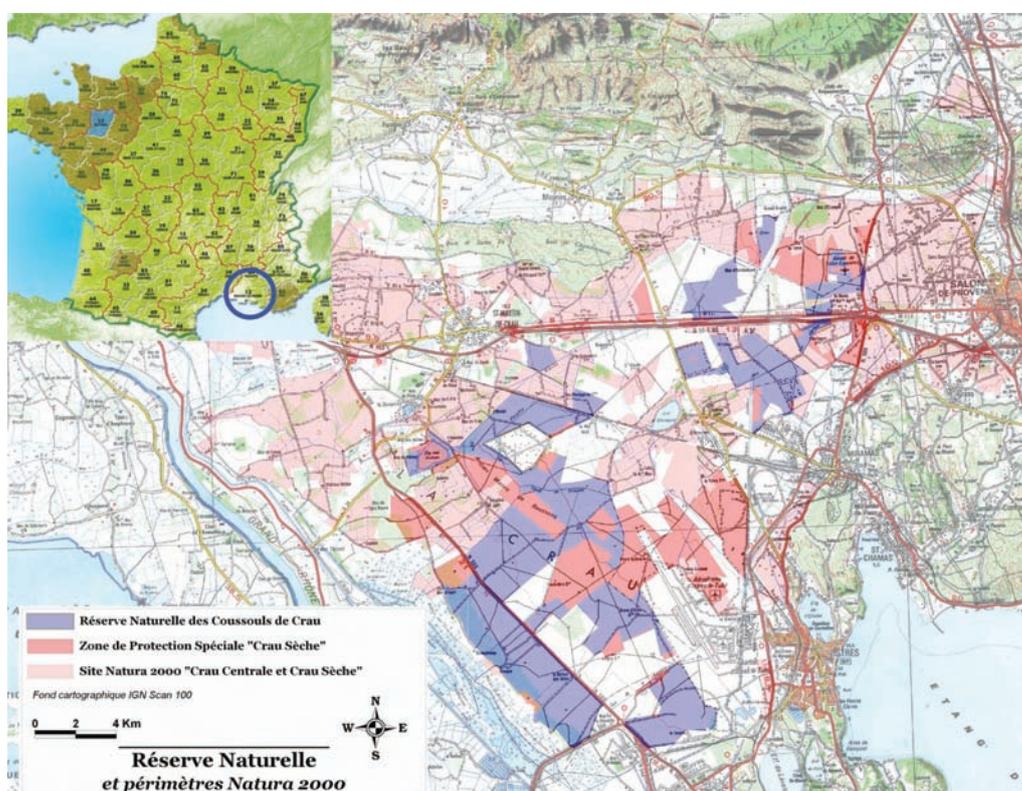


FIGURE 1.1 – Situation géographique de la Crau.

Hormis les 11.500 ha de coussouls, la Crau comporte des prairies irriguées pour le foin de Crau, des vergers, du maraîchage, des surfaces de cultures de céréales, de l'élevage ovin et bovin (taureaux de Camargue et taureaux Espagnols). On y trouve aussi des zones placées sous la responsabilité du ministère de la Défense (dépôt de munitions et aérodrome) et un réseau de transport d'énergie (pétrole). De plus, la réserve est entourée d'industries pétrochimiques. Elle renferme la plus grande décharge de France (décharge d'Entressen), un aérodrome civil et des carrières. Elle est traversée par une autoroute à vocation internationale (axe Italie-Espagne) et diverses voies de communication routières et ferrées (Comité du Foin de Crau, 2007). À propos de sa situation écologique, d'après la carte des régions écologiques de la France méditerranéenne, la Crau se situe à l'extrémité du réseau de grandes

plaines côtières et rhodaniennes, au pied de la grande zone des garrigues provençales ([Ministère d'Écologie, 2007](#); [CEEP, 2009b](#)). En ce qui concerne les limites administratives de la réserve naturelle, son territoire est compris dans celui de sept communes du département des Bouches-du-Rhône : Arles, Eyguières, Fos-sur-Mer, Istres, Miramas, Saint-Martin de Crau et Salon-de-Provence. Cependant, l'ensemble de la Crau empiète également sur les communes de Aureille, Grans et Mouriès.

Du point de vue géologique, la plaine de Crau est l'ancien delta de la Durance. Elle peut être décrite en deux parties qui sont issues du dépôt des alluvions déposés par ce fleuve au cours du Quaternaire. En effet, dans la période du Villafranchien inférieur, la Durance débouchait dans le Golfe de Fos en charriant des masses de matériaux d'origine glaciaire et déposait au fil du temps une importante couche d'alluvions. Au fur et à mesure des glaciations, le cours du fleuve va être modifié jusqu'à l'effondrement karstique lié à l'érosion régressive ou à des mouvements tectoniques. C'est au cours de la 4^e glaciation que la Durance rejoint le Rhône au sud d'Avignon. Ainsi, il y a environ 12.000 ans, elle abandonne son ancien delta. Nous y retrouvons donc "la vieille Crau" (ou Crau d'Arles) sur toute la bordure nord entre Eyguières et Arles, d'âge Villafranchien inférieur, avec dominance de cailloutis calcaires Jurassiques et Crétacés sub-alpins. La taille des galets n'y dépasse pas 10 à 15 cm. Une zone de transition avec la zone voisine (ou "jeune Crau") présente une forme de paléosol fersiallitique fortement rubéfié et avec des roches vertes caractéristiques de la zone avoisinante. Enfin, la jeune Crau comporte deux sous-ensembles. Le premier correspond à la Crau du Luquier. Il s'étale sur une bande de 3 à 6 km NE-SW, de l'ouest du coussoul de Grand Brahis jusqu'aux domaines du Merle et de Vergière. Ce sous-ensemble est caractérisé par des dépôts de roches plus cristallines et d'une taille généralement plus importante de l'ordre de 20 à 30 cm.

Le second sous-ensemble correspond à la Crau de Miramas formant un triangle entre la Crau du Luquier et les collines de l'ouest de l'Étang de Berre, direction NE-SW. Ici, les quartzites du Trias alpin sont dominantes, suivies de verrucano (roches vertes) et de radiolites. La taille moyenne des roches ne dépasse pas les 20 cm. Environ 70 % des coussouls de la réserve naturelle de Crau se situent dans la zone de la jeune Crau, soit 5.300 ha ([Devaux et al., 1983](#)).

L'origine géologique du sol de la Crau confère à ses sols des caractéristiques très particulières. Dans la jeune Crau (ou Crau du Luquier/Crau de Miramas) où se situe la plus grande partie de la réserve naturelle, le sol est très superficiel et caillouteux. Dans la vieille Crau (ou Crau d'Arles) le sol est moyennement profond et moins caillouteux. Ces deux types de sol, connus comme sol rouge fersiallitique, sont les plus représentatifs de la Crau. Il s'agit d'un sol non calcaire et acide (pH d'environ 6.5), avec des faibles niveaux de fertilité et un déficit principal en phosphore et secondaire en potassium ([Römermann et al., 2005](#); [Adama, 1994](#)). Le relief de la plaine varie très peu : de 0,5 à 0,3 % de pente ([CEEP, 2009b](#)).

De façon générale, les cailloux couvrent 40 à 70 % de la surface et le sol est très superficiel ([Bourrelly et al., 1983](#)). Entre 0 à 10 cm de profondeur, le sol présente un horizon brun à brun-rouge à texture limono-sableuse lessivé et décalcifié, très caillouteux (environ 40 % de cailloux). De 10 à 40 cm de profondeur, le sol présente un horizon brun à brun-rouge à texture limono-sableuse lessivé et décalcifié, très caillouteux (environ 40 % de cailloux). Ensuite, de 40 à 60 cm de profondeur, il est possible de trouver une couche imperméable de poudingue, localement appelé "taparas". Ce poudingue (voir figure 1.2) a été formé par l'in-

durant la circulation de carbonates déposés par la circulation d'eaux souterraines. L'épaisseur de cette couche varie de 5 à 40 mètres. Cependant, dans certains endroits (exemple à la figure 1.3), il est possible de la trouver à la surface (Curco, 1991). La présence de ces sols très superficiels détermine en grande partie la végétation de type xérique qui caractérise la Crau. Par ailleurs, la couche de poudingue isole la surface du sol de la nappe phréatique de manière que les seules communications s'effectuent au niveau des fissures ouvertes par destruction locale du poudingue. Cette couche ne permet pas aux plantes d'accéder aux eaux de la nappe, limitant les possibilités de croissance des arbres et arbustes (Devaux et al., 1983). Enfin, au dessous du poudingue s'étale un horizon correspondant au cailloutis libre à emballage sableux ou sablo-argileux dans lequel la nappe phréatique circule.

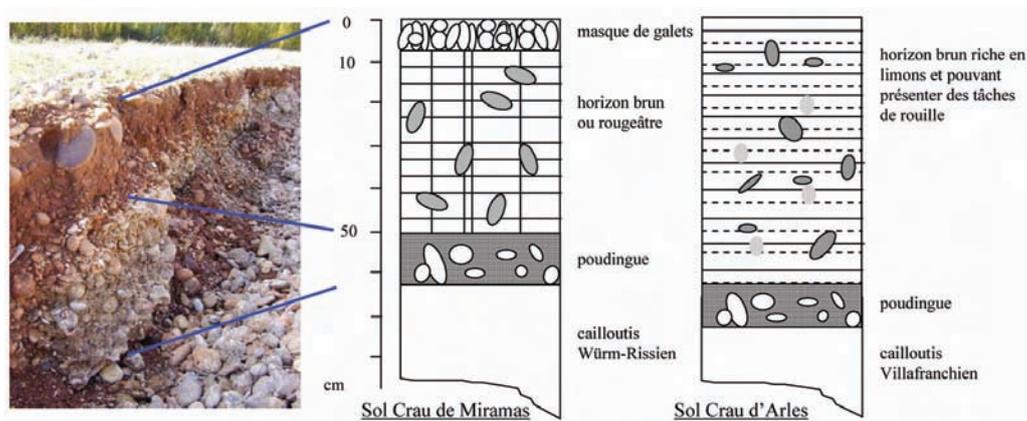


FIGURE 1.2 – Poudingue D'après CEEP (2009b).



FIGURE 1.3 – Poudingue à la surface du sol Photo : P. Gonzalez.

Le climat de la Crau est typiquement méditerranéen avec des caractéristiques bien marquées :

- Un été aride, chaud et sec entre juin et août ;
- Des précipitations de 400 à 600 mm/an, concentrées sur l'automne avec 50 % du total annuel pendant cette période ;
- Un hiver relativement doux avec des températures d'environ 7 °C ;

- Un ensoleillement très important ;
- La présence 110 jours/an en moyenne d'un vent violent sec et froid venant du nord, le Mistral.

La température moyenne est de l'ordre de 15 à 16 °C, les mois les plus chauds étant juillet et août avec des moyennes de 24 à 25 °C et des maxima de 30 à 31 °C. Étant donné le recouvrement important de la surface du sol par les galets, ceux-ci jouent, à leur manière, le rôle d'accumulateurs thermiques. En conséquence, la température ainsi capturée pendant la journée est libérée par les cailloux pendant la nuit. L'automne est doux, souvent jusqu'au mois de novembre ; les trois mois suivants, c'est-à-dire de décembre à février, présentent des températures froides avec des moyennes de 7 à 8°C. Les précipitations sont en moyenne de 500 mm par an, avec des minima de 350 mm et des maxima de l'ordre de 800 mm et des variations locales importantes. La sécheresse estivale est très marquée, avec une précipitation cumulée moyenne de 50 mm seulement pour la période de juin à août. Toutefois, une deuxième période de sécheresse se déroule entre février et mars, avec une moyenne mensuelle de l'ordre de 20 mm. La période avec la plus forte concentration de pluie se déroule de septembre à octobre avec en moyenne 210 mm cumulés. Les mois de novembre, décembre, janvier, tout comme les mois d'avril et mai reçoivent entre 40 et 60 mm cumulés.

La présence des vents est presque permanente en Crau. Le vent dominant est le Mistral, qui balaie toute la vallée du Rhône avec une orientation NW-SE. D'origine continentale, il provoque une baisse de la température et active l'évaporation, exacerbant ainsi le caractère aride de la Crau. Ce vent souffle en moyenne 110 jours par an, souvent à plus de 50 km/h, avec des maxima de 150 km/h. D'autres vents, comme les vents marins des secteurs est et sud-est, soufflent en moyenne 50 jours par an, apportant des pluies, particulièrement en automne. Les vents du nord (la tramontane) et de l'ouest (la largade) présentent des fréquences plus réduites. Les vents dominants du nord influent en faisant de la plaine de Crau un des sites les plus ensoleillés de France, avec une moyenne annuelle de 3.000 heures (à titre de comparaison : Paris = 1.700 h) (Devaux et al., 1983; CEEP, 2009b).

1.1.1.2 Flore et faune de Crau

Quant à la flore de la Crau, d'après la carte phytosociologique établie en 1983 par Devaux et al. (1983) pour actualiser les connaissances floristiques de ce milieu, il est possible d'identifier cinq ensembles botaniques principaux :

- La steppe xérique ;
- Les zones humides ;
- Des bordures collinéennes (garrigue à chêne kermès et garrigue à romarin) ;
- Les cultures (oliviers et pêchers, herbes de printemps, prairies de fauche) ;
- La végétation des terrains salés.

La steppe xérique (figure 1.4) couvre environ 80 % de la surface de la réserve naturelle des coussouls de Crau. Elle a été le milieu visé en priorité pour la délimitation du périmètre, parce qu'il est l'habitat d'espèces animales emblématiques (oiseaux, reptiles, insectes). La steppe à *Asphodeletum fistulosi* est une pelouse rase, association végétale méditerranéenne des plus riches en espèces, avec beaucoup d'annuelles (50 % de plantes à graines – thérophytes). Cette association est caractérisée par la présence dominante de *Brachypodium retusum* ou Brachypode rameux (voir figure 1.5). Mais également par *Stipa capillata*, *Dichanthium*

ischaemun, *Elymus caput-medusae* (*Taeniatherum caput-medusae*), *Thymus vulgaris*, *Bellis sylvestris*, *Asphodelus fistulosus*, *Euphorbia seguieriana*, *Linum gallicum* et *Bufoia paniculata*.



FIGURE 1.4 – Steppe xérique de Crau Photo : P. Gonzalez



FIGURE 1.5 – *Brachypodium retusum* en Crau Photo : P. Gonzalez.

Dans certaines zones de Crau, comme le long de la coustière depuis le Mas Thibert jusqu'à Fos, il est possible de passer, en une centaine de mètres seulement, du coussoul steppique aux marais. L'uniformité du paysage steppique xérique est seulement interrompue par des taches de végétation nitrophiles à base d'orties et de carduacées autour des bergeries ou des zones de repos du troupeau. Dans cette zone, l'association à *Trifolium subterraneum* occupe les endroits les plus riches en azote. Il est possible également de trouver des faciès à *Lavandula latifolia*. De manière similaire, dans les zones où l'humidité stagne, il est possible de trouver le développement de faciès à *Andropogon ischaemun*. Lorsque les débordements d'eau dus aux prairies de fauche sont fréquents, des faciès à *Brachypodium phenicoides* s'ins-

tallent.

Dans les zones où des affleurements de poudingue (cailloux cimentés) sont observés (Figure 1.2), l'association *Tillaeetum* - pelouses acidophiles à *Crassula tillaea* s'installe. Elle est composée de petites plantes annuelles à cycle court : lichens et bryophytes. Les coussouls où d'anciennes cultures ont eu lieu, présentent des friches post culturales. Celles-ci sont générées par l'abandon des cultures céréalières ou maraîchères des années 1960 à 80. À la différence des coussouls vierges, ces friches ne possèdent pas de *Brachypodium retusum*, même après trois décennies d'abandon (Devaux et al., 1983). À ce propos, Römermann et al. (2005) soulignent que la plupart des espèces végétales du coussoul ne possèdent pas de banque de graines, ce qui conduit à l'échec de leur survie lors des périodes de mise en cultures de certaines parcelles. Également, l'enlèvement des cailloux dans ces parcelles favoriserait de manière déterminante la disparition du Brachypode.

En ce qui concerne l'importance écologique, 31 espèces végétales sont citées dans le plan de gestion de la réserve (CEEP, 2009b) comme étant des espèces protégées ou d'intérêt patrimonial ; le coussoul lui-même n'abrite que peu d'espèces rares ou protégées. Cependant, il faut tenir compte du fait que l'habitat "pelouse méditerranéenne mésotherme de la Crau à *Asphodelus fistulosus*" se rencontre sur presque toute la surface de la réserve naturelle et est considéré comme étant de valeur patrimoniale prioritaire. La Crau abrite une faune spécifique, notamment l'ensemble de la population française de *Ganga Cata*. Cependant, d'autres oiseaux, des espèces d'insectes, de reptiles, de mammifères (et même de poissons !) y sont également protégés et témoignent de la richesse de la faune dans ce milieu (Meyer, 1983). Parmi les insectes, les Arthropodes du coussoul ont été étudiés par Bigot et al. (1983). Le criquet endémique (*Prionotropis hystrix rhodanica*) émerge comme population relique présente dans une grande partie de la Crau. En effet, se trouvant auparavant dans toute la réserve, il est absent des coussouls à l'heure actuelle, car isolé du nord-est et du sud-ouest de la Crau. Il s'agit d'une des espèces les plus sensibles à la fragmentation des coussouls, car il est incapable de voler. Par ailleurs, 35 espèces d'Arachnides, tout comme 14 espèces de fourmis sont également présentes.

Sur les coussouls et les friches, 291 espèces de Coléoptères ont été identifiées, dont deux dominantes : *Asida sericea* et *Poecilus sericeus*, qui représentent à elles deux presque la moitié des effectifs (Fadda et al., 2004). Étant donné les nombreux canaux d'irrigation périphériques à la réserve, on compte en Crau environ 60 des 83 espèces d'Odonates connues en France métropolitaine, comme par exemple l'Agrion de Mercure, *Coenagrion mercuriale*, une libellule d'intérêt patrimonial dans la réserve. 328 espèces de Lépidoptères ont été récemment recensées par l'action conjointe de bénévoles et du CEEP, dont la Diane, *Zerynthia polyxena*, qui est protégée (CEEP, 2009b).

Des mollusques et 11 espèces de poissons ont été identifiés dans les canaux d'irrigation de Crau. Cependant, ce sont des amphibiens comme le Crapaud calamite (*Bufo calamita*), le Triton palmé (*Triturus helveticus*) et d'autres grenouilles qui font l'objet des efforts de préservation. Des reptiles comme le Lézard ocellé (*Lacerta lepida*), ou la Couleuvre de Montpellier (*Malpolon monspessulanus*), restent emblématiques des coussouls car caractéristiques des milieux secs et très ensoleillés ; ils ont trouvé un habitat favorable dans la Crau. Pour sa part, la communauté des chiroptères comprend au moins 17 espèces connues, dont le Grand rhinolophe, le Petit murin, le Murin à oreilles échancrées et la Barbastelle d'Europe, tous pris en compte dans la Directive Habitats.

Parmi les mammifères, sont présents des commensaux comme le rat noir, la souris et le lérot. Également des micro-mammifères, dont les musaraignes (crocidures et pachyures) et des campagnols. Cependant, les deux espèces plus communes restent le lapin de garenne et le lièvre d'Europe.



FIGURE 1.6 – Quelques espèces emblématiques de la Crau. La ganga cata, L'outarde canepetière, le lièvre d'Europe, le lézard ocellé et le criquet rhodanien. Source Plan de Gestion de la Réserve Naturelle de Crau 2008

Pour l'avifaune, les gangas, outardes et alouettes sont emblématiques de la Crau (voir figure 1.6). Le ganga cata (*Pterocles alchata*) est granivore et il est très adapté aux milieux step-piques. Il est sédentaire et son effectif nicheur en Crau est estimé entre 100 et 150 couples. En hiver, entre 150 et 300 individus ont été identifiés, principalement dans les coussouls du centre et sud de la Crau. La population de cette espèce est une des plus menacée et elle fait ainsi l'objet de suivis effectués au sein de la réserve. Concernant l'utilisation des coussouls par le Ganga, des études ont suggéré que cette espèce utilise les zones les plus pâturées, préférant une végétation rase (Cheylan et al., 1983), (Wolff, 1998).

L'Outarde canepetière (*Tetrax tetrax*) (Otididea) est un oiseau de plaine de taille moyenne, avec un régime alimentaire à dominance herbivore-folivore et invertébrés pendant la période de reproduction. Cette espèce est grégaire pendant la majeure partie de l'année. En relation avec son habitat, elle préfère de façon générale les couverts inférieurs à 40 cm de hauteur, comme c'est le cas dans les coussouls. Par contre, des couverts de plus grande hauteur de végétation semblent être importants pour leur alimentation, particulièrement pendant l'hiver. Il a été suggéré que l'exigence écologique de couverts bas pour la reproduction et hauts pendant l'hivernage favorise une plus grande proportion d'outardes. C'est peut-être pourquoi des populations importantes ont été observées dans les coussouls situées au nord de la Crau, qui sont des coussouls entourés de champs cultivés pour les foins ou les herbes de printemps (A. Wolff, 2004).

L'Alouette calandre (*Melanocorypha calandra*) de la plaine de Crau représente les 3/4 des effectifs nicheurs de l'espèce en France (CEEP, 2000). L'espèce niche en colonie entre avril et mai-juin, le nid étant construit au niveau du sol. Le régime alimentaire est à base de débris

végétaux, des graines en hiver et des insectes en été. En saison de reproduction, elle est solitaire et territoriale. Hors saison de reproduction, l'espèce est grégaire (Oliosio et al., 1983; Cramp, 1998).

En raison de toute cette avifaune, la Crau est considérée comme un habitat exceptionnel. La très grande proportion de la population française d'oiseaux protégés ou d'intérêt patrimonial (90 % de Gangas, 80 % de Faucon crécerellette, 40 % d'Outardes ; (CEEP, 2009b)), mais également du fait des effectifs importants d'autres oiseaux comme l'Oedicnème criard, le Rollier d'Europe, la Chouette chevêche, la Pie-Grièche méridionale, cette plaine est un espace naturel à la richesse faunistique remarquable à préserver.

1.1.2 Le système pastoral de Crau

1.1.2.1 Les systèmes transhumants en France

Très probablement, ces systèmes ont été toujours présents et en permanente adaptation aux conditions socio-économiques du moment. Concernant les régions sud-est et sud-ouest de la France (Alpes, Cévennes et Pyrénées), il s'agit d'abord du pâturage d'environ 600.000 ovins en déplacement à travers ces régions (Legéard et al., 2010) et ensuite de l'utilisation par ces troupeaux des zones de montagne, des collines, des parcelles de foin et, pour le cas qui nous occupe, de la steppe des coussouls.

L'utilisation enchaînée de toutes ces surfaces durant l'année est rythmée par les saisons climatiques (aléas compris), qui déterminent la disponibilité de la ressource en herbe. Ces systèmes transhumants sont basés sur le pâturage de plein air pendant pratiquement la totalité de l'année. Pour la région sud-est, il s'agit de troupeaux constitués essentiellement de moutons de race Mérinos d'Arles (parfois aussi de Préalpes ou de Mouréous). La Mérinos d'Arles est une race rustique adaptée à la marche sur de longues distances et à de rudes conditions d'alimentation. Dans ces troupeaux, la période de lutte est organisée au printemps dans les coussouls. Ensuite, pendant l'été, le troupeau est amené en transhumance vers les estives alpines où la gestation est accomplie. De retour en plaine à l'automne, les animaux regagnent les parcelles de foin de Crau où les mise bas se déroulent jusqu'au début de l'hiver.

Le système comporte alors la production d'un seul agneau par brebis et par an. En revanche, la taille du troupeau est 5 fois plus grande que pour le reste des élevages en France, entraînant une forte productivité du travail (environ 500 têtes de bétail par travailleur). La transhumance est indissociable de la figure du berger, qui rend possible par son travail de gardiennage l'utilisation de grandes surfaces de parcours. On peut difficilement s'imaginer tout le savoir-faire accumulé lorsque la transhumance était jadis effectuée à pied, savoir-faire dont les anciens chemins, "drailles" ou "carraires", témoignent aujourd'hui encore. De nos jours, la transhumance s'effectue en camions (Fabre et Boutin, 2002; Wolff et Fabre, 2004).

La complémentarité entre les différents territoires pâturés est indispensable. Pour ce qui concerne les alpages, leur nature caillouteuse, leur grande taille et leurs pentes souvent fortes, font que seul le pâturage par des ovins peut les valoriser et aussi les entretenir. Pour donner un ordre de grandeur, un seul troupeau est capable de valoriser au total 1.300 ha durant l'année (1.000 ha d'alpage et 300 ha de coussoul, en moyenne).

1.1.2.2 Les troupeaux ovins transhumants de Crau

L'ensemble des troupeaux de Crau se compose d'environ 100.000 brebis, réparties dans 145 élevages valorisant un total de 30.000 ha environ de pâturages en plaine (coussouls, friches, herbes de printemps, prairies de fauche en hiver). Ces troupeaux pâturent grosso modo 4 mois dans les prairies de fauche, 4 mois dans les coussouls et 4 mois dans les Alpes (voir calendrier de pâturage simplifié à la figure 1.7.)

L'intégration de ces trois types de surfaces est possible grâce à l'entretien apporté par le pâturage, contribution à la qualité du foin grâce aux déjections déposées par le troupeau et à l'équilibre financier des exploitations par ce revenu additionnel indispensable pour maintenir la flore et la faune steppiques. Le pâturage est également favorable à maintenir diversifiées la flore et la faune des montagnes et à diminuer le risque d'avalanches.

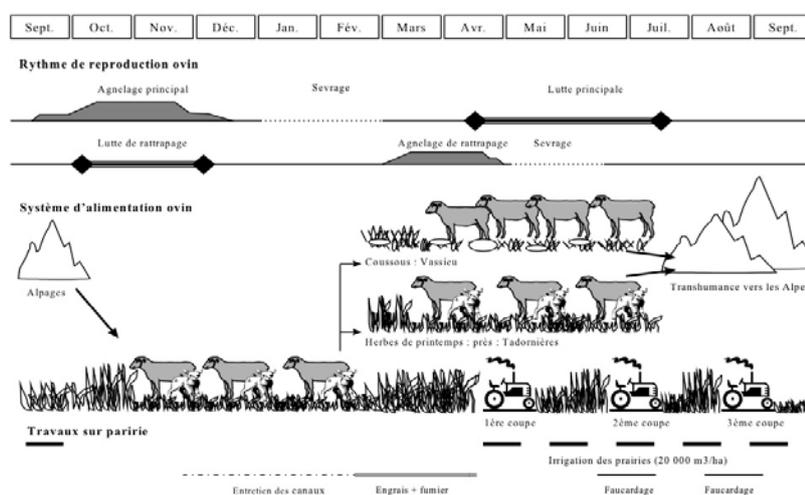


FIGURE 1.7 – Calendrier de pâturage simplifié des troupeaux ovins transhumants de Crau. Source Plan de Gestion CEEP 2008

	Crau	Utilisateurs de coussouls
Nombre de troupeaux	142	33 (dont Réserve Naturelle 24)
Effectif brebis total	105 472	52 911
Effectif moyen troupeau	742	1 604

FIGURE 1.8 – Effectifs dans les troupeaux de Crau. source Plan de Gestion CEEP 2008

Dans la Crau sèche, chaque place de pâturage, appelé localement coussoul, est d'étendue variable. Cependant, 75 % des coussouls ont une surface comprise entre 70 et 540 ha, avec une moyenne de 300 ha (Fabre, 1998). En ce qui concerne la taille des troupeaux, les coussouls accueillent les plus grands troupeaux de France : de 1300 à 1600 brebis. Les places de pâturage sur le steppe étant très convoitées, les coussouls ne sont actuellement utilisés que par une trentaine de troupeaux (voir figure 1.8), dont un seul troupeau pâture à lui seul 1/5 des surfaces, c'est-à-dire pratiquement tous les coussouls de la partie sud. Les éleveurs sont identifiés selon plusieurs catégories en constante évolution (Fabre et Boutin, 2002; Comité du Foin de Crau, 2007; CEEP, 2009b). :

- Éleveurs - producteurs de foin, la régulation entre l'activité de production de foin et l'élevage ovin s'effectue selon la conjoncture économique. Ce type de gestion permet d'amortir les fluctuations du prix de vente du foin.
- Éleveurs de "gros troupeaux", très présents en Crau, qui possèdent un troupeau d'au moins 2.000 têtes et emploie un ou plusieurs bergers salariés permanents. Cette gestion implique la multiplication des surfaces en location autant en plaine qu'en montagne.
- Éleveurs dits "herbassiers", sans place de pâturage, ils sont obligés de louer des places d'herbage, il s'agit souvent de bergers en phase d'installation. Le cheptel constitue leur seul capital. Le gardiennage d'autres troupeaux, en complément du leur, pendant l'estive constitue une ressource pratiquement indispensable.
- Herbassiers "stabilisés", étant devenus propriétaires d'une partie des surfaces qu'ils font pâturer, autour de laquelle l'utilisation des différentes places s'organise.

Les divers types d'élevages produisent essentiellement des agneaux de boucherie, bien que la vente d'animaux de reproduction tels que agnelles, anouges, femelles gestantes et béliers, soit également possible. La lutte (reproduction) principale est effectuée "à contre-saison" dans les coussouls, du mois de mars à la fin juin, au plus tard jusqu'à mi-juillet. Les agneaux naîtront ainsi entre les mois de septembre et décembre dans les prairies où ils mangeront la "4^e coupe", c'est à dire l'ultime repousse des parcelles de fauche. Cependant, une lutte de rattrapage est effectuée entre les mois d'octobre et novembre pour les brebis n'ayant pas réussi la lutte principale ; ces agneaux (tardons) naîtront ainsi de mars à avril, dans les herbes de printemps. Les agneaux issus généralement du croisement avec de béliers de race Ile de France seront engraisés en bergerie (14 à 16 kg carcasse). Cependant, il est possible de produire également de l'agneau maigre (25 à 30 kg de poids vif) élevé à l'herbe et vendu vivant à la fin de la "4^e coupe" pour être engraisé. Les divers types d'agneaux produits sont :

- L'agneau léger d'exportation (20 à 24 kg de poids vif) pour l'Espagne ;
- Le croisement avec les races Ile de France ou Charolaise souligne l'effort des éleveurs de Crau pour améliorer les qualités bouchères des agneaux issus des brebis Mérinos (Fabre, 1998) ;
- L'agneau maigre (Mérinos) vendus à des engraisseurs ;
- Le tardon (35 à 40 Kg), issu de l'agnelage de rattrapage (printemps) qui va en montagne avec sa mère et est vendu ou engraisé au retour d'estive ;
- L'agneau pour l'Aïd, qui est une fête musulmane dont la date est mobile dans l'année. Les acheteurs (des familles) recherchent alors des agneaux mâles assez lourds. Ils prennent les agneaux qui sont disponibles en fonction de la date de la fête.

La fonction des coussouls est :

- Un pâturage bon marché ;
- La réussite de la lutte principale de contre-saison ;
- La croissance, même modérée des jeunes brebis de renouvellement mises en lutte à 18 mois.

La plupart des troupeaux pâturant les coussouls sont formés des brebis non gestantes, appelées localement "vacieu", ayant le coussoul comme seule ressource fourragère. Cependant, dans une moindre proportion, certains troupeaux utilisent aussi des ressources fourragères cultivées et de meilleure qualité situées à proximité du coussoul ([Dureau et Bonnefon, 1997](#)).

1.1.2.3 L'utilisation des coussouls

L'unité organisationnelle de la Crau sèche est le coussoul, ou "place de pâturage", espace strictement délimité où se trouve la bergerie, l'enclos de contention du troupeau, et le local d'habitation du berger, ce dernier souvent construit dans le prolongement de la bergerie voir figure 1.9. Cet espace est conduit par un ensemble de règles propres au métier de berger, en particulier les circuits de gardiennage quotidiens du berger et de son troupeau (Fabre et Boutin, 2002; Lebaudy, 2004).



FIGURE 1.9 – Troupeau à la rentrée en bergerie sur un coussoul en Crau sèche, l'habitation du berger est située à l'extrémité droite. Photo de : Lionel Roux et Patrick Fabre.

Dans certaines places de la Crau sèche, lorsque l'année est favorable, la coïncidence du retour d'estive avec la repousse d'automne qui fait suite aux pluies de fin d'été permet d'avoir une végétation abondante qui peut atteindre le même pic que celui de la production printanière. D'octobre à mi décembre, certains troupeaux peuvent ainsi utiliser les coussouls. Par contre, si les pluies sont tardives, cette période est considérablement plus courte.

La plupart des coussouls sont utilisés pendant le printemps ; les troupeaux arrivent entre le 4 et le 25 mars et restent jusqu'au départ en alpage, entre le 3 et le 25 juin. Cette utilisation permet de profiter du rythme de croissance de la végétation. Au début de la saison, en mars, celle-ci est constituée majoritairement des "reports sur pieds" (le non consommé) de l'automne précédant. Cette ressource est peu digestible et de faible valeur énergétique. Le *Brachypodium retusum* graminée pérenne, constitue alors la ressource de sécurité. Après la mi-mars, la croissance des espèces annuelles et des graminées autres que le brachypode démarre lentement pour accélérer et atteindre un pic en mai de l'ordre de 25 kg MS/jour/ha. La productivité du coussoul a été estimée à 1,5 t MS/ha/an (Cherel, 1988).

D'autres sources indiquent que, dans les "années normales" (un concept assez peu perti-

nent à mon sens en région méditerranéenne), le potentiel pastoral des coussouls est estimé entre 800 et 900 journées par brebis/ha (soit environ 2000 kg MS/an/ha, y compris une brève repousse d'automne). Il descend à 500 kg au cours des années défavorables (comme celle de 1997) (Molenat et al., 1997; Bourrelly et al., 1983). La plupart des éleveurs utilisent les coussouls à raison de 400 et 500 journées de pâturage de brebis à l'entretien, c'est à dire entre 4 et 5 brebis/ha pendant une centaine de jours (CEEP, 2009b).

1.1.2.4 Le recouvrement en brachypode structure les coussouls de Crau et différencie leurs usages

Les éleveurs et les bergers expérimentés en Crau identifient dans les coussouls diverses catégories de végétation. D'abord, "le grossier", composé du *Brachypodium retusum* (voir figure 1.5). Cette graminée pérenne est qualifiée de "ressource de base", car elle apporte une sécurité alimentaire du début à la fin de la saison de pâturage. Les réserves racinaires du brachypode, la protection que lui assure la couverture de galets, son port aérien et son mode de croissance induisent un développement étalé dans le temps et une plus forte résistance aux écarts climatiques. Le brachypode est utilisé par les éleveurs comme une "plante repère" de la végétation. Ceux-ci distinguent plusieurs éléments pour qualifier, soit le coussoul entier, soit des zones à l'intérieur de la place de pâturage :

- présence ou absence,
- degré de "panachage" (proportion vis-à-vis des espèces annuelles),
- hauteur et "encombrement", ou biomasse.

Des études (Dureau et Bonnefon, 1997) ont identifié deux types de "grossier" selon le taux de recouvrement et la hauteur (mesurée depuis la surface du sol jusqu'au sommet des touffes de brachypode) :

- Le "grossier normal" correspond à un recouvrement entre 25 et 35 % avec une hauteur entre 6 et 7 cm ;
- Le "grossier haut" lorsqu'il y a un recouvrement entre 15 et 25 % avec une hauteur entre 8 et 9 cm ou plus haute

Une autre catégorie de végétation est constituée par "le fin", qui est identifié comme des zones comportant des graminées autres que le brachypode et des plantes en rosettes, à dominance d'espèces annuelles à cycle plutôt court. Bien que considéré comme synonyme de précocité et d'attraction pour les animaux, cet ensemble d'espèces à croissance rapide perd dramatiquement de sa qualité à partir de l'épiaison et sèche rapidement avec l'augmentation de la chaleur vers la fin de la saison de pâturage.

Enfin, "le panaché" est représenté par des zones de végétation avec un assemblage à maille assez fine (quelques dizaines de centimètres, ou quelques mètres) des catégories "grossier" et "fin". Le grossier peut y être présent soit comme du grossier normal, soit comme du grossier haut, c'est à dire avec des zones denses en brachypode maintenu ras, ou avec des zones plus clairsemées où la hauteur rend le brachypode bien visible (Dureau et Bonnefon, 1997).

Outre les zones avec une végétation identifiée comme grossière, fine ou panachée, les

éléments qui structurent une place de pâturage en coussoul sont :

- La bergerie, qui peut contenir de 1,5 à 2 brebis par m². La bergerie concentre autour d'elle une plus forte pression de piétinement et de pâturage, c'est "lauréole de bergerie". Par ailleurs, il n'est pas rare de trouver quelques bergeries excentrées par rapport au coussoul. C'est le point de départ et d'arrivée du troupeau.
- Les points d'eau. Auparavant assurés par les puits, ces points d'eau sont actuellement pratiquement tous abandonnés. Les canaux d'irrigation ou les réseaux d'assainissement ont pris le relais. Cependant, leur situation n'a pas été choisie en fonction des besoins des troupeaux ou de leur position par rapport aux bergeries. Alors, le déplacement du troupeau doit se faire souvent en fonction de l'abreuvement. De plus, les canaux sont parfois à sec pendant la saison de pâturage.
- La nature des limites extérieures. Il n'existe pas de barrières dans la plaine de Crau. Les limites des coussouls sont uniquement marquées par des tas de cailloux, peu visibles pour le profane, ou parfois des alignements lâches de bidons métalliques. Les voies de circulation rapides de véhicules, des cultures attractives aux haies vives perméables, les coustières, les périmètres militaires, ou même la pénétration d'un public parfois mal informé ou intentionné, peut entraîner des situations à risques pour le troupeau, le berger ou l'éleveur.
- Les pistes, ou chemins non cadastrés à l'intérieur de la réserve naturelle, donnent accès aux coussouls et peuvent orienter la direction du déplacement des troupeaux.

L'ensemble de ces éléments, tout comme les axes de circulation préférentielle du troupeau à partir de ou vers la bergerie, permettent au berger d'identifier différents "secteurs de pâturage" au sein de sa place (dans son coussoul), secteurs qu'il utilise pour construire ses circuits de gardiennage. Selon l'arrangement de ces différents éléments et de la forme du coussoul (très variable en Crau), le berger utilisera la place de pâturage entière ou seulement en partie au fil de la saison de pâturage. C'est-à-dire, que la période qui va de début mars à la fin juin, est découpée en quatre phases très marquées par la pousse de végétation. Ces phases peuvent être décrites comme suit :

1. En début de printemps. Au mois de mars la végétation comestible est presque totalement et uniquement constituée par le "stock sur pieds" de brachypode ;
2. Au début du mois d'avril, on assiste au démarrage plus ou moins rapide des espèces annuelles ;
3. Au plein printemps, entre les mois d'avril et mai, c'est la plus grande productivité du coussoul. Les espèces des zones de "fin" se trouvent dans leur pic de production et le brachypode (le "grossier"), avec ses nouvelles pousses, devient lui aussi plus appétant ;
4. À la fin de la saison, à partir de juin, le dessèchement et l'augmentation de la chaleur se traduisent par la quasi disparition de la végétation "fine". Seul reste le brachypode non encore consommé.

Pendants ces différentes phases, les bergers utilisent un ou plusieurs "quartiers" (des ensembles contigus de secteurs à l'intérieur du coussoul) bien que l'utilisation de la totalité de la surface du coussoul ne soit pas exclue, surtout à la fin de la saison lorsque la ressource végétale diminue. En conséquence, les bergers forment des circuits de gardiennage selon les phases de la saison de pâturage. Étant donnée la grande diversité de formes et de pratiques de garde effectuées par les bergers de Crau, les circuits sont très variés (Dureau et Bonnefon, 1997).

Dans les coussouls, pendant la première moitié du printemps, les circuits de pâturage durent entre 8 et 9 heures/jour (Dureau et Bonnefon, 1997), généralement entre 11h00 à

19h00. Dans la deuxième moitié, lors de la montée de la température à partir de mai, le troupeau sort deux fois par jours, avec un retour à la bergerie à la mi-journée : le matin entre 7h00 et 11h00, et progressivement de 6h00 à 10h00, puis l'après-midi entre 16h00 et 20h30, et progressivement entre 17h00 et 21h30.

La distance parcourue sur une place Crau est de l'ordre d'une dizaine de kilomètres par jour. Ceci pouvant varier sensiblement selon la forme de la place de pâturage, la saison, la météo, l'éloignement des points d'abreuvement et l'influence d'événements extérieurs. L'activité de pâturage des troupeaux de Crau a été décrite comme un presque continu "pâturage - déplacement", avec de rares moments où le déplacement (ou le pâturage) est la seule activité.

1.1.3 La Crau agressée de partout

La Crau a toujours été un territoire privilégié pour l'élevage ovin transhumant. Cependant, en 1559 le creusement du canal de Craponne a d'abord permis l'installation de vergers et de vignes, ensuite de prairies de fauche (12.000 ha de foin AOC) dont l'irrigation par submersion temporaire des parcelles constitue à l'heure actuelle un facteur important pour le remplissage de la nappe phréatique. Si les cultures de melons ont, dans le passé, empiété sur les coussoul, actuellement c'est l'arboriculture fruitière qui occasionne une pression foncière importante (8 % des pêches françaises sont produites en Crau). L'agriculture intensive à forte productivité est dès lors présente. Elle fragmente le paysage naturel de la plaine, tout comme les zones d'activités qui se sont étendues en raison de la platitude et de la vacuité de cette plaine.

Les ordures ménagères de Marseille ont été accueillies dans la décharge d'Entressen (80 ha) située au milieu de la Crau, cela depuis le début du XX^e siècle. Ce n'est qu'à partir de 2006 que le dépôt n'est plus à ciel ouvert et évolue vers un système de compactage en balles postérieurement recouvertes de terre. Cette décharge doit fermer prochainement et être remplacée par un incinérateur situé vers Fos-sur-Mer, à l'extrême sud de la Crau.

La Crau a subi également l'installation de dépôts d'explosifs, d'un parc d'aéronefs, et de terrains d'aviation dont l'aérodrome militaire le plus long d'Europe (5 km) capable d'accueillir la navette spatiale nord-américaine, et la navette spatiale européenne à l'horizon 2020. Par ailleurs, la zone portuaire de Fos (ZIP), qui gère une partie de l'activité du port de Marseille, a été installée dans les environs de la plaine à partir des années 1960. Une partie de l'industrie sidérurgique française, avec ses équipements, ses infrastructures et l'urbanisation qui les accompagnent, contraste particulièrement avec les coussouls du sud-est de la Crau (zone du Ventillon, voir figure 1.10).

D'autre part, si les carrières exploitant les cailloutis de Crau semblent réduites (il n'en reste que cinq sur une quinzaine présente il y a 20 ans), la présence des "plates-formes multimodales" (stockage de marchandises), comme celle de Grans-Miramas, entraînerait à elle seule un trafic routier estimé de 25.000 poids lourds par jour en 2020. Le réseau routier est constitué par l'autoroute A54 reliant St Martin-de-Crau à Salon-de-Provence et, au delà, l'Espagne à l'Italie. Il y a aussi trois routes nationales, la N113 (Arles-St Martin-de-Crau), la N568 (Arles-Fos), et la N569 (bordure ouest de l'Etang de Berre). Enfin, les routes départementales et secondaires sont également abondantes. Le réseau entier est prévu de s'agrandir, compte tenu des activités de la zone portuaire de Fos. L'accès aux coussouls est limité mais



FIGURE 1.10 – Industrie sidérurgique à côté du coussoul de Ventillon. Photo : P. Fabre

possible par des pistes situées dans son périmètre. C'est le cas du coussoul du Ventillon, dont l'accès est utilisé par la station de pompage de Port-de-Bouc et la carrière de Menu-delle. Mais ces accès facilitent les rendez-vous assez fréquents de fêtes "rave" ou d'autres rassemblements non autorisés par les municipalités (voir figure 1.11) (Meyer, 1983).



FIGURE 1.11 – Fête "rave" dans les coussouls de Crau. Photo (Touareg.org, 2008)

Un point d'actualité récent concerne le réseau du transport d'énergie fossile : l'oléoduc reliant Fos-sur-Mer à l'Allemagne. Le 7 août 2009, lors d'une tournée de surveillance, le personnel de la réserve naturelle de Crau découvre un panache de pétrole de 3 à 4 m, jaillissant d'un pipeline au cœur même de la réserve. Cinq hectares de coussoul sont submergés, laissant la terre imbibée sur une profondeur de 10 à 20 cm. (voir figure 1.12). Hormis la mobilisation pour le nettoyage et la réduction de l'impact des opérations, la perte irrémédiable de ces coussouls a conduit la réserve naturelle de Crau à porter plainte pour atteinte au milieu naturel et à l'activité pastorale présente (CEEP, 2009a).

Toutes ces activités concurrentes qui morcellent la réserve représentent un vrai défi pour ses co-gestionnaires : comment concilier activité pastorale, protection de l'écosystème et urbanisation et industrialisation grignotant de toutes parts, et parfois assez violemment, cet habitat exceptionnel qu'est la dernière steppe d'Europe : la Crau.



Fuite de pétrole dans une réserve naturelle des Bouches-du-Rhône



Zonme directement polluee - 12 août 2009 - Photo RNCC / CEEP

FIGURE 1.12 – Fuite de pétrole dans la Réserve Naturelle de Crau. Photos : en haut [AFP \(2009\)](#), au centre [Post \(2009\)](#), en bas [RNCC/CEEP \(2009\)](#)

1.1.4 La création de la Réserve Naturelle des Coussouls de Crau

Création de la réserve naturelle des coussouls de Crau

Des premiers travaux portant sur la végétation (Molinier et Tallon, 1950) et sur les oiseaux (Frisch O. V., 1965), à la constitution de la réserve, s'écoulent une quarantaine d'années. Ce n'est qu'au milieu des années 1970 que le caractère unique des Coussouls et la nécessité de les protéger sont signalés (Cheylan G., 1975; Rieux et al., 1977). Plus tardivement, dans les années 1980, l'installation d'une arboriculture intensive (pêchers) sur des centaines d'hectares de Crau amène à la création du groupe de travail Sauvegarde et Gestion du Milieu Naturel de la Crau. Ce groupe, qui rassemble tous les acteurs locaux, accomplit un travail de gestion du milieu naturel de Crau et lance un débat sur la conservation de la steppe et de sa faune (Buisson et al., 2004). Également, il impulse des études concernant autant le patrimoine biologique que la dynamique socio-économique des activités en Crau. Enfin, il souligne la nécessité de mettre en œuvre des mesures de protection et la prise en compte du rôle de l'activité pastorale, tout comme celui de la dynamique des équilibres économiques locaux (CEEP, 2009b).

En 1987, malgré le rejet d'une première tentative de protection réglementaire des coussouls, est créé l'Écomusée de la Crau qui travaille énormément pour la sensibilisation de la protection de cette région. La commune de Saint Martin de Crau, le Conservatoire Études des Écosystèmes de Provence/Alpes du Sud (CEEP) et l'association Stiftung Europäischen Naturerbe participent à leur fondation. Ensuite, de 1987 à 1989, l'Association pour la Sauvegarde de la Crau développe le projet Actions Communautaires pour l'Environnement (ACE). Cette association est dotée d'un budget financier lui permettant des achats fonciers de coussouls (876 ha), la mise en place des Mesures Agri-Environnementales (MAE) visant le maintien du pâturage extensif, et enfin, d'obtenir l'agrément pour une réserve naturelle volontaire. Dans la même période l'État français met en place ses premières MAE ("Mesures Agri-Environnementales"), la Crau sèche étant le site choisi. L'application locale de telles mesures est ainsi traduite par la mise en place des OLAE ("Opérations Locales Agri-Environnementales").

En 1990, au titre de la directive européenne pour la protection des oiseaux sauvages CEE79/409, les coussouls "vierges" ou "peu dégradés" sont classés en Zone de Protection Spéciale (ZPS). Une deuxième campagne d'achats fonciers est cofinancée par la Commission Européenne (CE) et l'État sous la forme du programme "LIFE-Nature". Cette dernière action permet en 1994 la rétrocession aux éleveurs, au CEEP et à la Chambre d'Agriculture des Bouches-du-Rhône (CA13), de plus de 2.000 ha de coussouls soumis à un cahier des charges dans lequel sont compris le maintien du pastoralisme et le classement en réserve naturelle.

À son tour, les acteurs agricoles s'impliquent activement dans la préservation de la Crau. En 1996, ils intègrent les coussouls et les prairies de foin de Crau à la Zone Spéciale de Conservation Crau Centrale - Crau Sèche qui devient site Natura 2000 sur une superficie de 31.458 ha. Le Comité du Foin de Crau devient l'opérateur local du site. Le dossier pour la création de la réserve naturelle est monté par la Direction Régionale de l'Environnement Provence Alpes Côte d'Azur (DIREN PACA), avec le CEEP, et présenté en mars 1999 au Conseil National de Protection de la Nature. Finalement, le 8 octobre 2001, le décret portant la création de la réserve naturelle des coussouls de Crau est signé. Il en donne la cogestion, par la voie des MAE, au CEEP et à la CA13.

1.1.5 Les Mesures Agri-Environnementales (MAE) dans la Crau sèche

En Crau, les acteurs de l'environnement et de l'agriculture coopèrent étroitement depuis une vingtaine d'années. Divers programmes, traductions locales des programmes européens comme l'implémentation de la politique agri-environnementale ou le réseau Natura 2000, ont vu le jour en Crau. Nous retraçons les principales actions qui concernent la réserve naturelle des coussouls de Crau. Cependant, étant donné que sous d'autres latitudes, dans des pays comme le Mexique (dont je suis originaire) le contexte agri-environnemental est différent. J'ai considéré pertinent de faire une synthèse portant sur les MAE.

Synthèse concernant les MAE

L'Angleterre est reconnue comme le pays pionnier des MAE pour la gestion des espaces naturels "sensibles" et pour la rémunération des agriculteurs qui préservent et développent des "pratiques respectueuses de l'environnement". En 1984, les britanniques ont demandé une modification de la Politique Agricole Commune (PAC) qui a permis aux États membres de financer des "zones sensibles du point de vue de la protection de la nature" en offrant aux agriculteurs la possibilité de bénéficier de "primes" agri-environnementales. Issu de cette modification, l'Article 19, approuvé par la Communauté Economique Européenne (CEE) en 1985, est considéré comme le tout premier dispositif agri-environnemental permettant de compenser les pertes de revenus des agriculteurs. Il a permis de préserver des techniques agricoles compatibles avec des objectifs de protection de la nature pendant 5 ans. L'application de cet article demeure facultative jusqu'en 1992 avec la réforme de la PAC.

En France, ce n'est qu'en 1991 que la création du Comité Technique National Agri-Environnemental (CTNAE) introduit un pôle de mise en œuvre de l'Art.19, chargé de l'agrément des Opérations Locales Agri-Environnementales (OLAE). Il représente l'irruption des associations de naturalistes locaux ou nationaux dans les affaires agricoles. Des comités de pilotage constitués par des naturalistes, des acteurs agricoles et des élus de collectivités territoriales ont été les lieux de modification ou d'ajustement des cahiers des charges. Les objectifs des cahiers de charges pour la réduction des pollutions agricoles, l'adaptation de systèmes d'exploitation dans les secteurs de biotopes sensibles, la prévention de la déprise agricole et des incendies par le pâturage contractualisé a très tôt mis en évidence l'absence de références scientifiques et techniques solides en matière d'agri-environnement.

Le règlement 2078/92 accompagnant la réforme de la PAC en 1992 comporte l'élargissement des MAE du type OLAE à la création des Primes au Maintien des Systèmes d'Élevages Extensifs (PMSEE), plus connue en tant que "prime à l'herbe". Cette prime est reversée à l'hectare selon la nature de la production. Également, les Plans de Développement Durable (PDD) ont été créés sur la prise en compte de l'ensemble du système d'exploitation.

Ces différents dispositifs ont été élargis dans les Contrats Territoriaux d'Exploitation (CTE) à partir de 1998 par la nouvelle Loi d'orientation agricole (réorientation des primes PAC). Les CTE prônaient notamment la promotion du caractère multifonctionnel de l'agriculture, y compris dans ses dimensions non marchandes. Le choix d'un contrat individuel entre l'État et l'exploitant agricole inscrit, à travers des actions concrètes, le projet individuel de l'exploitant dans un projet global de développement territorial négocié entre les différents acteurs (agricoles et non agricoles ruraux) concernés. Parallèlement à l'obligation de l'application de l'Art. 19 à partir de 1992, une autre directive à visée écologique a été créée cette même année au sein de la Commission Européenne (CE) : la Directive Habitats

Faune Flore. Elle représente l'engagement de la CE à mener des actions pour le maintien de la diversité biologique par la conservation des habitats naturels.

Les principes de la biologie de la conservation y sont mobilisés pour protéger des espaces, mais sans la sanctuarisation ou l'isolement, jusque là caractéristiques des Parcs Nationaux, avec notamment la protection des espèces symboles. Bien au contraire, les espaces à protéger doivent être choisis comme éléments constitutifs d'un ensemble : le Réseau Natura 2000, avec la constitution d'un inventaire des espèces, des habitats et une typologie des milieux. La mise en œuvre de ce réseau a été retardée en France jusqu'en 1996 et a donné lieu à des débats et des contestations entre le ministère de l'Environnement et des acteurs du milieu agricole, notamment du milieu forestier, ainsi que des Fédérations de chasseurs. Finalement, la mise en place du réseau a abouti à la création des Zones Spéciales de Conservation (ZSC). Ces zones se sont rajoutées aux Zones de Protection Spéciale (ZPS) créées sous l'impulsion d'une autre directive plus ancienne de la CE, la Directive Oiseaux (79/409/CEE, de 1979) consacrée à la protection des oiseaux et de leurs habitats (Golée, 2002).

Outre la difficulté à suivre l'évolution de toutes cette valse de politiques successives, directives, mesures et dispositifs locaux, souvent transposés entre eux dans les territoires, de telles actions ont demandé la mobilisation des scientifiques, de connaissances dans les domaines de la conservation, et dans le cas qui nous occupe dans cette thèse, de la gestion écologique des sites de pâturage. Or, ces connaissances se sont montrées rares, dispersées et incomplètes.

Les MAE en Crau

Les divers acteurs ruraux de la région de la Crau ont été des pionniers dans la contractualisation des directives européennes agri-environnementales. Par la mise en place des divers programmes concernant la gestion agricole de la ressource en eau et en biodiversité, l'ensemble du cheptel ovin et des surfaces de prairies permanentes irriguées est à l'heure actuelle protégé. Ce qui est considéré comme étant la dernière steppe d'Europe, le coussoul, fait aussi l'objet des mesures agri-environnementales.

Quatre types de programmes ont été mis en place en Crau pendant une vingtaine d'années. Ces programmes sont :

- L'Action Communautaire pour l'Environnement comportant les volets fonciers et conventions et sensibilisation. Ce programme est assorti d'études et de suivis scientifiques.
- La Politique Agri-Environnementale avec plus de 16 ans de contractualisation avec les éleveurs et les producteurs de foin.
- La Réserve Naturelle des Coussouls de Crau créée en 2001, comportant 7.440 ha pâturés. Les gestionnaires en sont la Chambre d'Agriculture des Bouches-du-Rhône et le Conservatoire Étude des Écosystèmes de Provence (CEEP).
- Le réseau Natura 2000 dont l'opérateur local est le Comité du Foin de Crau en partenariat avec les éleveurs et les scientifiques du CEEP.

Ces divers programmes, dont notamment la création de la Réserve Naturelle, font le constat de la prise de conscience de la collectivité au sujet de la préservation des habitats, mais aussi, prioritairement, du maintien des pratiques agricoles traditionnelles, le pastoralisme et la culture du foin de Crau. Car la steppe et les prairies sont complémentaires sur le plan écologique. La chronologie des mesures effectuées de 1991 à 2004 est résumé (figure 1.13) dans le projet agri-environnemental présenté par l'opérateur local (Comité du Foin de

Crau, 2007).

- **1991** : Article 19 Crau sèche dont l'objectif était de pérenniser la location de pâturage extensif des moutons et l'exclusion de tout autre mise en valeur agricole.
- **1991** : Article 19 Crau Humide dont l'objectif était de stabiliser les places de pâturage sur les 4^{ème} coupe de foin de Crau et surtout pour les éleveurs herbassiers.
- **1993** : mesure ACE dont l'objectif de favoriser le pâturage extensif des moutons sur les coussouls, et l'exclusion de toute autre mise en valeur agricole.
- **1994** : mesure ACE pour achat de foncier dont l'objectif était d'aider l'achat de coussoul à condition d'y pratiquer uniquement le pâturage des moutons et l'exclusion de toute autre mise en valeur agricole.
- **1996** : Article 21 Crau sèche dont l'objectif était le même que l'article 19 Crau Sèche car il s'agit en fait du renouvellement de l'opération.
- **1996** : Article 21 Crau Humide dont l'objectif était le même que l'article 19 Crau Humide car il s'agit en fait du renouvellement de l'opération.
- **1996** : Opération Locale Foin de Crau dont les objectifs étaient de préserver la pratique de l'irrigation gravitaire pour alimenter la nappe phréatique, préserver un biotope qui héberge des espèces protégés et entretenir un paysage de bocage.
- **1998** : Opération Locale Crau Sèche qui était le renouvellement de l'Article 21 Crau Sèche.
- **1998** : Opération Locale Crau Humide qui était le renouvellement de l'Article 21 Crau Humide.
- **2002** : Validation du document d'objectif Natura 2000 Crau Sèche Crau centrale.
- **2002** : Mise en place d'un CTE (Contrat Territorial d'Exploitation) coordonné et territorialisé tenant compte des enjeux du document d'objectif Natura 2000. Seulement 3 dossiers validés pour 98 ha.
- **2004** : Mise en place d'un CAD (Contrat d'Agriculture Durable) coordonné et territorialisé tenant compte des enjeux du document d'objectif Natura 2000. (*Voir carte jointe en annexes*).

FIGURE 1.13 – Résumé des mesures et dispositifs agri-environnementaux en Crau.

En ce qui concerne les coussouls, ils ont été inscrits en annexe de la Directive Habitats : "Habitat d'Intérêt Communautaire Prioritaire". À partir de 2007, le Comité de Foin a mis en place une MAE territorialisée sur le site Natura 2000 "Crau Centrale-Crau Sèche", avec un cahier des charges spécifique concernant les coussouls. Deux mesures sont destinées aux éleveurs ovins pâturant sur les coussouls. La première, libellée MAE 4 : pâturage des coussouls par les ovins, constate que la définition des conditions d'entretien des surfaces de coussoul est trop rigide : l'assignation de chargements instantanés maximal et minimal et de périodes de pâturages rigides, qui ne sont pas adaptés à la préservation des milieux. Cela peut entraîner une perte de biodiversité. Cette mesure impose un diagnostic pastoral mené alors par le Cerpam et le CEEP. Ce diagnostic autorise une fourchette de pâturage ovin comprise entre 300 et 700 journées pâturage brebis/ha/an entre octobre et juin. Une deuxième mesure, libellée MAE 5 : pâturage des coussouls par les ovins avec astreinte du berger, permet le maintien d'une plus forte diversité floristique au sein des coussouls. L'embroussaillage est davantage contrôlé et les différents faciès végétaux qui font la richesse de ce milieu sont davantage préservés. En revanche, la pose de clôtures fixes reste interdite et l'astreinte du berger en matière de gardiennage du troupeau est obligatoire (Comité du Foin de Crau, 2007).

1.1.6 Qu'est-il attendu du pâturage en Crau pour la conservation des habitats d'espèces ?

Le système pastoral en Crau a été considéré comme bénéfique pour le maintien d'un milieu "ras et ouvert" de type steppique. Dans ce milieu, l'hétérogénéité dans la structure de végétation est nécessaire pour la conservation des habitats, car les espèces animales remarquables (dont plusieurs d'avifaune) ont des exigences écologiques très diverses en ce qui concerne leur alimentation, dissimulation vis-à-vis des prédateurs, reproduction et nidification. C'est ainsi qu'il est attendu du pâturage en Crau qu'il empêche l'embroussaillage des Coussouls, mais également qu'il favorise des faciès de végétation herbacée de différentes structures et composition (voir principales exigences des espèces pour ce qui concerne le couvert d'herbes à la section 1.1.1.2).

Une pression de pâturage suffisante permettant d'éviter un développement excessif de structures de brachypode hautes et denses semble être nécessaire, mais également une distribution spatiale hétérogène de cette pression est attendue pour favoriser la présence de faciès de végétation contigus présentant différentes structures et composition. Dans l'état actuel des connaissances en matière d'exigences écologiques des différentes espèces, il n'est pas possible de définir plus précisément les proportions idéales des différents faciès, ni les surfaces optimales des assemblages de végétation hétérogène. Les pratiques actuelles des éleveurs et des bergers semblent à première vue satisfaire et, pour éviter que les cahiers de charges ne se traduisent pas en un excès d'homogénéisation de ces pratiques, les contrats de pâturage en Crau n'encadrent actuellement pas de façon rigide la pratique des éleveurs et des bergers. Seule la pratique du pâturage en parc clôturé reste à ce jour proscrite, par crainte d'un excès d'homogénéisation du couvert végétal, du fait d'un surpâturage (les animaux sont trop nombreux et laissés trop longtemps dans un même parc) aboutissant à la disparition du brachypode. Aujourd'hui, ce sont les pratiques d'éleveurs et de bergers favorisant l'hétérogénéité de structures végétales, au sein d'une même place de pâturage (un coussoul) mais aussi entre plusieurs places contiguës, qui sont encouragées.

1.2 Problématique de terrain

1.2.1 Alliance entre les environnementalistes et les pastoralistes

Les pratiques pastorales dans la plaine de Crau existent depuis des époques lointaines. Les ruines de bergeries d'époque romaine, répertoriées par des études archéologiques, en apportent l'évidence scientifique. Ces pratiques pastorales ont réussi à perdurer à travers le temps, modelant des milieux qui sont aujourd'hui reconnus comme étant favorables à l'accueil d'une biodiversité unique en France. Récemment, à la fin du XX^e siècle, la communauté des ornithologues a fait le lien entre ces pratiques pastorales millénaires et la présence d'une avifaune remarquable, présente sur des habitats utilisés constamment par les bergers et leurs troupeaux de moutons.

Mais, comme je l'ai déjà signalé, l'empiètement sur la Crau d'activités agricoles plus intensives (melonnières, plantations d'arbres fruitiers qui détruisent le sol de la steppe), ou par des zones industrielles, autoroutes, etc. constitue un danger pour la continuité, autant des systèmes ovins pastoraux que des habitats de l'avifaune. En réaction à cette situation, les

pastoralistes (éleveurs et conseillers d'élevage) ce sont alliés avec les environnementalistes, car ces derniers considèrent que la plupart des pratiques pastorales seraient bénéfiques à la préservation de la biodiversité sur les milieux steppiques de Crau.

Pour les environnementalistes, les habitats d'espèces d'avifaune ne peuvent exister sans la diversité de structures de végétation qui caractérisent les communautés végétales de Crau, diversité fortement liée aux pratiques pastorales. Dans cette hétérogénéité végétale, le Brachypode a été considéré comme une espèce-clé, car il structure fortement la végétation des coussouls. Il est donc attendu des éleveurs et de leurs bergers qu'ils fassent pâturer leurs troupeaux de sorte à maintenir des secteurs avec Brachypode.

En conséquence, les pratiques pastorales se sont retrouvées sous la loupe des scientifiques, de leurs analyses et face aux limites de ces analyses dans un domaine de recherche où les références sont encore jeunes et dispersées par rapport aux autres domaines agronomiques.

1.2.2 L'environnement économique fait pression sur l'environnement naturel

Les conditions économiques de la filière ovine française n'ont pas évolué de manière positive comme en témoigne le prix de l'agneau qui a diminué de moitié dans les vingt dernières années, du fait notamment de la concurrence de la viande d'agneau importée à bas prix. En même temps, le prix des matières premières a continué son augmentation. En réponse à cette crise, les dispositifs d'aide économique à la production ovine (comme la Prime Compensatrice Ovine, ou PCO) se sont orientés vers des aides financières en fonction du nombre de brebis par élevage. Plus grand est le nombre des brebis entretenues, plus importante est la subvention reçue, et plus les éleveurs ont intérêt à favoriser l'augmentation de la taille des troupeaux. Cette orientation des subventions n'a pas été sans conséquences pour les systèmes de production ovine, y compris les systèmes pastoraux en Crau. Ceci est plus ou moins explicitement exprimée par les éleveurs, et parfois dénoncée par les bergers qui peuvent se retrouver avec trop de brebis à devoir garder sur une même place de coussoul :

- Tendance à améliorer la « capacité fourragère » en Crau, par exemple avec l'utilisation des herbes de printemps et la recherche de pâturage dans les environs ;
- Tendance à "surcharger" la place coussoul (trop d'animaux par unité d'espace et de temps) ;
- Tendance à "faire racler" (brouter très ras) et faire disparaître le brachypode ;
- Tendance à remplacer le berger par des clôtures fixes : d'après les éleveurs, le salaire d'un berger coûte cher (1.200 euros par mois, le salaire minimum en France, charges non comprises), et comme il leur faut rentabiliser ce coût, les effectifs d'animaux confiés à un berger ont tendance à augmenter ;

Certains éleveurs regrettent que les jeunes issus des écoles de bergers travaillent moins bien que les anciens « bons » bergers qui se sont raréfiés. Ceux-là regrettent surtout le temps où les bergers ne coûtaient pas grand-chose, où ils ne demandaient ni jours de congé, ni vacances, ni meilleures conditions de travail et d'habitation. D'autres éleveurs n'ont pas le même avis et sont conscients qu'un berger reste indispensable (agnelage, alpage, protection anti-loup...). Alors, pour certains éleveurs, il y a une envie à mettre des clôtures au lieu d'employer un berger. En faveur des clôtures, il y a aussi l'idée de fermer l'accès des espaces de pâturage à des visiteurs étrangers. Cette idée fait écho chez les éleveurs fatigués d'observer l'impuissance de la « police écologique » (3 ou 4 gardiens) pour surveiller les 7.494

ha (dispersés et non contigus) de la Réserve naturelle des coussouls de Crau, empêcher les vols et les dégradations aux bergeries, contrôler les chiens plus ou moins errants, passages de véhicules à moteur non autorisés, fêtes raves et autres dérangements. D'ailleurs, certains éleveurs ont voulu prendre en main l'affaire en bâtissant des barrières avec pour conséquences procès verbaux et conflits avec les gestionnaires de la Réserve naturelle. Ce contexte incite les gestionnaires de la Réserve et les techniciens pastoraux à tenter de mieux justifier techniquement l'emploi de bergers chargés de la conduite de l'alimentation des troupeau au pâturage. Il s'agit pour eux d'éviter la généralisation de la pose de clôtures fixes, avec transformation du paysage remarquable de la Crau en une sorte de gros "ranch" encombré de grillages métalliques et de gros poteaux, où les animaux vont et viennent autour du point d'eau. Le travail des "bergers" se résume alors à vérifier l'état des clôtures et des portes, l'alimentation en eau et en sel, la présence d'animaux malades, et à changer le troupeau de parc lorsqu'il n'y a plus rien à brouter (situation courante en élevage bovin viande "extensif" au Mexique et aux États-Unis).

1.2.3 Études visant la justification technique du maintien des pratiques de garde par des bergers

Pour répondre en partie à cette question, "garde vs clôture", plusieurs études ont été mises en œuvre. Des enquêtes portant sur l'adaptation des pratiques de pâturage pendant les années 1995 à 1997 ont été effectuées (Dureau et Bonnefon, 1997). Ces informations ont été actualisées en 2007 par le Cerpam. L'accent est mis sur le repérage des facteurs ayant évolué pendant la décennie, tant au niveau de l'environnement (climat, végétation) qu'au niveau de l'utilisation des coussouls. Elles incluent l'identification des critères de décision et la perception de l'évolution de la végétation et du climat par des éleveurs et des bergers (Debit, 2010).

D'autres recherches ont été effectuées. Par exemple, des études menées auprès des éleveurs lors de l'ACE Crau (2004-2006) ont permis d'identifier l'équilibre spécifique de la flore pastorale du coussoul qui comprend une fraction "fine", attractive mais éphémère, et une fraction "grossière" dominé par le brachypode. Cette dernière joue le rôle d'un stock sur pieds et tempère les aléas pluviométriques, permettant ainsi quatre mois de pâturage. Les deux fractions sont intimement imbriquées dans les "coussouls panachés". Ces résultats ont confirmé l'importance du brachypode comme ressource pastorale de "stock" déjà mises en évidence par (Dureau et Bonnefon, 1997). Les études effectuées par l'ACE Crau, considèrent que la gestion pastorale des coussouls panachés consiste à contenir l'envahissement par le brachypode, en maintenant sa hauteur entre 5 et 10 cm par des techniques de pâturage appropriées (CERPAM, 2008).

Également, des mesures de brachypode rameux ont été effectuées par le Cerpam en 2007. L'objectif a été d'estimer sa structure (recouvrement et hauteur) et de la comparer avec celle estimée lors des études de 1996. Une possible disparition progressive des marges de manœuvre de l'exploitation pastorale fournies par le brachypode est considérée dans ces recherches. Les résultats des analyses indiquent qu'il existe des diminutions dans le recouvrement en brachypode pour certains coussouls, des recouvrements stables pour d'autres, et même des augmentations dans certaines places de pâturage. Ces résultats mettent l'accent sur l'importance des pratiques de pâturage pour maintenir la hauteur et le recouvrement de brachypode (Machat, 2009).

Nous remarquons dans ces études l'importance donnée à la hauteur au sol du brachypode (mesurée avec une règle graduée en centimètres, tenue verticalement) comme indicateur de l'état de sa structure et de l'impact des techniques de pâturage. Ceci est probablement issu des préconisations courantes en matière de relation "hauteur-biomasse-qualité" dans les prairies de graminées cultivées.

Le suivi pluriannuel par photo-interprétation aérienne et satellitaire de la végétation de Crau est une autre étude effectuée par le CEEP et le Cnrs (Centre national de la recherche scientifique, Montpellier) pour suivre l'évolution au fil des années des composantes "fines" et "grossières" dans les coussouls. Pour mettre au point les relations entre les index de réflectance et les types de végétations, des mesures sur le terrain visent à mieux connaître la présence/absence, le taux de recouvrement et la hauteur du brachypode. Les données ainsi obtenues sont censées apporter l'information qui permet d'analyser l'évolution des étendues de plaques de brachypode (apparaissant en vert foncé sur les photos traitées "fausses couleurs), de végétation "fine" (en jaune) et de sol nu (en gris clair).

J'ai été invité en avril 2007 par le Cerpam à contribuer aux mesures de hauteur et de recouvrement de brachypode sur une série de placettes témoins et dans divers coussouls qui avaient déjà été échantillonnés 10 ans auparavant. C'est une technique délicate, car il faut tout d'abord retrouver la bonne placette (qui n'avait pas été positionnée à l'époque par GPS), puis réaliser avec grand soin les mesures à la règle graduée, même s'il y a beaucoup de vent.

Mise à part pour la connaissance phytosociologique des associations végétales comportant cette graminée, ce type d'informations me semble peu pertinent pour qualifier la végétation destinée à l'alimentation des ovins. Pour une prairie de graminées semées et cultivées, donc avec une grande homogénéité des espèces (parfois une seule) et des formats de plantes (par exemple toutes au stade jeune feuillu), la hauteur de la plante est utilisée comme un bon indicateur, à la fois de sa biomasse, des caractéristiques nutritionnelles et aussi de la masse disponible pour les prises alimentaires (préhensibilité des organes comestibles). En prairies de graminées, il a été montré que ce n'est pas la hauteur totale au sol qui doit être mesurée, mais la hauteur au-dessus des gaines, car ce qu'il y a en dessous, qui soutient les feuilles et qui mesure parfois 4 à 8 centimètres, n'est jamais consommé.

Or, il se fait que le brachypode est une graminée pérenne dont la structure aérienne est assez particulière (voir figure 1.14). Vu l'abondance et la taille souvent importante de ses organes de soutien des limbes de feuilles comestibles, organes qui se présentent comme des petites branches en touffe assez fibreuses, elle ressemble plus à un arbuste de petite taille qu'à une graminée de type ray-grass, fétuque ou dactyle. La hauteur totale au sol de la plante de brachypode n'est donc probablement pas un indicateur fiable de la ressource fourragère pour des ovins : masse comestible, organes préhensibles et valeur nutritive. Pour ce types de structures, qui s'apparente à celle des arbustes comme les genêts, une approche différente de la très répandue relation "hauteur-biomasse-qualité" issue des fourrages cultivés doit être mise en œuvre.

Et pour ce qui concerne les photos aériennes ou satellitaires, n'ont-elles pas tendance à évaluer la biomasse aérienne totale des végétaux et, pour ce qui concerne les plantes de type brachypode, à mélanger ce faisant les organes de soutien de plus d'un an d'âge (non consommables par des ovins) avec les jeunes tiges et les feuilles (consommées)? Des corrections sont faites, tenant compte de la teneur en eau des végétaux et donc se rapprochant



FIGURE 1.14 – *Formes de brachypode en Crau.* Photo : P. Gonzalez.

d'une évaluation de la quantité de tissus jeunes (feuilles) par rapport aux plus vieux (les tiges plus âgées et fibreuses, non consommables), mais ceci demande des travaux considérables, qu'il faut soigneusement calibrer sur le terrain selon ce qu'on sait du comportement de sélection alimentaire et d'ingestion par des ovins selon les structures de plantes.

Donc, pour produire des données visant à identifier la fonction du brachypode dans l'efficacité d'ingestion instantanée des ovins, comment décrire cette végétation diversifiée de Crau et notamment le brachypode, selon ses différents formats et stades de développement en cours de saison ? Dans mon travail de recherche, je prétends obtenir cette information à partir des utilisateurs directs de la végétation de Crau : les bergers expérimentés dans le gardiennage en coussoul et leurs troupeaux habitués au pâturage en Crau. Mon dispositif de recherche va être élaboré, à partir des informations obtenues de la part de ces deux utilisateurs.

1.3 Objectif de la thèse

Dans la réserve naturelle des coussouls de Crau, les gestionnaires se sont attachés à mieux anticiper les seuils relatifs à un excès d'homogénéisation du couvert pâturé et aussi à argumenter plus techniquement la nécessité du maintien de la diversité de pratiques pastorales pour :

- La conservation et le renouvellement des qualités alimentaires du pâturage de la steppe de Crau, mais aussi
- pour la conservation et le renouvellement des habitats de faune sauvage. Ces habitats sont influencés par les effets du pâturage qui structure le couvert végétal.

L'objectif général de ma thèse est ainsi de :

Contribuer à mieux apprécier la fonctionnalité alimentaire de la végétation steppique de la Crau pour des troupeaux de brebis conduits par des bergers au cours de circuits de gardiennage.

Ceci devrait contribuer à la construction d'un indicateur de terrain opérationnel pour mieux qualifier la végétation et ses différentes structures au regard de son utilité pour l'ingestion des troupeaux conduits en gardiennage. Ceci devrait également apporter des informations originales pour contribuer au débat "gardiennage vs. clôtures".

Nous nous sommes éloignés de l'analyse de pratiques pastorales via les dates de rentrée et sortie des places de pâturage, les jours*brebis/ha/an, ou le maintien d'une quelconque hauteur de brachypode, dont le raclage ou le sous-pâturage sont considérés comme le résultat de deux pratiques pastorales extrêmes. Ces études se sont déroulées par ailleurs, du fait de la Chambre d'agriculture et du Cerpam, aux mêmes dates que celles de ma thèse (Machat, 2009).

Nous avons estimé que, pour mieux décrire les pratiques et leur incidence sur la fonctionnalité alimentaire de la steppe, notre étude devait les décortiquer à une échelle temporelle plus fine : les actions du berger sur leur troupeau au cours du circuit de gardiennage et les réponses comportementales des brebis à l'échelle des phases de pâturage en cours de repas et face à différentes natures et structures de couvert d'herbe. Nous avons considéré

aussi que la description des catégories de végétation dont le berger se sert au quotidien pour concevoir ses circuits résulte de ses expériences empiriques et fonde sa pratique d'alimentation, donc qu'elle devait être également prise en compte dans ma thèse.

Il me semble pertinent de préciser ici que mon objectif ne vise en aucun cas l'évaluation du travail de tel ou tel bergers pendant ses circuits de gardiennage, ni l'identification d'une liste des "bonnes pratiques" ou de pratiques permettant le comportement alimentaire idéal. Mon objectif se limite à étudier les pratiques de quelques bergers, et de tenter de comparer leurs effets sur le comportement alimentaire en cours de circuits et face aux différentes structures végétales.

Visant à accomplir mon objectif de thèse, j'ai effectué une petite revue bibliographique portant sur le comportement alimentaire, les pratiques des bergers et la végétation des parcours. Plus particulièrement, ma revue bibliographique a été centrée sur le comportement d'ingestion sur milieux diversifiés, en fonction de la végétation pâturée. Ma revue couvre également le champs des pratiques de conduite des troupeaux par les bergers qui utilisent les coussouls de Crau. Enfin, la revue traite de la structure des plantes et de la valeur alimentaire selon la préhensibilité des plantes en milieux diversifiés, en approfondissant la question de la diversité des formats de brachypode. Cette revue bibliographique est présentée au chapitre suivant.

Chapitre 2

Revue bibliographique, question de recherche et hypothèses

Sommaire

2.1	Revue bibliographique	39
2.1.1	Le comportement alimentaire et la structure de plantes	39
2.1.2	<i>Brachypodium retusum</i> : une diversité de formats	51
2.1.3	Les pratiques des bergers de Crau et le comportement alimentaire des troupeaux ovins.	52
2.2	La question de recherche et la délimitation de mon niveau d'implication	57
2.2.1	La question de recherche	57
2.2.2	Délimitation de mon niveau d'implication et hypothèse	57

2.1 Revue bibliographique

2.1.1 Le comportement alimentaire et la structure de plantes

2.1.1.1 Le comportement alimentaire et la structure de plantes

L'alimentation est considérée classiquement, avec la rumination et le repos, comme l'une des trois activités principales des herbivores ruminants (Hodgson, 1982). La plupart des études en nutrition et alimentation ayant été faites sur des animaux isolés en conditions contrôlées, il est courant que les relations sociales au sein du groupe, ou les relations mère-jeune, qui occupent pourtant aussi beaucoup de temps dans la journée, soient nettement moins évoquées.

Pour Baumont et al. (2006) le comportement d'alimentation peut être défini comme l'ensemble des processus par lesquels l'animal ingère les aliments qui sont disponibles pour satisfaire sa demande physiologique et refuse les composants qu'il reconnaît comme toxiques ou qu'il n'assimile pas encore à des aliments. Quant à l'ingestion "volontaire" d'aliments,

c'est la masse ingérée par un animal pendant tout le temps de libre accès aux aliments, généralement durant une période de 24 h (Forbes, 1995). Avec une vision du processus assez mécaniste, l'ingestion par jour (QI, en grammes) est considérée comme le résultat de la durée quotidienne de pâturage (d, exprimé en minutes) multipliée par le flux d'ingestion (ξ , en grammes par minute), qui correspond lui-même à la fréquence de prise alimentaire (fPA, en nombre de prises par minute) multipliée par la masse de ces prises (mPA, en gramme par prise) (Demment et al., 1995).

$$QI = d \times \xi$$

$$\text{où : } \xi = (\text{fPA}) \cdot (\text{mPA})$$

L'aptitude à l'ingestion et à la digestion résulte alors de l'intégration de plusieurs phénomènes parmi lesquels la préhension, la mastication, la régulation du volume du rumen et des caractéristiques physico-chimiques de son contenu ; la vitesse de renouvellement du "digesta" dans le rumen et l'intensité des activités microbiennes seraient les plus importantes (Dulphy et al., 1995). Les ruminants sont classés, selon la théorie d'adaptation éco-physiologique des différentes espèces aux organes végétaux qu'elles consomment, en trois catégories : les "grazers" (consommateurs d'herbe), les "browsers" (consommateurs de feuillages) et les consommateurs mixtes (Hofmann, 1989).

En condition d'alimentation distribuée à l'étable, le thème du comportement alimentaire peut être décrit comme une simple série de fonctions quantifiables. Cependant, au pâturage, l'animal doit lui-même aller chercher et récolter sa nourriture, ce qui ajoute un contrôle "comportemental" de l'ingestion (Hodgson, 1982). L'élément comportemental peut alors se manifester par les préférences alimentaires. Pour Dumont (1996) la préférence correspond à ce que l'animal exprime dans une situation de complète liberté de choix. Ces préférences peuvent être modulées par des expériences antérieures. L'apprentissage des jeunes animaux auprès de leurs mères et la mémoire des effets post ingestifs des aliments ont été assez bien documentés dans les travaux de l'équipe de Fred Provenza (Provenza, 1995). Les hiérarchies sociales au sein des groupes jouent aussi un rôle important dans le comportement alimentaire des animaux (Albright, 1993). Sur des végétations hétérogènes, les animaux sont plus libres pour exprimer entièrement cette dimension comportementale. Dans ce cas, des travaux ont montré qu'il est plus difficile de classer les animaux dans une catégorie fixe (ovin, bovin, caprin), mais plutôt en fonction de leurs acquis suite à leurs expériences alimentaires en situation de diversité de choix et doivent donc être plutôt appréhendés par leur comportement face à différentes conditions d'alimentation (Meuret, 1997; Provenza, 2007).

De plus, se pose le problème de l'intégration des différentes échelles de temps. Le caractère complexe et dynamique dans le temps du comportement alimentaire pose le problème de validité des résultats lorsque des données issues d'observations "instantanées" sont extrapolées à des unités de temps plus longues. Le comportement alimentaire s'exprime aussi dans la dimension spatiale : l'intégration des niveaux temporels doit aussi associer les différentes échelles spatiales. Pour Senft et al. (1987) le pâturage est un processus hiérarchique entre niveaux d'organisation. Basé sur les caractéristiques du comportement qui s'organise à différents niveaux, le pâturage se compose de six échelles : la prise alimentaire (1-2 sec.), la station d'alimentation (5-100 sec.), le "patch" (1-30 min.), le site d'alimentation (1-4 heures), le champ (1-4 semaines) et le "home range" (3-6 mois). La validité de l'intégration de ces échelles dépendra donc du degré et du type de variabilité temporelle et spatiale de la ressource fourragère disponible pour le ruminant (Demment et al., 1995) et aussi des caracté-

ristiques physiologiques de l'animal (Laca et Ortega, 1995).

Enfin, on peut mentionner aussi les effets du climat. La température influe sur la durée favorable à l'ingestion durant la journée et sur les temps de rumination et de repos (Forbes, 1995). Le vent a un effet sur le déplacement des animaux en pâturage (les brebis partent spontanément face au vent quand celui-ci est faible, dos au vent quand il est violent).

Le facteur humain est déterminant à travers les différentes pratiques mises en œuvre pendant la conduite du troupeau (stimulation de l'appétit par des passages aux points d'eau) (Dureau et Bonnefon, 1997). En effet, Meuret (1993b) a mis l'accent sur l'importance des pratiques de gardiennage sur le comportement alimentaire qui favorisent le point de vue de l'animal. La végétation comestible devient ressource alimentaire quand les pratiques appropriées réussissent à la faire consommer volontiers par le troupeau. Certaines organisations des circuits de gardiennage dans l'espace et dans le temps dans les circuits de gardiennage permettent de stimuler l'appétit des animaux.

Dans cette synthèse bibliographique, je n'aborderai pas les processus de rumination et de digestion. Je me limiterai à l'étude du comportement d'ingestion au niveau de la prise alimentaire et au niveau de l'ingestion instantanée, en relation avec la structure des portions comestibles des végétaux.

La mécanique du prélèvement des portions comestibles des plantes

Le point d'interaction du ruminant avec la structure de la végétation est la bouche. (Gordon et Lascano, 1993). Le processus par lequel l'animal prélève des portions de végétaux est appelé la prise alimentaire. Il comprend la recherche d'aliments, la reconnaissance des caractéristiques odorantes (le flairage) et physiques des aliments par des organes sensoriels dans la bouche, le regroupement avec les lèvres et la langue, et enfin le sectionnement de la végétation (Forbes, 1995). Le plus souvent, le sectionnement des plantes est réalisé entre les incisives et le bourrelet dentaire, parfois en sectionnant entre les molaires. La masse de la prise est fonction de la quantité de matériels végétaux qui a pu être recueillie dans la bouche. Enfin, la fréquence des prises est limitée par trois processus : la préhension, la mastication et la déglutition (Gordon et Benvenuti, 2006).

Pour quantifier l'ingestion, en réponse à des variations de caractéristiques de fourrages cultivés, cinq variables sont habituellement utilisées :

- La masse de la prise est la quantité de matériel prélevé à chaque prise ;
- La fréquence des prises est le nombre de prises par unité du temps ;
- Le temps quotidien consacré à l'alimentation ;
- Le nombre total de prises par jour est le produit du temps quotidien consacré à l'alimentation multiplié par la fréquence des prises ;
- Le flux d'ingestion est calculé comme étant le produit de la masse des prises alimentaires multiplié par leur fréquence.

L'ingestion par jour est, de cette manière, obtenue par la multiplication de la masse des prises alimentaires par la fréquence des prises, mais également par le temps quotidien consacré à l'alimentation (Hodgson, 1982). Ce dernier dépend, entre autres, des relations entre l'effet d'encombrement des aliments et des signaux de satiété dans le rumen. Ceux-ci ne seront pas abordés dans cette synthèse, car j'ai choisi de centrer mon propos sur le processus de prise de nourriture en fonction de la structure des aliments, considéré à deux

échelles : une échelle de temps très courte, proche de ce que l'on appelle le comportement instantané, dont le flux d'ingestion (en grammes par minute) est une variable centrale, et l'autre échelle qui est le bilan de l'ingestion quotidienne.

La structure des portions comestibles de plantes peut être abordée par leur préhensibilité. Selon les définitions données dans le rapport sur la "Préhensibilité des aliments par les herbivores et les volailles" réalisé par des chercheurs de l'Inra (Faverdin, 1997), on peut donc considérer la préhension d'une prise alimentaire (ou "bouchée") comme l'ensemble des mouvements de la tête, des mâchoires, de la langue (bovins) et des lèvres (ovins) permettant de ramener l'herbe dans la bouche et de la sectionner. Le sectionnement est généralement accompagné d'un mouvement de tête et d'un bruit de déchirement du matériel végétal. Donc, la préhensibilité est la facilité avec laquelle une portion de plante peut être enfournée dans la bouche par un animal. C'est une caractéristique à la fois du couvert végétal et de l'habileté des animaux à le prélever. Pour une portion de plante, la préhensibilité dépendrait à la fois de sa hauteur, de sa masse par unité de volume, de la souplesse des organes végétaux, de la nécessité plus ou moins importante de tri, de la facilité de cisaillement, de la présence de "barrières" à la défoliation (exemple, les gaines de graminées, déjà citées au chapitre précédent) et de la teneur en matière sèche (Prache, 1997). La préhensibilité est donc très liée à l'architecture de la plante.

L'architecture de la plante est considérée comme la description de ses constituants et de leur géométrie, de sa décomposition en entités, en spécifiant leurs types biologiques ou leurs formes, ou leurs positions et leurs orientations dans l'espace, ou enfin la manière dont elles sont reliées physiquement (Godin, 2000). La préhensibilité est le résultat de l'interaction plante – animal. Néanmoins, j'exposerai tout d'abord les caractéristiques des plantes, puis celles des animaux. Comment est abordée la structure des plantes par rapport au comportement d'ingestion ? Nous aborderons d'abord l'approche renseignée pour le cas des fourrages cultivés.

L'architecture de plantes et le comportement d'ingestion, le cas des fourrages cultivés

Dans le cadre du développement de l'agriculture productiviste, les performances des animaux ont été multipliées, entre autre, par l'apport d'importantes quantités d'aliments concentrés et de fourrages dits de "meilleure valeur alimentaire". Les fourrages cultivés sont dominants en nutrition animale, car les études ont été centrées sur des aliments visant à optimiser les rations afin de satisfaire les besoins d'animaux à très hauts rendement. Pour ces types de couverts végétaux, des variables comme la hauteur et la densité sont les plus utilisées pour l'étude du comportement alimentaire chez les ruminants.

La hauteur est une des composantes de la structure des plantes la plus étudiée. Pour les fourrages cultivés, plusieurs études ont constaté une relation quasi linéaire entre la hauteur du couvert végétal et la masse de la prise alimentaire. Des revues exhaustives ont été consacrées en bovins par Ungar et al. (1991) et Laca et al. (1992) et dans le cas des ovins par Mitchell et al. (1991) et Burlison et al. (1991). Cette quasi-linéarité a été rapportée pour des fourrages tropicaux, mais aussi pour des fourrages de climats tempérés (Gordon et Benvenutti, 2006). La linéarité a été aussi généralisée pour des couverts végétatifs et reproductifs concernant les ovins au pâturage (Carvalho et al., 1999). Au fur et à mesure que la hauteur de l'herbe augmente, la masse de la prise augmente également. Mais quand la capacité de la bouche pour traiter le matériel prélevé est saturée, le flux d'ingestion devient asymptotique.

Dans le sens inverse, si la hauteur du fourrage diminue, la masse des prises alimentaires devient aussi réduite. La fréquence des prises augmente pour compenser la diminution, mais cette capacité de compensation est limitée (Gordon et Benvenuti, 2006). Si la hauteur du couvert végétal a été la variable la plus utilisée, elle n'est pourtant pas la seule caractéristique de la structure des végétaux qui détermine leur préhensibilité. Pour Prache (1997), la masse volumique de l'horizon pâturé est également importante. Les effets de la variation de la structure horizontale du couvert sont aussi importants, car ils ont un effet multiplicatif sur le volume de la prise alimentaire (Laca et al., 1992).

Pour Gordon et Benvenuti (2006), le couvert végétal peut être pris en compte dans ses trois dimensions : verticale, horizontale et densité qui est la combinaison des deux premières.

- La dimension verticale prend en compte la distribution des tailles, feuilles et "pseudostems" le long de la plante.
- Dans la dimension horizontale, il peut y avoir des variations de la densité, des composantes des plantes, mais aussi de composition en espèces.
- Si on combine les dimensions verticale et horizontale, la structure du couvert est généralement synthétisée par une mesure quantitative de matériel par unité de volume : la densité. Au fur et à mesure que la densité augmente, l'aire et la profondeur de la prise diminue, mais la masse de la prise s'amplifie car l'augmentation de la densité suffit pour compenser la diminution de la dimension de la prise (surface et profondeur).

D'autres propriétés mécaniques, comme la souplesse des tissus peuvent affecter la préhensibilité. Flores et al. (1993) rapportent que pour les fourrages cultivés, les organes végétaux peu souples peuvent s'échapper avant d'être saisis entre les incisives et le bourrelet dentaire. Pour Edwards et al. (1995), la préhensibilité plus élevée du trèfle blanc comparée à celle du ray-grass anglais (de même hauteur et masse volumique), est liée à une plus grande souplesse des tissus, permettant une prise de taille plus large. Il rapporte aussi que la profondeur de la prise demeure inchangée et que la rigidité des différents organes de la plante est aussi impliquée dans leur résistance au cisaillement.

La résistance du végétal au cisaillement détermine la résistance d'une portion de la plante au prélèvement. Cette résistance peut représenter une contrainte au prélèvement, à travers l'effort demandé pour couper le matériel végétal (Griffiths et Gordon, 2003). Sur cinq espèces fourragères (cultivées) de la même hauteur, Illius et al. (1995) observent un rapport de 1 à 10 dans la force développée par l'animal pour réaliser une prise alimentaire. Laca et al. (1993) ont rapporté que les animaux réduisaient la surface de leur prise sur des micro-parcelles constituées de limbes plus résistants à l'arrachement.

Quelles sont les barrières à la préhension et la teneur en matières sèche ? Dans les fourrages cultivés, la hauteur des gaines foliaires est un facteur qui peut jouer un rôle de barrière, à cause de la plus grande résistance des gaines au prélèvement du fait de leur structure en "empilement" (Illius et al., 1995). Chez les très jeunes plantes, la présence des gaines n'affecte pas la préhensibilité de la plante (Flores et al., 1993), probablement en raison de la faible fibrosité de leurs tissus de soutien. L'imbrication de tiges végétatives et épiées affecte aussi la préhensibilité : à même hauteur et densité de tiges un couvert épié est beaucoup moins préhensible qu'un couvert végétatif (Prache et al., 1998). La présence d'un horizon inférieur de chaumes dans l'horizon pâturable peut réduire fortement la masse de la prise alimentaire. Ce facteur est davantage lié à la longueur des feuilles qu'à la hauteur totale du

couvert végétal (Flores et al., 1993). Pour les fourrages, la teneur en matière sèche affecte directement la masse de la prise par son effet multiplicatif du poids frais. Elle peut réduire la préhensibilité et la fréquence de préhension ((Butris, 1987), cité par Meuret (1997)).

En conclusion, la structure des couverts végétaux cultivés s'explique par l'arrangement des différentes composantes décrites ci-dessus. Pour une biomasse donnée par hectare, la structure d'une prairie peut être définie par sa hauteur, sa densité, la répartition de sa densité dans les différentes strates verticales, ainsi que par sa composition botanique et morphologique (Delagarde et O'Donovan, 2005). Dans des couverts homogènes, l'étude de la structure des plantes a été simplifiée dans le but de trouver des paramètres pertinents pour piloter le comportement d'ingestion, mais aussi sur lesquels il soit possible d'exercer un contrôle agronomique. L'architecture de la plante dans des fourrages cultivés a été réduite principalement à des relations entre hauteur, densité, proportion de feuilles, de tiges, et résistance mécanique des tissus. Des études très spécifiques ont été menées à partir de micro-couverts (Benvenuti et al., 2006). Elles sont de bons exemples d'une telle simplification de la relation animal - plante à l'échelle de la prise alimentaire.

L'architecture des plantes et le comportement d'ingestion face à des végétations hétérogènes

Les parcours sont des espaces pastoraux non cultivés au sens agronomique du terme (pelouses, friches, landes et sous-bois) mais pâturés par des troupeaux en enclos ou sous la garde d'un berger (Colas et al., 2002). Sur telles surfaces, la présence des strates herbacées arbustives et arborées constitue une plus grande hétérogénéité dans la structure de la végétation. Les parcours sont souvent synonymes d'hétérogénéité dans l'espace et de variabilité dans le temps. Dans ces milieux, les caractéristiques de la structure (hauteur, arrangement tridimensionnel, souplesse des tissus, résistance au cisaillement, barrières à la préhension, etc.) et leurs relations avec la préhensibilité ont été nettement moins étudiées que dans le cas des fourrages cultivés.

Des études font état des relations entre diamètre des brins de rameaux d'arbres et d'arbustes (espèces caduques) et leur masse disponible et préhensible pour des ongulés sauvages (Shiple et al., 1999). Cependant, l'étude des relations entre les caractéristiques de la structure des plantes et le comportement d'ingestion est peu traitée dans la littérature scientifique. En milieux diversifiés, la hauteur est plus liée au type d'espèce végétale (herbe, liane, arbuste, arbre) et à la structure particulière de chacune. Dans ce type de milieu, le lien entre la hauteur et la prise alimentaire ne semble pas être aussi simple que dans le cas des fourrages cultivés. Il en va de même pour le volume et la densité de la plante. Du point de vue de la préhension des aliments, un parcours est un véritable espace tridimensionnel (Meuret, 1997). Même s'il est raisonnable d'envisager qu'une forte densité du volume correspondra à des prises alimentaires plus massives, les interactions complexes entre les autres composantes de la structure (comme la présence d'épines ou de tiges très ligneuses) pourraient empêcher une relation a priori très simple entre densité par unité de volume et masse des prises alimentaires.

Les barrières à la défoliation sont souvent plus contraignantes sur les parcours que dans les fourrages de culture. La présence d'épines et autres formes similaires constituent un mécanisme de défense de la plante contre la défoliation à long terme par les grands herbivores. Dans une étude réalisée en savane du sud-est de l'Afrique, Cooper et Owen-Smith (1986) rapportent, pour des ongulés brouteurs (kudu, impala et chèvres), que le principal effet des

épines réside dans la limitation de la taille des prises alimentaires, et qu'il est nécessaire pour les herbivores de dépenser plus de temps pour parvenir à prélever ces aliments. La présence des épines indique de façon très claire les différences de préhensibilité dues aux différentes caractéristiques morphologiques des animaux.

2.1.1.2 Les caractéristiques des ruminants et la préhension des plantes

Les organes de préhension et l'action de prélèvement. Les ruminants ont en commun une structure dentaire composée de quatre paires d'incisives placées dans la mâchoire inférieure et un bourrelet de tissu conjonctif placé sur la mâchoire supérieure (Griffiths et Gordon, 2003). Chez les ruminants qui pâturent des couverts homogènes, la largeur d'arcade d'incisives a été bien étudiée (Rook et al., 2004; Illius et Gordon, 1990). Ces études concluent que la largeur de l'arcade peut être déterminante pour la masse de la prise alimentaire prélevée (Gordon et al., 1996; Prache, 1997). Par rapport à la préhensibilité, Rook et al. (2004) ont mesuré la largeur de l'arcade des incisives chez des génisses et des brebis pâturent sur des couverts de ray-grass. Ces auteurs rapportent que la largeur de l'arcade des incisives est 1,8 fois plus grande chez les bovins que chez les ovins. La surface de la prise est 2,2 fois plus grande aussi. D'autres études ont trouvé des rapports d'allométrie entre la largeur de l'arcade incisive et le poids vif des animaux. Ces travaux rapportent en moyenne une valeur de 0,33 et indiquent que cette valeur serait très peu variable entre espèces ou intra-espèce (Illius et Gordon, 1987).

Le bovin possède une langue plus grande que l'ovin, qui lui permet de rabattre l'herbe, la rassembler et l'enfourer dans sa bouche. Le matériel est arraché avec un mouvement rapide de la tête plutôt que coupé (Forbes, 1995). Il possède une bouche large de 10 – 12 cm. (Colas et al., 2002). Par rapport à la préhensibilité, l'utilisation de la langue lui permet d'augmenter la surface de prélèvement. Des travaux récents ont montré que des génisses expérimentées sur alpages embroussaillés sont capables de trier parfois aussi finement que des petits ruminants (Agreil et Meuret, 2008). L'ovin possède des lèvres très mobiles, particulièrement sa lèvre supérieure qui lui permet de saisir les végétaux même les plus courts (Meuret, 1997). La bouche étroite, les lèvres mobiles et le système d'incisives lui permettent de racler (mettre à ras) la végétation (Colas et al., 2002). Les caprins ont aussi une mâchoire étroite qui leur permet de bien focaliser les prélèvements sur de petites portions de feuillage. Ovins et caprins sectionnent aussi les végétaux par des mouvements frontaux ou latéraux de la tête (Meuret, 1997).

L'habileté de préhension exprime plus que le résultat du fonctionnement des différents organes de prélèvement. Les caractéristiques morpho-physiologiques des ruminants sont le résultat d'un long processus de coévolution avec le milieu pastoral qui a conditionné les facultés de tri au sein de la végétation (Shipley et al., 1994). Une telle adaptation est valable aussi pour les comportements adaptatifs développés, par exemple, par les chèvres qui se dressent fréquemment sur leurs pattes arrières afin de brouter jusqu'à deux mètres de haut (Colas et al., 2002). Un autre exemple est le "pâturage aérien", résultat de l'apprentissage à grimper dans les arbres qu'expriment les chèvres, et qui constitue une particularité distinctive des systèmes alimentaires du Sud-Ouest du Maroc (El Aich et al., 2007). Face à des arbustes aux rameaux feuillés, les ovins et les caprins préfèrent parfois, plutôt que de sectionner un à un les pétioles des feuilles, dépouiller les tiges de leurs feuilles latérales par un large mouvement vertical de traction ("stripping") (Meuret, 1997).

L'action de préhension, quand l'animal est en situation de libre choix, implique qu'il ne mobilise pas seulement ses caractéristiques morpho-physiologiques, mais aussi ses expériences alimentaires réalisées dans le jeune âge, comme l'apprentissage avec la mère et la reconnaissance des conséquences des choix réalisés (Provenza, 1995, 2007).

Formalisation du lien structure de la plante - comportement d'ingestion

La prédiction de l'ingéré quotidien a été abordée depuis des décennies. Un tel intérêt peut être expliqué par le fait que la variation de la consommation qui exprime en grande partie la variation de la capacité d'ingestion et de la métabolisation des nutriments influe sur la performance animale. Pour les fourrages cultivés, une grande partie des modèles sont basés sur des relations linéaires issues de données expérimentales spécifiques qui représentent une série très limitée de facteurs qui affectent l'ingestion (Faverdin et al., 1995). Pour Illius et al. (1999) et Illius et Gordon (1987), plusieurs modèles d'ingestion et de sélection de la ration au pâturage ont été basés sur la qualité des aliments, tandis que quelques chercheurs estiment l'ingestion à travers la relation entre l'animal et les caractéristiques morphologiques végétales.

Les modèles mécanistes réduisent les types complexes de comportement au pâturage à de simples séries d'équations. Les modèles mécanistes permettent de prévoir l'ingestion à partir d'une série d'équations imbriquées qui décrivent les principaux processus impliqués dans la régulation de l'ingestion (Hodgson, 1982). Puisque que les processus qui régulent l'ingestion sont nombreux et qu'ils peuvent être considérés à différentes échelles de temps, la structure de ces modèles est très variable. Plusieurs modèles sont basés sur les processus de défoliation à court terme, sur un calcul dynamique de la masse des prises alimentaires, sur du temps passé par prise, ou sur la durée journalière de pâturage (Delagarde et O'Donovan, 2005).

Les modèles de la biomasse offerte sont fondés sur les mesures de la quantité d'herbe avant et après le passage des animaux. La différence entre ces deux mesures est considérée comme étant la quantité ingérée par le bétail avec une offre plus importante de fourrage qui se traduit par une consommation plus élevée. Les modèles incluant les effets de la biomasse offerte, les espèces végétales disponibles, la digestibilité et la teneur en protéines de l'herbe, prennent probablement en compte mais de façon implicite, certains aspects de la structure du couvert, notamment ceux inhérents à l'âge de repousse (Delagarde et O'Donovan, 2005). Déjà dans ces modèles, l'importance de la préhensibilité a été notée. Penning et al. (1991) ont montré que même s'il y a un excès d'herbe disponible, l'ingestion peut être limitée par le degré de facilité à la prélever par l'animal.

Les modèles de l'effet de la hauteur des fourrages cultivés sur l'ingestion par jour. D'une façon générale, l'ingestion par jour augmente avec la hauteur du couvert, principalement par un accroissement de la masse des prises alimentaires. À mesure que le couvert devient plus haut, la fréquence des prises alimentaires diminue. D'après Gordon et Benvenuti (2006), il y a une compétition entre la préhension des nouvelles prises et la mastication du matériau récolté avant d'être avalé. Par conséquent, la fréquence des prises diminue à mesure que la hauteur d'herbe augmente. La masse de la prise alimentaire augmente avec la hauteur de l'herbe, la fréquence des prises diminue, mais le flux d'ingestion (matériel prélevé par minute) augmente (Hodgson, 1986). Cependant, quand la capacité buccale pour traiter le matériel prélevé est saturée, le flux d'ingestion devient asymptotique (Gordon et Benvenuti, 2006).

Lorsque la hauteur de l'herbe diminue, la masse des prises alimentaires est réduite. Une augmentation de la fréquence des prises, ainsi que du temps total du pâturage est alors mise en œuvre. Cependant, pour des hauteurs d'herbe et de masses de prises trop faibles, cette régulation comportementale devient insuffisante pour maintenir le niveau d'ingestion. En effet, la fréquence des prises alimentaires ne peut être augmentée sans limite (Bocquier et al., 1998). Bien que la fréquence de prise alimentaire diminue avec l'augmentation de la masse de prise, le temps total exigé pour la préhension et la mastication d'une unité de masse augmente à mesure que la masse de la prise alimentaire diminue (Parsons et al., 1994; Shipley et al., 1994). Spalinger et Hobbs (1992) ont montré aussi que c'est la mastication qui limite fortement la fréquence de prélèvement.

Les modèles prenant en compte la densité du couvert végétal (combinaison du profil vertical et horizontal du couvert). Lorsque la densité volumique augmente, la surface et la profondeur de la prise alimentaire sont réduites. Cette diminution est probablement un ajustement de l'animal pour maintenir constante la force demandée pour prélever la prise (Ungar, 1996). Même si la surface et la profondeur de la prise sont réduites, la masse de la prise augmente lors d'une augmentation de la densité du couvert végétal. Ainsi, le flux d'ingestion augmente également avec la densité (Gordon et Benvenuti, 2006).

Des auteurs mentionnent que l'intégration dans le même modèle de facteurs de contrôle de la masse des prises alimentaires, du flux d'ingestion et du temps de pâturage représente un progrès significatif dans la prévision de l'ingestion au pâturage de façon mécaniste (Baumont et al., 2004). Ces auteurs mettent l'accent sur les futures améliorations de ces modèles, lesquels doivent intégrer la manière dont des animaux à hautes performances sont capables d'adapter leur comportement pour un pâturage plus efficace à travers l'augmentation de la masse de la prise alimentaire et du flux d'ingestion. Cette approche met en avant l'efficacité de l'ingestion, adaptée uniquement à des couverts homogènes où les facteurs peuvent être fortement contrôlés. En ce sens, la relation de l'animal à l'architecture de la plante est traitée de manière réductionniste, en simplifiant l'architecture à ses aspects de biomasse, hauteur et densité.

Des auteurs ont identifié la nécessité d'approfondir la recherche des "traits" morphologiques des plantes qui permettraient d'augmenter la performance des fourrages cultivés (Hazard et al., 1998). Des études récentes sont mises en œuvre pour aborder la structure du couvert à travers la densité de tiges, la lame des feuilles, la longueur des gaines, et autres caractéristiques chez diverses populations de ray-grass et leur effet sur le flux d'ingestion à court terme (Barre et al., 2006). La longueur de la lame est le principal facteur agissant sur le flux d'ingestion. Le but de ces recherches est l'identification des critères de sélection pour de nouvelles variétés de fourrages cultivés.

Dans le cas des milieux diversifiés et variables, la formalisation du lien entre la structure de plante et le comportement alimentaire reste à développer

Il existe des lacunes importantes sur la compréhension du comportement d'ingestion des ruminants en végétations diversifiées. Les modèles développés sur des fourrages cultivés se sont confrontés, face à des végétations diversifiées, au problème de savoir comment déterminer la structure "moyenne" du couvert qui soit pertinente pour l'animal (l'approche par les "qualités moyennes" étant celle privilégiée en prairies cultivées pour l'agriculteur, et l'agronome, qui cherchent généralement à rendre ces prairies le plus homogène possible). Même quand la variance et la distribution des variables moyennes sont connues (hauteur, état de

maturation, teneur en composantes fibreuses, densité), elles ne décrivent pas très bien la variabilité spatio-temporelle de ces couverts hétérogènes (O'Reagain et al., 1996). Pour des animaux "browsers" au pâturage sur des ligneux, la réponse fonctionnelle d'ingestion ne peut pas être décrite correctement avec la plupart des modèles de réponse fonctionnelle développés pour les fourrages herbacés cultivés (Spalinger et al., 1998).

La modélisation de la taille optimale de prises alimentaires en couverts diversifiés est compliquée, car la plupart des plantes dicotylédones sélectionnées par les "browsers" ont des morphologies complexes pendant la période de croissance. Ces prises alimentaires sont composées de différents types de tissus et contiennent beaucoup de composés chimiques différents. Ces tissus sont distribués au sein d'une architecture complexe, créant une relation discontinue entre la qualité et la taille de la prise (Lundberg et Dannell, 1990). Cette complexité de l'architecture de la plante dans des milieux hétérogènes, rend très difficile, sinon impossible, l'utilisation des modèles mécanistes inspirés des fourrages homogènes. L'idée même de "structure moyenne", et celle de "taille optimale" de la prise alimentaire, perdent tout leur sens en milieux pastoraux diversifiés.

L'approche mécaniste du modèle d'ingestion, qui est développée en visant une utilisation sur des couverts homogènes, n'est pas pertinente pour étudier le comportement d'ingestion dans des végétations hétérogènes et variables. En effet, comme le soulignent Yearsley et al. (2001), étendre les modèles d'ingestion issus de systèmes intensifs à des milieux où le couvert n'est pas homogène devient très problématique. Pour Lundberg et Dannell (1990), ces modèles ne sont pas valables dans des milieux hétérogènes. Pour les parcours, il est nécessaire de changer radicalement d'approche et d'adopter une compréhension éco-éthologique (comportement en milieu réel) de la motivation alimentaire des herbivores face à des ressources alimentaires variées et changeantes (Provenza, 2003).

Où sont les modèles (ou études) qui font le lien entre la structure des portions des plantes et la motivation alimentaire (la valeur alimentaire selon la préhensibilité) en milieux diversifiés ? À partir des travaux réalisés dans le sud-est de la France, Meuret (1997) revalorise la structure particulière des végétaux en milieux hétérogènes. Ces structures disposées en plusieurs strates, sont souvent d'excellente préhensibilité et permettent de prélever des prises de masse importante et donc une ingestion rapide. Il met l'accent sur l'importance de l'habileté de préhension dans ce type de milieu car la végétation présente une imbrication complexe de différents tissus, obligeant l'animal à trier les portions les plus appétentes.

Dans ses recherches, il montre que dans la diversité des espèces végétales et de leurs structures (caractéristiques des parcours), la relation entre la masse de la prise alimentaire et la fréquence des prises est moins étroite que sur l'herbe. Lorsque les ressources s'épuisent, l'animal a le choix entre un déplacement horizontal, afin de changer de site de pâturage, et un déplacement vertical, afin de relever sa hauteur de broutement par rapport au sol. Pour ces deux modes de déplacement, il parvient à maintenir le rapport feuilles/rameaux ingérés relativement constant de jour en jour. Quand l'animal a l'opportunité de récolter de prises alimentaires massives, même si ces prises sont plus cellulosiques, il profitera de l'occasion, et ensuite investira le temps épargné pour procéder à la sélection de prises plus petites et moins massives (peut-être comme le "fin" sur les coussouls), la prospection de l'espace, la rumination, ou le repos. Cette stratégie alimentaire, tirant un profit direct de l'hétérogénéité des structures de plantes, contribue à la motivation au pâturage (Meuret, 1997). On est loin ici de la "prise moyenne optimale" mais on ne peut observer cette stratégie chez l'animal

que lorsqu'on le suit durant des journées entières dans son milieu de vie habituel, et pas seulement pendant des tests de quelques minutes en milieu confiné expérimental (Meuret, 2010a).

Shiple et al. (1999) ont étudié la taille de la prise alimentaire chez des animaux "browsers" en captivité (le chevreuil, *Capreolus capreolus*, le cerf rouge, *Cervus elaphus*, l'élan, *Alces alces*) en leur offrant du feuillage provenant de six espèces différentes d'arbres caduques. Les arbres maintenus verticalement, ont été introduits et arrangés spatialement dans l'enclos des animaux. Ces auteurs ont fondé leur modèle sur l'hypothèse que l'animal cherche à maximiser son ingestion d'énergie par jour en choisissant la taille de prise "optimale". Leur modèle tient compte de propriétés physico chimiques avec la mesure de la teneur en composants fibreux et la digestibilité. La morphologie des plantes est prise en compte par le nombre, la distribution et la masse des brins, et le type de branche (1a à 4a). Ces auteurs rapportent que la taille de la prise n'est pas choisie aléatoirement ou comme une simple réponse à une structure ou une disponibilité de la plante. Ils ont montré que la structure de la plante limite la gamme de masse de prises disponible pour l'animal. Ils en concluent que les seules mesures de la structure des feuillages n'ont pas été suffisantes pour prédire les différences des diamètres de brins choisis par les espèces animales étudiées.

Agreil et al. (2005), en cherchant à caractériser les dynamiques de la réponse comportementale des brebis conduites en parc sur des végétations hétérogènes et variables, confirment à l'échelle instantanée (20 secondes) la relation fonctionnelle entre la masse de la prise alimentaire et la fréquence des prises. À l'échelle des journées, bien que la masse de la prise diminue, la gamme de la masse de la prise augmente de jour en jour. Ces auteurs rapportent des temps de pâturage, de rumination et de repos réguliers. Dans ce type de végétation variable et hétérogène, la digestibilité mesurée a été de 43 à 55 %. Pour cette digestibilité, l'ingestion de matière sèche a été le double de celle prédite par les modèles de Morley (1981) et Van Soest (1994) (cités par Agreil et al. (2005)).

Ces auteurs signalent, à la suite de (Meuret, 1997), l'importance de la diversité de la structure en taille et en composition des plantes qui fournit à des animaux une plus grande marge de sécurité pour composer leurs repas. Cette marge est beaucoup plus importante que ce qui pourrait être réalisé sur des végétations homogènes. Par rapport à la préhension et à la mastication, ces résultats sont en accord avec ceux de Baumont et al. (2006) pour qui l'activité de mastication ne doit pas être prise en compte seulement comme une contrainte de la digestion, mais plutôt comme une composante du comportement animal qui doit être considérée d'un point de vue éthologique en termes de santé, de comportement social et de bien-être animal.

Sur des milieux diversifiés, la compréhension du comportement alimentaire face à une diversité de structures a conduit à des modèles prenant en compte les interventions humaines. C'est le cas par exemple du modèle "MENU" qui montre comment un berger peut tirer profit d'un territoire très hétérogène en pilotant la motivation alimentaire du troupeau. Dans ce modèle, la valeur pastorale de l'espace d'un berger et de son troupeau résulte avant tout d'une organisation temporelle adéquate, en cours de circuit de pâturage, donc de repas, de l'accès aux différentes ressources : aucune zone du circuit de berger (ou "patch alimentaire") n'a de valeur en elle-même. Les différentes zones dépendent du rôle que le berger leur fait jouer dans leur enchaînement dans le circuit. L'organisation de circuits de pâturage vise à stimuler l'appétit au cours de repas vis-à-vis d'un "secteur cible" (Meuret, 1993a, 2006).

Conclusion de la revue bibliographique sur le comportement alimentaire et la structure de plantes

L'analyse de la structure des fourrages cultivés domine dans les études du comportement d'ingestion et sa modélisation. Dans ce type de couverts, l'architecture de la plante à été réduite à des relations entre la hauteur, la densité et la dureté des tissus. Une telle simplification vise à trouver des paramètres pertinents pour piloter le comportement d'ingestion, mais aussi pour exercer un contrôle agronomique. L'identification des critères de sélection pour diverses variétés de fourrages de performance optimale, préhensibilité comprise, serait l'aboutissement de cette approche de maximisation de l'efficacité d'ingestion. Les modèles de représentation mécaniste du comportement alimentaire ont été développés dans la même orientation. Ils s'adressent à des couverts homogènes où les animaux ont des opportunités réduites d'exprimer leurs choix alimentaires. Cependant, déjà dans les modèles où l'ingestion était censée augmenter avec la biomasse offerte, l'importance de la facilité de prélèvement a été signalée. Une grande partie des modèles de comportement d'ingestion doit être considérée plutôt comme un outil de recherche, mais à ce jour très insuffisants pour être exportés sur des pâturages tels que les parcours. La préhensibilité est encore simplifiée à la relation entre l'animal et la hauteur, la densité et la dureté des tissus de couverts homogènes. Même si la préhensibilité est traitée de manière réductionniste, sa prise en compte dans les modèles mécanistes a permis d'envisager un aspect comportemental des animaux dans la relation plante-animal, celui du processus d'ingestion à l'échelle de l'animal individuel.

Les modèles du comportement alimentaire développés selon cette approche, ne parviennent pas à décrire correctement la réponse fonctionnelle de l'ingestion quand les ruminants sont en troupeaux et face à des végétations hétérogènes. En végétations diversifiées, l'effet de la structure des plantes sur le comportement d'ingestion a été moins étudié. Il existe encore de fortes lacunes sur la compréhension du comportement d'ingestion chez les ruminants en couverts hétérogènes et variables. En milieux diversifiés, les quelques travaux qui font état du lien entre les structures des portions comestibles des plantes et leur valeur alimentaire selon leur architecture et leur préhensibilité pour des ruminants, mettent l'accent sur l'importance de l'habileté de préhension. La relation entre l'architecture, la masse et la fréquence des prises alimentaires est nettement moins étroite que sur l'herbe. De plus, des animaux face à une plus grande variété de structures expriment beaucoup plus l'élément comportemental du choix alimentaire.

Étant donné le manque de connaissances sur les effets liés à la structure des plantes sur le comportement d'ingestion en milieux diversifiés, il s'avère nécessaire de continuer les recherches sur ce sujet. Les différences, mais aussi les similitudes, entre les systèmes en prairies et sur parcours appellent à développer de nouvelles idées pour expliquer le comportement d'ingestion en milieux diversifiés. La collaboration entre l'écologie animale et la nutrition animale peut aboutir à des approches plus écoéthologiques de la motivation alimentaire (Provenza, 2003). La connexion de cette compréhension du comportement alimentaire avec les interventions humaines de conduite des troupeaux représente un grand enjeu. La préhensibilité des plantes, qui est une expression de l'habileté des animaux mais également de la structure des plantes, semble être un facteur clé dans l'efficacité de l'ingestion sur des milieux hétérogènes. Certaines structures offrent l'opportunité d'ingérer assez rapidement des masses importantes, quand d'autres ne le permettent pas. Sur parcours, il ne s'agit pas de chercher à favoriser les unes au détriment des secondes, comme on le ferait en prairies. Il s'agit de conserver des "assemblages" végétaux, offrant divers formats et

qualités, dont les caractéristiques complémentaires permettent à l'animal de développer des stratégies alimentaires satisfaisantes : tirer profit de tout, sans avoir à se précipiter et aussi sans avoir faim le soir venu.

On pourrait penser que cette approche, qui vise à conserver une diversité de plantes et de formats de plantes, ne concerne que les parcours embroussaillés : landes, friches et sous-bois. Mais, en région méditerranéenne notamment, il n'est pas rare que des pelouses naturelles, ou semi-naturelles, présentent aussi des structures de plantes diversifiées, comme c'est le cas des coussouls de Crau avec le brachypode rameux qui, lui-même, se présente souvent dans des formats assez différents.

2.1.2 *Brachypodium retusum* : une diversité de formats

Dans le cas du *Brachypodium retusum* (Br.), mes premières visites dans les coussouls, et ma participation aux mesures de la hauteur de Br effectuées par le Cerpam, m'ont permis de percevoir des différences parfois importantes de format. Ces différences dans la forme et la disposition des feuilles étaient si marquantes que, avec la collègue du Cerpam, nous avons choisi de qualifier certains individus brachypodes de "mutants". De même, à l'occasion de mes premiers entretiens, les bergers ont évoqué leur observations sur cette graminée, laissant entendre qu'ils identifiaient plusieurs formats de B.retusum. Très tôt, au début de ma recherche, ils m'ont mis en garde de devoir bien considérer les différences de forme et de développement chez cette plante, avec des conséquences sur la sélection alimentaire par leurs brebis qu'ils avaient déjà pour certains bien repéré.

Concernant le Brachypode, la plupart des études sont centrées sur sa régénération après le feu (Caturla et al., 2000), son pouvoir pour la préservation des sols arides ou semi-arides (Cerda, 1999), sa taxonomie (Clayton et al., 2006), sur la richesse floristique en Méditerranée (Médail et Vidal, 1998), sur le brachypode distachyon comme modèle génomique pour les graminées (Filiz et al., 2009; Wolny et Hasterok, 2009).

Même si, je n'ai pas trouvé d'études sur la diversité morphologique, du *Brachypodium retusum*, cette espèce a été décrite comme d'autres espèces appartenant au même genre *Brachypodium*. En effet, la plasticité dans les feuilles et pousses du *Brachypodium pinnatum* dans des micro-environnements en conditions semi-arides de mosaïques de végétation steppique a été rapportée par Mojzes et al. (2003). Ces auteurs signalent la grande résistance de cette graminée pérenne, qui peut persister pendant des décennies et même dominer d'autres graminées. Ils ont testé le présupposé selon lequel cette espèce aurait un haut degré de plasticité phénotypique et de "versatilité écologique". Ils ont mesuré la morphologie des feuilles pour des plantes développées sous trois environnements : sous ombre, sous ombre partielle, et totalement exposées au soleil. Ces mêmes plantes ont été ensuite transplantées entre les différents micros habitats. Les résultats, après transplantation, ont montré des ajustements des plantes au niveau de la morphologie des feuilles selon la lumière. La masse spécifique de feuille, l'épaisseur et la densité de tissu ont diminué dans les conditions sous ombre. Ces auteurs ont donc confirmé la grande capacité de B. pinnatum à effectuer des ajustements phénotypiques en réponse à des changements du régime de lumière.

La réponse morphologique à la défoliation a été plus largement étudiée pour d'autres plantes comme les arbustes, qui peuvent augmenter leur proportion d'épines et de jeunes

tiges en limitant la taille de la prise alimentaire et la fréquence de prises effectués par les ruminants (Spalinger et Hobbs, 1992). Cooper et al. (2003) ont montré pour quatre arbustes du genre des acacias, soumis à différents régimes de défoliation, comment elles peuvent augmentent la longueur des épines et modifier aussi la longueur des entre-nœuds (forme de la branche), et la densité de feuilles et d'épines. Ces auteurs mentionnent que l'importance de la réponse de la plante n'est pas corrélée à l'intensité de la défoliation et que certaines de ces réponses sont probablement spécifiques à l'espèce. Ils remarquent aussi que les changements physiques produits par la défoliation à long terme peuvent être de plus grande importance que ceux qui ont été observés dans leur étude.

En analysant des conséquences du pâturage sur une population de genêts, (Magda et Gonnet, 2001) ont observé l'évolution de leur démographie sur des parcelles pâturées par des brebis pendant plusieurs années. Ces auteurs rapportent un accroissement de la diversité morphologique des individus de genêt, notamment l'apparition d'individus au port "en boule" avec augmentation du rapport diamètre / hauteur du volume occupé par les tiges. Selon les différents "morphes pâturés", plus ou moins associés à une forte intensité de broutement, la fonctionnalité alimentaire pour des ovins change car la gamme des prises alimentaires qu'il est possible de faire est modifiée (Magda et al., 2001).

Concernant la possibilité d'existence de plusieurs morphes de *B. retusum*, bien qu'il n'y ait pas beaucoup d'information disponible dans la littérature scientifique, il est possible que cette plante puisse se présenter sous diverses formes en réponse au pâturage mais aussi aux conditions pédoclimatiques. Cette possibilité, ainsi et surtout que les conseils des bergers expérimentés, m'ont servi de base pour prendre en compte de telles différences probables de formats chez le brachypode dans ma description des structures végétales en Crau.

2.1.3 Les pratiques des bergers de Crau et le comportement alimentaire des troupeaux ovins.

L'emploi des bergers pour l'alimentation des troupeaux en gardiennage est une exigence pour les éleveurs ayant droit à utiliser les coussouls. La totalité des troupeaux pâturant la réserve naturelle sont ainsi sous l'influence du berger et leurs pratiques de garde. Cherchant à analyser la relation complexe entre pratiques et comportement alimentaire des troupeaux, nous avons effectué une revue bibliographique à ce sujet. Cela nous permet de mieux cerner mes objectifs par rapport à cette composante de mon objet de recherche.

Avant de passer en revue les travaux ayant traité la question des pratiques de gardiennage en Crau, j'ai considéré important de décrire de manière synthétique en quoi consistent les pratiques d'alimentation des troupeaux en gardiennage par des bergers et qui ont fait l'objet de diverses études (Meuret, 2010c; Savini et al., 2010; Meuret et al., 2006; Meuret, 1996).

Généralités des pratiques du berger

L'alimentation du troupeau, la gestion et le renouvellement de la végétation pour assurer l'utilisation de la place de pâturage chaque année sont au cœur du travail accompli par les bergers durant chaque journée de gardiennage. En Crau, le berger doit accomplir ces multiples objectifs, parfois opposés, avec un troupeau dont il ne contrôle pas toujours l'effectif

et sur une place de pâturage dont les dates d'entrée et de sortie ne sont pas décidées par lui. Ce sont les éleveurs, propriétaires des animaux, qui décident dans les deux cas.

Le circuit de gardiennage peut être vu comme l'organisation faite par le berger à la fois des différentes zones de végétation présentes dans la place de pâturage et des horaires d'utilisation de ces zones : c'est lui qui définit la durée du pâturage dans la journée. La régularité des horaires est d'un intérêt particulier pour respecter le temps nécessaire à l'ingestion mais également à la rumination et au repos. C'est pourquoi, le berger cherche à ne pas trop troubler le rythme spontané du troupeau, et cela malgré les conditions climatiques souvent contraignantes (neige en alpage, orages, pluies). Même si le circuit de gardiennage est planifié par le berger, son déroulement est plutôt un compromis entre le troupeau, la topographie du terrain, la végétation et les sources d'eau, la position de la bergerie et les zones de couchage et non une décision totalement unilatérale du berger. Par ses interventions et celles de son chien, le berger conduit le troupeau pour accomplir le circuit de gardiennage prévu et plus ou moins ajusté en cours de route. Il effectue, selon André Leroy, berger, "une succession de tenir et laisser faire" (Landais et Deffontaines, 1998), de moments où l'action du berger est nécessaire pour donner au troupeau le bon "biais" et le rythme désiré, et d'autres où le troupeau suit spontanément son "biais" (direction et rythme de circulation privilégiés). À la montagne comme en plaine, le circuit du berger est organisé autour de points d'attraction pour le troupeau : zone de végétation plus attractive, zone d'ombre lorsqu'il fait chaud, zone d'abris contre le vent trop fort, etc. La position de la bergerie, les points d'abreuvement, ou les zones de distribution de sel, influent également beaucoup sur l'organisation du circuit (Savini et al., 2010).

L'espace physique où le berger effectue ses circuits peut être résumé en :

- Le "quartier," qui est un ensemble de secteurs pâturés à une même époque, en général à partir d'un même lieu de repos nocturne du troupeau. Dans la plupart des cas, le berger change de cabane quand le troupeau change de quartier.
- Le "secteur", qui est un découpage du quartier pour organiser les circuits. Chaque secteur est associé à des caractéristiques du terrain (obstacles, ravins) et à un comportement spatial et alimentaire du troupeau connus par le berger. Un secteur doit pouvoir être utilisé séparément. Sa taille n'est pas indépendante de l'effectif du troupeau et de son niveau de grégarité.
- Le "circuit", qui est le parcours effectué par le troupeau qui visite dans un certain ordre différents secteurs en cours de journée, ou de demi-journée, dans le quartier où il se trouve.

Le berger est un observateur privilégié du troupeau. Il utilise les formes que celui-ci prend pour analyser en temps réel son comportement. Ainsi, il lui est possible d'anticiper les réactions du troupeau face aux caractéristiques de l'environnement physique (végétation, particularités du terrain, pluie, orages) et face aux événements externes (randonneurs, touristes) qui peuvent l'influencer (Lécrivain et al., 1993). Il observe le comportement à différentes échelles (Meuret, 2010b) : à l'échelle du troupeau entier, pour repérer l'état de satiété de l'ensemble des individus, à l'échelle des groupes d'individus pour lesquels les comportements sont reconnus par le berger comme susceptibles d'influencer l'ensemble du troupeau, notamment lorsqu'il y a des origines d'élevages différents, à l'échelle des individus lorsqu'il s'agit de repérer des animaux malades ou bien des individus témoins. Les témoins sont choisis comme indicateurs du reste du troupeau : *"si celles-là ont bien mangé, alors c'est bon pour tout le monde...je peux rentrer !"*.

Ne disposant pas d'un temps infini pour garder dans la journée, le berger utilise la variété de végétation des parcours pour offrir au troupeau différents secteurs dans un ordre qui stimule l'appétit au cours du circuit (Meuret, 1993a, 2010b,c). Comme il sait que le troupeau compare sans cesse ce qu'il y a à disposition, afin de faire ses choix alimentaires, il gère aussi la gamme des aliments offerts dans un circuit et à la suite des journées. Il cherche à créer des référentiels de "gamme d'aliments possibles", et il tente d'éviter au troupeau des expériences gustatives à ce point positives qui déphasent ensuite la "gamme des possibles" en pénalisant l'ingestion car le troupeau est alors incité à consacrer beaucoup de son temps à rechercher des aliments qu'il n'y aurait pas en suffisance, ou qui sont réservés pour une période suivante de la saison de pâturage : *"J'aurais besoin de plusieurs jours pour leur faire comprendre qu'il n'y a plus de châtaignes et ça va me faire perdre un maximum de temps!"*. Ou bien, en montagne : *"Je dois leur faire comprendre qu'il est inutile de toujours chercher à monter pour trouver l'herbe fine!"*. Tout ceci implique que le berger considère que la valeur d'une "ressource" pastorale est définie avant tout par le circuit et le contexte du pâturage, qui mettra plus ou moins le troupeau en appétit face à une gamme d'offre alimentaire qui est gérée par le berger. La manière dont un couvert végétal (un "secteur") sera consommé à un moment donné dépend en conséquence beaucoup des caractéristiques du circuit, de ce qui a été consommé avant, mais également du référentiel (la mémoire du troupeau) au sujet de ce qui serait probablement disponible après (le "possible"); tout ceci est dépendant du mode de conduite adopté par le berger, de son savoir-faire en matière d'alimentation au pâturage.

Lorsque l'espace à faire pâturer, n'est pas délimité par des barrières naturelles infranchissables (fleuve, falaise, ravin), le berger apprend à son troupeau l'espace autorisé à brouter ; il utilise son chien pour marquer les limites. Cela épargne au berger de jouer le rôle de clôture mobile, en renforçant son statut de "guide" avec une influence positive sur son troupeau, plutôt que d'avoir une influence "répulsive". En plus de ce travail, il prépare aux conditions de gardiennage des groupes d'individus qui seront ajoutés au troupeau comme par exemple les jeunes de renouvellement (agnelles). Par diverses stratégies, le berger familiarise ces nouveaux individus aux aliments qu'ils rencontreront en parcours, à ses propres manœuvres et à celles de son chien, ainsi qu'à la sortie en pâturage avec le reste du troupeau (Meuret, 2010b).

Les pratiques de bergers en Crau pour ce qui concerne l'utilisation du brachypode

Dans le milieu végétal de la Réserve Naturelle des Coussouls de Crau, le brachypode a été identifié comme plante-clé, à la fois pour la structuration des habitats de l'avifaune et pour la constitution de ressources pour le troupeau de type sécurité alimentaire. En raison de ce statut affecté au brachypode par les gestionnaires de la Réserve, les pratiques des bergers de Crau ont été décrites afin de connaître leurs différents modes de gestion du "grossier" (plaques de brachypode).

Les pratiques du berger concernant la gestion du brachypode ont été renseignées comme :

- Le berger identifie le brachypode comme étant le "grossier", ressource de sécurité où "elles trouvent toujours quelque chose à manger".
- Le "grossier normal" comprend un recouvrement de 25 à 35 % avec une hauteur comprise entre 6 et 7 cm. Le "grossier haut" un recouvrement entre 15 et 25 % avec une hauteur comprise entre 8 et 9 cm.
- Selon le type de grossier présent, des zones de végétation à dominance "grossier normal" sont identifiées comme panaché 1. Celles avec dominance de "grossier haut", comme pana-

ché 2.

- Le gradient du grossier, moins présent aux alentours de la bergerie, plus dominant dans les parties éloignées ou coins aux extrémités du coussoul ; ceci aurait une influence sur la tendance du troupeau à revenir de lui-même vers la bergerie. Cela est pris en compte par les bergers dans leur conception des circuits de gardiennage en Crau
- Dans les secteurs du coussoul à végétation très grossière, la présence du brachypode, assez dense mais avec des brins courts, semble être associée par les bergers au pâturage "assez ras" fréquemment employé pour faire pâturer le troupeau sur ce type de végétation (Dureau et Bonnefon, 1997).

L'intérêt pour expliciter le savoir-faire des bergers, notamment pour la gestion du brachypode a conduit à identifier des règles concernant le pâturage du grossier. D'après Dureau et Bonnefon (1997) elles sont :

- profiter de l'hiver, c'est à dire avant le démarrage du "fin", pour concentrer la pression de pâturage "sur les secteurs les plus grossiers" ;
- offrir le grossier en fin de circuit, surtout si les brebis n'ont pas encore eu le temps de bien se remplir la panse ;
- "tenir les animaux serrés sur le grossier" durant les jours courts (en hiver), ou pluvieux, lorsque les brebis "sentent que la durée du pâturage sera limitée" ;
- "relancer l'appétit" par des passages aux points d'eau, ou sur des secteurs non encore utilisés ("du net"), riches en herbe fine ;
- "insister sur le grossier pendant les jours après la tonte", lorsque les brebis tondues sont "pressées de manger" pour lutter contre le froid

En ce qui concerne les circuits de garde, ceux-ci ont été également rapportés par Dureau et Bonnefon (1997). Ces auteurs décrivent des "circuits types" (Savini et al., 1993) selon le début, le milieu et la fin de la saison pour un Coussoul de 270 ha, pâturés par un troupeau de 900 brebis au début de la saison, et 1350 brebis à la fin de la saison. La garde est assurée par un même berger depuis une trentaine d'années ; cette place de pâturage comporte des zones de "fin", de "grossier" et de "panaché". Dans l'organisation des circuits par le berger, ces auteurs signalent l'importance de telles zones, parfois à réserver pour une utilisation plus tôt dans la saison, ou dans le cas contraire à bien parcourir par exemple lors de l'épiaison des graminées. Également, ils mettent l'accent sur le chargement instantané, ou pression de pâturage, pour décrire l'utilisation plus ou moins intense de la végétation grossière.

En ce qui concerne la technicité des bergers pendant les circuits, ces auteurs décrivent une technique de garde "volontairement lâche", où le berger surveille attentivement mais souvent à distance, se limitant à impulser un "biais de départ" peu variable et à faire respecter les limites. Une garde "peu directive" est également décrite, dans le cas où la structure du coussoul favorise des "biais spontanés du troupeau" faciles à anticiper. Enfin, une "garde serrée", très directive avec interventions fermes et l'aide des chiens, a été décrite dans le cas où la structure du coussoul permet une bonne rotation entre les différents secteurs. Il est important de souligner le fait que ces types de garde sont utilisés par les auteurs pour qualifier la pratique du berger à l'échelle de la journée et des différentes saisons (début, milieu, fin) de pâturage. Concernant les pratiques de garde en Crau, hormis ces trois techniques, des études décrivant à une échelle plus fine les diverses actions ou manœuvres employées par le berger demeurent très rares, voire non encore rapportées à ma connaissance.

Des études sur l'influence des pratiques de garde sur le comportement alimentaire en

Crau sont rares. De manière générale, cette plaine est connue pour les bonnes performances zootechniques qu'elle permet d'obtenir et cela même à l'occasion de saisons climatiques assez défavorables. Ainsi, il a été décrit à partir de suivis de notations d'état corporel (NEC) des valeurs moyennes de reprise d'état situées entre 0,25 et 0,75 point lors du passage des brebis en Crau (Dureau et Bonnefon, 1997). Ces auteurs mentionnent une forte incidence de la technique de gardiennage, notamment quand les conditions climatiques sont peu favorables, et particulièrement par des ajustements effectués dans les chargements globaux et instantanés. Il a été aussi rapporté, concernant des performances reproductives, jusqu'à 90 % des brebis mettant bas à l'automne.

Au sujet de l'ingestion des brebis, il a été relevé des observations de bergers concernant la méthode de repérage de l'état de satiété des animaux. Celui-ci est marqué par "un ventre plein encore visible après la nuit en bergerie" (Dureau et Bonnefon, 1997).

Résumé de la section les pratiques des bergers de Crau et le comportement alimentaire des troupeaux ovins.

La description ainsi rapportée par les études effectuées en Crau, indique que certains bergers expérimentés, ainsi que des éleveurs, ont une connaissance assez riche de la gestion du "grossier", le brachypode rameux. Celle-ci est effectuée sous la forme de règles générales d'utilisation en cours d'année et par l'identification de trois types de techniques de garde qualifiant les pratiques des bergers à l'échelle des circuits et des saisons de pâturage. Des études décrivant finement les pratiques des bergers de Crau au cours des circuits de garde sont plutôt rares. Cependant, le peu d'information disponible (Dureau et Bonnefon, 1997) constitue un bon point de départ pour approfondir les pratiques des bergers à des échelles plus fines : au cours des circuits de garde d'une part, et au niveau du comportement d'ingestion instantané des troupeaux d'autre part.

2.2 La question de recherche et la délimitation de mon niveau d'implication

2.2.1 La question de recherche

Nous avons effectué la revue bibliographique en considérant l'objectif général de la thèse : *contribuer à mieux apprécier la fonctionnalité alimentaire de la végétation steppique de la Crau pour des troupeaux de brebis conduits par des bergers au cours de circuits de gardiennage.*

Par rapport à cette optique, nous avons présenté comment, lorsque les animaux sont confrontés à des végétations hétérogènes, la structure des plantes devient très importante pour expliquer le comportement alimentaire. La prise en compte de la préhensibilité permet d'envisager l'élément comportemental des animaux dans la relation plante-animal. Cette revue bibliographique nous a permis de souligner le manque de connaissances inhérent aux effets de la structure des plantes associés au comportement d'ingestion pour des milieux diversifiés. Cependant, il reste certain que dans ces milieux, la relation entre l'architecture des plantes et la masse et fréquence des prises alimentaires est moins étroite que sur l'herbe de culture. Des approches plus éthologiques de la motivation alimentaire sont nécessaires pour continuer à creuser ce sujet de recherche, en mobilisant des connaissances issues autant de l'écologie animale que de la nutrition et alimentation animale.

En ce qui concerne les pratiques des bergers en Crau, elles ont été étudiées en relation à leur gestion du brachypode. Le berger utilisera des pressions de pâturage instantanées différentes pour des utilisations plus ou moins intenses de la végétation dite "grossière". La conduite des troupeaux en Crau par des bergers en cours de circuit a été décrite selon trois types, parfois variables selon la saison de pâturage (sortie d'hiver, début ou milieu de printemps, fin de printemps et début d'été) : "lâche", "peu directive" et "garde serrée". Au sein des circuits journaliers de garde, c'est-à-dire à une échelle de temps plus fine, les études rapportant les pratiques de bergers en Crau sont très rares. En ce qui concerne les interventions sur le troupeau en lien avec le comportement alimentaire, la question reste assez ouverte et représente un enjeu de recherche.

Enfin, nous avons signalé dans cette revue bibliographique la capacité du genre *Brachypodium* à effectuer des ajustements phénotypiques en réponse à des changements dans le régime de lumière. D'autres ajustements, comme ceux induits par la défoliation répétée, ne sont pourtant pas exclus. Bien qu'il existe très peu d'informations, il semble probable que le *Brachypodium retusum* puisse se présenter sous diverses formes, ou "morphes pâturés". Tous ces éléments d'études, revus sous l'optique de mon objectif général de thèse, m'ont conduit à élaborer la question de recherche suivante :

Quelles sont les catégories fonctionnelles pertinentes pour décrire la diversité des structures végétales de Crau en vue de leur utilisation par des bergers en cours de circuit de gardiennage et par les troupeaux ovins en cours de repas ?

2.2.2 Délimitation de mon niveau d'implication et hypothèse

Mon sujet de recherche est composé de trois objets dynamiques avec leurs interactions complexes (voir figure 2.1). D'entre toutes ces interactions, mon niveau d'implication est

délimité à seulement trois, indiquées par des flèches en noir et gris dans ce graphique :

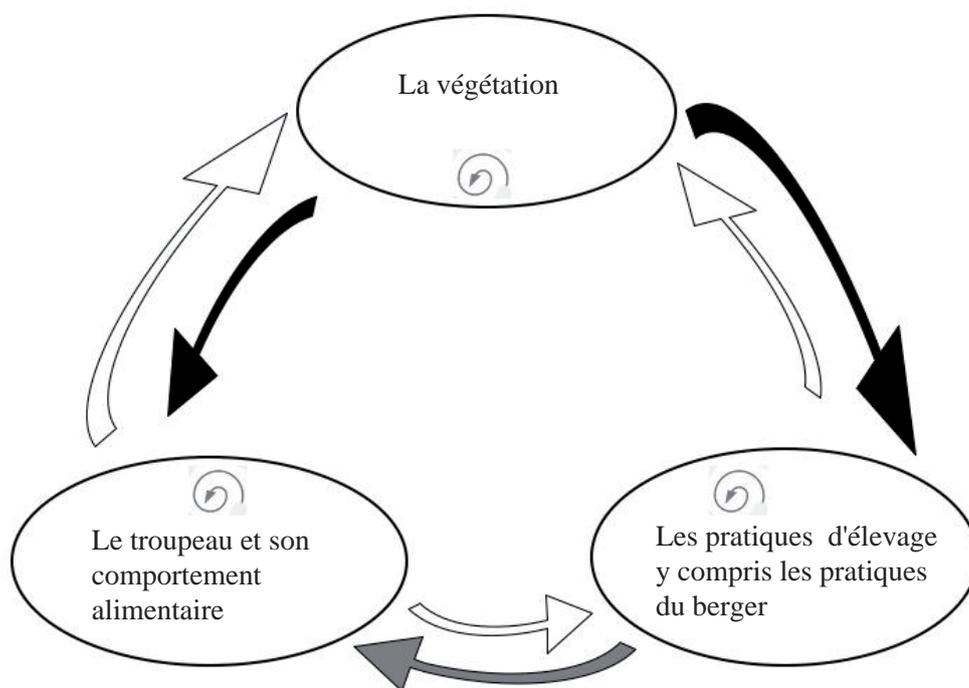


FIGURE 2.1 – *Système biotechnique complexe constitué de trois objets dynamiques organisés dans le temps et l'espace : la végétation, les pratiques d'élevage y compris les pratiques de garde du berger, le troupeau et son comportement alimentaire. Les interactions permanentes entre ces trois objets, indiquées par le sens des flèches, confèrent au système un caractère complexe. Modifié d'après (Agréil et al., 2008).*

- Les flèches noires indiquent le cas où mon niveau d'implication est fort ;
- la flèche grise indique le cas où mon niveau d'implication est modéré ;
- les flèches blanches indiquent le cas où mon niveau d'implication est très faible ou nul

- L'influence de la végétation sur les pratiques de garde. Mon implication sera forte : comprendre comment la végétation est décrite par les bergers et influe sur leurs pratiques.
- L'influence des pratiques de garde sur le comportement alimentaire. Je serai fortement impliqué pour mettre en évidence les pratiques de conduite à échelle des moments dans la journée de gardiennage et le choix des différents secteurs pâturés. Par contre, mon niveau d'implication sera moindre pour analyser l'effet des pratiques de garde sur le comportement d'ingestion instantanée. L'étude d'un tel effet reste un sujet de thèse à lui tout seul par l'ampleur des interactions impliquées.
- L'influence du comportement alimentaire sur la dynamique de végétation. Aucune étude sur les effets à court ou long terme du pâturage sur la végétation n'est envisagée dans le cadre de ma thèse car d'autres s'en chargent : le Ceep et le Cerpam). Cependant pour le choix de nos sites d'observation, nous avons considéré qu'un des arrangements de végétation avec peu de variation au long des années (identifiables, par exemple à travers des suivis de photographies satellites) seraient l'expression de une certaine stabilité des pratiques de gardiennage.
- L'influence des pratiques de garde sur la végétation. De même que pour le cas antérieur, aucune étude ne sera engagée dans le cadre de ma thèse ; pour autant, la résultante des effets des pratiques de garde à long terme sur la végétation peut être prise en compte au moment

de choisir les sites d'étude.

- L'influence de la végétation sur le comportement alimentaire. Mon principal engagement se situe dans l'analyse de cette relation. La végétation est considérée en termes de diversité de structures plutôt que de diversité botanique ; l'ingestion instantanée (la composante principale étudiée du comportement alimentaire) sera analysée ici.

- L'influence du comportement alimentaire sur les pratiques. Les stratégies qu'adoptent les bergers face au comportement de leurs troupeaux ont été partiellement approfondies. Je me suis engagé à acquérir de l'information sur la façon dont le berger agit sur son troupeau ; cependant, une étude purement éthologique de la relation troupeau-berger n'est pas envisagée dans ma thèse.

Visant à répondre ma question de recherche, nous avons basé notre étude sur l'hypothèse centrale suivante :

Des évolutions de pratiques pastorales peuvent être jugées favorables, à la fois pour les habitats d'espèces avifaunistiques et pour l'alimentation des troupeaux, pour autant qu'elles continuent de tirer profit et de renouveler les deux compartiments fonctionnels de la communauté végétale : le "fin" (espèces annuelles principalement) et le "grossier" (plaques de *Brachypodium retusum* Pers. P.Beau.).

Cette hypothèse est bâtie à partir des conclusions à vocation opérationnelle tirées de [Agreil \(2003\)](#) et [Agreil et al. \(2006\)](#), déjà validées sur milieux de parcours embroussaillés et pâturés avec des troupeaux en parcs clôturés. Elle est à tester ici sur un tout autre milieu pastoral, une steppe, et avec des techniques d'utilisation bien différentes, la garde des troupeaux par des bergers.

Chapitre 3

Dispositifs de recherche et méthodes de mesure

Sommaire

3.1 Description du dispositif de recherche	61
3.1.1 Description générale du dispositif de recherche	62
3.1.2 Identification et choix des sites d'observation	64
3.1.3 Choix des états de végétation et des catégories des formats de brachypode	68
3.2 Les méthodes de mesure	72
3.2.1 La télémétrie couplée au repérage sur le terrain pour l'identification des types de coussouls et des faciès de végétation	72
3.2.2 La méthode du <i>scan sampling</i> pour l'observation directe de l'ingestion instantanée	73
3.2.3 La grille de codage de prises alimentaires adaptée aux ovins en steppe de Crau	78
3.2.4 La technique des simulations manuelles : l'échantillonnage pour la détermination de la masse et de la qualité des prises alimentaires	81
3.2.5 La spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) pour la détermination de la qualité nutritive.	82
3.2.6 Entretiens avec des bergers et enregistrement de leurs manœuvres et des activités du troupeau.	83
3.3 Expériences dans la mise en œuvre du dispositif expérimental sur le terrain	85
3.3.1 Critères initiaux trop rigides pour le choix des sites d'observation	86
3.3.2 Une phase d'accoutumance réciproque compliquée	86
3.3.3 La place de coussoul "fin" n'a pas pu en fin de compte être utilisée	87
3.3.4 Concernant les difficultés rencontrées pour les observations	88

3.1 Description du dispositif de recherche

Dans cette section nous abordons la stratégie conçue pour sélectionner des situations en milieu réel d'élevage en Crau nous permettant de tester nos hypothèses. Dans un premier

temps, nous présentons une explication générale de notre dispositif de recherche et des principaux éléments mis en relation. Ensuite, sont abordés le choix des sites d'observation sur le terrain et les implications de la mise en place du dispositif. Enfin, nous présentons une description des différents états de végétation à diverses échelles spatiales et temporelles, à l'intérieur desquelles nous allons considérer la diversité des formats de brachypode.

3.1.1 Description générale du dispositif de recherche

Dans la construction de mon dispositif de recherche, j'ai dû organiser le travail avec plusieurs acteurs impliqués dans la Crau, et c'est la raison pour laquelle nous avons eu à nourrir un réseau de contacts avec :

- La chambre d'agriculture du département Bouches-du-Rhône (CA13)
- L'association des bergers et vachers des Hautes-Alpes. En effet beaucoup de bergers transhumants de Crau en sont adhérents
- Le centre d'études et de réalisations pastorales Alpes Méditerranée (Cerpam)
- La Maison de la transhumance
- Le Conservatoire étude des écosystèmes de Provence (CEEP) ; le CEEP et la CA13 sont co-gestionnaires de la Réserve naturelle des coussouls de Crau

Nous avons établi une convention de recherche entre l'Inra Écodéveloppement et le CEEP, convention engageant l'Inra à mener une recherche visant à permettre de mieux évaluer la fonctionnalité alimentaire de la steppe de Crau pour des brebis conduites au sein de leurs troupeaux en gardiennage par des bergers (à savoir, ma thèse). Notre objectif à atteindre dans cette convention, est de proposer de nouvelles catégories de structures et de natures de couverts végétaux de la steppe, selon les flux d'ingestion (exprimé en grammes de matière ingérée par minute de pâturage) qu'elles permettent à une brebis de réaliser au cours d'un circuit de gardiennage.

Afin d'informer ma question de recherche, j'ai déterminé trois objets à traiter : les formats de végétation, les pratiques de gardiennage et le comportement d'ingestion chez des troupeaux (voir figure 2.1 de la section précédente). En conséquence, mon dispositif de recherche a été bâti à partir d'une description pluri échelles de la végétation, me permettant d'analyser l'utilisation qu'en fait le berger et d'approcher les actions de gardiennage en termes d'ingestion instantanée chez des brebis. Cette description m'a permis de mettre en évidence la relation entre cette végétation (selon ses états) et l'ingestion instantanée chez des brebis d'un troupeau conduit en gardiennage.

Mon dispositif repose sur quatre niveaux d'analyse :

- La description de la végétation selon six échelles spatiales et temporelles ;
- Les entretiens avec des bergers expérimentés, portant sur leurs façons de concevoir et d'utiliser la végétation pour le pâturage de leurs troupeaux ;
- L'observation directe des actions de bergers au cours de leurs circuits de gardiennage ;
- L'observation directe de l'ingestion instantanée dans trois troupeaux ovins conduits en gardiennage.

Un premier niveau d'analyse nous a permis d'associer chaque description de la végétation à l'échelle à laquelle se déroulent les actions de conduite des troupeaux.

Pour ce qui est du deuxième niveau, les entretiens avec des bergers expérimentés, nous avons d'abord pris en compte ce qui avait été renseigné par des recherches antérieures, dont et surtout (Dureau et Bonnefon, 1997). Ce sont les bergers qui, en toute logique, s'érigent en première source d'information lorsqu'il s'agit d'informer les pratiques de gardiennage. Nous considérons également que l'information concernant les types de végétation selon les dires des bergers peuvent être de grande utilité, notamment pour ce qui concerne notre description de la végétation à l'échelle des formats (ou "morphes") de plantes. En effet, les informations apportées par les bergers seront très précieuses pour bâtir une description à visée opérationnelle de ces formats de plantes. Dès leur arrivé dans les coussouls, nous avons donc pris contact avec des bergers, pour tirer le profit maximum de leurs informations. Pour recueillir les données, nous avons utilisé la méthode de l'entretien compréhensif (Kaufmann, 1996).

En ce qui concerne le troisième niveau d'analyse. Il s'agit de recueillir par observation directe les façons de conduire les troupeaux par les bergers, même de façon générale, et d'arriver à les associer au comportement d'ingestion instantanée. La méthode est adaptée de celle décrite par Meuret (2010b).

Le quatrième niveau d'analyse repose sur l'observation directe de l'ingestion réalisée par des individus au sein des troupeaux. Cette méthode a été choisie car, grâce à la grille de codage des prises alimentaires (Agreil et Meuret, 2004), l'observation directe de l'ingestion instantanée permet d'analyser assez finement l'efficacité de l'ingestion selon les différentes structures végétales (voir section 3.2.2 encore suivante).

L'étude des changements botaniques et des dynamiques de modification des communautés et des structures végétales dans la Crau, en réponse aux pratiques de garde, n'ayant pas été envisagée dans ma thèse. Pour traiter ma question, la recherche d'une certaine stabilité de la végétation à l'échelle pluriannuelle et au sein d'une place de pâturage était au contraire nécessaire. Cela a été fait dans le but d'étudier des végétations sans évolution trop contrastée d'une année sur l'autre, afin de ne pas induire de changements sur les pratiques de garde. En effet, une certaine stabilité de la couverture végétale soumise à l'action du pâturage peut être interprétée comme étant le reflet d'une certaine stabilité dans les pratiques pastorales qui se sont déroulées dans les années antérieures.

Dans la construction de ma démarche de recherche, le dispositif devait être conçu afin de prendre en compte la complexité des interactions sous-jacentes entre la structure de la végétation, les pratiques de gardiennage et l'efficacité d'ingestion. En conséquence, outre une certaine stabilité de la couverture végétale, l'expérience des bergers et l'observation des troupeaux habitués et expérimentés au pâturage en Crau ont été considérées aussi comme des exigences incontournables. Par ailleurs, pour tenir compte des évolutions de la couverture végétale, et concernant les observations des actions du berger et les observations de l'ingestion dans le troupeau, il a été jugé nécessaire de couvrir avec nos observations une grande partie de la saison printanière de pâturage en Crau.

Toutes ces exigences ont imposé la mise en œuvre de ma démarche en conditions réelles d'élevage en steppe de Crau, à savoir : l'observation des pratiques de garde et mesures de l'ingestion dans de grands troupeaux (1.000 à 1.500 brebis), ce qui n'avait encore jamais été réalisé ; sur des places de pâturage existantes et non reconfigurées pour l'occasion ; avec des éleveurs et des bergers disposés à accueillir mes observations ; par tous les temps, y compris les très mauvais. Le dispositif ainsi mis en œuvre a résulté du compromis trouvé entre, d'une

part, les conditions exigées par la démarche et la méthodologie, et d'autre part, par l'éventail des situations existantes sur le terrain. Une grande partie de la mise en œuvre du dispositif a été déterminée par la disponibilité et l'intérêt des bergers à collaborer à ma démarche. Cette implication des bergers a été d'autant plus importante et généreuse qu'aucune rétribution économique n'a été envisagée.

3.1.2 Identification et choix des sites d'observation

Parmi les conditions nécessaires pour traiter ma question, la stabilité du trio berger-troupeau-coussoul a été l'une des plus difficiles à trouver. Bien que dans les coussouls de Crau nous trouvons des bergers très expérimentés avec une ancienneté sur le même site de pâturage, et également plusieurs troupeaux placés dans les mêmes sites de pâturage chaque année, la recherche des trios susceptibles de remplir nos conditions a été compliquée. Les conditions que nous avons considérées comme nécessaires pour les bergers, les troupeaux et les coussouls ont été :

a) Bergers : une expérience préalable dans la conduite des troupeaux en Crau a été requise, et en plus, j'ai cherché des bergers avec beaucoup d'expérience sur une même place de coussoul et avec, si possible, un même troupeau. Le but a été, d'une part, d'effectuer des observations sur des circuits de pâturage déjà "éprouvés" par des bergers qui connaissent la végétation de Crau, et d'autre part, d'effectuer les observations d'ingestion dans des troupeaux qui connaissent aussi la diversité végétale de Crau et la diversité particulière de la place de coussoul pâturée au cours de mes observations. Pour cela, le protocole a requis de travailler avec des bergers qui aient gardé sur la même place de coussoul et avec le même troupeau pendant au minimum les trois dernières années. Evidemment, nous avons cherché à rencontrer des bergers connus pour leur intérêt au sujet des pratiques de garde et disposés à accepter la présence d'un observateur dans le troupeau pour presque toute la saison de pâturage (ce qui implique aussi l'accord du propriétaire du troupeau), et cela sans recevoir aucune compensation économique pour leur coopération.

b) Troupeaux : les critères suivants ont été considérés :

- Expérience sur la même place de coussoul ;
- entre 1.000 et 1.500 brebis de race Mérinos d'Arles (situation la plus courante en Crau) ;
- composés majoritairement de brebis adultes prêtes à la lutte principale de contre-saison ;
- déjà formés ou sans changements d'effectif importants en cours de saison de pâturage en steppe de Crau.

Ce dernier point était très important, car des changements dans la composition du troupeau au cours d'une étape d'accoutumance réciproque entre le troupeau et l'observateur (voir plus loin la description méthodologique) auraient pu s'avérer très dommageables pour le bon déroulement de l'observation de l'ingestion.

c) Végétation des coussouls : j'ai cherché à définir des états particuliers de la structure de végétation que nous avons considéré susceptibles de produire une gamme de réponses du comportement alimentaire, afin de pouvoir qualifier à la sortie la fonctionnalité des différentes structures.

Nous avons décidé d'utiliser plusieurs indicateurs de la description de la structure végétale. Ces descripteurs comportent six échelles spatio-temporelles (voir tableau 3.1).

La première, "Coussouls de Crau", correspond à l'échelle de la steppe de Crau sèche dans son ensemble. Elle a été mobilisée pour identifier la végétation présente sur chaque place de pâturage, c'est à-dire chaque coussoul susceptible d'être considéré comme "candidat" pour être retenu comme site d'observation. Pour ces observations à l'échelle de la Crau, nous avons tiré profit des analyses télémétriques engagées par la Réserve Naturelle des coussouls de Crau qui nous a permis de travailler sur des photos aériennes et satellites, couplées à des observations de calibrage réalisées sur le terrain. Nous avons ainsi obtenu une liste des places de coussoul constituant notre base de départ pour la recherche de nos sites d'observation.

L'échelle de la "Place de pâturage" est celle que les éleveurs utilisent pour confier à un berger salarié un espace et un troupeau à garder en Crau pendant une saison de pâturage. À ce niveau, nous avons considéré pertinent de travailler sur trois états de la couverture végétale. De tels états ont été définis par une clé de lecture composée par le recouvrement de brachypode repéré grâce à l'interprétation des images infrarouges et également par des observations effectuées sur le terrain.

En prenant en compte le recouvrement du brachypode, et sur la base des qualificatifs déjà utilisés par les éleveurs, bergers, mais aussi techniciens d'élevage, nous avons identifié des coussouls, ou places de pâturage, dits :

- "Panachés", c'est à dire avec une proportion assez équilibrée de plaques de brachypode et de plaques d'espèces annuelles. Une fourchette de 40 à 60 % de recouvrement en brachypode à été considérée comme valable pour classer la place de coussoul comme "panaché", indépendamment du format et de la hauteur du brachypode
- "Fins", avec un recouvrement presque exclusif d'espèces annuelles, c'est à-dire quasiment sans aucun brachypode. À la figure 3.1 nous présentons une photographie aérienne en fausses couleurs représentant des exemples de coussouls "fins" et de coussouls "panachés".
- "Grossiers", lorsque ce sont les plaques de brachypode qui sont présentes à plus de 60 %.

Ce dernier cas de places de pâturage entièrement composées de "gros", c'est à dire sur la presque totalité de ses secteurs, était théorique. En réalité, ce type de place n'existait pas, ou plus, lors de mes années d'observation. Cela, peut-être en raison des événements climatiques (sécheresse estivale assez récurrente depuis 2003), mais peut-être aussi en raison des pratiques des éleveurs et des bergers, ou d'un effet croisé. La plupart des éleveurs sont en effet d'accord pour ne pas laisser excessivement s'étendre le brachypode, soit en hauteur, soit en recouvrement. Apparemment, ils y réussissent bien, et peut-être trop bien.

En l'absence de place de pâturage "gros", nous nous sommes rabattus vers des places dites "panachées", où la présence suffisante du brachypode sous différents formats était aussi supposée offrir aux brebis l'opportunité d'effectuer des prises alimentaires de petites et de grosses masses, avec une comparaison à faire avec un coussoul "fin".

Nous avons considéré que pour prendre aussi en compte la variation de format du brachypode pendant la période de croissance de la végétation au printemps, nous devions effectuer un minimum de cinq journées d'observations réparties en saison sur chacune des trois places de pâturage. Étant donné que notre dispositif dépendait en grande partie des disponibilités imposées par divers acteurs (éleveurs, bergers), nous avons tenu compte avant tout des personnes avec lesquelles collaborer et des troupeaux et brebis à observer.

Échelle	Description
Coussouls de Crau	Constitué d'environ 14 000 ha de steppe, utilisés à l'échelle de plusieurs années. Cette surface, dans son ensemble, est l'objet d'un suivi pluriannuel effectué par le CEEP et le Cerpam pour évaluer, par photos aériennes, l'évolution de la végétation en fonction des pratiques et du climat. Échelle utilisée par des chercheurs
Place de pâturage	De surface moyenne entre 300 et 500 ha, utilisée pendant 4 mois par an. C'est le lieu confié à un berger pour une saison et qui correspond à ce que des chercheurs et des bergers en alpage appellent un "quartier". Échelle utilisée par des éleveurs, bergers, personnel de la réserve naturelle des Coussouls de Crau et techniciens pastoraux
Secteurs de pâturage	De quelques dizaines d'ha., utilisées à l'échelle des heures. C'est un découpage fait par le berger pour réfléchir à sa gestion des circuits (même définition qu'en alpage). Échelle utilisée par le berger
Faciès de végétation	La surface est d'entre 20 à 40 m ² , selon les bergers "assez étendue pour faire pâturer de 40 à 50 brebis, utilisée à l'échelle de la dizaine de minutes. Faciès fins ou grossiers. Échelle utilisée par : les éleveurs, les bergers et aussi les scientifiques et techniciens pastoraux
Formats ou morphes de plantes	La surface où ils sont identifiés pendant l'observation de l'ingestion par des brebis, est d'environ 1m ² , à l'échelle de la seconde (pour ce qui concerne leur utilisation par les brebis). Il est coutume de simplement mesurer la hauteur et la biomasse, mais je propose de distinguer des structures différentes, surtout pour le Brachypode dont plusieurs formes ont été repérés. Échelle déterminée et utilisée par moi, d'autres chercheurs et certains bergers.
Catégories de prises alimentaires	La surface correspond aux différentes portions d'organes végétaux prélevés par les brebis à l'échelle du dixième de seconde (structure, masse et valeur nutritive probable). Il y a souvent 3 ou 4 types de prise sur un morphe ; j'ai ainsi plus de 120 catégories de plantes-prises pour mes suivis de l'ingestion. Échelle utilisée seulement par moi, c'est une exigence méthodologique dans l'étude du processus d'ingestion instantanée

TABLE 3.1 – Échelles spatiales et temporelles utilisées dans le dispositif de recherche, notamment pour la description de la végétation. Les cinq premières sont déterminées par des éleveurs, bergers, techniciens de la réserve naturelle de Crau ou par des chercheurs. La dernière est plutôt une exigence dans l'étude du processus d'ingestion instantanée.



FIGURE 3.1 – Exemple de places de coussouls contiguës décrites par images satellite et visites sur le terrain. Les contours en noir et bleu indiquent les limites des places de pâturage. La gamme des couleurs vertes correspond au recouvrement en brachypode, les tonalités plus claires correspondent aux zones avec faible recouvrement, les tonalités plus foncées aux zones avec fort recouvrement. La couleur blanche correspond aux zones de sol nu et la rouge à celles qui ne sont plus de la steppe : cultures d'arbres fruitiers et prairies irriguées. Les places identifiées comme du "fin" sont Gce (Grosse du centre) et Tba (Terme blanc). Celles identifiées comme du "panaché" sont Gle (Grosse du levant), Gca (Grand Carton). La place de pâturage Op (L'opéra) est très contrastée, elle comporte un secteur sud "fin" et un secteur nord "panaché", voire même très "grossier" sur son extrémité nord-est. Sur le bord droit et central de la photo, on peut aussi observer que le vert foncé ("grossier") abonde en bordure des pistes de l'aéroport d'Istres, où plus aucun troupeau ne vient pâturer depuis des années.

3.1.3 Choix des états de végétation et des catégories des formats de brachypode

Dans le cadre de ma thèse, j'ai dû approcher la diversité des surfaces pâturées en termes de formats et de préhensibilité de structures de plantes par des brebis au pâturage. Pour une première approche de la situation, j'ai d'abord pris connaissance des études antérieures (Dureau et Bonnefon, 1997), puis j'ai participé à des relevés de végétation effectués en avril 2007 par le Cerpam. Ensuite, j'ai complétés personnellement par des entretiens menés avec des bergers expérimentés, sur la nature et les divers formats de végétation utilisables selon eux par le troupeau.

Tout ceci m'a guidé vers la distinction de trois faciès de végétation : les faciès "fin" (absence de touffes de brachypode ou très faible densité de recouvrement), "panaché 1" (faible à moyenne densité de touffes de brachypode) et "panaché 2" (forte densité de touffes). Ces trois catégories de faciès avaient déjà été distinguées en 1997. Nous les avons reprises pour décrire la composition spatiale des coussouls et la nature des terrains utilisés au cours de mes suivis de circuits de pâturage.

Au sein de chaque coussoul où j'ai travaillé, la différence entre les faciès panaché 1 et 2 a été basée sur une appréciation visuelle, d'abord à partir des photos aériennes confiées par le Ceep, puis d'un calibrage sur le terrain, mais sans aucune prétention à vouloir fixer une proportion très stricte de recouvrement du brachypode.

Nous avons d'abord établi qu'une surface de faciès, à catégoriser sur une place de coussoul (un polygone à cartographier) devait considérer entre 20 et 40 m². Ceci, sur la base des dires des bergers : "assez grande pour y voir pâturer un groupe de 40 à 50 brebis". Ces surfaces devaient en effet avoir du sens par rapport aux pratiques de garde de bergers. Nous avons ensuite catégorisé en "panaché 1" les polygones ayant un recouvrement en touffes de brachypode estimé autour de 40 %, et en "panaché 2" ceux estimés autour de 60 %. La catégorisation des polygones "fins" est nettement plus facile à faire, vu l'absence quasi totale de brachypode.

Pour ce qui est des formats ou "morphes" de brachypode, d'après l'expérience de terrain acquise pendant les relevés de végétation avec le Cerpam et également d'après les informations qui nous ont été communiquées par les bergers, il nous est apparu pertinent de décrire les diverses formes que le brachypode pourrait présenter à l'intérieur de nos deux faciès "panachés". Nous avons voulu prendre en compte les effets possibles des différents formats de brachypode (y compris pour des faciès avec un recouvrement similaire de brachypode) sur la collecte des prises alimentaires, notamment en termes de masse ingérée par prise. Cette collecte peut être diverse et associée aux différences de hauteur et de densité des rameaux, mais aussi aux différences de forme des feuilles et des tiges (voir images 3.2)

Du point de vue de la préhensibilité des structures végétales par les brebis au pâturage, comment prendre en compte les diverses hauteurs, densités et formes de feuilles présentées par le brachypode ? Il n'existe pas d'informations à ce sujet dans les études antérieures effectuées en Crau. Les recherches étaient plutôt centrées vers la production et l'utilisation de l'ensemble des espèces de Crau : la biomasse et son utilisation ont été estimées à partir de la corrélation entre la hauteur de la végétation et la biomasse végétale disponible. Cependant, en l'état actuel des connaissances des ressources végétales pastorales (pâturage de végétations hétérogènes), cette relation s'avère très perfectible. Nous avons donc eu à construire une grille de lecture de la diversité de toutes les formes et états dans lesquels se présentent

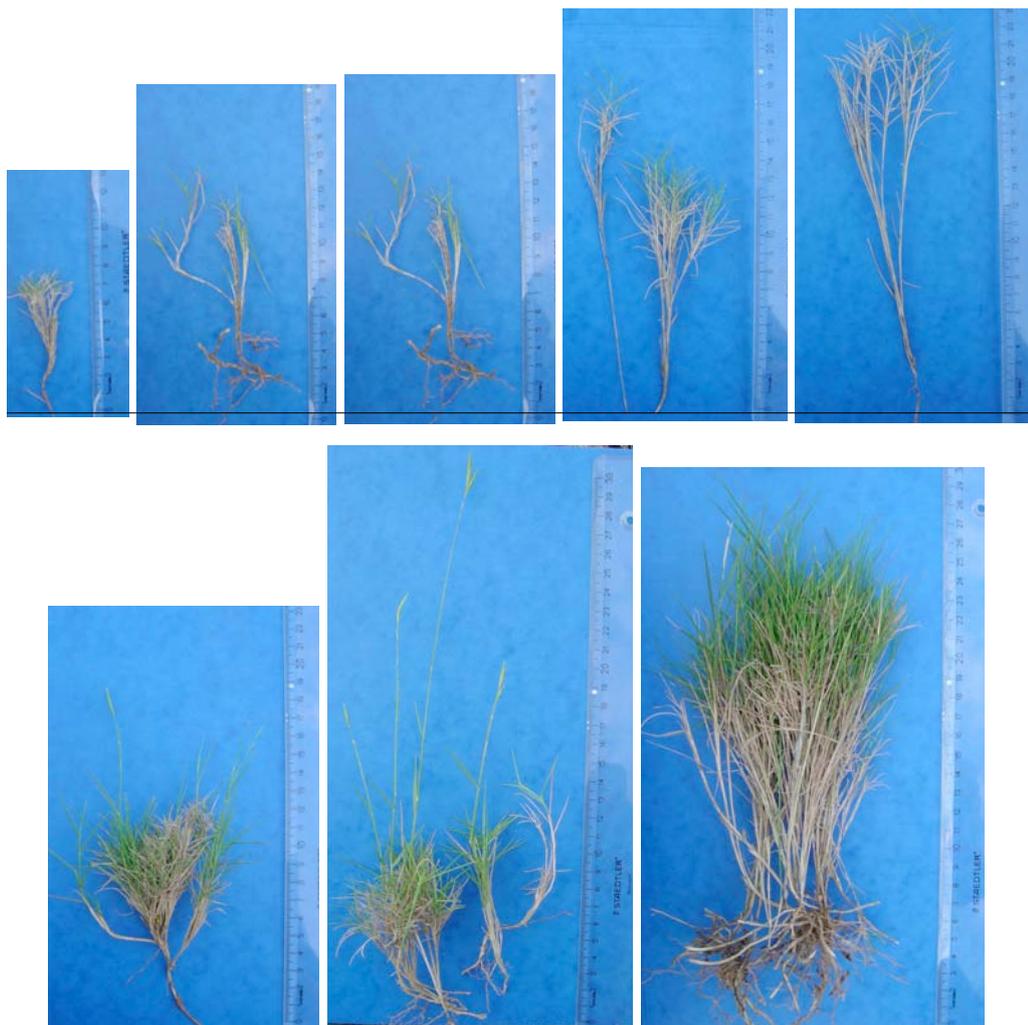


FIGURE 3.2 – *Exemple de formats de brachypode en Crau*

les plants de brachypode durant nos périodes d'observation (voir figure 3.3). Ce descripteur a été conçu pour un but opérationnel : lier à un format donné de brachypode la masse potentielle pouvant être collectée par la brebis. Nous pouvons observer à la figure 3.3 notre grille de lecture pour les quatre types identifiés de morphes de Brachypode (Br.).

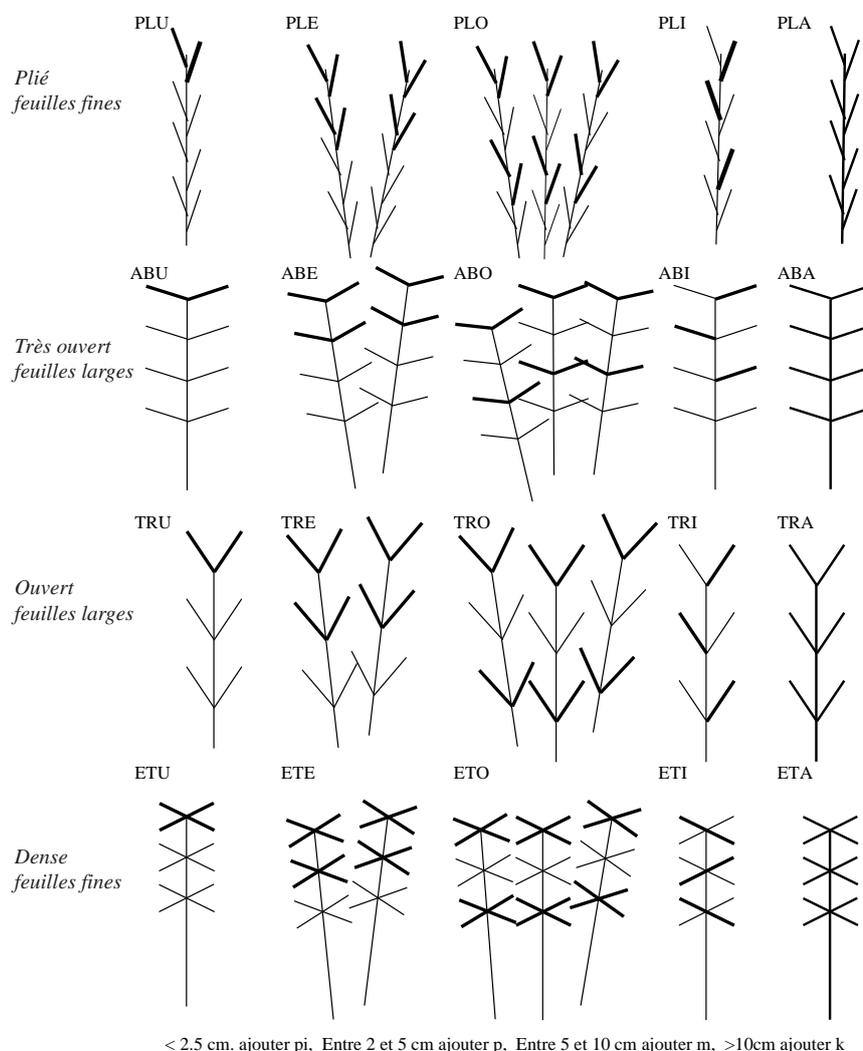


FIGURE 3.3 – Grille de lecture des formes de brachypode

Pour chacun des quatre morphes, nous prenons en compte :

- La forme principale des feuilles. De haut en bas des colonnes : pliées (lettres PL), très ouvertes (lettres AB), ouvertes (lettres TR), dense de feuilles semblables à des aiguilles fines (lettres ET).
- La distribution des organes verts est dessinée en traits plus épais. De izq. à der. de chaque file : au sommet (lettre finale U), dans la moitié supérieure (lettre finale E), intercalée à l'horizontale (lettre finale O), intercalée à la verticale (lettre finale I), presque toute la plante (lettre finale A).
- La densité de la plante est représentée par le nombre de tiges. Faible densité (1 tige), dense (2 tiges), très dense (3 tiges).
- La hauteur de la strate d'organes comestibles et accessibles : <2cm = très petit (qualifica-

tif "pi" ajouté), entre 2 et 5 cm = petit ("p" ajouté), entre 5 et 10 cm = moyen ("m" ajouté), et >10 cm = grand ("k" ajouté). Cette hauteur ne considère donc pas le ou les premier(s) centimètre(s) situé(s) entre le sol et la base de la strate d'organes comestibles, généralement constituée de tiges de soutien très fibreuses et non collectées par les brebis, même en situation de "raclage" de cette graminée pérenne.

- Enfin, l'appréciation de "la verdeur" de chaque plant de brachypode consommé est catégorisée selon une échelle de 1 (jaune, c'est à dire presque totalement sénescé) à 4 (très vert, en pleine croissance).

Ces cinq critères ont été décrits avec un niveau de détail assez fin, que j'ai considéré comme indispensable pour identifier la grande variété des formes de brachypode lors d'un suivi des prises alimentaires par la technique d'observation directe de l'ingestion. Avec ces indicateurs, notre objectif a été d'obtenir des informations pour savoir si le format de brachypode a une incidence sur l'ingestion instantanée.

Après moi, d'autres recherches, menées par exemple par le CEEP, pourraient s'intéresser à l'origine de ces différents formats de brachypode, influencés par les modalités de pâturage, la sécheresse, les deux effets associés, etc. En effet, même lorsqu'il n'est pas question de mesurer comme moi l'ingestion instantanée, mais de faire plus simplement, et surtout plus rapidement, un diagnostic dans les coussouls, ces différentes catégories de formats du brachypode sont d'après mon expérience bien aisément identifiables lors d'une visite de terrain.

3.2 Les méthodes de mesure

Dans cette section, nous présentons les procédures et méthodes que nous avons utilisées pour la mise en œuvre de notre dispositif expérimental. Nous abordons l'utilisation des photographies aériennes et satellitaires complétée des repérages sur le terrain pour l'identification des sites d'observation. Ensuite, la méthode du scan sampling pour l'observation directe de l'ingestion sera abordée, et tout particulièrement les aspects concernant les adaptations effectuées pour sa mise en œuvre au sein de très grands troupeaux ovins. Également, nous présentons la grille de codage des prises alimentaires adaptée à la steppe de Crau que nous avons utilisée pendant l'observation directe de l'ingestion. Finalement, nous abordons dans cette section la méthode d'échantillonnage de la végétation pour la détermination des masses moyennes de chaque catégorie de prise alimentaire et leurs qualités nutritives.

3.2.1 La télémétrie couplée au repérage sur le terrain pour l'identification des types de coussouls et des faciès de végétation

La délimitation de faciès a été faite d'abord par analyse des images issues d'études télémétriques. L'utilisation de ces images s'est avérée très utile, autant pour identifier les trois faciès ("fin", "panaché 1" et "panaché 2" - voir section 3.1. 3) à l'échelle des places de pâturage, que pour évaluer leur stabilité interannuelle.

Les informations issues des études de caractérisation par télédétection de l'hétérogénéité de la végétation (Terraube, 2004) ont été utilisées. Ces études analysent les images mises à la disposition du CEEP par la Station Biologique de la Tour du Valat. Ces images comprennent des images satellites SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre ou Satellite Pour l'Observation de la Terre) avec l'utilisation de quatre canaux de mesure, dont notamment le proche infrarouge. Les modèles spatiaux de la végétation qui ont été développés dans ces études représentent bien les recouvrements en sol nu, en zones de fin (végétation composée des petites plantes dicotylédones principalement) et en zones plus ou moins denses en brachypode. Des places de coussouls ont été disponibles pour l'interprétation des spectres de couleurs (années 2003 à 2006) représentant les différentes densités de recouvrement en Brachypode. Avec l'aide des avis des experts du CEEP, ces images ont été utilisées pour définir une liste de coussouls "éligibles" pour effectuer les suivis de circuits de bergers et d'ingestion chez des troupeaux.

Les places de coussoul ainsi définies comme probables sites d'observation ont été ensuite visitées une à une pour constater visuellement l'état au sol de la végétation. Pour chaque place, la totalité du coussoul a été parcourue afin de repérer les zones (à l'échelle du 20 à 40 m²) dans lesquelles le brachypode était totalement absent, tout comme les zones avec différentes densités de recouvrement en brachypode. La correspondance entre ces zones ainsi identifiées et celles affichées dans l'analyse des images par le proche infrarouge a été vérifiée ou actualisée selon le cas (voir figure 3.4)

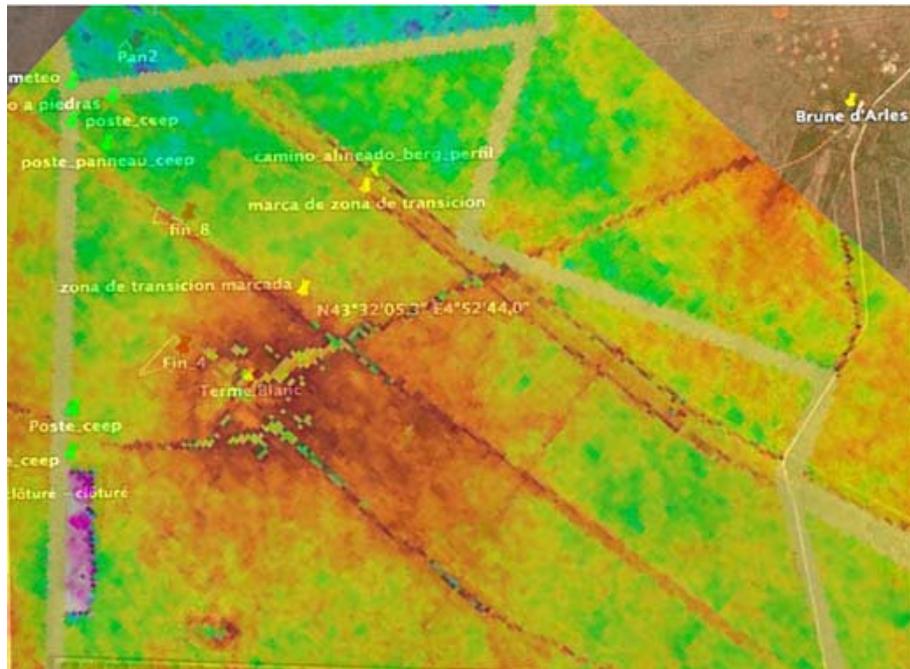


FIGURE 3.4 – Vérification sur le terrain des images infrarouges. Sur une photo satellite, nous avons superposé les photos issues du SPOT. Le spectre de couleur verte a été modifié pour faire contraster les zones de végétation : en couleur rouge, le sol nu ; en jaune, les zones de faible recouvrement ou de recouvrement nul en brachypode ; en vert, les zones avec plus ou moins de densité de brachypode ; en bleu, les zones de végétation très denses. La place de pâturage est celle du coussoul "Terme Blanc" au centre de la zone rouge. Des faciès "fins" (rouge ou jaune), "panachés 1" (jaune ou vert) et "panachés 2" (vert) ont ainsi été vérifiés sur terrain : voir mes notes en espagnol sur la photo.

Suite à ce travail de prospection, nous avons retenu trois places de "coussoul fin" et trois places de "coussoul panaché" en octobre 2007 ("Fin" = Terme Blanc, Opéra, Grosse du centre. "Panaché" = Pèyre-Estève, Grosse du Levant, Petit Carton). Nous avons suivi une démarche similaire pour l'identification des faciès "fin", "panaché 1" et "panaché 2". Cependant, étant donné le grain de résolution des images disponibles, limité à 30 mètres (images SPOT, 1 pixel = 30 m de diamètre), nous avons plutôt utilisé les visites sur le terrain pour observer, cette fois à une échelle de 20 à 40 mètres carrés, la proportion des espaces avec et sans brachypode, et pour les espaces "panachés", c'est à dire avec brachypode, le recouvrement dans ces zones. Au départ, la frontière entre les faciès panaché 1 et 2 a été plutôt difficile à discerner. En revanche, après quelques visites dans les mêmes places, nous arrivions finalement à bien différencier ces deux types de faciès, ce qui nous a permis de réaliser ensuite nos cartes de végétation (dont des exemples sont donnés au chapitre "Résultats").

3.2.2 La méthode du *scan sampling* pour l'observation directe de l'ingestion instantanée

Pour l'observation de l'ingestion chez des individus, j'ai utilisé une méthode d'observation directe des prises alimentaires par scan sampling. En effet, les recherches menées par mon laboratoire d'accueil à l'Inra d'Avignon, visant à apprécier les quantités et qualités ingérées au pâturage par des herbivores sur milieux diversifiés, ont abouti à la mise au point

d'une technique d'observation directe et non intrusive sur l'animal, très adaptée pour le recueil de données in situ en conditions d'élevage (Meuret et al., 1985; Agreil et Meuret, 2004; Agreil et al., 2006).

Cette technique, inspirée des méthodes développées pour des suivis d'ongulés sauvages, ou semi domestiques en milieux naturels, repose sur deux méthodologies couplées :

- 1) Un programme minutieux d'accoutumance réciproque entre les animaux observés et leurs observateurs. Ceci consiste en une série d'étapes préalables de plusieurs jours ou semaines qui permet à des observateurs de circuler sans conséquences notables au sein du troupeau.
- 2) L'amélioration de la mesure des masses ingérées lors de chacune des prises alimentaires pour l'observation directe de l'ingestion instantanée. Pour identifier chacune des prises alimentaires, les matériaux végétaux sectionnés par l'animal sont codifiés selon l'espèce botanique, la masse apparente, la nature et la structure des organes prélevés ainsi que la qualité nutritive probable. En utilisant une "grille de codage" des catégories de prises, il est possible d'enregistrer les prises (par dictée des codes sur magnétophone) au rythme où les animaux broutent et jusqu'à des fréquences de plus de 100 prises par minute.

Visant à comprendre et modéliser la "stratégie alimentaire" chez un individu au cours de ses repas et à la suite des jours passés à brouter dans un parc clôturé, les travaux de (Agreil et Meuret, 2004) et (Agreil et al., 2006) ont utilisé la méthode du focal sampling, à savoir le suivi en continu d'un seul et unique individu du troupeau, avec enregistrement en continu de toutes ses prises réalisées dans la journée, qui sont au nombre de 10.000 à 30.000 au total.

Quant à moi, j'ai préféré pour plusieurs raisons la technique du scan sampling (séries d'observations de courte durée, avec changement de l'individu observés au sein du troupeau) à celle du focal sampling. La principale raison était que l'objectif de l'étude n'était pas l'analyse des dynamiques d'ingestion dans le temps continu, mais l'identification des structures végétales contribuant à l'efficacité d'ingestion. Le suivi du même individu pendant toute la journée n'était donc pas nécessaire. En outre, les troupeaux de Crau ont un effectif moyen de 1.500 têtes ; ce sont bien des grands troupeaux et, de plus, ils sont composés d'ovins de race Mérinos d'Arles ayant un comportement très grégaire (ils restent très proches les uns des autres au cours des repas, le plus souvent à moins d'un mètre l'un de l'autre). Ceci aurait provoqué de sévères et parfois incontournables difficultés pour réussir à maintenir l'observation sur un même individu de manière continue pendant toute la journée, ceci contrairement aux conditions avec plus petits troupeaux caprins ou ovins observés par Meuret et Agreil.

Pour ce qui est de l'accoutumance réciproque entre le troupeau et l'observateur, les expériences antérieures de mon équipe d'accueil m'ont fourni une idée quant à la durée de cette phase. En effet, pour des troupeaux de taille de 25 à 600 animaux, la phase d'accoutumance a pris de 15 à 45 jours selon le comportement plus ou moins farouche des brebis au départ. Le facteur majeur qui influe sur le temps nécessaire pour habituer le troupeau à la présence humaine rapprochée semble tenir aux habitudes du berger qui garde de façon proche ou lointaine et qui les habitue (ou non) à sa présence. Pour mon protocole, le début de la phase d'accoutumance réciproque des troupeaux a été réalisé avant l'entrée en coussoul, dans les prairies humides, bords de routes, anciennes friches etc. Étant donnée la grande taille des troupeaux (1 500 brebis environ), j'ai décidé de m'engager très tôt dans cette phase, en prévision d'une durée très longue pour habituer les animaux à ma présence.

Dans cette phase d'accoutumance réciproque, le protocole que j'ai ajusté aux conditions des grands troupeaux de Crau tient compte de la réalisation des actions suivantes :

- Par rapport à ma tenue de travail avec le troupeau : maintenir la même tenue d'habillement (mêmes couleurs ou tonalités, et surtout pas de couleur noire ; mêmes types de chapeau ou casquette, veste, etc.)
- Conserver si possible la même tenue sans nettoyage, imprégnée de l'odeur caractéristique du troupeau.
- Rester proche du troupeau pendant des périodes d'une demi-journée avec une source audio (radio) facilement repérable pour que tous les individus du troupeau puissent me remarquer et m'entendre venir de loin.
- En période d'accoutumance réciproque, le moment de l'observation est aléatoire afin d'éviter de conditionner le troupeau à ma présence pendant certaines tranches horaires.
- La durée des périodes d'observation dans la phase d'accoutumance réciproque doit être graduellement augmentée.
- Ne pas prendre par surprise le troupeau, donc annoncer son arrivée, mais sans faire de gestes pouvant être mal interprétés ; exemple, agiter les bras comme si l'on voulait rassembler des animaux
- Se déplacer de manière constante et au rythme des animaux que l'on observe, tout en évitant de bloquer le déplacement du troupeau
- Effectuer des déplacements dans des sens un peu différents de ceux de la majorité des individus troupeau, afin de les habituer à une circulation qui "ne signifie rien pour eux" de la part l'observateur.
- Parler à haute voix de façon à habituer les brebis à ma voix, qui sera celle audible lors des enregistrements ultérieurs des prises alimentaires.
- Il est important aussi de ne pas se placer trop prêt du berger, ou de se déplacer dans le même sens que lui, pour ne pas créer chez les brebis ou les chiens de conduite de confusion quant à mon rôle de simple observateur n'ayant aucune autorité sur le troupeau.
- Il est strictement interdit pour l'observateur de participer à des actions qui puissent produire des expériences négatives ou positives sur le troupeau, comme par exemple des applications de médicaments qui exigent d'attraper des brebis pour leur faire une piqûre ou d'autres manœuvres parfois assez violentes ; ou, au contraire, de participer à des distributions du sel très apprécié.

Nous avons décidé que la phase d'accoutumance serait considérée comme achevée lorsqu'il serait possible de suivre les individus scannés à une distance de 1 à 2 mètres, et ceci pendant plus de 1,5 minute en continu.

En ce qui concerne la phase d'observation directe de l'ingestion instantanée avec enregistrement des prises alimentaires par la méthode du scan sampling, mon protocole comprend la réalisation des actions suivantes :

- Les individus à observer doivent être représentatifs de la brebis « moyenne », c'est-à-dire pas un "floucat" (animaux très domestiqués par le berger), ni une jeune brebis, ni une vieille brebis, pas plus que les brebis qui marchent en tête du troupeau (ceci, afin de ne surtout pas influencer par ma présence sur la direction du circuit et l'ordre des faciès utilisés).
- La position de l'observateur par rapport à l'individu scanné ne doit pas bloquer le déplacement de cette brebis. Voir figures 3.5 et 3.6 : Position d'observation autorisées pour une brebis

- Les observations doivent être effectuées sur des individus placés dans la position où se situent la majorité des animaux qui composent le troupeau (voir figure 3.7)
- L'observateur doit éviter de se situer à l'avant ou à l'arrière du troupeau, ceci afin d'éviter d'influencer le déplacement du troupeau (freiner, par l'avant ; ou pousser, par l'arrière)

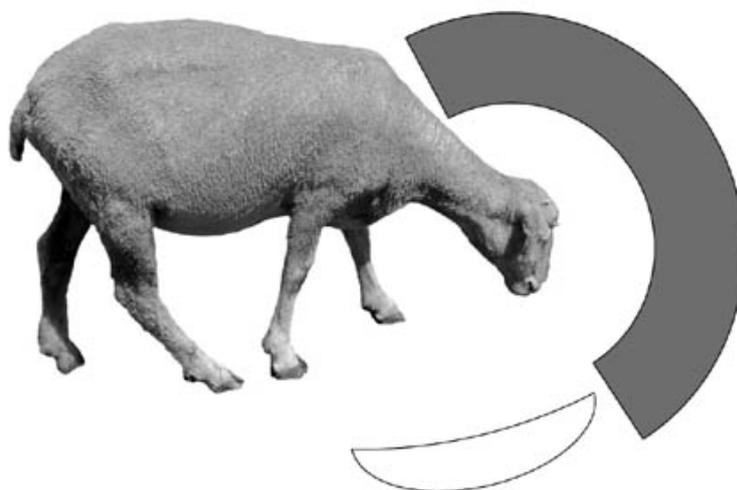


FIGURE 3.5 – *Vue latérale : en gris foncé, les zones à ne pas bloquer pour le déplacement de la brebis scannée ; en blanc, les positions autorisées.*

En Crau, il s'agit bien d'une activité de "pâturage-déplacement" quasi constant. Donc, pour l'enregistrement des prises alimentaires, nous avons tout d'abord considéré un animal comme étant en activité de "pâturage" lorsqu'il enchaînait les "stations alimentaires" (définition : pas de déplacement des pattes avant), l'enchaînement étant le plus fréquemment rapide (en quelques secondes, une dizaine de secondes au plus), mais aussi parfois se déplaçant pour rechercher de la nourriture située juste un peu plus loin (quelques mètres). Seuls les arrêts plus longs, lors de petites phases de rumination, ou pour des raisons autres (une perturbation extérieure, comme par exemple le décollage d'un oiseau), ont été considérés comme des arrêts de pâturage.

L'observation des toutes les prises continues effectuées par un même individu scanné est considérée comme une séquence. Pour chaque séquence, sont enregistrés : le type de faciès sur lequel l'observation est conduite (fin, panaché1 ou panaché 2, bord du chemin), le morphe de brachypode prédominant dans le faciès, la catégorie d'espèces végétale et de prise alimentaire collectée par la brebis. Quant au temps employé pour l'observation des prises alimentaires sur un même individu (donc une séquence), il doit avoir une durée minimum de 1,5 minute. Ce seuil de durée a été décidé après des discussions sur les résultats d'expériences antérieures menées à l'Inra d'Avignon, où les données ont été jugées satisfaisantes pour avoir une signification (Agreil, 2003). Le seuil maximum à ne pas dépasser a été fixé entre 7 et 8 minutes, car les observations auraient été alors trop éloignées d'un scan sampling. De plus, les conditions du type de pâturage des troupeaux de Crau rendent difficiles les observations sur les mêmes individus au-delà de 7 minutes. Selon la facilité pour suivre les individus, nous avons choisi d'effectuer des observations de durées généralement situées entre 3 à 3,5 minutes, mais aussi quelques unes plus longues, de l'ordre de 5 à 7 minutes.

Les critères d'arrêt d'observation, et donc de fin de la séquence avec un animal scanné

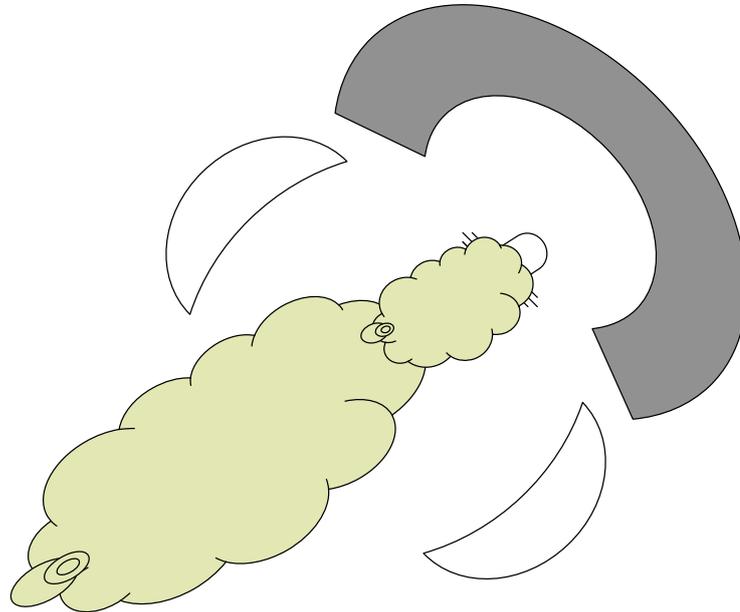


FIGURE 3.6 – Vue d'en haut : Place de l'observateur par rapport à l'individu scanné. En gris foncé, les zones à ne pas bloquer pour le déplacement de la brebis ; en blanc, les positions autorisées.

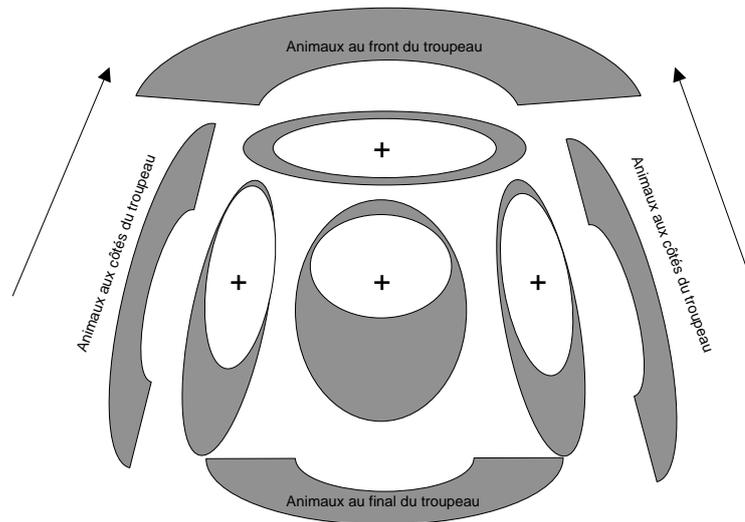


FIGURE 3.7 – Placement de l'observateur par rapport au troupeau pour l'observation directe de l'ingestion. En blanc, avec signe "+", les positions autorisées pour l'observation de l'ingestion ; en couleur gris foncé, l'étendue du troupeau. Les flèches indiquent la direction du déplacement-pâturage.

et choix d'un autre, ont été : lorsqu'il y a une interférence dans la visibilité de l'observation (les brebis se masquent l'une l'autre); lorsque la brebis scannée effectue un déplacement sans prise de nourriture durant plus de 15 secondes. La séquence n'est pas interrompue, ni par un changement de catégorie de prises alimentaires, ni par un changement de faciès de végétation, et le nombre de séquences à effectuer durant un repas ou une journée n'est pas défini d'avance.

3.2.3 La grille de codage de prises alimentaires adaptée aux ovins en steppe de Crau

Nous avons ajusté la grille de codage des catégories de prises alimentaires développée par [Agreil et Meuret \(2004\)](#), afin de réussir à enregistrer les prises en discriminant visuellement leur format, masse, nature botanique des organes végétaux collectés et, pour les prises plus fréquemment observées, leur différences probables de qualité nutritive. Le premier pas vers un tel ajustement a porté sur l'identification des espèces botaniques sur lesquelles les prises sont collectées. Dans notre cas particulier, la strate arbustive étant absente, les espèces préalablement repérées sur le terrain étaient constituées principalement de très diverses dicotylédones de petit format, de brachypode rameux et d'un ensemble de graminées autres que le brachypode.

Des observations effectuées pendant la phase d'accoutumance réciproque nous ont permis de nous rendre compte de la difficulté de la tâche pour l'identification des espèces botaniques prélevées, à cause de la fréquence avec laquelle les brebis enchaînent les prises des diverses plantes de la Crau. Ces observations nous ont montré que les brebis ingèrent souvent plusieurs espèces différentes en quelques dizaines de secondes. L'identification s'avère donc très difficile pour classer de manière précise telle ou telle espèce botanique, surtout lorsqu'elles sont très similaires en structure, comme c'est le cas des dicotylédones annuelles de petit format. En conséquence, nous avons décidé d'opter pour regrouper dans le même type "botanique" des plantes d'espèces physionomiquement très proches, de telle sorte que, lorsque nous faisons référence aux types de plantes, nous faisons en réalité référence à des groupes d'espèces botaniques de format et physionomie analogues.

Grâce à l'utilisation de notre grille de codage, il nous a été possible d'identifier la forme prédominante de brachypode disponible dans le tapis végétal situé sous les pieds des brebis observées. Le type de morphe prélevé était nommé chaque fois que la brebis changeait de forme de brachypode collecté.

Une fois cette première étape achevée, nous avons procédé à l'identification des différentes catégories de prises sur la base de la nature et du format des organes végétaux sectionnés. Pour cela, nous avons suivi la recommandation d'[Agreil \(2003\)](#) de ne pas distinguer systématiquement les prises effectuées sur des espèces végétales distinctes, mais de chercher en revanche les similarités dans la physionomie entre espèces afin de minimiser le nombre des codes de catégories. Les codes ainsi élaborés nous ont permis de décrire en temps réel toutes les "plante-prises" observées avec chacune des brebis scannées. Une "plante-prise" est une catégorie de prise alimentaire qui résulte du croisement que nous avons fait entre l'espèce botanique sélectionnée et la structure de la prise sur cette espèce. Pour une espèce botanique donnée, il y a souvent plusieurs "plante-prises" réalisables, et ceci surtout si la structure de ce végétal offre à la brebis la possibilité de saisir ses organes comestibles de di-

verses façons : juste une feuille ou deux, une brassé de feuilles, avec ou sans des portions de tiges, juste l'épis sans les feuilles, etc. A l'inverse, des espèces botaniques distinctes, mais de structure et stade de développement très similaires (exemple, des graminées à feuilles larges et en touffe) offrent généralement la même gamme de "plante-prises" réalisables. Dans le cas des petites dicotylédones, cette gamme est limitée à une ou deux "plante-prises" tout au plus.

L'ajustement de notre grille de codage des prises alimentaires a été réalisé sur les mêmes places de coussouls où l'observation de l'ingestion devait être mise en œuvre. En cours de saison de pâturage, nous avons eu à ajouter des codes nouveaux par rapport à ceux répertoriés au début de saison, cela en raison des changements faisant suite à la croissance de la végétation. Nous avons également tenu compte de la faisabilité pour enregistrer les codes des plante-prises en temps réel : nécessité de dicter les différents codes avec parfois une fréquence de l'ordre de 110 mots (codes) par minute. Dans ce cas, la facilité à dicter des codes par un hispanophone a été soigneusement examinée.

Notre grille de lecture des formes de brachypode (voir figure 3.8) a été ajustée. Nous avons eu à la simplifier, car l'appréciation de la verdeur de tout l'ensemble du plant de brachypode selon une échelle de 1 (jaune) à 4 (très vert) n'a pas été très faisable pour la repérer en même temps que les autres indicateurs (forme principale des feuilles, distributions des organes verts, densité de la plante, hauteur). Moins faisable encore si l'on considère la fréquence avec laquelle les brebis enchaînent la prise des diverses plantes en Crau. En ce qui concerne le nombre de tiges par prise, nous avons trouvé des plantes denses pour tous les types de morphes observées.

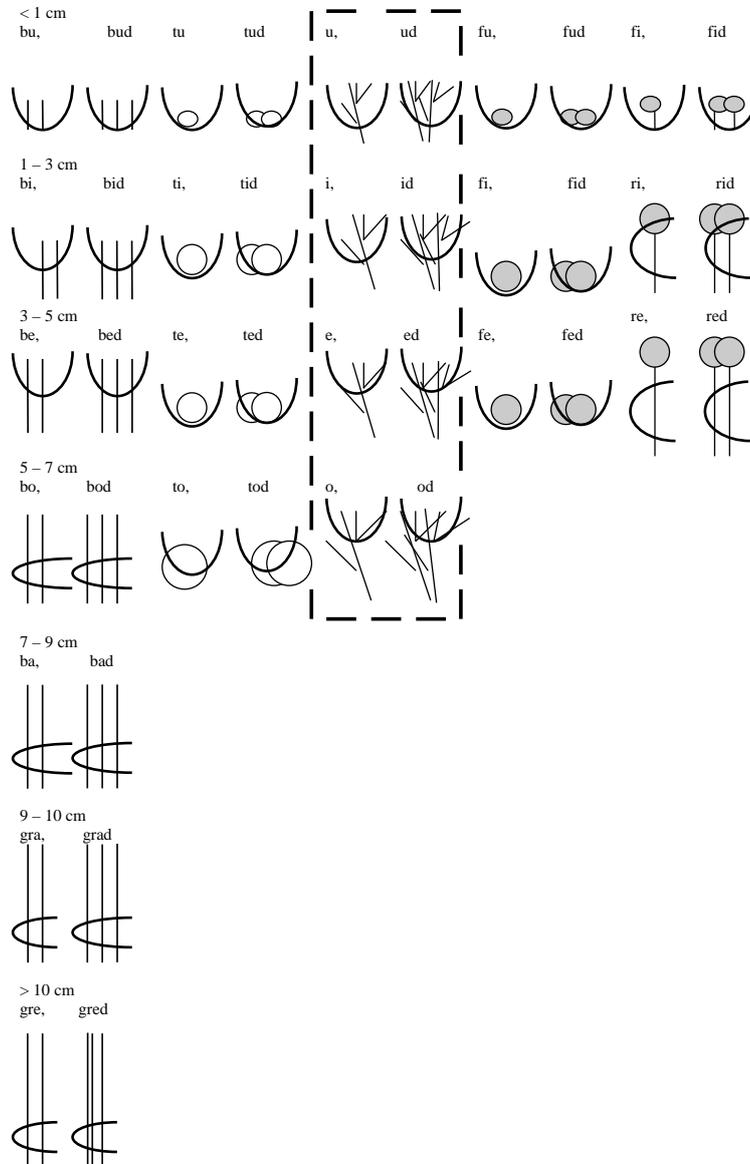


FIGURE 3.8 – Grille de codage des prises alimentaires utilisée pour l’observation directe de l’ingestion en Crau. Les 42 codes sont alignés par taille (exprimée en cm.) d’organes de plantes prélevés par la brebis ; les symboles représentent :

- U = mâchoire de la brebis lors des prises par les parties supérieures des plantes
- U de côté = mâchoires de la brebis lors des prises par les parties latérales des plantes
- Lignes verticales = graminées ou feuilles longues en deux densités
- Lignes transversales = rameaux ou plantes à petites branches en deux densités
- Cercles blancs = feuilles oblongues en deux densités
- Cercles ombrés = fleurs en deux densités
- Cercles ombrés avec lignes verticales = une ou plusieurs fleurs
- Bloc encadré par des lignes pointillées = les plante-prises issues des morphes de brachypode

3.2.4 La technique des simulations manuelles : l'échantillonnage pour la détermination de la masse et de la qualité des prises alimentaires

Tous les codes de prises alimentaires répertoriés sur les plantes (ou groupes botaniques d'espèces) ont été simulés manuellement par l'observateur pendant les jours suivants les journées d'observation. La technique de collecte manuelle, c'est-à-dire la façon dont les divers organes végétaux sont sectionnés par l'observateur, simule la manière de saisir les "plante-prises" observées chez les brebis.

Étant donnée l'absence de strate arbustive, les portions de plantes ont été pincées pour la plupart des prises de brebis entre le bourrelet gingival supérieur et les incisives inférieures. Ces portions de plantes ont été sectionnées par un mouvement de tête qui produit souvent un bruit caractéristique au moment de la prise. Le niveau de la plante auquel le pincement est effectué varie selon le type de prise : depuis les parties sommitales dans le cas des petites graminées, jusqu'au niveau de la base de la plante, au-dessus des tiges très fibreuses. Dans tous les cas, les simulations ont été effectuées par l'observateur en pinçant les portions de plantes entre son pouce et un couteau mal aiguisé (voir photographies 3.9).

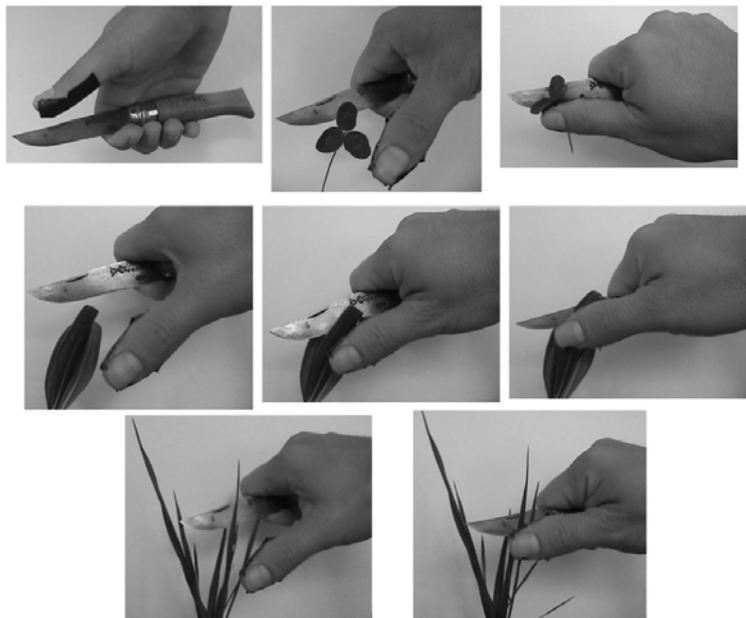


FIGURE 3.9 – Technique manuelle de la simulation des prises alimentaires.

Le nombre de simulations effectuées pour chaque type de plante-prise a varié selon leur fréquence d'observation. Les types de plante-prises les plus fréquemment utilisées par les brebis ont été simulées un plus grand nombre de fois. Les échantillons obtenus à partir de ces simulations nous ont permis d'estimer la masse moyenne de chaque type de plante-prise. Pour les plante-prises plus fréquemment utilisées par les brebis, leur qualité nutritive a été analysée par spectrométrie dans le proche infrarouge, comme nous le décrivons à la section suivante.

3.2.5 La spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) pour la détermination de la qualité nutritive.

Pour ce qui concerne l'analyse des échantillons de plante-prises pour la détermination de la qualité nutritive, nous avons choisi d'utiliser la méthode du SPIR (spectrométrie dans le proche infrarouge) qui est une technique rapide, peu onéreuse, non destructive et ne nécessitant pas une grande quantité de matière (1 gramme de matière sèche suffit, contrastant avec les 15 g de MS que nécessitent les analyses "labo" par voie gravimétrique plus conventionnelles). À l'heure actuelle, le SPIR est couramment utilisé comme routine d'analyse d'une large gamme de matières premières végétales, mais aussi de matières fécales (Sinnaeve et al., 1994) permettant l'estimation de leurs principales caractéristiques biochimiques et digestibilité (Williams et Norris, 1990).

La base de cette méthode repose sur la comparaison du spectre de réflectance, mesuré dans le proche infrarouge, avec celui d'échantillons de références dont la composition est connue. En conséquence, la fiabilité d'une telle prédiction dépend de deux facteurs. Le premier est la similitude des échantillons prédits avec ceux de référence. Le deuxième facteur est l'effort que les utilisateurs sont prêts à fournir pour apporter un grand nombre d'échantillons de référence. La mesure du spectre de réflectance dans le proche infrarouge est réalisée pour tous les échantillons, échantillons de référence et échantillons à prédire. Elle consiste en un éclairage successif par des rayonnements monochromatiques compris entre 1100 et 2500 nm. L'intensité de la lumière réfléchiée par l'échantillon est détectée et quantifiée en unité de réflectance (R). L'ensemble des valeurs obtenues est généralement représenté graphiquement en logarithme inverse : c'est le spectre d'absorbance de l'échantillon (Williams et Norris, 1990).

Ensuite, la calibration de la prédiction est effectuée. Pour cela, une relation est bâtie entre la structure des spectres de réflectance des échantillons et leur teneur en constituants biochimiques. Pour notre cas, les prédictions obtenues ont été issues de la base de calibration disponible au sein de l'équipe de Didier Stilmant du Centre Wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W) Section Systèmes Agricoles, situé à Gembloux en Belgique. La relation entre les spectres de réflectance et leur teneur en constituants biochimiques est construite à l'aide des procédures statistiques multilinéaires (Shenk et Westerhaus, 1991). Parmi ces procédures, la MPLS (modified partial least square) a été, dès 1990, amplement répandue grâce à un meilleur gain de précision par rapport à la procédure MSR (multiple stepwise regression) antérieurement utilisée (Dardenne, 1990), (Meuret et al., 1993). La performance des modèles prédictifs est estimée par l'évaluation de l'étroitesse et de la précision de la relation entre les valeurs de référence issues d'analyses chimiques classiques et les prédictions à partir du spectre infrarouge. Dans notre cas les échantillons ont été testés par la procédure de calibration MPLS utilisée au CRA-W et prédéfinie au sein du logiciel ISI (infrasoftware international) (Shenk et Westerhaus, 1991)

La méthode pour le conditionnement des échantillons que nous avons utilisée est la même que celle utilisée en routine dans le traitement de ce type d'analyse dans les diverses recherches menées au sein de l'unité Écodéveloppement de l'Inra. Ce protocole a pour but de limiter les effets de la procédure de conditionnement sur la mesure optique effectuée dans le SPIR. Elle est issue de celle proposée par Meuret (1989) :

- Collecte des échantillons contenant 20 simulations chacun. Placement de ces échantillons en sachets papier et conservation en glacière passive une heure maximum après le prélève-

ment. Ensuite, congélation rapide à -30 °C

- Séchage en étuve ventilé à 55 °C, en ajustant pour chaque échantillon la durée de séchage pour éviter de dénaturer par surchauffe la qualité de la matière végétale.
- Pesage de la matière sèche et broyage au tamis de 1mm (broyeur Cyclotec TM 1093- Foss Tecator). Envoi au laboratoire pour la mesure de la réflexion dans le proche infrarouge (Nirs-System 6000)

Les constituants prédits et les méthodes utilisées pour les analyses fourragères conventionnelles sont les suivants :

- Matière sèche (MS) : Méthode gravimétrique basée sur le séchage de 5g de matière fraîche à 103 °C pendant 4h.
- Cendres totales (CT) : Méthode gravimétrique basée sur l'incinération de 5g de matière fraîche à 550 °C pendant 3h.
- Matières protéiques totales (MPT) : Méthode Kjeldahl adaptée pour le système Kjeltec TM
- Profil de fibres : Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF) et Acid Detergent Lignin (ADL) selon la méthode décrite par [Van Soest \(1982\)](#) puis [Van Soest et Robertson \(1985\)](#), adaptée pour le system Fibertec TM.
- Digestibilité de la matière sèche (dMS) : selon la méthode décrite par [Aufrère, J. \(1982\)](#).

3.2.6 Entretiens avec des bergers et enregistrement de leurs manœuvres et des activités du troupeau.

Il ne s'agit pas d'entretiens menés avec la totalité des bergers de Crau (car il y en a bien une trentaine) mais avec une demi-douzaine devenus experts dans le pâturage de coussouls et bien disposés à discuter avec des scientifiques.

Nous avons choisi la méthode de l'entretien compréhensif [Kaufmann \(1996\)](#), validée et utilisée couramment dans les recherches de l'Inra Écodéveloppement. Cette méthode a notamment été utilisée pour effectuer des enquêtes socio-techniques en élevage ([Bonnaud, 1997](#); [Golée, 2002](#); [Débit, 2005](#)).

Avec cette méthode, il nous est possible de saisir le savoir incorporé par les individus : "il suffit de faire preuve de curiosité et d'empathie pour le découvrir". La méthode consiste à déclencher une dynamique de conversation entre l'enquêteur et l'interlocuteur. Cela résulte en un dispositif plus souple que les questionnaires fermés et permet d'approfondir les sujets d'intérêt autant de la part de l'enquêteur que de l'interlocuteur. L'entretien est soigneusement préparé et la conversation orientée à l'aide de questions types comme une aide pour l'enquêteur. Ces dernières sont organisées par thèmes pour constituer des fiches, véritables stratégies pour conduire l'entretien. Il est ainsi pris en compte :

- Les sujets à aborder pendant l'entretien, définis au préalable et en fonction de l'interlocuteur auquel on s'adresse ;
- Les niveaux de langage à utiliser selon le statut de l'interlocuteur ;
- Des questions "de base" pour lancer la conversation, tout comme des "questions de relance" si la discussion s'enlise, de "recadrage" si elle se disperse et de "réorientation" lorsqu'il est temps de changer de sujet.

Il est important de souligner que l'entretien compréhensif implique que l'enquêteur s'abstienne de poser des questions directes pré-rédigées pour laisser place à une discussion

orientée. Cette méthode présente l'avantage de la souplesse, mais une certaine réactivité de la part de l'enquêteur s'avère nécessaire.

Le statut de l'enquêteur, ainsi que la manière dont l'interlocuteur perçoit l'enquêteur, peut favoriser ou non l'entretien. Il est donc important que l'enquêteur prenne garde à se présenter et à bien exposer les raisons qui motivent les questions à aborder. Des pré-entretiens peuvent même être nécessaires afin d'instaurer un climat de confiance entre l'interlocuteur et l'enquêteur. Il est également important d'expliquer les objectifs de l'entretien. Avec le consentement de l'interlocuteur, l'entretien est enregistré, ce qui permet à l'enquêteur de se concentrer sur le déroulement de l'entretien. Ceci ne le dispense pas de prendre des notes tout en lui assurant une analyse postérieure facilitée par l'enregistrement.

Comme pour les documents écrits, l'analyse des dialogues est effectuée pour chaque interlocuteur en tenant compte des thèmes retenus pour l'enquête et des objectifs généraux de l'étude.

Nous avons donc utilisé la méthode de l'entretien compréhensif pour obtenir des informations concernant la description que font les bergers de la végétation des coussouls. Une attention particulière a été mise sur les différentes formes de brachypode qu'il était possible de repérer lorsqu'on est berger.

Pour alimenter notre objectif d'associer les actions du berger au comportement d'ingestion instantanée observé chez les brebis, l'observation directe et l'enregistrement des manœuvres des bergers s'est avérée également incontournable. Cependant, nous n'avons pas pu disposer d'observateurs supplémentaires pour cette tâche. Je n'ai donc dû compter que sur moi-même pour les effectuer. En conséquence, nous avons choisi d'utiliser une méthode de recueil simple, complètement faisable pour un observateur immergé dans le troupeau et dont le principal objectif est l'observation de l'ingestion des brebis. Cette méthode repose sur l'enregistrement du circuit quotidien de pâturage du troupeau sur une carte représentant la place de pâturage. Le circuit est dessiné sur la carte au fur et à mesure de la journée.

Notre méthode comporte également l'enregistrement audio de la description des actions du berger. Celles-ci sont relevées en temps réel au fur et à mesure du déplacement du berger et de son troupeau. Trois types d'informations ont été ainsi enregistrés :

Concernant le berger, son action plus ou moins directe sur le troupeau, en incluant une description (parfois sur papier ou sur audio) de sa position par rapport à celle du troupeau, la distance à laquelle il se positionne, si sa position bloque le déplacement du troupeau, si le berger effectue avec ou sans l'aide de son chien des changements sur la direction de déplacement du troupeau, si le berger quitte le troupeau, et enfin, toute action du berger qui produit des réactions plus ou moins visibles pour l'observateur qui suit prioritairement l'ingestion des brebis par la méthode du *scan sampling*. L'objectif est d'enregistrer autant d'actions qu'il est possible de repérer pour un observateur très immergé dans le troupeau, même si le traitement a posteriori de cette information est très exigeant en temps.

En ce qui concerne le troupeau, nous avons également procédé par *scan sampling* (entre nos mesures de l'ingestion individuelle), en notant la répartition de la majorité des individus du troupeau selon trois types d'activités :

- Déplacement : lorsque la plupart des brebis se déplacent la tête en haut et souvent en petites files indiennes (des "rails", comme disent les bergers), soit de leur propre initiative,

comme réaction à une manœuvre du berger, soit par un facteur externe à la volonté du berger, comme son chien non maîtrisé ou d'autres effets (par exemple lorsque le troupeau est vivement attiré par des petites flaques d'eau apparues après une pluie).

- Pâturage : lorsque les brebis (la grande majorité du troupeau) ne bougent pas, elles mangent tout en restant sur une même zone. Nous étions sûrs de ne pas avoir à observer beaucoup ce type de pâturage, parce qu'en Crau "les brebis bougent tout le temps en mangeant" disent les bergers

- Pâturage-déplacement : lorsque les brebis pâturent et se déplacent en même temps, ce qui est le cas le plus courant en Crau

Quant à la végétation parcourue pendant le circuit, nous avons noté à chaque moment de *scan sampling* les faciès ("fin", "panaché 1" ou "panaché 2") utilisés par la majorité du troupeau. Ceci était complété par des notes aux moments où la majorité du troupeau changeait visiblement de faciès. Le tout était cartographié et horodaté en cours de circuit sur un fond de carte (photo aérienne avec les faciès de végétation du coussoul) préparé pour l'occasion, ou bien, et notamment en cas de forte intempéries (pluie et vent violent), par dictée sur magnétophone et à reporter ensuite sur carte au laboratoire.

3.3 Expériences dans la mise en œuvre du dispositif expérimental sur le terrain

Le dispositif que nous avons construit comportait le travail d'observation de l'ingestion et des actions des bergers sur trois sites d'observation correspondant à une place de coussoul "fin" (proportion majoritaire des plaques de dicotylédones) et deux places de coussouls "panachés" (proportion équilibrée de plaques de dicotylédones et de brachypode). Nous avons envisagé de lancer la phase d'accoutumance des troupeaux tout de suite après la vérification de la stabilité du trio coussoul-berger-troupeau requise dans notre protocole. En même temps que ce travail d'accoutumance sur trois troupeaux, la grille de codage des prises alimentaires devait être mise au point. Une fois achevée la phase d'accoutumance, la phase d'observation des troupeaux/bergers a pu être effectuée en même temps que l'échantillonnage par simulation manuelle pour la détermination de la masse et de la qualité nutritionnelle des prises alimentaires. Tout ce travail a demandé une forte organisation, car il ne pouvait être exécuté que par une seule personne. Or, de multiples contraintes non prévues au départ sont apparues et le dispositif de recherche a ainsi dû être ajusté, ce que je vais décrire dans cette section sous la forme d'un retour d'expérience.

Tout d'abord, je dois avouer ma position initiale un tant soit peu sceptique devant la nécessité de réussir à mettre en œuvre un dispositif exigeant, à moi zootechnicien de formation dans des systèmes conventionnels (fourrages de culture) en production ovine, la mise en œuvre de méthodes plutôt liées au domaine pastoral, et qui ne peuvent être acquises autrement que par la pratique. Pour cela, je remercie énormément les bergers Roger MINARD et Jean-Marie GAUTIER qui m'ont accueilli sur leurs places d'estive respectives en alpage durant l'été 2007 : les montagnes de Malrif et de Ricou. L'expérience acquise pendant ce bref mais très riche séjour m'a beaucoup aidé, notamment au moment de me confronter à l'accoutumance des troupeaux. Cependant, la première difficulté que j'ai rencontrée a correspondu au choix des sites d'observation, ce que je décris maintenant.

3.3.1 Critères initiaux trop rigides pour le choix des sites d'observation

La toute première difficulté a concerné la stabilité inter-annuelle requise pour ce qui concerne le trio coussoul-berger-troupeau. En effet, nous avons considéré au départ une place de coussoul comme site probable d'observation uniquement si la place en question remplissait notre condition de stabilité : une place doit avoir été utilisée par le même berger pendant les trois dernières années et avec les mêmes troupeaux. Malheureusement, sur les places ayant la stabilité requise, le type de végétation (coussouls "fins" ou "panachés"), l'intérêt des éleveurs propriétaires des troupeaux gardés, l'intérêt des bergers à collaborer à mon étude, ou la conformation des troupeaux, empêchaient de les retenir comme sites probables d'observation. La rotation dans l'embauche des bergers par les éleveurs n'est pas négligeable non plus. En conséquence, j'ai dû réduire à seulement deux années l'ancienneté requise du trio coussoul-berger-troupeau. Au départ de mon enquête, j'étais parti d'une liste de plus de vingt bergers pour finalement n'en retenir que six, même si leur stabilité était de deux années. Pour certains, c'était la première année dans le coussoul en question ; en revanche, ils avaient acquis de l'expérience sur plusieurs années dans des coussouls similaires.

3.3.2 Une phase d'accoutumance réciproque compliquée

Étant donné que nous étions les tous premiers à essayer de mettre en œuvre un suivi de l'ingestion instantanée par observation directe dans des troupeaux ovins comportant plus de 1.000 individus, ma crainte principale était de ne pas arriver à réussir la phase d'accoutumance réciproque entre troupeau et observateur, ou que celle-ci soit nettement plus longue que prévu au départ. Dans la pratique, j'ai dû abandonner cette phase après quatre semaines de travail dans un troupeau initialement constitué de 1.400 brebis. D'abord, l'échec a été provoqué par le fait que la distance la plus proche que j'ai réussi obtenir pour pouvoir observer les brebis a été de 2,5 à 3 mètres. Lorsque, après quatre semaines de travail, j'ai péniblement réussi à réduire cette distance jusqu'à 1,5 à 2 mètres, je n'ai pas pu maintenir l'observation sur un même individu au-delà d'une minute et demi, voire deux minutes. Particulièrement pour ce troupeau, le type de "garde à distance" pratiqué par le berger a exacerbé le caractère des brebis déjà assez farouches se retrouvant face à un humain étranger. Pire encore, après quatre semaines de travail, l'arrivée de 300 agnelles supplémentaires, et qui ne me connaissaient aucunement, a compliqué sérieusement l'accoutumance.

En ce qui concerne l'accoutumance réciproque avec les deux autres troupeaux, les complications ont été surmontées et l'accoutumance réussie. Le retour de mes expériences issues de la mise en œuvre de cette phase est le suivant :

- L'accoutumance a pris de trois à quatre semaines. Elle s'est déroulée entre la fin du mois de février et la fin du mois de mars. Le mois de mars a été très froid avec beaucoup de Mistral, ce qui rend très farouche le troupeau ; celui-ci ne fait alors que marcher très rapidement et j'ai eu du mal, même pour suivre les brebis à leur rythme
- En plus, d'après le berger, en mars il n'y a pas grand-chose à pâturer pour le troupeau. En effet, à cette époque, la végétation apparaît encore très sèche et il est nécessaire au brebis de beaucoup rechercher et trier les portions de plantes restées appétentes. La conséquence a été que la plupart des individus ont été très souvent incommodés par ma présence en cours de pâturage

- Les troupeaux de très grande taille, au-delà de 1.500 brebis, m'ont rendu la tâche difficile pour faire que chaque brebis se souvienne de moi.
- Lorsque le berger "garde à distance" (et parfois à la jumelle), en se tenant fréquemment à plusieurs dizaines de mètres, voir même 100 ou 150 mètres, du flanc ou du front du troupeau, cela donne comme résultat que les brebis réagissent de façon nettement plus craintive à la présence rapprochée et inhabituelle d'un observateur.
- Pour ce qui concerne le cas du troupeau non retenu pour mes observations, l'addition d'un lot de 300 agnelles a mis fin subitement à la période d'accoutumance. Certaines brebis venaient des prairies humides et, pour elles, c'était la première fois qu'elles entraient en contact avec un coussoul et sa diversité de végétation. Une conséquence de ce mouvement de brebis est qu'un tiers de l'effectif a essayé de rester groupé, de ne pas se mélanger avec le reste du troupeau. Enfin, l'apprentissage de la végétation du coussoul chez ces nouveaux animaux ajoutait une lourde contrainte pour parvenir à les habituer à la présence d'un observateur.
- Les troupeaux ont été tondus à la fin mars, et j'ai pu constater qu'après avoir été tondus ils étaient plus nerveux que d'habitude dans les jours qui suivaient la tonte.
- La présence de chiens "Patous" (grands bergers des Pyrénées) au sein des troupeaux. Étant donné que la principale fonction de ce type de chien consiste à éloigner violemment toute personne étrangère du troupeau, il m'a été nécessaire de prendre dans certains cas des journées de travail exclusivement dédiées à habituer le chien de protection à ma présence. Ce travail a demandé beaucoup de patience, de la part de l'observateur qui peut parfois risquer d'être mordu, et aussi de la part du berger qui doit supporter un peu de dérangement de son troupeau.

3.3.3 La place de coussoul "fin" n'a pas pu en fin de compte être utilisée

Au printemps 2008, le démarrage de la saison de pâturage dans les coussouls de Crau a été difficile en raison du manque de végétation disponible pour les troupeaux. En effet, dans le coussoul "fin", la caractéristique principale est une plus grande proportion de zones avec une végétation constituée de dicotylédones et de graminées autres que le brachypode. Au départ de la saison de pâturage en Crau, et jusqu'à fin mars, ces deux groupes de végétation n'avaient pas encore poussé. En conséquence, plusieurs éleveurs disposant de places de pâturage considérées "fines" ont été obligés de distribuer des balles de foin de faible qualité pour compléter l'alimentation. Certains ont eu à trouver d'autres surfaces dans les environs immédiats de la Crau sèche, faisant office de "soupade" (friches ou sous-bois à pâturer en fin de circuit). Cependant, pour d'autres éleveurs, la situation est devenue tellement critique qu'ils ont été obligés de sortir le troupeau du coussoul pour aller le faire pâturer sur des surfaces disponibles ailleurs. Ceci a été le cas pour le troupeau sur une place de coussoul "fin" que nous avons choisie pour nos observations (voir table 3.2).

La situation a été similaire pour tous les autres coussouls que nous avons identifiés comme "fins". En ce qui concerne notre coussoul "fin" candidat, la date pour y ramener le troupeau plus tard en saison était, aux dires des éleveurs, trop incertaine. J'ai donc abandonné le projet de travailler sur des coussouls "fins", et je me suis focalisé sur les deux places de coussoul "panachés", comportant chacun des zones de faciès "fins".

En fin de compte, les troupeaux ont été rentrés sur coussouls fins très en avance pour la saison (à mi-avril). Dans les deux coussouls fins qui auraient pu être candidats, les éleveurs ont en réalité augmenté le nombre de brebis mises à pâturer, ceci afin de profiter de

l'abondante végétation. Ces troupeaux ont alors été constitués de 1.500 et 2.300 animaux, ce qui rendait très difficile le déroulement de la phase d'accoutumance réciproque. J'ai cherché d'autres coussouls "fins" pour effectuer mes observations, mais sans résultats (voir table 3.2).

3.3.4 Concernant les difficultés rencontrées pour les observations

Je ne vais décrire ici que les principales difficultés rencontrées. Mais la persistance et la patience, et également les précieux conseils apportés par les bergers qui ont conduits les troupeaux observés, ont fini par payer.

La surface du sol dans la Crau sèche est recouverte par des galets de 5 à 30 centimètres de diamètre environ. Témoins de l'ancien delta de la Durance, ces galets permettent de maintenir l'humidité pour la végétation et la protègent dans une certaine mesure du dessèchement occasionné par le Mistral. Par contre, cette couverture de galets s'avère très gênante pour l'observateur qui, contrairement aux bergers, doit la plupart du temps réussir à marcher sans regarder où il met ses pieds car il est obligé de fixer des yeux la bouche de la brebis suivie et les plantes qu'elle choisit d'ingérer. La manœuvre peut rapidement s'avérer risquée pour la santé des chevilles de l'observateur, particulièrement lorsque l'humidité rend les galets glissants. Pour contourner cette difficulté, je me suis équipé d'une bonne paire de chaussures comme celles qu'utilisent les bergers et, finalement, l'entraînement pendant les journées d'observation m'a habitué à cette pratique. J'ai accompli le travail d'observation avec seulement quelques sessions de kinésithérapie dans les mois suivants, nécessaires pour corriger certains dégâts occasionnés à mes chevilles et à mes pieds.

En ce qui concerne l'observation des manœuvres du berger, notre dispositif était particulièrement conçu pour être mis en pratique par un observateur immergé dans le troupeau et pour qui la priorité devait être l'observation de l'ingestion par des individus scannés. Malgré le soin pris pour la faisabilité par une seule personne, cette activité s'est montrée assez délicate à réaliser sur le terrain. L'observation des "plante-prises" collectées par la brebis suivie, l'observation du faciès utilisé par la brebis tout comme par le troupeau, l'observation de l'activité de la plupart des brebis, l'enregistrement des actions du berger et, enfin, l'enregistrement de la position du troupeau et du berger, tout cela a été difficile à enregistrer par un unique observateur. La pratique, après quelques jours d'entraînement, m'a toutefois permis de réussir dans cette tâche. Par contre, deux journées d'observation sur dix-neuf ont dû être éliminées.

Des facteurs externes au troupeau, comme les avions qui survolent bruyamment la réserve naturelle de la Crau (des zones militaires se trouvant à l'intérieur de la réserve) et qui font peur aux brebis, mais aussi la très grande fréquence du Mistral avec des vents entre 70 et 90 kilomètres/heure, et des orages, ont été à l'origine de plusieurs séquences d'observation interrompues et de données éliminées.

Le travail d'accoutumance réciproque, l'observation de l'ingestion et l'échantillonnage pour la détermination de la masse ont dû être faites par une seule personne. Sauf pour la première, les deux autres tâches doivent être accomplies de manière simultanée, de telle sorte que la charge de travail faisable est largement comblée. Finalement, pour conclure cette partie, je veux insister sur le grand effort qui m'a été demandé pour accomplir l'observation de ces grands troupeaux de Crau, parcourant entre 10 et 14 kilomètres par jour (en marchant

3.3. Expériences dans la mise en œuvre du dispositif expérimental sur le terrain

entre les galets) et en considérant que l'observateur doit se déplacer beaucoup plus que la plupart des brebis et même que le berger, ce qui est très fatigant.

Toutes ces difficultés ont été décrites à la manière d'un retour d'expérience, avec pour seul but d'être utiles pour d'autres que moi qui seraient intéressés dans l'observation in situ des comportements de troupeaux de grande taille en steppe de Crau. Vu les résultats obtenus (voir chapitre suivant), je crois pouvoir affirmer que mes données sont à considérer comme fiables. Inédites à ce jour, elles ont été délicates à obtenir, vu les conditions d'observation peu confortables.

Coussoul 1	Coussoul 2	Coussoul 3
3 ^e semaine de février, Coussoul fin "Terme Blanc". Accoutumance sans problème, par contre le troupeau, faute d'herbe, est amené ailleurs. Alors changement au troupeau du "Colibris"	2 ^e semaine de février, Coussoul panaché "Grand Carton". La bergère prévue initialement ne gardera pas cette saison, changement au troupeau du "Ventillon"	3 ^e semaine de février, Coussoul panaché "Petit Carton". Faute d'herbe, le troupeau n'est pas encore entré en coussoul, la date est très incertaine, alors changement au coussoul de "Redorcarmin"
1 ^e semaine de mars, accoutumance du troupeau de "Colibris" sans problème, d'abord dans le sous-bois, puis dans le coussoul	2 ^e semaine de février. Troupeau du "Ventillon", accoutumance sans avance. Après trois semaines et quelques jours, retour au Grand Carton car le nouveau berger a gardé dans des Coussouls similaires	1 ^e semaine de mars, accoutumance sans problème au "Redorcarmin"
2 ^e semaine de mars, Coussoul "Colibris". Faute d'herbe, le troupeau est amené ailleurs	2 ^e semaine de mars, Coussoul "Grand Carton". Accoutumance sans problème	2 ^e semaine de mars, Coussoul "Redorcarmin". Accoutumance sans problème
2 ^e semaine d'avril, Coussoul "Colibris". Le troupeau, finalement, est rentré dans le coussoul. Par contre, il a doublé le nombre de brebis (2 300 au total), abandon du coussoul fin	1 ^e semaine d'avril, Coussoul "Grand Carton". Premiers suivis de l'ingestion	3 ^e semaine d'avril, Coussoul "Redorcarmin". Premiers suivis de l'ingestion

TABLE 3.2 – Parcours accidenté pour effectuer des observations sur les coussouls "fins" et "panachés"

Chapitre 4

Résultats

4.1 Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

La structure des plantes, le comportement d'ingestion et les pratiques des bergers, sont exposés dans cette première section de résultats (4.1.) de manière relativement indépendante, chacune séparément. Leur mise en relation est présentée dans la deuxième section de résultats (4.2.).

4.1.1 Places de pâturage travaillés

Avant d'exposer la construction de jeux de données et les structures végétales, je décris succinctement ici les deux coussouls, ou "places de pâturage", où j'ai effectué mes observations (voir figures 4.1 et 4.2).

La place de pâturage nommé "Redorcarmin" est d'une surface de 100 ha. Elle est localisée à l'entrée de la partie nord de la Crau sèche. Elle est longée du côté ouest par une route qui permet l'accès des visiteurs au parcours de découverte et à l'observatoire ornithologique du coussoul de "Peu de Meau" (propriété du CEEP et du WWF), situé à environ deux kilomètres plus au sud. Au nord et à l'est de Redorcarmin, le parc de Baussenq est un site militaire de stockage d'explosifs de 320 ha hautement sécurisé (CEEP, 2009b), de sorte qu'uniquement le berger et son troupeau y sont autorisés à parcourir les abords (voir zone tampon du camp militaire à la figure 4.1). Cette place de pâturage a une forme carrée. La bergerie se trouve en dehors du coussoul, au-delà de la route, vers l'ouest. L'accès à ce coussoul s'effectue donc par la partie ouest, où se trouve le canal d'abreuvement (ou "roubine"), qui est utilisé pour faire boire le troupeau le matin à la sortie de bergerie et au soir à la rentrée. Une demi-douzaine de pistes (ou "carraires") plus ou moins larges traversent ce coussoul. Elles influent sur les déplacements du troupeau, qui a tendance à les utiliser volontiers, tout comme la roubine et ses berges. Une zone de friche, anciennes cultures, est également située au sud. Sur sol travaillé, elle est surtout composée de grosses herbes en touffes et de petits ligneux. Nous observons à la figure 4.1 les zones de faciès fin, panaché 1 et panaché 2, réparties en proportion plus ou moins équilibrées selon les secteurs de ce coussoul. Plutôt situés sur les

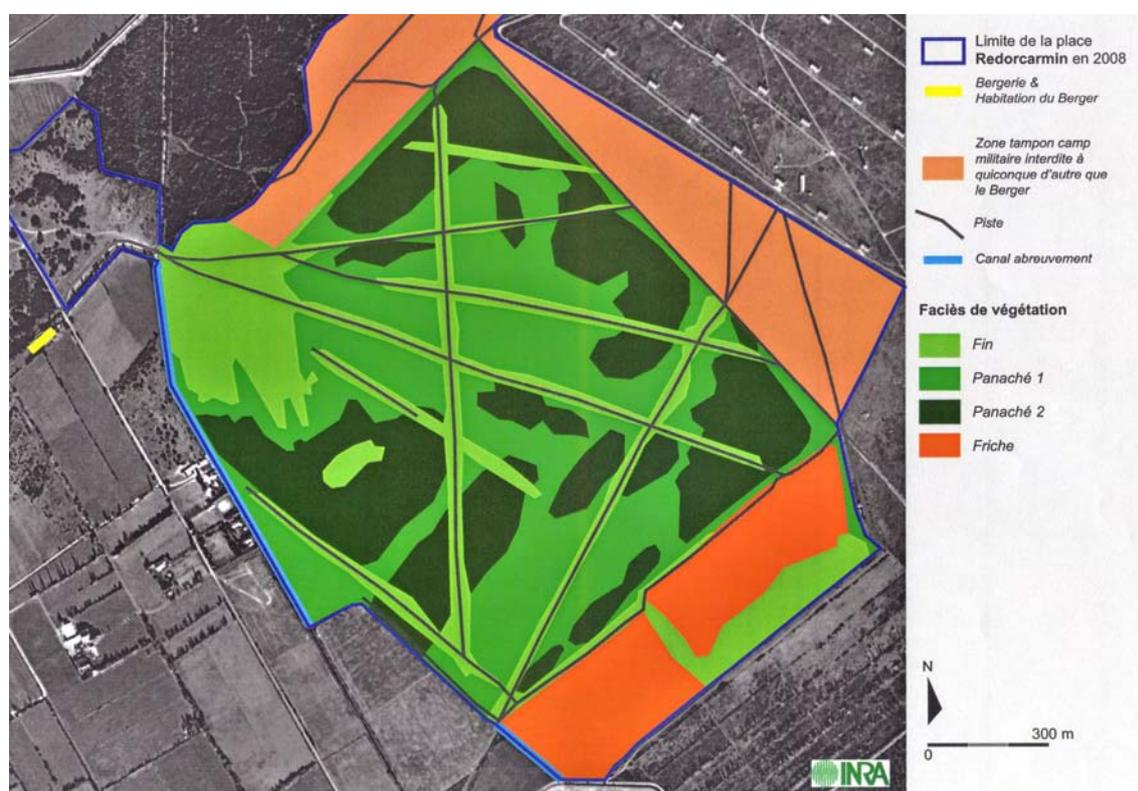


FIGURE 4.1 – Éléments constitutants de la place de pâturage "Redorcarmin" et répartition de faciès fins, panachés 1 et panachés 2.

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

bords, mais pas exclusivement, les faciès panachés 2 sont fracturés, non seulement par du panaché 1, mais aussi par du "fin", notamment en bordure des pistes. Il s'agit donc bien d'une place de pâturage globalement "panachée".

La place de pâturage nommée "Grand Carton" est d'une surface de 341 ha (voir figure 4.2).



FIGURE 4.2 – Éléments constituant de la place de pâturage "Grand Carton" et répartition de faciès fins, panachés 1 et panachés 2.

Elle est localisée sur la partie de la steppe connue comme la "Crau centrale". Elle est entourée de tous côtés par d'autres places de pâturage et elle est traversée par un canal, utilisé pour l'abreuvement du troupeau. Le canal est presque à sec à certaines périodes, ce qui ne permet de faire boire le troupeau qu'un jour sur deux. Les deux secteurs situés du côté ouest du canal, séparés par une piste nord-sud, ainsi que le grand secteur situé du côté est, comportent tous des faciès panaché 2, panaché 1 et fin. Les secteurs ou portion de secteur les moins fournis en panaché 2 sont les environs de la bergerie principale, situés au centre du coussoul, et le secteur nord-ouest le plus proche de cette bergerie et que l'on peut atteindre avec le troupeau en traversant le canal par un petit pont. Le troupeau a tendance à revenir de lui-même le soir vers la bergerie. Une ancienne bergerie, propriété du Conseil général mais non aménagée, est située à l'extrême est. Elle représente un lieu utile au berger, car elle est entourée de végétation fine, en bords de pistes, et de végétation de panaché 2. Le troupeau, habitué à ce coin, a tendance à retourner également vers cette bergerie annexe. Plus encore que le cas de la place de pâturage Redocarmin, il y a une forte mitoyenneté locale des trois catégories de faciès. Il s'agit donc bien, ici aussi, d'une place de pâturage globalement "panachée".

4.1.2 Construction des jeux de données

Nous aborderons premièrement la question de la qualité des données obtenues lors des simulations effectuées afin d'obtenir la masse moyenne (en grammes de matière sèche) de chaque type de prise alimentaire observée. Ensuite, nous décrirons les informations des séquences d'observation de l'ingestion, de même que les modalités de discrétisations des données et leurs implications. Enfin, en ce qui concerne les pratiques du berger, nous présenterons la catégorisation réalisée *a priori* ("à dire d'expert") de l'éventail des actions du berger, actions que nous avons hiérarchisées en modalités selon l'influence probable du berger sur le troupeau.

4.1.2.1 Faisabilité et répétabilité pour distinguer plusieurs types de prises alimentaires réalisées sur une même espèce

De nombreuses simulations ont été effectuées pour la détermination de la masse moyenne de chacune des "plantes-prises" observée. Le nombre total de types de plante-prises nécessaire à l'estimation de l'ingestion a été de 109 types, ce qui m'a conduit à effectuer un total de 47.312 simulations. Le matériel végétal collecté lors des simulations a été desséché selon le protocole décrit au chapitre 3, puis le poids sec de chaque échantillon a été déterminé et moyenné pour chaque type de plante-prises. Les coefficients de variation pour les masses moyennes obtenues à partir de l'ensemble des sachets de collecte comportant chacun 20 simulations consécutives (voir à la section 3.2.4) sont présentés à la figure 4.3. Ce coefficient de variation ne dépasse jamais 20 % et il reste inférieur à 15 % pour 75,2 % de plante-prises simulées, ce qui est considéré comme acceptable. Cela nous permet de considérer comme valable la répétabilité de nos simulations, réalisées par un même observateur.

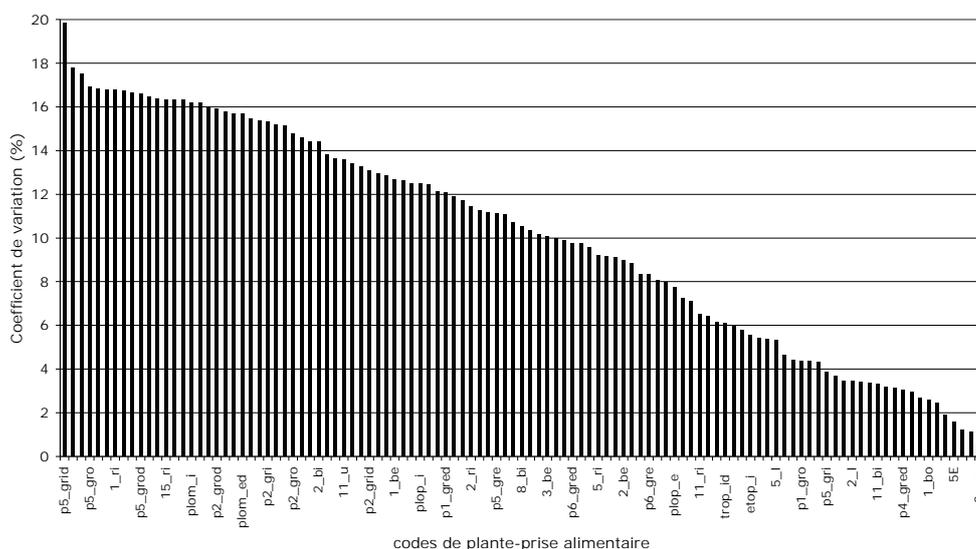


FIGURE 4.3 – Coefficients de variation des estimations de masses sèches des 109 types de plante-prises faites par regroupements en sachets de 20 simulations consécutives.

4.1.2.2 Les séquences d'ingestion observées : durée et nombre effectif.

Du 6 avril au 30 mai 2008, j'ai effectué un total de 17 journées d'observation. Pendant cette période, 8 journées se sont déroulées sur la place de pâturage nommée "Grand Carton" et 9 journées sur celle de "Redorcamin", avec 128.377 prises observées au total sur 1.195 brebis scannées différentes, chacune correspondant à une "séquence". Une "séquence" consiste donc en l'observation des prises alimentaires effectuées de manière ininterrompue par une même brebis. Pour considérer qu'une séquence est une observation valable, nous avons défini un seuil de durée minimum de 85 secondes d'observation continue. Cette valeur est issue de l'exploration des nos données (voir ci-après), mais aussi des expériences antérieures menées par (Agreil, 2003). À la figure 4.4, nous pouvons voir la répartition selon leur durée en secondes des 1.195 séquences d'ingestion observées. A la figure 4.5, nous avons l'information analogue, présentée cette fois par observations cumulées.

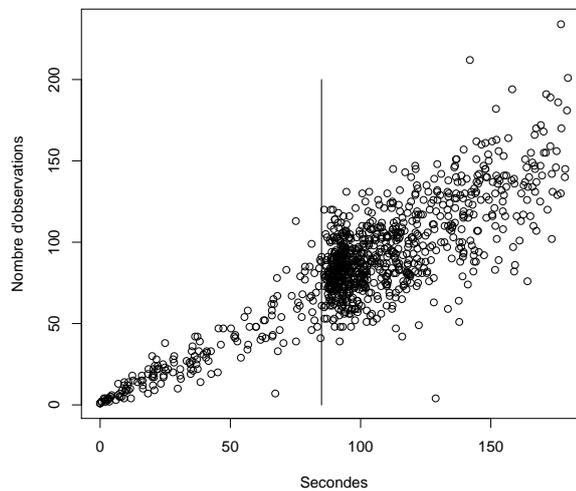


FIGURE 4.4 – Répartition selon leur durée des 1.195 séquences d'ingestion observées

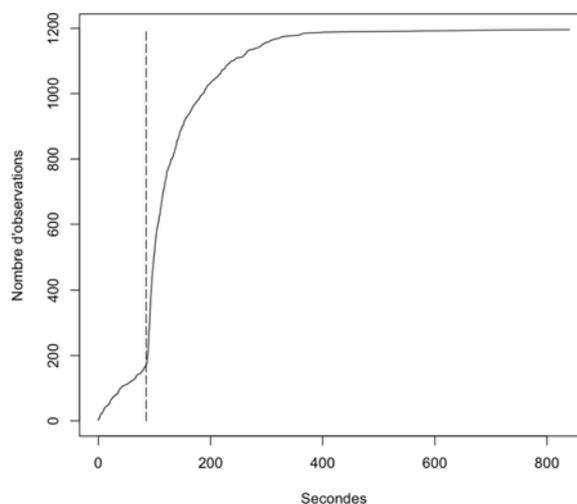


FIGURE 4.5 – Observations cumulées de la durée des 1.195 séquences d'ingestion

De ces deux graphiques (4.4 et 4.5), un seuil apparaît assez clairement, avec une plus

grande proportion de séquences au delà de 85 secondes de durée (cf. traits verticaux sur les figures).

Après avoir réalisé la condition d'une durée minimum de 85 secondes, 172 séquences ont été écartées de l'analyse. Il reste 1.023 séquences comportant 122.872 prises, dont 494 séquences ont été observées sur la place de "Grand Carton" et 529 sur celle de "Redorcamin", ce qui est proche du 50/50. La moyenne des observations effectuées par jour correspond à 4,1 % et 5,9 % de l'effectif total des brebis par troupeau, respectivement pour Grand Carton et Redorcamin. Ces séquences ont une durée de temps variable. Les causes de variation ont été en grande partie déterminées par la difficulté à suivre un même individu à l'intérieur d'un troupeau très compact et dynamique, comme c'est le cas des troupeaux Mérinos d'Arles pâturant la steppe de Crau.

Pour ce qui concerne les durées des 1.023 séquences restantes, une grande proportion a été effectuée avec une durée d'environ deux minutes, comme nous pouvons l'observer à la figure 4.6.

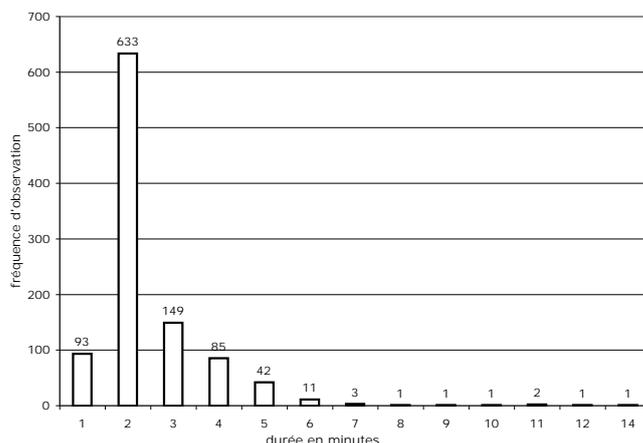


FIGURE 4.6 – Durée en minutes des 1.023 séquences d'ingestion obtenues après suppression des observations trop courtes (< 85 secondes)

Cependant, pour mieux rendre compte des processus lors de l'ingestion instantanée, et aussi pour obtenir un nombre plus important de données, nous avons été obligés de travailler à une échelle temporelle différente.

4.1.2.3 Les modalités de discrétisation des données et leurs implications

Nous avons été confrontés au problème du traitement des données du comportement d'ingestion. Celles-ci peuvent être exprimées à différentes échelles de temps. Étant donné l'objectif de la thèse, il était indispensable de réussir à lier l'information concernant le comportement d'ingestion aux données concernant la diversité des formats végétaux. Alors, quelle démarche adopter pour faire le lien entre les 1.023 séquences observées et tout l'éventail de formats repérés de plante-prises ? Et d'abord, comment nuancer l'effet sur les flux d'ingestion de la différence entre les durées des séquences, même si la plupart ont une durée autour de deux minutes ? Il a fallu alors, avant même de calculer le flux, définir une durée (en secondes ou minutes) pertinente pour exprimer le processus d'ingestion instantanée.

Nous avons ici tiré profit des expériences antérieures de l'unité de recherche Écodéveloppement de l'Inra concernant l'étude du processus d'ingestion instantanée chez les ovins, notamment à partir des expériences menées par [Agreil \(2003\)](#). Dans ce travail, la durée des observations a été déterminée comme un compromis entre des durées suffisamment courtes pour considérer différents formats de végétaux au niveau de la prise alimentaire et suffisamment longues pour exprimer les processus de fréquences de prises alimentaires (PA/min) et de flux d'ingestion (g MS/min). Nous avons ainsi choisi de diviser les séquences de durées différentes en morceaux d'une durée homogène définie à 20 secondes.

Avec cette procédure, il est évident que parfois plusieurs structures végétales sont regroupées à l'intérieur de cet intervalle. En revanche, la durée de 20 secondes permet que le processus d'ingestion instantanée soit bien exprimé par le flux d'ingestion, notamment la relation entre la masse et la fréquence des prises alimentaires, également connue comme la réponse fonctionnelle ([Spalinger et Hobbs, 1992](#)). Les données issues des 1.023 observations ont ainsi été converties en 8.272 séquences de 20 secondes. À l'intérieur de cet intervalle, il est possible de trouver différentes plante-prises. Cela aura des implications sur la façon de traiter les données afin de lier les formats de plante-prises et les flux d'ingestion calculés sur la base de 20 secondes.

4.1.3 Catégorisation des actions du berger et définition de leur niveau d'influence probable sur le troupeau

Les manœuvres du berger pour guider le troupeau pendant la journée de pâturage ont été enregistrées sur des notes papier, en décrivant littéralement à chaque fois l'action et en la positionnant sur une carte. Très tôt, nous avons été confrontés à la difficulté de la mise en forme de ces données, car il était impératif, pour tenter d'explorer les liens entre ces manœuvres réalisées sur le troupeau et le comportement d'ingestion individuel des brebis, d'exprimer les actions du berger comme des variables qualitatives.

Nous avons observé plusieurs actions effectués par les bergers pour agir sur son troupeau, par exemple lors que le berger accompagne son troupeau (voir figure [4.7](#)).



FIGURE 4.7 – Exemple d'action observée au bord d'un chemin longeant une place de coussoul. La flèche jaune indique la direction de presque tout le troupeau, la flèche verte indique la direction d'une partie des animaux en tête du troupeau, la flèche rouge indique la direction que le berger veut empêcher. Les cercles noirs indiquent les zones que le berger a ciblé pour amener le troupeau pour la suite du circuit. Le berger profite qu'il accompagne le troupeau pour se repositionner.

Pour décrire les manœuvres du berger comme des variables qualitatives, nous avons regroupé les actions observées sur le terrain en catégories de cas de figure. Une telle catégorisation, réalisée d'abord a priori et sur la base des expériences préalables à l'Inra (notamment celles de (Meuret, 1993a, 1996, 2010b)), a pu être enrichie grâce aux opinions recueillies auprès de bergers expérimentés dans le gardiennage en Crau. Nous décrivons au tableau 4.1 notre première classification des "cas de figure" ou "actions type".

Aux 11 "actions-type", nous avons attribué un des 5 niveaux d'influence probable sur le troupeau (voir petits schémas à la figure 4.8). Un niveau d'influence a été défini comme "le degré de liberté que le berger laisse au troupeau au cours du circuit de pâturage". Le niveau d'influence nul correspond à l'action "le berger reste à la bergerie" (cas qui n'a jamais été observé), le niveau d'influence faible, correspond aux actions du type "à distance", "accompagne" (comme le cas de la figure 4.7) et "laisse filer le troupeau"; le niveau moyen correspond à l'action "oriente en douceur"; le niveau fort aux actions "pousse", "attire" et "freine"; le niveau très fort, aux actions "retourne", "garde serrée" et "sortie de bergerie". Il est important de signaler que, même si nous avons affecté aux différents types d'actions des niveaux d'influence probable sur le troupeau, en revanche, ces différents niveaux d'influence ne correspondent à aucune échelle de valeurs de l'impact direct du berger sur le comportement d'ingestion des individus composant le troupeau. Autrement dit, nous considérons que le niveau d'influence des actions du berger n'est ni négatif, ni positif, sur le comportement d'ingestion observé à l'échelle des individus.

Les actions-type décrites au tableau 4.1 sont illustrés graphiquement à la figure 4.8.

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

Action	Définition du type d'action du berger	Durée	Niveau
0	Le bergerreste à la bergerie sans aucun souci vis-à-vis du troupeau	Longue à très longue	Nulle
1	Le berger se tient " à distance " et ne semble pas interagir par son attitude et/ou sa position : Cas 1. Il a quitté le troupeau, après avoir donné "le biais" au départ du circuit; Cas 2. Il a quitté le troupeau qui se dirige vers une zone de repos; Cas 3. Il a quitté le troupeau qui se dirige vers une zone en adoptant un comportement très prévisible (exemple : vers un canal pour s'abreuver en fin de circuit).	Longue à très longue	Faible
2	Le berger " accompagne " le biais du troupeau. On a l'impression qu'il ne fait rien, mais il en profite souvent pour aller se repositionner, ainsi que son chien, en vue d'une action future	Longue à très longue	Faible
3	Le berger, par sa position et celle de son chien, ainsi que par leurs déplacement, " oriente en douceur " le sens de direction du troupeau. Exemples : Le berger donne "le biais" au départ du circuit; il empêche que les brebis débordent hors du secteur prévu (ex. zone militaire interdite).	Moyen	Moyen
4	Le berger s'est placé derrière le troupeau, ou sur l'un de ses flancs arrière, et, avec l'aide ou non de son chien, il " pousse " avec l'idée d'accélérer le déplacement, pas nécessairement tout droit, mais sans chercher à retourner le troupeau	Courte	Fort
5	Le berger s'est placé devant le troupeau, ou sur l'un de ses flancs avant, et, parfois avec le chien placé derrière, il " attire " avec l'idée d'accélérer le déplacement, pas nécessairement tout droit, mais sans chercher à retourner le troupeau	Courte	Fort
6	Le berger s'est placé devant le troupeau et, parfois avec le chien placé à ses côtés, il " freine " le déplacement, pas nécessairement tout droit	Moyen	Fort
7	Le berger provoque autoritairement un changement de direction. Il " retourne " le troupeau, ou provoque plus d'un quart de tour : Cas 1. Il le provoque à l'aide de son chien; Cas 2. Placé à l'arrière, il pousse un cri qui est déjà identifié par le troupeau (éducation) comme étant l'ordre de revenir en arrière	Courte	Très fort
8	Le berger, par son attitude, sa position et celle de son chien, organise une phase de " garde serrée " sur une zone précise, comme si c'était un petit parc clôturé provisoirement.	Longue à très longue	Très fort
9	Le berger organise une sortie de la bergerie, ou une rentrée , ou bien un démarrage de tout le troupeau à partir d'un lieu de repos sur le pâturage.	Courte	Très fort
10	Le berger laisse filer le troupeau vers une ressource très locale et attractive : point d'eau (y compris marre temporaire après la pluie) ou plaque de végétation (petite dépression plus humide avec plantes annuelles)	Courte	Faible

TABLE 4.1 – 11 Catégories d'actions utilisées par le berger. Première colonne : code que nous avons utilisé pour chaque "action-type". Deuxième colonne : définition de l'"action-type"; entre guillemets et en caractères gras le nom de l'action-type. Troisième colonne : durée des actions-type exprimée en minutes : Courte 1-3, Moyen 5, Longue à très longue >15. Quatrième colonne : échelle qualitative de niveau d'influence probable du berger sur son troupeau (confirmée par des bergers expérimentés en Crau) comprenant 5 niveaux. Note 1 : "le biais" est le comportement spatial que le troupeau, placé à un instant donné dans un lieu donné, tend spontanément à adopter, et plus spécialement la direction et le rythme de déplacement correspondants (Savini et al., 1993). Note 2 : l'action 0 n'a jamais été observée. Lors de l'action 9, le troupeau ne pâture pas. Lors de l'action 10, l'ingestion chez les individus est interrompue par la forte agitation au sein du troupeau.

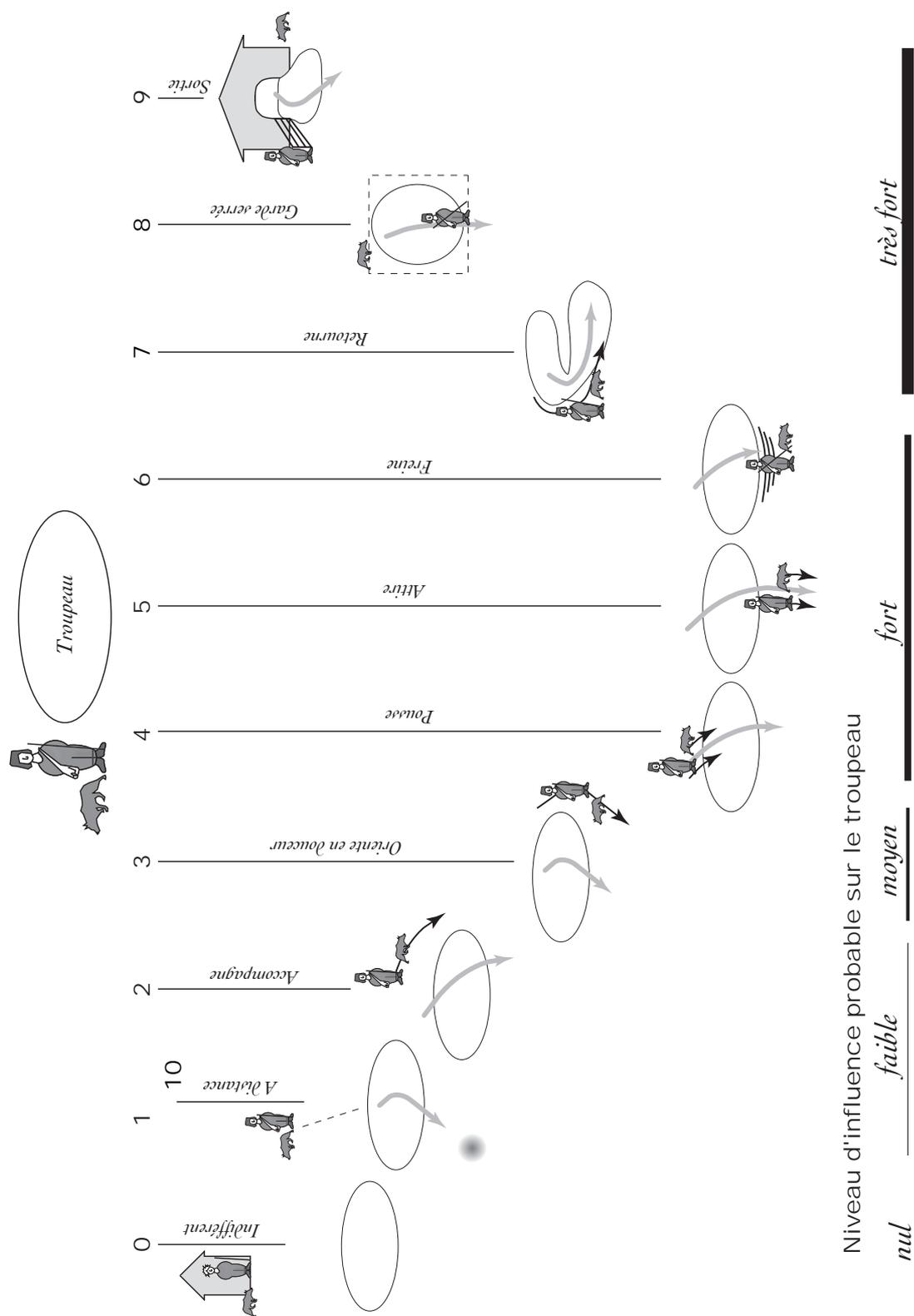


FIGURE 4.8 – Catégories d'actions d'un berger selon leur influence probable sur un troupeau au pâturage en steppe de Crau. Les polygones blancs de forme généralement elliptique schématisent le troupeau. La flèche grisée épaisse représente la direction générale de déplacement du troupeau. La flèche noire représente la direction prise par le berger, et/ou son chien.

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

Du total des 11 actions-type que nous avons considéré au départ, l'action "0" (le berger reste à la bergerie) n'a été jamais observée. Pour les actions du type "9" (sortie ou rentrée au bergerie) et "10" (le berger laisse filer le troupeau), il n'a bien entendu pas été réalisé de mesure de comportement d'ingestion. Nous n'avons donc pas tenu compte de ces deux types pour la suite de nos analyses. Il nous reste ainsi 8 types d'actions et 4 niveaux d'influence probable sur le troupeau.

Nous avons nos 8 types d'action, réparties selon 4 niveaux d'influence probable, mais pour comprendre la logique d'enchaînement des actions du berger en cours de circuit, et plus encore sa logique globale de conception d'un circuit sur le coussoul au cours d'un jour donné, nous avons cartographié chaque circuit (voir exemple à la figure 4.9).

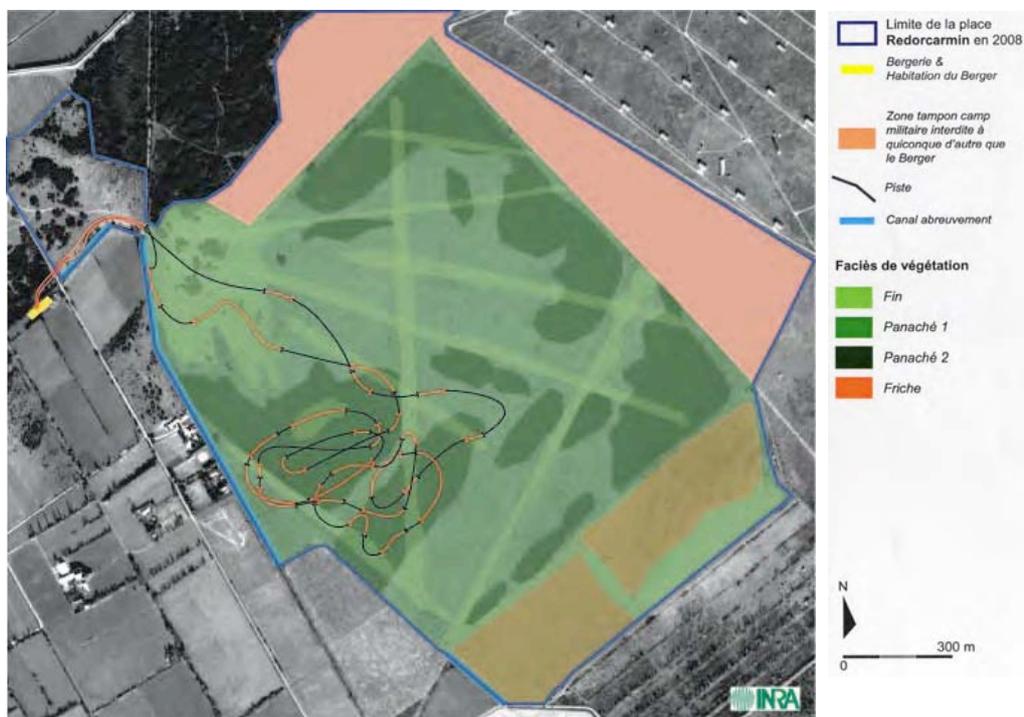


FIGURE 4.9 – Circuit découpé en phases, utilisé par le berger "RM". Journée du 16 avril 2008.
Note : les fleches rouges et noires indiquent des phases différentes selon un des trois critères : nature de faciès, activité du troupeau, type d'action du berger.

Pour chacune des cartes, nous avons d'abord dessiné par un filet curviligne le circuit que le berger a organisé au fur et à mesure de la journée, circuit qui a été suivi par le troupeau. Les portions enchaînées de courbes qui composent le filet curviligne indiquent la position du troupeau, et les petites têtes de flèches sur les traits indiquent la direction de déplacement de la majorité des individus troupeau. Les successions de courbes correspondent au parcours du centre du troupeau, même si ce dernier ne se déplace en réalité pas en "file indienne".

Chaque circuit a été découpé comme un enchaînement de phases homogènes selon trois

critères concomitants (voir succession de petites flèches à la figure 4.9) : 1. nature du faciès de végétation utilisé par la majorité du troupeau ; 2. type d'activité de la majorité du troupeau ; 3. type d'action du berger. Lorsque l'un des trois critères était modifié, une nouvelle phase du circuit était distinguée.

Le problème d'une carte, c'est qu'elle renseigne bien sur l'espace utilisé mais que les durées d'utilisation enchaînée des différents espaces ne sont pas renseignées. C'est pourquoi, nous avons choisi de différencier les phases du circuit avec un épaisseur du trait du plus large au plus fin selon la durée d'utilisation par le troupeau de chacune des phases du circuit (voir figure 4.10). L'ensemble de nos relevés de circuits, découpés en phases homogènes, nous a permis de discerner quatre catégories de durées des phases (voir 3e colonne au tableau 4.1)



FIGURE 4.10 – Durée des actions utilisées par le berger "RM" dans le coussoul Redorcamin. Journée du 17 avril 2008.

- | = Courte 1-3 minutes
- | = Moyen 3 - 5 minutes
- | = Longue 5 - 15 minutes
- █ = Très longue > 15 minutes

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

Toujours pour comprendre la logique de chacun des circuits, nous avons ensuite réalisé une 2ème série de cartes, mais cette fois nous avons attribué à chaque phase le niveau d'influence probable du berger sur le troupeau (voir exemple à la figure 4.11). Il est possible d'observer que : tant au départ qu'à la fin du circuit de gardiennage, les actions sont de niveau d'influence faible (trait mince). Un autre constat est que les actions de plus fort niveau d'influence (celles avec les traits plus larges) ont été presque systématiquement utilisées sur des faciès "panachés 2" (ceux comportant la plus forte proportion de brachypode, en vert foncé sur la carte). Par exemple, le berger a insisté le 17 avril 2008 (figure 4.11) sur deux grandes zones de "panaché 2", situées au sud-ouest du coussoul et voisines l'une de l'autre.



FIGURE 4.11 – Niveau d'influence probable des actions du berger "RM" sur le troupeau dans le coussoul Redorcamin. Journée du 17 avril 2008. Le berger insiste visiblement pour faire pâturer des zones de panaché 2 situées au sud-ouest à l'aide d'actions de forte influence (traits les plus larges).

| = niveau faible, actions "à distance" et "accompagne"

| = niveau moyen, action "orienté en douceur"

| = niveau fort, "pousse", "attire" et "freine"

█ = niveau très forte, "retourne" et "garde serrée"

Nous avons ainsi relevé toute une série de cartes où les actions du berger pouvaient être interprétées comme des "actions d'effet direct" sur le troupeau en fonction de l'espace utilisé. L'exemple de portion de circuit présentée à la figure 4.12 illustre, à l'aide d'un cas concret, ce que nous qualifions "d'effet direct" du berger sur le troupeau : le berger intervient sur le

rythme de déplacement général du troupeau (dans ce cas, il le "freine") lors d'un passage sur un faciès de végétation (ici, du "panaché 2"), sans modifier pour autant sa direction de circulation (rappelons qu'il s'agit d'un grand troupeau).

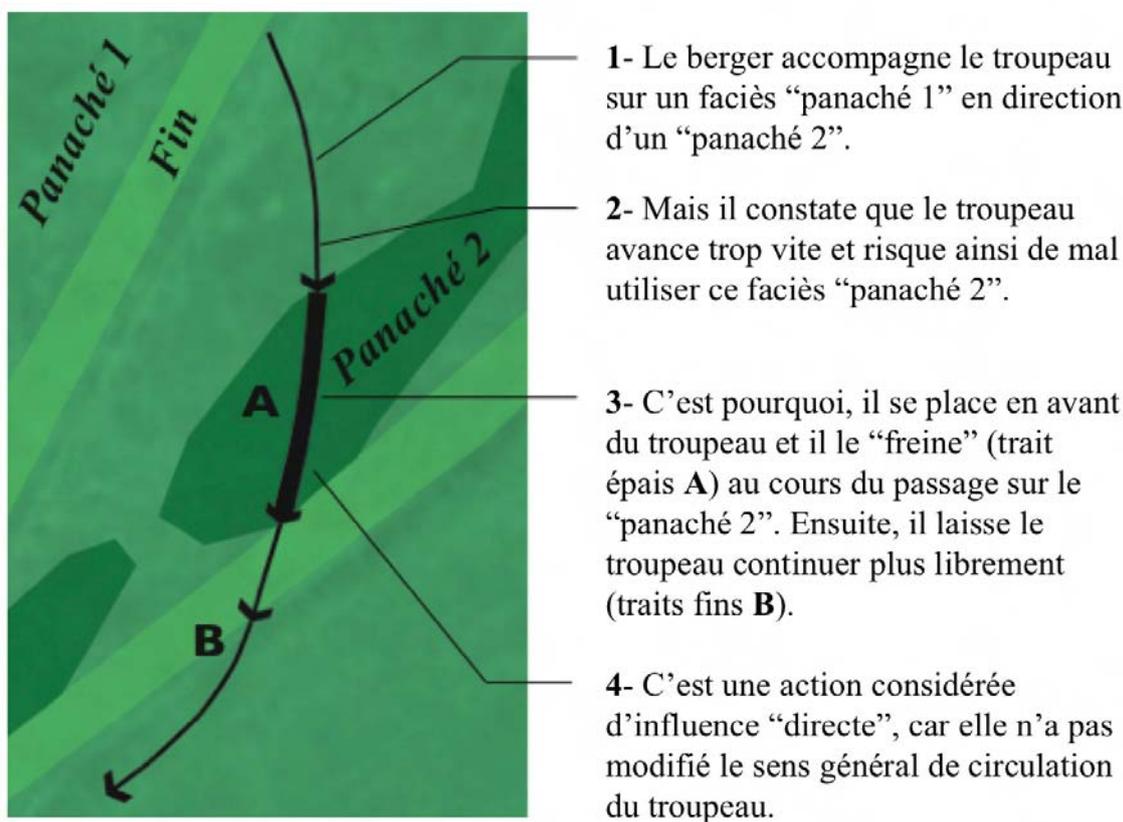


FIGURE 4.12 – Exemple de portions de circuit avec un enchaînement d'actions considérées comme ayant un effet direct sur le déplacement du troupeau.

Toujours en considérant nos séries de cartes de circuits et notamment les formes de ces circuits (long déplacement régulier ou au contraire avec demi-tour, ou portion de circuit "en huit"), il nous est aussi apparu que certaines actions de forte influence, ou très forte influence, semblaient essentiellement impacter la, ou les, phase(s) du circuit qui suivai(en)t immédiatement celle où le berger avait choisi d'agir. Nous avons qualifié ces cas "actions à effet différé". Nous exemplifions à la figure 4.13 avec une portion de circuit de la journée du 10 mai 2008 avec le berger "CL" sur la place de pâturage de Redorcamin.

Une telle visualisation nous a conduit à considérer l'influence "différée" des actions berger lors de certains enchaînements de phases. En effet, à certains moments de la journée de gardiennage, plusieurs actions du type de "faible influence" ont été déterminées pour beaucoup par une action précédente de plus forte influence, généralement de courte durée. Si nous reprenons notre exemple de la figure 4.13, les phases B1 et B2 ont en réalité été générées par la très forte influence du berger ayant agi en phase précédente A (où il a alors renvoyé le troupeau en direction de deux faciès "panachés 2" situés au nord-est).

Il n'était donc pas pertinent de considérer isolément les niveaux d'influence du berger au cours des phases B1 et B2, comme dans le cas de la figure 4.13. La détermination de

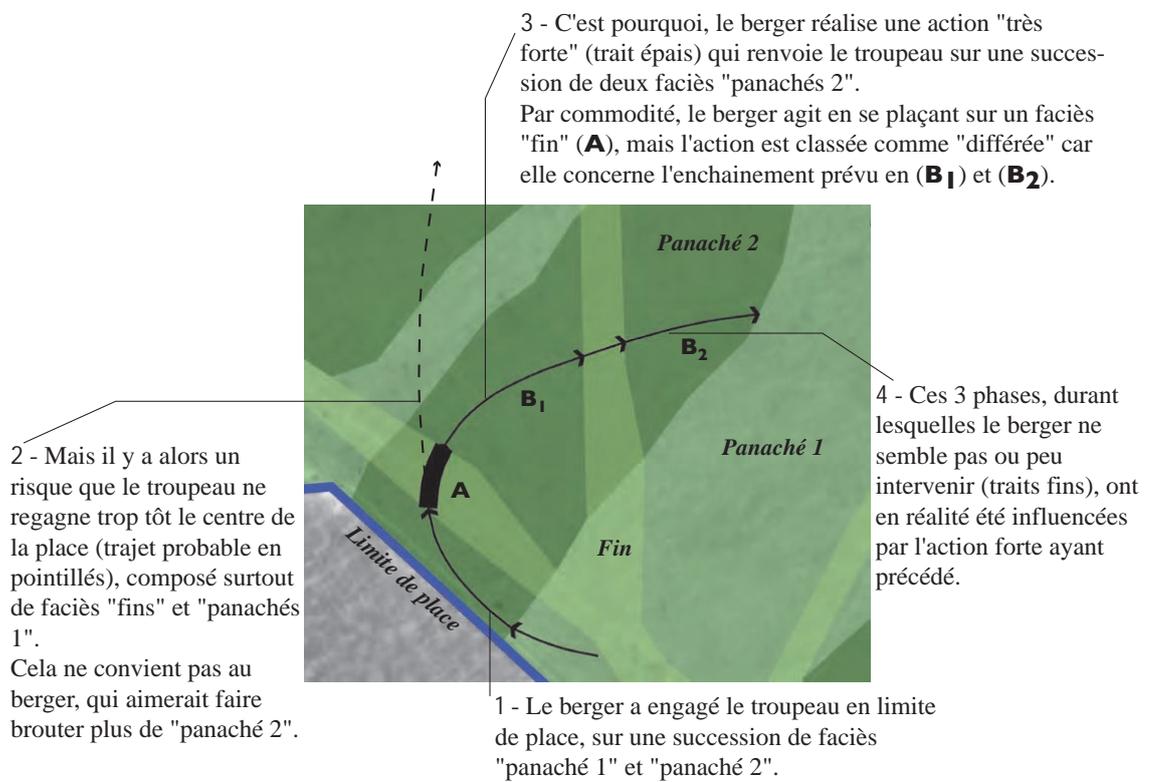


FIGURE 4.13 – Exemple d'un effet différé d'une action du berger sur un enchaînement de plusieurs phases d'un circuit (*A, B₁, B₂*), lire le commentaire de 1 à 4.

ces enchaînements d'actions, avec effet direct ou effet différé, a été effectuée visuellement sur chacune des cartes. Ceci a nécessité une certaine capacité d'expertise pour identifier la logique générale d'organisation du circuit de pâturage du jour par le berger.

D'après les connaissances de l'Inra sur les savoir-faire des bergers dans la conduite des troupeaux au pâturage, et surtout d'après ma propre expérience de terrain dans l'observation des circuits de garde avec les bergers de Crau, il était justifié de discriminer les actions du berger avec effet différé sur le comportement spatial du troupeau. Nous avons donc ajouté 10 catégories d'action "à effet différé" à notre tableau des 8 actions "à effet direct" du berger (voire tableau 4.2).

Action	Enchaînement d'actions
32	Orienté en douceur → accompagne
42	Pousse → accompagne
43	Pousse → attire
52	Attire → accompagne
53	Attire → orienté
62	Freine → accompagne
72	Retourne → accompagne
73	Retourne → orienté
82	Garde serrée → accompagne
83	Garde serrée → orienté

TABLE 4.2 – Dix catégories d'actions du berger avec effet différé sur le comportement spatial du troupeau.

En ce qui concerne la hiérarchie dans le niveau d'influence de nos actions à effet direct (codes 1 à 8 au tableau 4.1), celle-ci était claire. Par contre, pour ce qui concerne les actions à effet différé, la détermination de la hiérarchie a été plus difficile. Cela en raison des actions à effet "différé" qui sont constituées d'enchaînements d'actions forte → faible (ou moyen → faible ou très fort → faible) comme par exemple : "retourne-accompagne", ou "freine-accompagne". Comment inclure ces enchaînements dans notre échelle des niveaux d'influence ? Nous avons choisi la solution suivante :

Par exemple, dans le cas d'une phase avec action "retourne" enchaînée avec une phase avec action "accompagne", la phase qui correspond à l'action "accompagne" sera classée de plus forte influence qu'une action "accompagne" à effet direct, mais de plus faible influence qu'une action "retourne" à effet direct.

Cette procédure nous a permis de situer nos 10 nouvelles catégories d'actions à effet différé parmi les niveaux d'influence probable des 8 catégories à effet direct (voir position des actions à effet différé en haut de figure 4.14

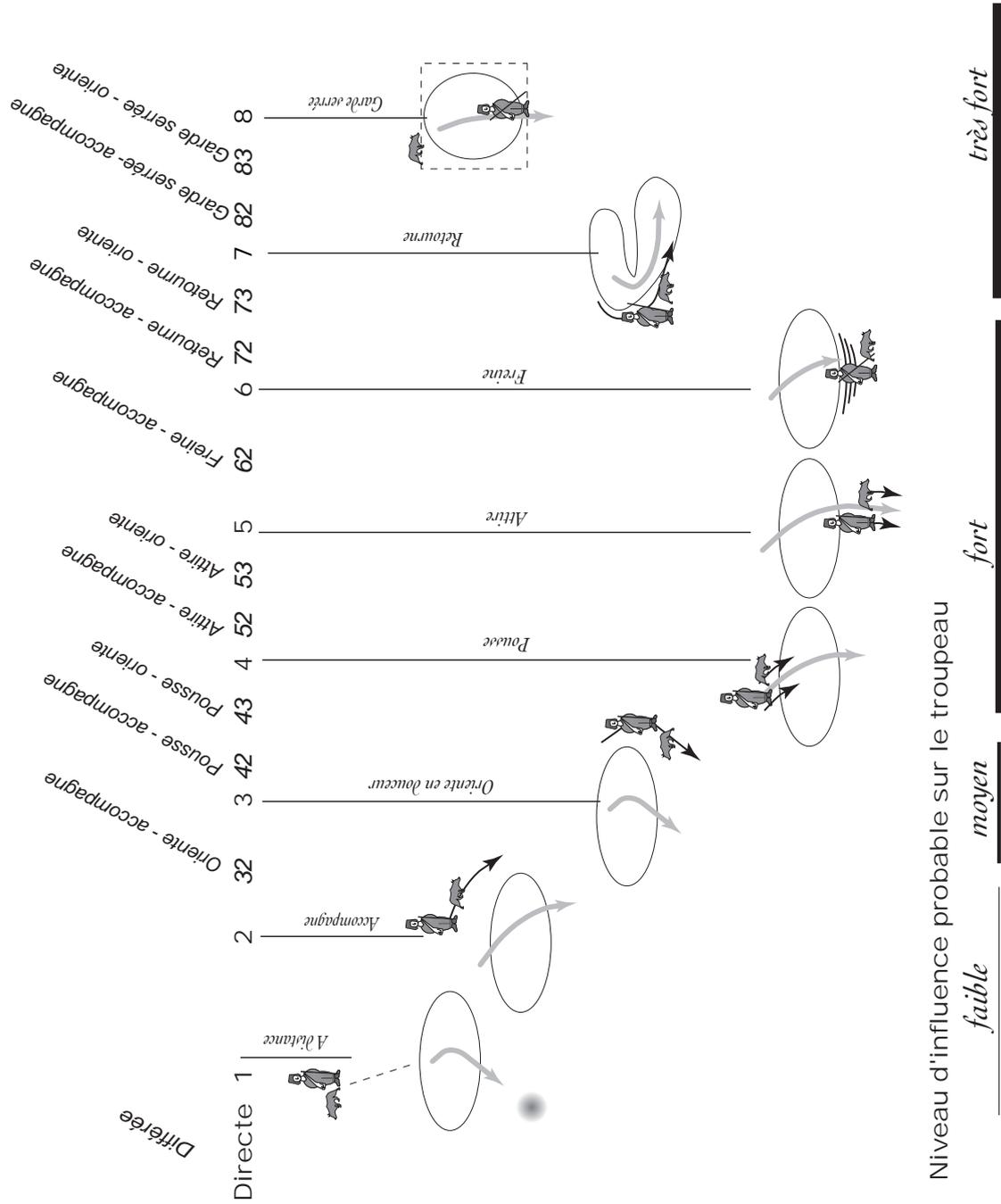


FIGURE 4.14 – Catégories d'actions du berger à effet "direct" et "différé" selon leur influence probable sur un troupeau au pâturage en Crau sèche.

4.1.4 Description des formats de végétation

Le dispositif que nous avons mis en œuvre nous a permis d’observer les structures végétales à plusieurs échelles spatiales et temporelles (voir tableau 3.1 à la section "Identification et choix des sites d’observation" du chapitre 3).

Cependant, dans la présentation des résultats concernant les structures végétales prélevées par les troupeaux, j’ai identifié deux autres descripteurs. Cela en raison de leur utilité lors des premières étapes du dépouillement des données, mais également afin ne pas perdre de vue la dimension opérationnelle de la question de recherche. Je présente l’ensemble des descripteurs au tableau 4.3.

Descripteur	Nombre	But
Faciès	3 : fin, panaché 1, panaché 2	la prise en compte des effets liés à trois types de végétation sur le comportement d’ingestion instantanée
Types de structure	3 : dicotylédones, brachypode, graminées autres que brachypode	identifier des catégories dans les premières phases de dépouillement de données
Groupes de plantes	22 : plantes semblables dans leurs formats et facilement repérables par l’observateur	identifier de catégories de plantes prélevés par le troupeau
Morphes	3 : plié à feuilles fines, ouvert à feuilles larges, dense à feuilles fines; chaque morphe en deux modalités de hauteur, moyenne et petite	identifier les formats de brachypode sélectionnés par les brebis
Plantes-prises	109 : ce sont des ensembles associant la partie de la plante et la nature des organes prélevés par la brebis	répondre à l’exigence méthodologique de l’observation directe de l’ingestion

TABLE 4.3 – Descripteurs utilisés dans la présentation de résultats concernant les structures végétales prélevées par les troupeaux en la Crau sèche

Dans cette section, seront présentés les résultats portant sur notre identification des diverses structures végétales collectées par les troupeaux. Dans un premier temps, 22 groupes de plantes appartenant à un des trois types de structure (dicotylédones, brachypode, ou autres graminées) et les fréquences d’observation de collectes par les brebis observées seront exposés. En ce qui concerne le brachypode, nous présenterons les différents morphes repérés lors des observations de l’ingestion. Ensuite, pour ces 22 groupes de plantes, nous exposerons les résultats à propos de la masse obtenue lors des simulations de chacune des 109 modalités observées de prises alimentaires (à partir d’ici, appelées "plante-prises" pour exprimer le fait que le codage des prises alimentaire croise les espèces et leur formats avec les prises et leur structures). Par ailleurs, les fréquences d’observation totale et par faciès pour chacune des plante-prises seront également présentées. Enfin, pour compléter cette première partie des résultats, la variété de qualité nutritive des plante-prises sera abordée.

4.1.4.1 Types de structure, groupes de plantes et morphes prélevés

Nous avons observé les groupes de plantes collectés par le troupeau, le but étant d'identifier les groupes de plantes (et de "plante-prises") prélevés selon leurs formats et selon chaque faciès : fin, panaché 1 et panaché 2. Mon dispositif de recherche n'a pas été conçu pour expliquer la cause de différences dans la collecte effectuée par le troupeau selon les trois faciès. Si nous trouvons une telle différence, nous assumons que celle-ci peut être liée à :

- Des différences dans l'abondance de structures végétales entre les faciès.
- Des différences dans le choix des brebis pendant leur activité de pâturage
- Nous considérons également que le berger détermine toujours les faciès sur lesquels le troupeau pâture

Dans notre cas, nous n'avons pas cherché à étudier le rapport abondance / prélèvement de végétation au sein de chacune des deux places de coussoul. En revanche, nous considérons que nos observations sont des aperçus des prélèvements effectués.

Dans une première approche, nous avons identifié, parmi l'ensemble des structures végétales de la Crau, trois grands types de structures, associées à des espèces ou des groupes d'espèces : les dicotylédones, le brachypode et les graminées autres que le brachypode.

Cette simplification était nécessaire, pour aboutir à l'observation aisée de telles structures et des prises alimentaires réalisées sur celles-ci. Cette simplification visait également à ne pas perdre de vue la dimension opérationnelle de notre question de recherche : l'identification de catégories fonctionnelles dans la variété des structures végétales pour les troupeaux ovins selon leur utilisation par les bergers.

La fréquence avec laquelle ont été observées les prises alimentaires sur les dicotylédones et sur les autres graminées a été très similaire. Par contre, le groupe brachypode (Br.) a été sensiblement moins prélevé, voir figure 4.15. Dans ce graphique, les trois types de faciès sont considérés ensemble.

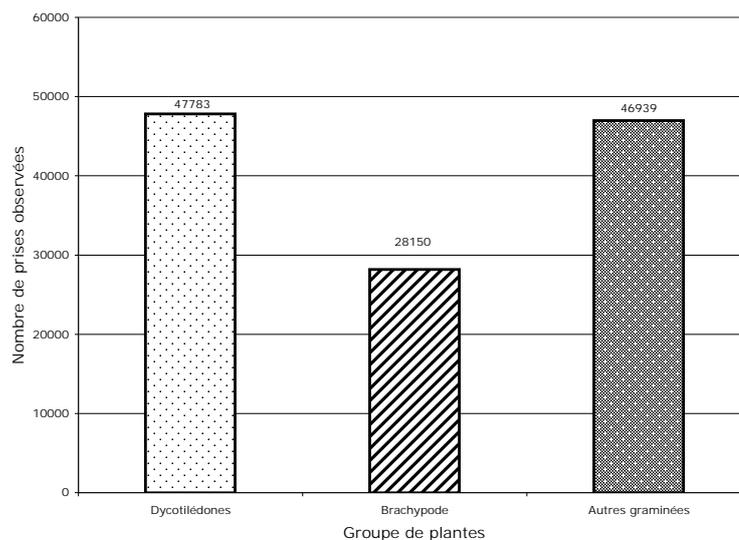


FIGURE 4.15 – Collecte par groupe de plantes sur un total de 122.872 prises observées.

Lorsque nous différencions la collecte de ces trois groupes végétaux selon chaque type de faciès (voir graphique 4.16), nous retrouvons un rapport similaire entre les trois groupes. Les dicotylédones et graminées autres que le brachypode sont généralement situées au même niveau, et moins collectées que le brachypode, ceci exprimé en nombre de prises alimentaires et non pas encore en grammes de matière ingérée. Bien entendu, le brachypode a été nettement moins collecté dans le faciès fin, étant donné qu'il y est presque absent.

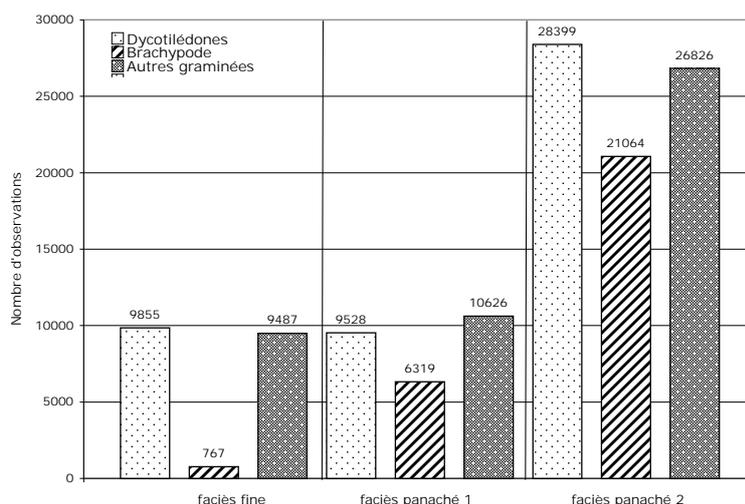


FIGURE 4.16 – Collecte observée (en nombre de prises alimentaires) par groupe de plantes et selon les faciès fin, panaché 1 et panaché 2.

Quant aux dicotylédones et graminées autres que brachypode, nous avons observé une plus grande fréquence de prélèvement dans les faciès panachés 1 et 2. Parmi les trois faciès, le panaché 2 présente la plus forte collecte exprimée en nombre de prises alimentaires. Ces résultats rendent compte, soit de la plus grande abondance de végétation issue de ces deux groupes dans le panaché 2 (y compris, et c'est à signaler, les dicotylédones annuelles, plantes dites "fines"); soit de données de présence des troupeaux et d'un nombre d'observations plus élevées au cours des circuits de bergers que nous avons suivis. Ce dernier cas n'est que théorique, car même si le berger utilise certaines actions selon le type de faciès, il ne privilège pas un faciès en particulier au détriment des autres. Cela sera exposé plus bas dans la sous section "les actions employées sont ciblées selon les faciès"

Cependant, la variété de plantes est évidemment beaucoup plus grande que cette simplification en trois groupes. Pour cela, j'ai cherché à constituer des groupes de plantes de formats similaires (allure, gabarit, etc.). Vingt-deux groupes ont été ainsi identifiés malgré la grande diversité de dicotylédones et de graminées présentes en Crau. Le brachypode est quant à lui considéré comme une classe de plantes différentes à part entière, c'est-à-dire différencié du reste des graminées. Les groupes ainsi constitués ne sont pas des communautés botaniques, mais des plantes semblables dans leurs formats et facilement repérables par l'observateur de l'ingestion des brebis.

Nous pouvons observer ces 22 groupes et les codes que nous avons attribués à chacun dans la figure 4.17 pour le cas de nos 9 groupes de forme "dicotylédone", et dans la figure 4.18 pour les 3 morphes de brachypode et les 7 groupes de forme "graminées autres que brachypode".

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers



Diplotaxis tenuifolia L.
Code de groupe : "1"



Leantodon tuberosus L.
Code de groupe : "2"



Silybum marianum L.
Code de groupe : "3"



Plantago lagopus L.
Code de groupe : "5"



Salvia verbenaca L.
Code de groupe : "8"



Bellis sylvestris Cirillo
Code de groupe : "9"



Ranunculus arvensis L.
Code de groupe : "11"



Thymus vulgaris L.
Code de groupe : "15"



Arctium lappa L.
Code de groupe : "17"



FIGURE 4.17 – Groupes distingués sur les "dicotylédones" en Crau sèche. Entre guillemets, les codes que nous avons utilisés pour chaque groupe.

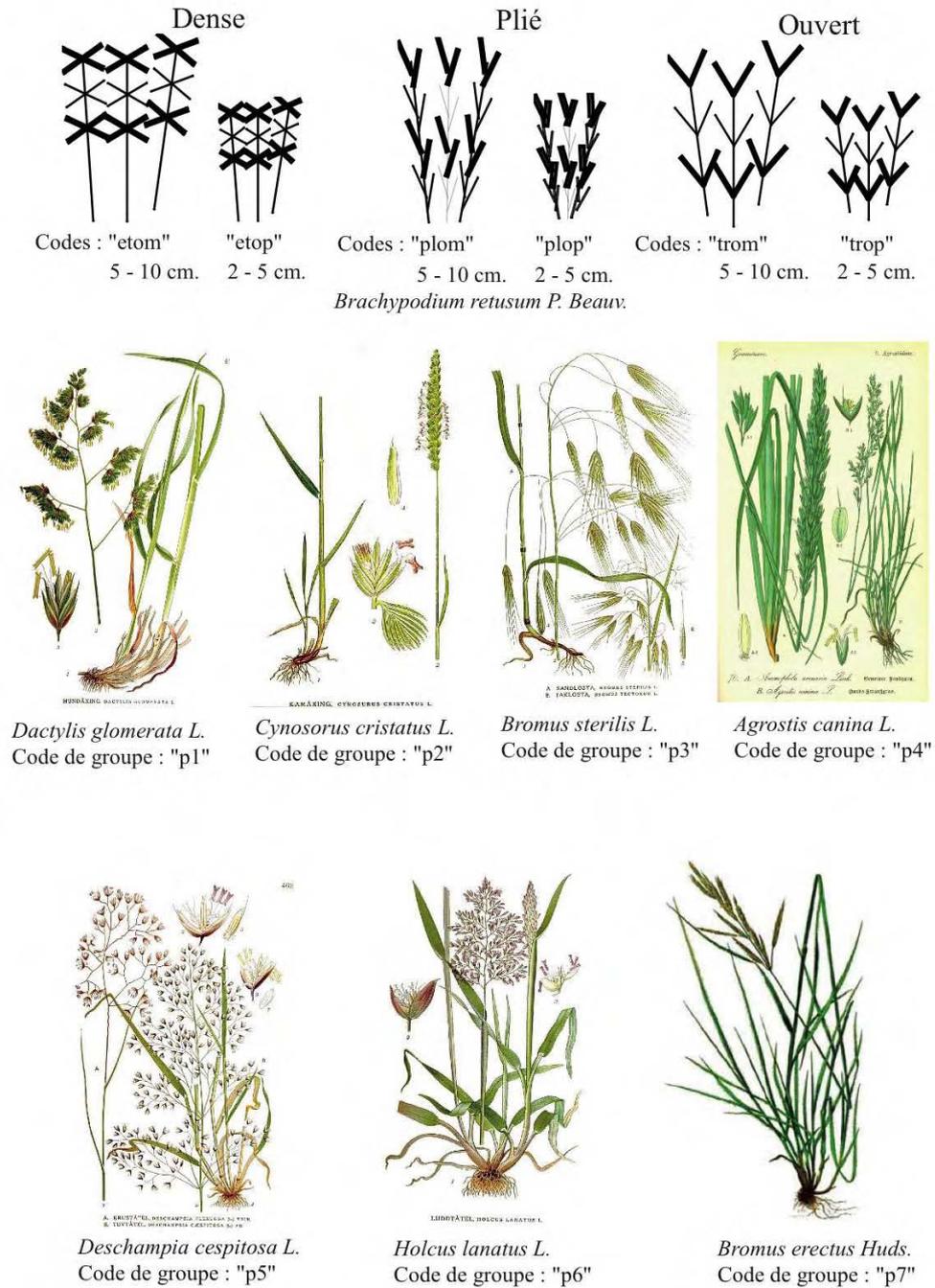


FIGURE 4.18 – Morphes de brachypodes et groupes distingués sur les "graminées autres que le brachypode" en Crau sèche. Entre guillemets, les codes que nous avons utilisés pour chaque groupe.

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

Parmi les 22 groupes de plantes identifiées, les dicotylédones appartiennent aux familles Brassicaceae, (code 1); Asteraceae, (codes 2, 3, 9, et 17); Lamiaceae, (codes 8 et 15); Ranunculaceae, (code 11); et Plantaginaceae, (code 5). Quant au brachypode et autres graminées qui ont été observées, ces plantes sont toutes de la famille des Poaceae. L'identification a été effectuée avec l'aide de botanistes du CEEP (Axel WOLFF) et de l'INRA de Toulouse (Danièle MAGDA). Certaines familles botaniques ont été amplement décrites et répertoriées dans des études menées sur la Crau par [Molinier et Tallon \(1950\)](#); [Cheylan G. \(1975\)](#); [Rieux et al. \(1977\)](#).

En ce qui concerne les formats observés chez le brachypode, notre grille de lecture a été élaborée pour identifier le très grand nombre de formes sous lesquelles le brachypode pouvait être présent en Crau (jusqu'à 80 codes, si l'on considère les 20 formes avec 4 tailles différentes (voir figure 3.3 à la section 3.1.3). Suite au travail d'observation de l'ingestion, nous avons observé au total les morphes suivants :

- Plié moyen (PLOm) = feuilles pliées et fines (PL), organes verts intercalés à l'horizontale (O), de taille de 5 à 10 cm (m)
- Plié petit (PLOp) = feuilles pliées et fines (PL), organes verts intercalés à l'horizontale (O), taille de 2 à 5 cm (p)
- Ouvert moyen (TROm) = de feuilles ouvertes et larges (TR), organes verts intercalés à l'horizontale (O), taille de 5 à 10 cm (m)
- Ouvert petit (TROp) = de feuilles ouvertes et larges (TR), organes verts intercalés à l'horizontale (O), taille de 2 à 5 cm (p)
- Dense moyen (ETOm) = de feuilles en aiguille fines (ET), organes verts intercalés à l'horizontale (O), taille de 5 à 10 cm (m)
- Dense petit (ETOp) = de feuilles en aiguille fines (ET), organes verts intercalés à l'horizontale (O), taille de 2 à 5 cm (p)

La fréquence globale de collecte observée dans nos 22 groupes de plantes, à nouveau exprimée ici en nombre de prises alimentaires, est présentée au graphique 4.19, avec les résultats regroupés pour les trois faciès. Nous attirons l'attention sur le fait que, sur ce graphique, les morphes du brachypode (situés au centre du graphique) participent de manière importante à la collecte totale ; ce sont les morphes dense moyen et ouvert moyen qui ont été les plus observés.

Cependant, cette contribution du brachypode est déterminée en grande partie par le type de faciès. En effet, dans le graphique 4.20 il est possible d'observer la collecte très restreinte de brachypode effectuée dans le faciès fin, dont nous avons déjà mentionné la quasi-absence. En revanche, les dicotylédones et autres graminées sont très fortement prélevées dans les faciès fins.

Dans les graphiques 4.21 et 4.22 nous observons la collecte des 22 groupes dans les faciès panaché 1 et panaché 2. Il apparaît alors un résultat important : la différence de collecte de morphes de brachypode selon les faciès panaché 1 ou 2. Souvenons nous que les morphes sont différenciés, entre autres caractéristiques, par deux aspects :

- Le format. Plante dense de feuilles fines en aiguille, (morphe "dense"); plante de feuilles fines et pliées (morphe "plié"); plante de feuilles larges et ouvertes (morphe "ouvert").
- La taille. De 5 à 10 cm ("moyen"); de 2 à 5 cm ("petit")

Nous considérons les morphes "dense moyen - dense petit", "ouvert moyen - ouvert pe-

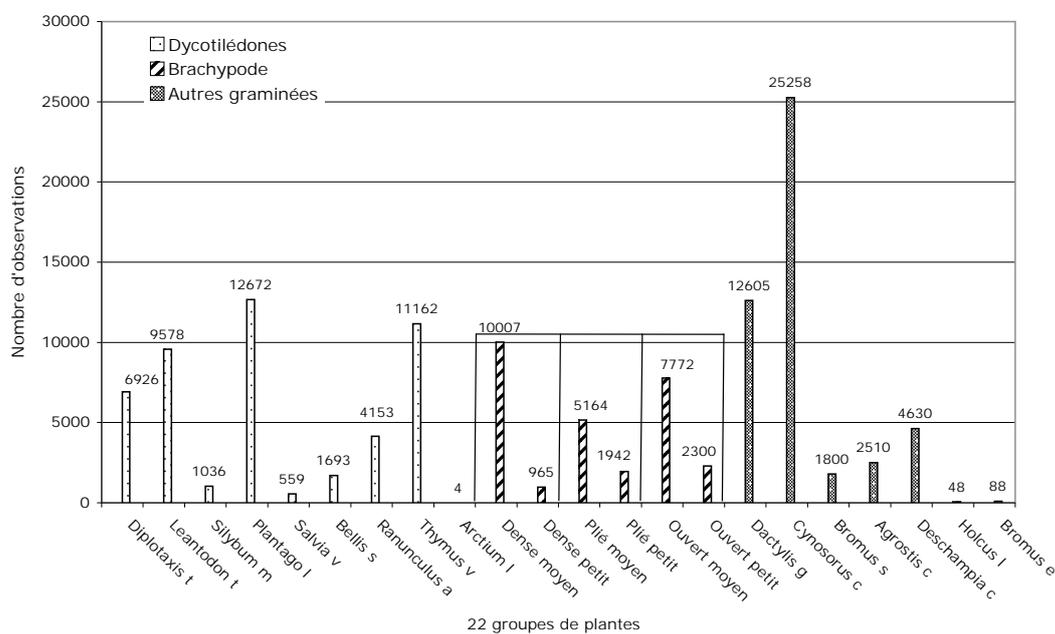


FIGURE 4.19 – Nombres de prises alimentaires observées selon les 22 groupes de plantes, non discriminés selon les faciès de végétation.

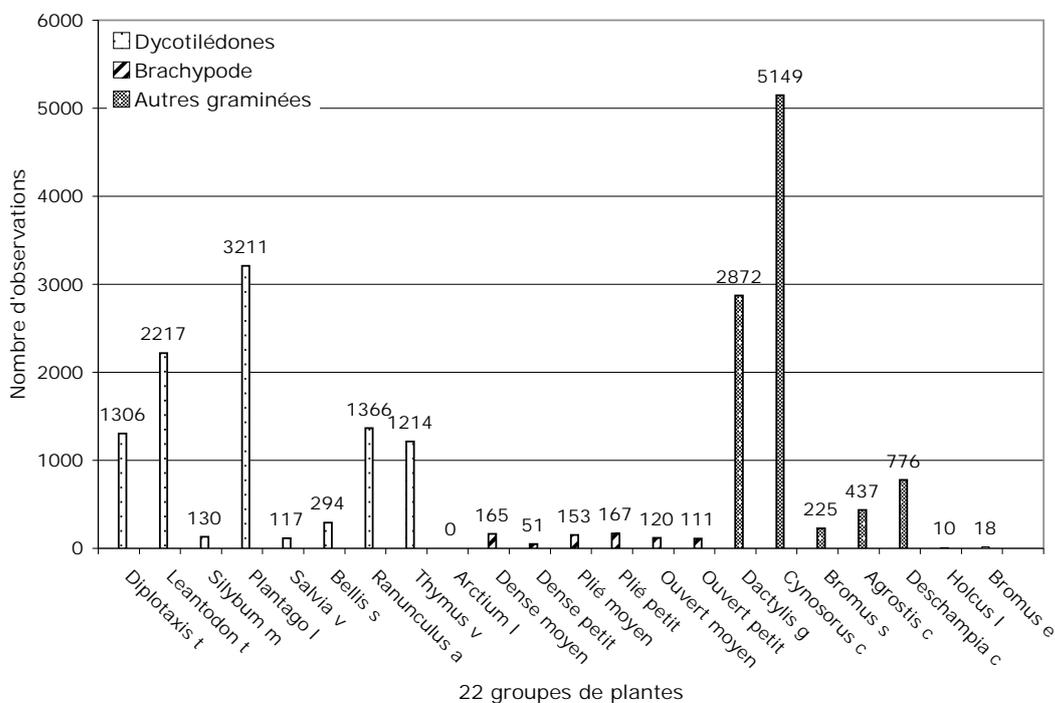


FIGURE 4.20 – Collecte observée sur le faciès fin, 22 groupes de plantes

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

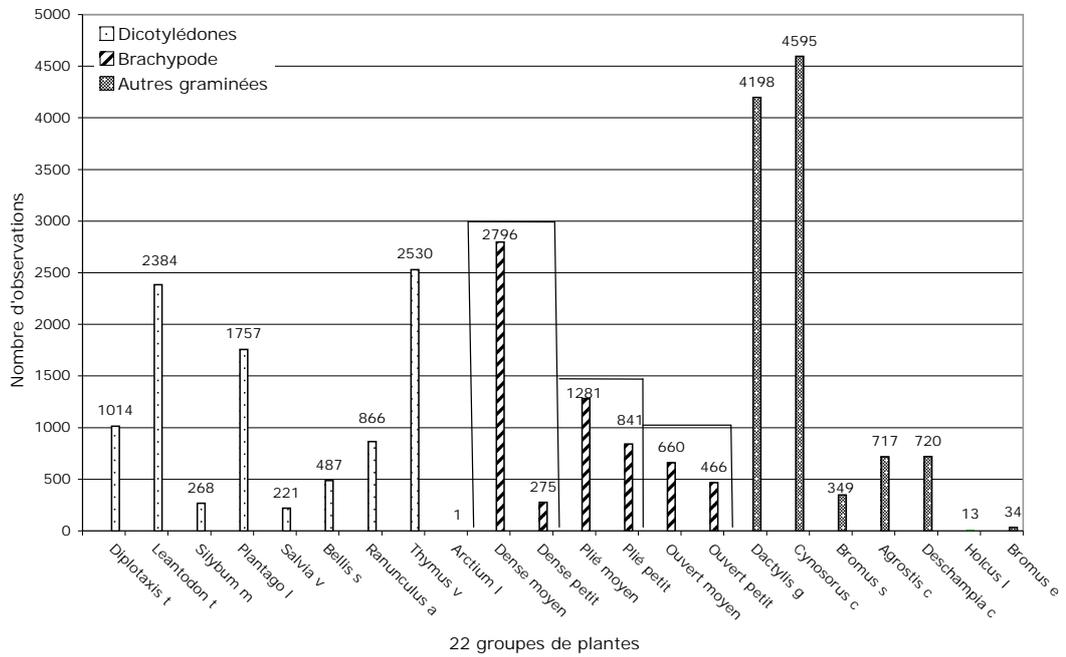


FIGURE 4.21 – Collecte observée sur le faciès panaché 1, 22 groupes de plantes

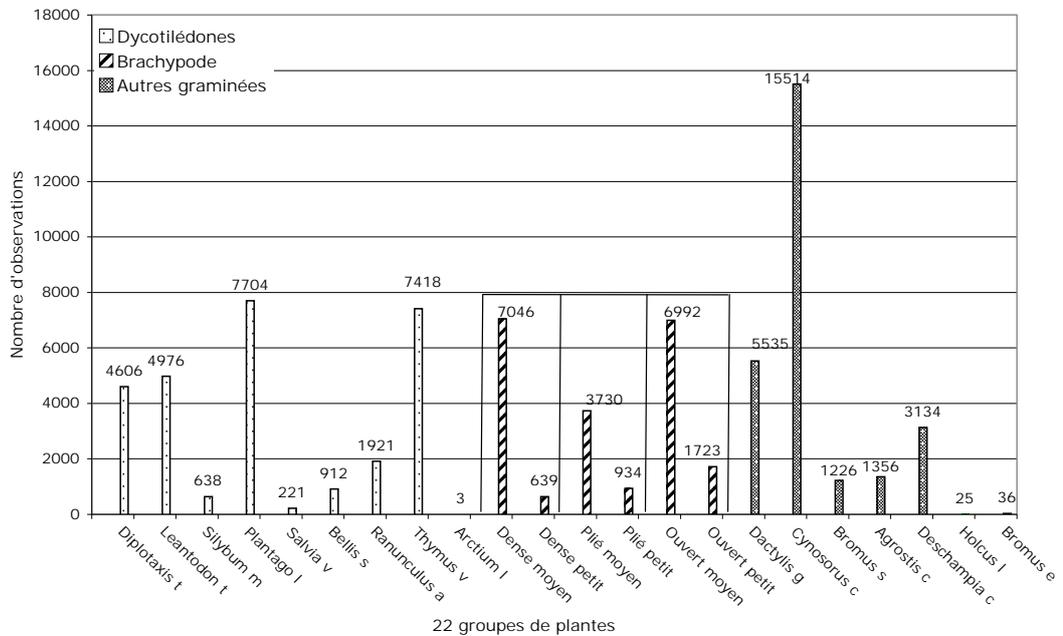


FIGURE 4.22 – Collecte observée sur le faciès panaché 2, 22 groupes de plantes

tit", ou encore "plié moyen - plié petit", comme des couples similaires en format mais différenciés par leur hauteur ou gabarit d'organes comestibles. Alors, nous pouvons constater dans le graphique 4.21 que pour les morphes de plus petit gabarit, la collecte a été généralement plus faible par rapport aux morphes plus grands ; c'est particulièrement observable entre les morphes "dense moyen" et "dense petit".

Au graphique 4.22 nous observons à nouveau cette diversité de collecte intra couples de morphes de brachypode. La variété de collecte entre morphes de moyen et de petite hauteur est beaucoup plus importante dans le faciès panaché 2 que dans le faciès panaché 1.

À quoi pourrait être due une telle différence ? Il est possible que la différence de collecte observée intra couples de morphes du brachypode soit simplement le produit d'une différence entre l'abondance de chaque morphe. C'est-à-dire que les morphes de plus grand gabarit sont, probablement, plus abondants que ceux de petit gabarit, et cela dans les faciès panaché 1 et panaché 2. Une telle théorie reste plausible, malheureusement nous n'avons pas les données d'abondance pour la tester.

Est ce qu'une telle différence serait liée au choix des brebis au pâturage ? Par exemple en raison de la hauteur et densité d'herbe qui permet de faire de plus ou moins grosses prises alimentaires ? Nous n'avons pas non plus effectué d'expérimentations pour identifier au sens strict les options de choix des structures végétales dont disposaient les brebis observées. En revanche, nous pouvons informer quelles sont les différences intra et inter couples de morphes de brachypode, chaque différences pouvant nous apporter des éléments pour expliquer le prélèvement observé dans les trois faciès. Nous les analyserons plus en profondeur dans les sections suivantes, particulièrement en ce qui concerne la gamme de masse de prises qu'offre chaque type de morphe chez le brachypode.

Jusqu'à présent, nous avons reporté les résultats de la variété des structures représentées par les 22 groupes de plantes identifiées parmi les dicotylédones, les morphes de brachypode et les autres graminées. Des similarités et des différences en collecte dans ces 22 groupes ont déjà été signalées. Les différents morphes de brachypode ne sont pas collectés avec la même fréquence de prises alimentaires (PA/min) lorsqu'ils sont situés en faciès panaché 1 ou panaché 2. Cette différence serait en partie liée aux différences dans l'abondance des types de morphes selon les faciès.

Nous analyserons dans les sections suivantes des différences dans la gamme de masse offertes par chaque morphe, mais également, pour chacun des 16 autres groupes de plantes qui composent nos 22 groupes observés. Nous analyserons les structures végétales à l'échelle de la prise alimentaire, c'est-à-dire que nous identifierons des ensembles de plantes et prises alimentaires ("plante-prise"). Dans celles-ci, l'apport en masse que nous avons observé est considéré comme une expression de l'interaction plante-animal à l'échelle de l'ingestion instantanée, de la relation entre la structure de la plante et de sa préhensibilité pour des brebis.

4.1.4.2 Modalités observées dans le prélèvement des prises alimentaires par les brebis.

En ce qui concerne les prises alimentaires, parmi les 22 groupes de plantes qui ont été décrites antérieurement, 109 types de "plante-prises" ont été identifiés. Le travail de simulation réalisé sur chacune nous a permis de déterminer la masse moyenne (en matière sèche) de ces 109 "plante-prises".

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

Aux graphiques 4.23 et 4.24 nous pouvons observer les 9 groupes de plantes dicotylédones. Au sein de ces 9 groupes, 50 plante-prises différentes ont été observées ; la masse moyenne résultant des simulations est présentée dans ces graphiques.

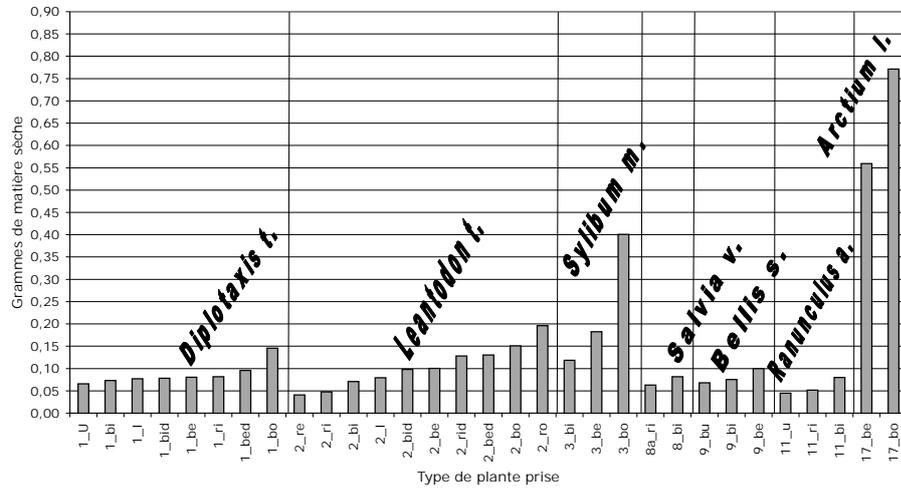


FIGURE 4.23 – Masse moyenne de prise alimentaire : dicotylédones (première partie)

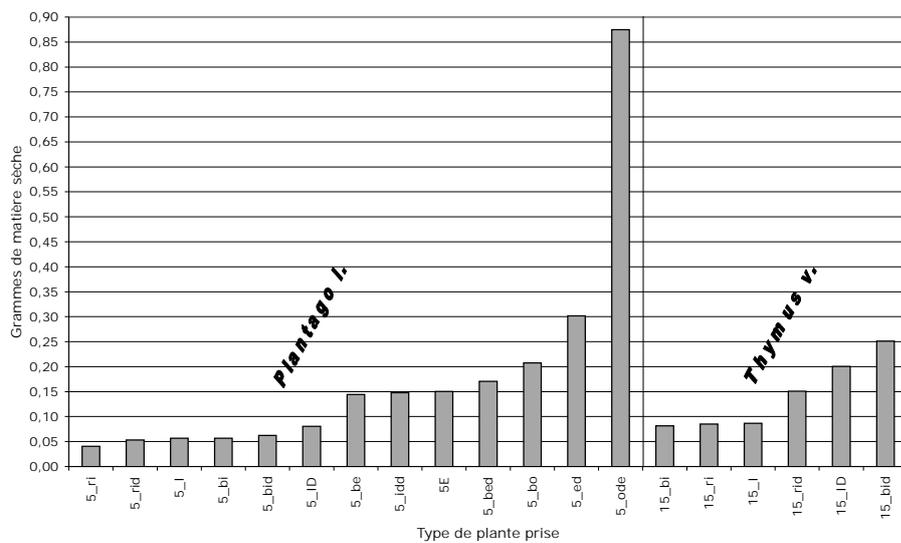


FIGURE 4.24 – Masse moyenne de prise alimentaire : dicotylédones (deuxième partie)

De façon générale, il est possible d'observer que *Plantago lagopus*, *Leontodon tuberosus* et *Diplomaix tenuifolia* sont celles qui ont permis de prélever une gamme plus étendue de plante-prises et par conséquent de masses, alors que *Sylibum marianum*, *Salvia verbenaca*, *Bellis sylvestris*, *Ranunculus arvensis* et *Arctium lappa* présentent une plus faible étendue de plante-prises.

D'après mon expérience sur le terrain, je peux identifier les groupes de plantes *Salvia verbenaca*, *Bellis sylvestris* et *Ranunculus arvensis* comme étant de très petit format. Ces petites plantes présentent des différences plutôt dans leur densité que dans leur taille. La différence dans la masse des prises alimentaires serait déterminée par la densité d'organes végétaux préhensibles.

Pour ce qui est des groupes de plantes *Silybum marianum* et *Arctium lappa*, malgré le fait qu'elles peuvent atteindre une grande taille par rapport au reste des dicotylédones, elles ont été collectées (dans la plupart des cas) à la base de la feuille, de sorte que seulement deux ou trois plante-prises ont été observés.

Au graphique 4.25, nous présentons l'étendue des masses obtenues pour 7 groupes de plantes graminées autres que brachypode. Au total, 35 prises alimentaires différentes ont pu être observées.

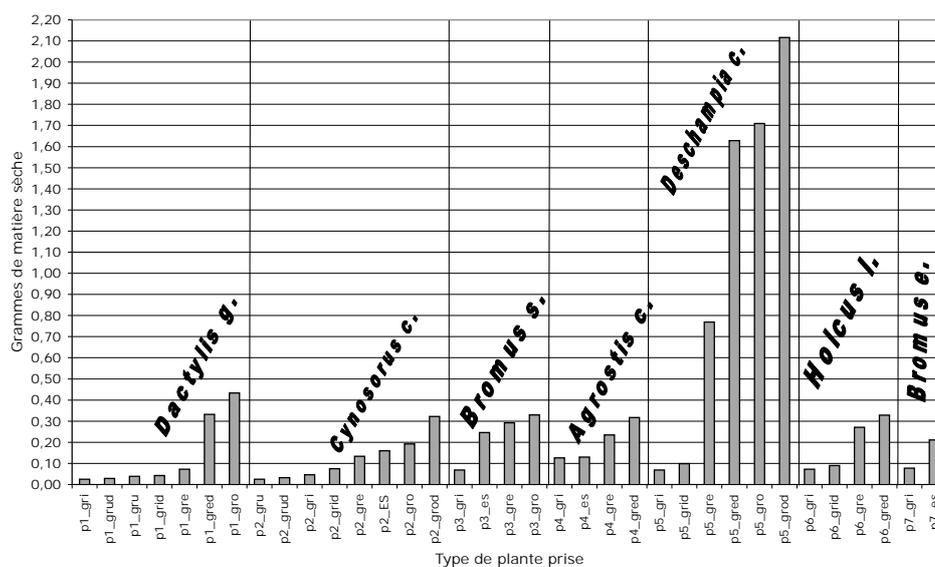


FIGURE 4.25 – Masse moyenne des prise alimentaire pour le groupe : autres graminées

Il est possible de repérer, parmi les graminées autres que le brachypode, les groupes *Dactylis glomerata*, *Cynosorus cristatus* et *Deschampia cespitosa* comme ceux qui ont permis de collecter une gamme relativement plus ample de prises. Même si ces groupes sont de petit format (sauf les graminées du groupe format du type "*Deschampia cespitosa*"), il a été observé des variations de densité pour chaque type de prise, ce qui augmente le nombre total de plantes-prise qui peuvent être collectées. En revanche, les groupes *Bromus sterilis*, *Agrostis canina*, *Holcus lanatus* et *Bromus erectus* ont permis une gamme relativement plus faible des prises et donc de masses. D'après mon expérience de terrain, je peux associer la faible gamme des prises du dernier groupe ("*Bromus erectus*") au fait que : ces graminées, bien que de grand format, ont été de manière générale observées avec un faible nombre de

tiges et une faible densité de feuilles. Leurs prises sont pour la plupart collectées à la base des feuilles, résultant en seulement deux ou trois types de plante-prises selon la taille de la feuille.

4.1.4.3 Masse des prises alimentaires dans le cas des morphes de brachypode

Les résultats obtenus à partir des simulations ont permis de déterminer sur les 6 morphes de brachypode la masse collectée de 24 plante-prises différentes. Ce résultat valide en partie le soin pris pour inclure dans la grille d'identification des plante-prises les divers formats que prend le brachypode. Au graphique 4.26 nous observons la gamme de masse moyenne de ces 24 types de plante-prises.

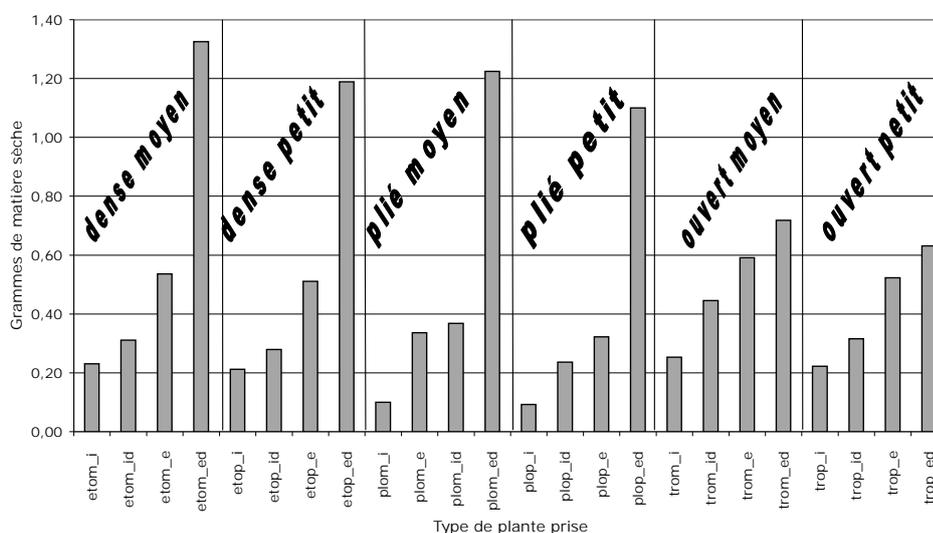


FIGURE 4.26 – Masse moyenne de 24 types de plante-prises issues de 3 morphes de brachypode en deux modalités : "dense moyen", "dense petit", "plié moyen", "plié petit", "ouvert moyen" et "ouvert petit"

Il nous semble important de signaler trois résultats liés à la physionomie du brachypode et la masse qui en est tirée lors des prises alimentaires :

- Seulement deux plante-prises ont des masses inférieures à 0,10 g MS, ce qui nous indique que le brachypode est généralement utilisé pour mobiliser des prises de masse importante. En tout cas, pour la plupart (91 %) des prises issues du brachypode, leur masse est supérieure à celle collectée dans beaucoup (40 %) de prises issues des dicotylédones et (57 %) d'autres graminées. La masse de 0,10 g MS/prise a été signalée comme un seuil fonctionnel dans le cas des brebis pâturant des pelouses embroussaillées en parcs clôturés (Agreil, 2003). Au-dessus de ce seuil, les prises alimentaires contribuent à l'accélération du flux d'ingestion ; en-dessous, elles contribuent à son ralentissement en cours de repas. Nous verrons à la section 5.2.2.6 si la masse des prises de brachypode peut également jouer un rôle fonctionnel dans le cas du flux d'ingestion instantané chez des brebis gardées en steppe de Crau.
- Pour les morphes de hauteurs différentes, par exemple "dense moyen" par rapport à "dense petit", mais également "plié moyen" vs. "plié petit", ou "ouvert moyen" vs. "ouvert petit", les mêmes types de prises (par exemple la prise "i") apportent une masse similaire

malgré cette différence de taille. Autrement dit, la différence de hauteur n'empêche pas, dans certains cas, d'obtenir des masses similaires pour un même type de prise. Il semble y avoir des similitudes dans la masse pour un même type de prise intra couples de morphes différenciés seulement par leur hauteur (par exemple "dense moyen - i" vs "dense petit - i" ou "plié moyen - i" vs "plié petit - i").

c) Cependant, pour divers types de morphes, comme c'est le cas de "dense moyen" vs. "plié moyen", le même type de prise (par exemple la prise "i") apporte une masse très différente des autres morphes de brachypode. Il semble y avoir des différences dans la masse pour un même type de prise entre couples de morphes différenciés par la forme de leurs feuilles et par leur hauteur (par exemple "dense moyen - i" vs "plié moyen - i")

Les différences de masse (pour un même type de prise) selon la forme et la hauteur des feuilles, ne sont pas généralisables à tous les morphes de brachypode. La relation entre la hauteur, le format et la gamme de masses qui peuvent être collectées par la brebis est très complexe pour ce qui concerne le brachypode. La masse est seulement un indicateur de la collecte qui peut être réalisée par les brebis ; une plante peut offrir la possibilité de mobiliser des prises de masse importante et pourtant ne pas être collectée ou peu fréquemment. C'est pour cela que, dans une première approche visant à dégager les structures fonctionnelles, nous regarderons les résultats des fréquences totales de collecte observées, cette fois pour chacune des 109 prises alimentaires obtenues de l'ensemble des 22 groupes de plantes.

4.1.4.4 Fréquences de collecte observées pour les 109 modalités de "plante-prise".

Quelles ont été les modalités de "plante-prise" les plus collectées ? Pour ne pas perdre de vue la masse, nous avons signalé dans les graphiques suivants une bordure noire foncée pour les prises alimentaires ayant une masse supérieure ou égale à 0,10 g MS. Premièrement, nous présenterons dans les graphiques 4.27 et 4.28 les résultats pour la collecte des prises appartenant au groupe des dicotylédones.

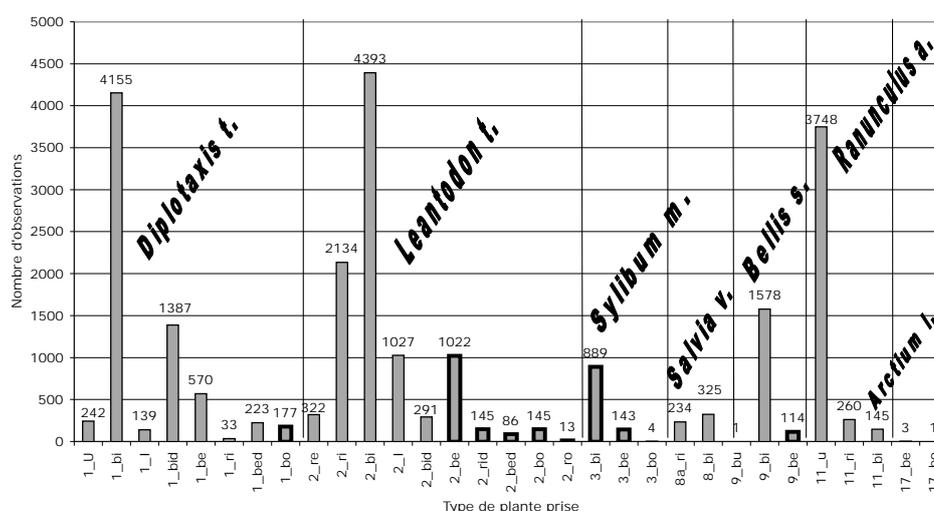


FIGURE 4.27 – Collecte observée des prises alimentaires issues des dicotylédones (première partie)

Pour les 50 plante-prises apportées par 9 groupes de dicotylédones, celles obtenues des

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

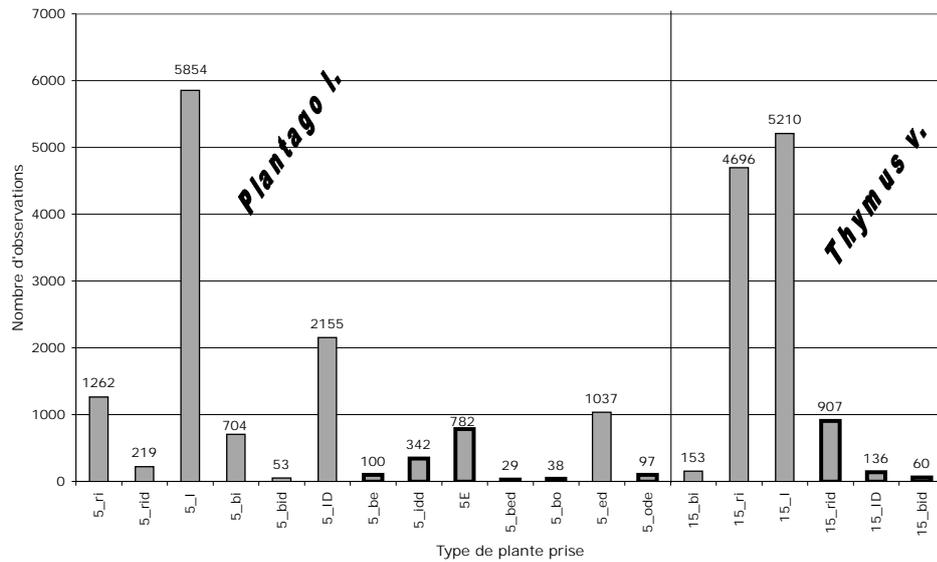


FIGURE 4.28 – Collecte observée des prises alimentaires issues des dicotylédones (deuxième partie)

groupes *Thymus V.*, *Plantago L.*, *Ranunculus A.*, *Leantodon T.* et *Diploaxis T.* ont été plus fréquemment collectées. Il est possible d'observer comment les prises plus massives (> 0,10 g MS, signalées avec une bordure en noir foncé) ont été moins fréquemment prélevées par rapport à celles de masse faible.

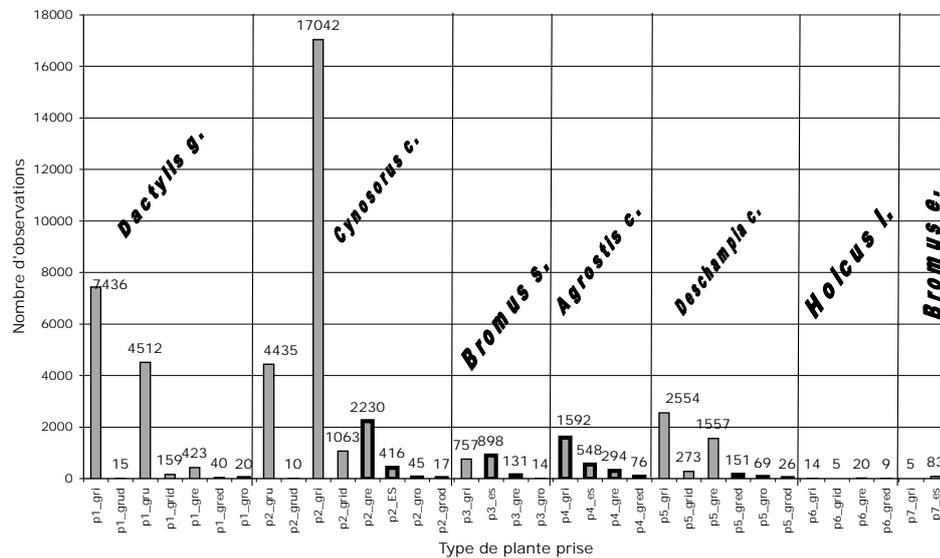


FIGURE 4.29 – Collecte observée des prises alimentaires issues des autres graminées

Nous nous attendions à retrouver des résultats similaires pour les prises obtenues des graminées autres que brachypode. Au graphique 4.29 nous présentons les résultats de la fréquence de collecte pour les 35 modalités de "plante-prise" obtenues des 7 groupes de graminées. Nous pouvons observer comment la fréquence totale de collecte demeure très marquée par deux modalités de "plante-prise" : le "Cynosorus cristatus. - gri", et le "Dactylis glomerata - gri". Nous observons également que les plante-prises les plus massives ont

été nettement moins collectées que les prises de masse plus faible, tout comme la collecte observée sur les dicotylédones.

En ce qui concerne les morphes de brachypode, nous avons constaté (voir figure 4.26 à la section précédente) que la plupart des prises observées sont de masse importante (> 0,10 g MS). Alors, quelle fréquence de collecte avons-nous observé pour ces prises ?

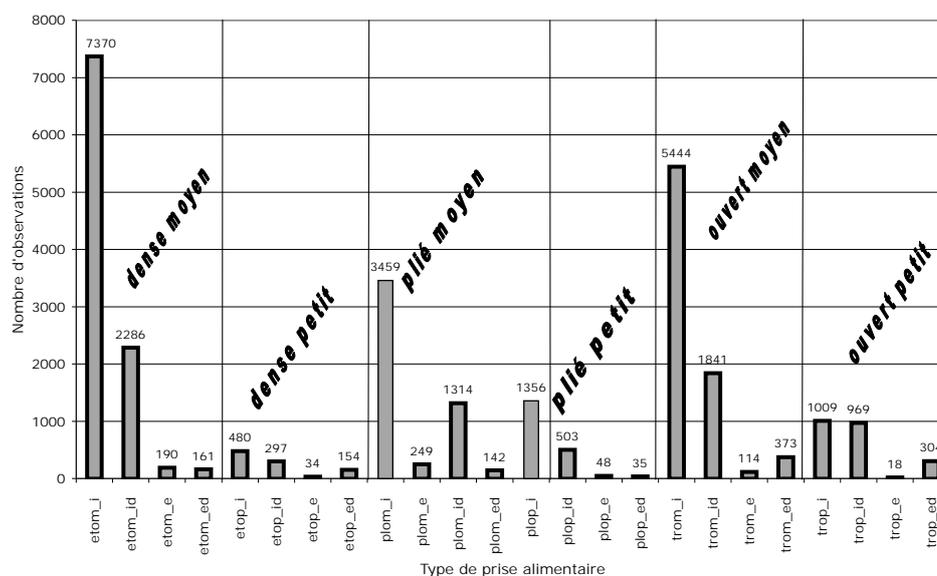


FIGURE 4.30 – Collecte observée des prises alimentaires issues des morphes de brachypode

Sur le graphique 4.30 nous pouvons observer la fréquence totale de collecte pour les 24 modalités de prises obtenues de nos 6 morphes de brachypode. Parmi ces 24 types, il nous est possible de repérer les 6 modalités de "plante-prises" les plus mobilisées ; qui sont : "dense moyen - i", "dense moyen - id", "plié moyen - i", "plié petit - i", "ouvert moyen - i" et "ouvert moyen - id". Les "plante-prises" sur le brachypode les plus mobilisées sont, pour la plupart (4 sur 6), de masse supérieure ou égale à 0,10 g MS. Cela est remarquablement contrasté par rapport aux fréquences de collecte sur les dicotylédones et autres graminées, où les "plante-prises" massives (> 0,10 g MS) ont été faiblement observés.

En résumé, la fréquence de collecte totale de cette gamme de plante-prises (109 plantes-prises différentes) nous indique déjà des comportements assez différents pour nos trois grands groupes de plantes : dicotylédones, autres graminées et brachypode. Dans les deux premiers cas, une relation entre la fréquence des observations et la masse des plante-prises semble associer aux types de "plante-prise" très mobilisés une masse moyenne généralement inférieure à 0,10 g MS. En revanche, pour les morphes de brachypode, les plante-prises fréquemment observés ne semblent pas être associées à des masses inférieures à 0,10 g MS ; et même, la plupart des prises très fréquemment observées ont une masse supérieure à 0,10 g MS.

4.1.4.5 Fréquences de collecte des 109 modalités de "plante-prise" selon les faciès.

Nous présentons ci-dessous les nombres de plante-prises observés selon les faciès : le faciès fin, le faciès panaché 1 et le faciès panaché 2. Nous rappelons que nous n'avons pas

effectué une étude de comparaison directe entre l'abondance végétale et la collecte dans les faciès. Cependant, les données de la collecte observée sont considérées comme un indicateur indirect de la collecte associée à chaque faciès, collecte qui peut être choisie par les troupeaux, mais sans oublier l'influence du berger qui sera abordée à la section 4.3. Nous présentons d'abord les résultats concernant la collecte de "plante-prise" observée sur les dicotylédones, pour les trois faciès.

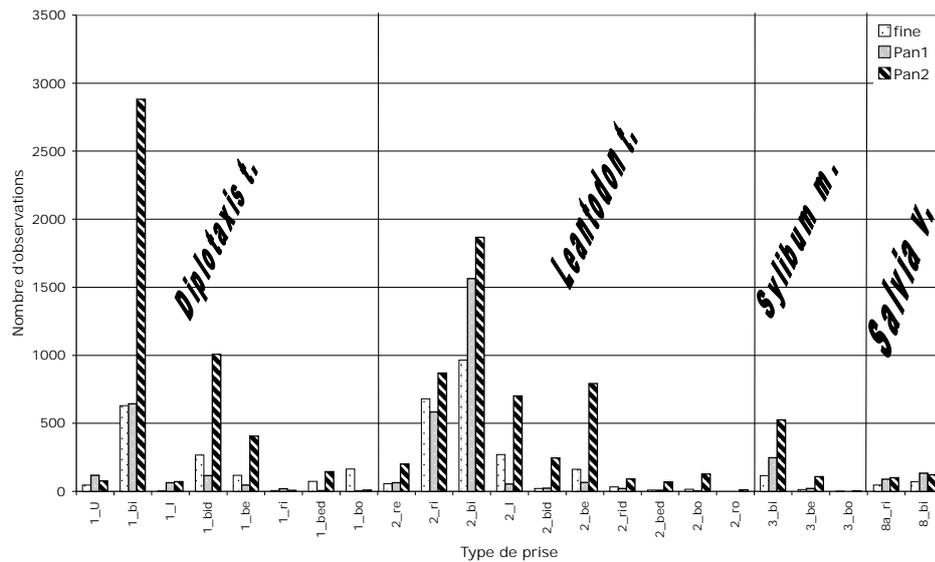


FIGURE 4.31 – Collecte observée des prises alimentaires des dicotylédones par faciès (première partie)

Dans les graphiques 4.31 et 4.32 nous pouvons observer la fréquence de collecte des plante-prises sur des dicotylédones, selon les trois faciès. Bien que le faciès fin pourrait être compris par définition comme étant celui de la plus grande abondance de dicotylédones et/ou petites plantes annuelles, c'est en réalité sur le faciès panaché 2 que nous avons relevé la plus grande fréquence de collecte de dicotylédones.

Dans ces mêmes graphiques, il nous est possible d'observer la fréquence de collecte des plante-prises (dicotylédones) dans le faciès panaché 1, qui reste placé à un niveau intermédiaire entre les faciès fin et panaché 2. Nous présentons ensuite les résultats concernant les prises observées sur des graminées autres que le brachypode.

Dans le graphique 4.33 nous pouvons observer la fréquence de collecte des plante-prises par faciès, pour le groupe des graminées autres que brachypode. De manière générale, nous trouvons un comportement de collecte similaire par rapport aux prises alimentaires obtenues sur dicotylédones. C'est à dire un plus grand nombre de collectes dans le faciès panaché 2, un nombre de collecte moins important dans le faciès fin et entre ces deux niveaux de collecte, celle du faciès panaché 1. Il est intéressant de signaler une caractéristique des différentes plante-prises tirées de ces graminées et très peu fréquentes ; elles correspondent, dans la plupart des cas, à des prises alimentaires de masse importante (supérieure à 0,10 g MS).

Pour compléter cette section, nous présentons le nombre des plante-prises qui ont été observées selon les différents morphes de brachypodes. De la même manière que pour le

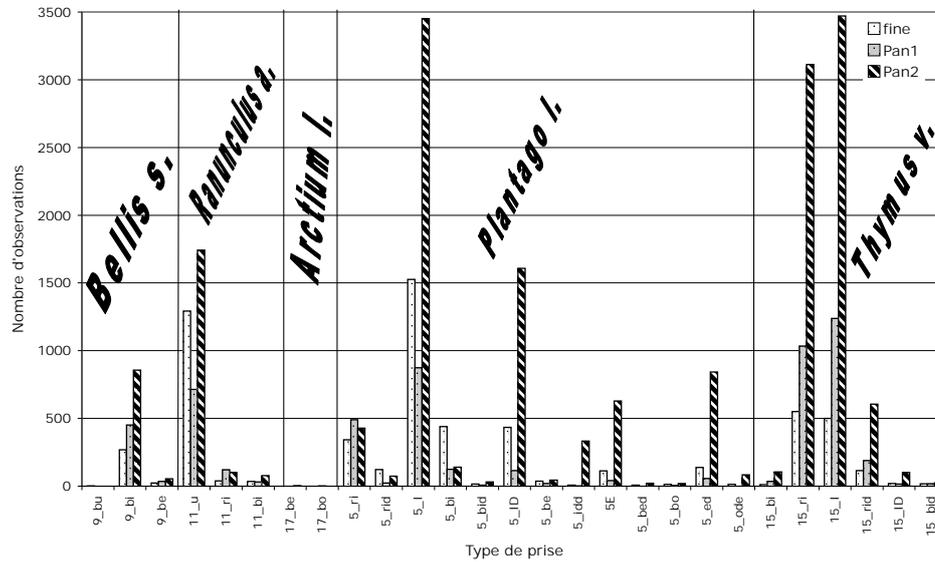


FIGURE 4.32 – Collecte observée des prises alimentaires des dicotylédones par faciès (deuxième partie)

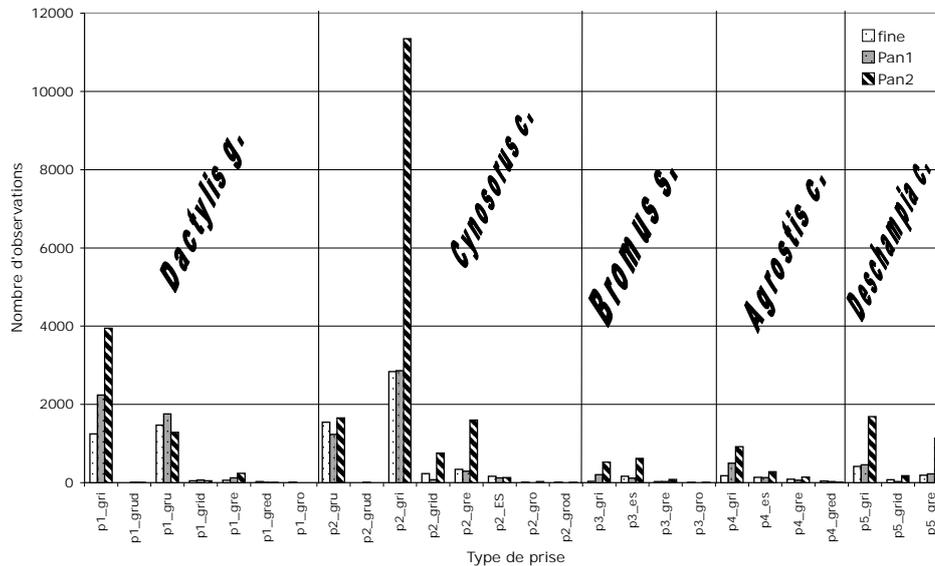


FIGURE 4.33 – Collecte observée par faciès des prises alimentaires des autres graminées, les plantes de format du type *Holcus lanatus* et *Bromus esterilis* ont été très faiblement collectés et ne sont pas présentés sur le graphique.

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

groupe des autres graminées, pour les 3 morphes de brachypodes, et deux modalités de hauteur.

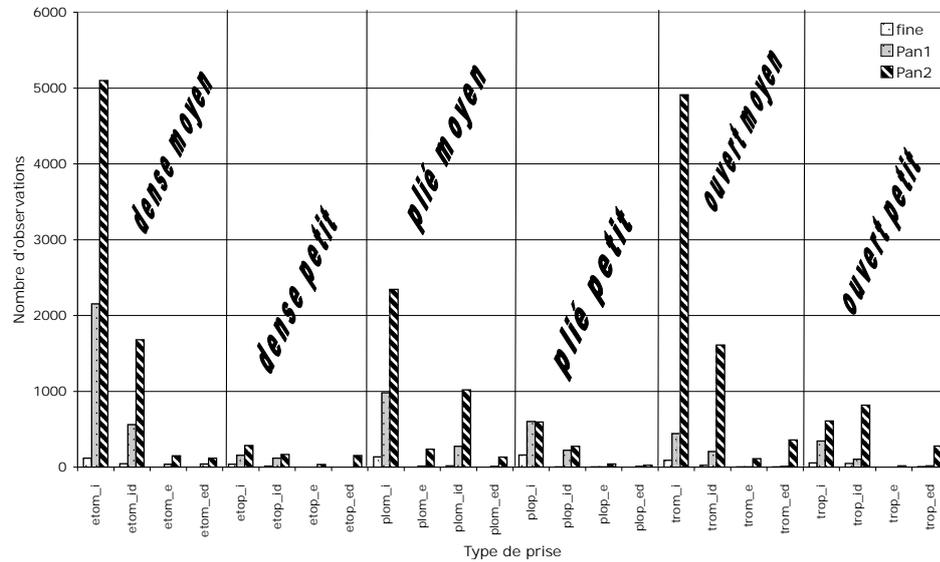


FIGURE 4.34 – Collecte observée par faciès des prises alimentaires selon les morphes du brachypode

Au graphique 4.34, il est possible d'observer la collecte des plante-prises sur les trois faciès, pour nos 6 morphes de brachypode identifiés : "dense moyen", "dense petit", "plié moyen", "plié petit", "ouvert moyen" et "ouvert petit". Il est important de rappeler que seulement deux types de plante-prises, le "plié moyen - i" et le "plié petit - i" ont une masse moyenne en dessous de 0,10 g MS. Ces types de plantes-prises, issus des morphes "plié moyen" et "plié petit", ont été nettement moins collectés que ceux du type "dense moyen", "dense petit", "ouvert moyen" et "ouvert petit". Ces résultats pourraient être dus en partie à une moindre abondance des morphes plié moyen et petit dans les trois faciès concernés.

Bien que nous ne sommes pas en condition d'interpréter une différence qui serait liée à l'abondance de chaque morphe de brachypode, nous constatons en revanche le fait que les trois couples de morphes ont tous été sensiblement plus fréquemment collectés sur le faciès panaché 2. Cela nous amène à placer ce faciès comme étant le plus important par rapport à la collecte totale que nous avons observée dans chaque faciès. Cependant, nous pourrions également faire l'hypothèse que les brebis choisissent le brachypode lorsqu'il se présente sous une forme qui permet de réaliser des prises de masse plus importante. Et la masse des prises, dans le cas des morphes de brachypode, serait plus liée à la densité des feuilles qu'à la hauteur de la plante. Même si, dans ce travail, nous ne pouvons trancher sur les choix des brebis observées par rapport aux masses de brachypode, nous soulignons le fait que nos résultats indiquent un prélèvement plus fréquent des morphes permettant de faire de prises nettement plus massives. Outre le fait d'offrir les plante-prises les plus massives, le faciès panaché 2 est celui où les nombres de collectes observées sont également les plus élevées.

4.1.4.6 Qualité nutritive des plante-prises.

Notre exploration de la qualité nutritive sera approchée par l'analyse de trois indicateurs classiques : 1) l'Acid Detergent Fiber (ADF en % de la MS) ou teneur de lignocellulose ; 2) les matières protéiques totales (MPT en % MS) 3) la digestibilité in vitro de la matière sèche (DMS en %) selon [Aufrère, J. \(1982\)](#). Afin de comparer nos résultats avec des données de référence, nous avons ajouté des valeurs de fourrages bien connus (d'après [Sauvant et al. \(2002\)](#)).

Au graphique supérieur [4.35](#), nous observons les valeurs de digestibilité de la matière sèche et de la MPT des "plante-prises" issues de nos trois groupes de plantes, dicotylédones, brachypode et autres graminées. D'après les valeurs, il est possible de distinguer deux groupes : celui des dicotylédones (triangles blancs) et une partie d'autres graminées (croix) avec plus de 60 % de DMS et généralement plus de 12 % de MPT ; un autre groupe est composé des prises issues du brachypode (carrés blancs) et une autre partie d'autres graminées (croix) avec une DMS en dessous de 60 % et une MPT à moins de 12 % MS. Nous trouvons une gamme étendue des valeurs pour les dicotylédones et les autres graminées, qui contraste avec la gamme de valeurs nettement plus restreinte chez le brachypode. Ce dernier affiche les valeurs les plus faibles de digestibilité de la matière sèche : de 37 à 50 % seulement.

Les indicateurs ADF - MPT sont observables au graphique inférieur [4.35](#). Les meilleures valeurs nutritives sont celles qui ont la plus grande valeur de MPT et la plus faible d'ADF. Nous distinguons à nouveau des gammes de valeurs étendues pour les dicotylédones et autres graminées et une gamme de valeurs éminemment restreinte dans le cas du brachypode. Les dicotylédones apportent les types de "plante-prise" avec les meilleures valeurs de ADF-MPT, mais il en est de même avec certaines "autres graminées" (plus de 15 % MPT et moins de 30 % ADF). La majorité des "autres graminées" sont toutefois de valeurs comparables à celle du brachypode (7 à 12 % MPT et 34 à 40 % ADF), donc peuvent être considérées également comme un fourrage assez "grossier".

La gamme étendue de valeurs pour les dicotylédones et les autres graminées n'est pas surprenante. En fait, sur le terrain, autant les dicotylédones que les graminées apportent des prises obtenues à partir des stades jeunes, par exemple les plante-prises de petite masse : "Leantodon t. - bi", "Bromus s. - gri", mais également à partir de stades plus matures comme par exemple les plante-prises de grande masse : "Plantago l. - E", "Deschampia c. - gro".

Bien entendu, nous ne considérons pas les prises de petite masse comme exclusivement observées sur des plantes au stade jeune. Nous soulignons simplement l'étendue des valeurs d'ADF-MPT entre prises alimentaires de petite masse issues de plantes jeunes et prises de grande masse issues de plantes matures, sans rechercher d'autre corrélation entre le stade de la plante et la masse de la prise.

Nous observons ces exemples de valeurs de ADF-MPT selon des types de "plante-prises" contrastés au graphique supérieur [4.36](#). Quant au brachypode, la gamme de valeurs restreinte peut nous amener à considérer que, malgré la différence entre stades jeunes ("plante-prise" du type "i") et matures ("plante-prise" du type "ed"), la teneur en lignocellulose ADF est considérablement moins étalée que pour les dicotylédones et les autres graminées. La teneur plus élevée en lignocellulose chez le brachypode le situe donc bien comme une "ressource grossière", selon les termes utilisés par les bergers, éleveurs et techniciens pastoraux

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

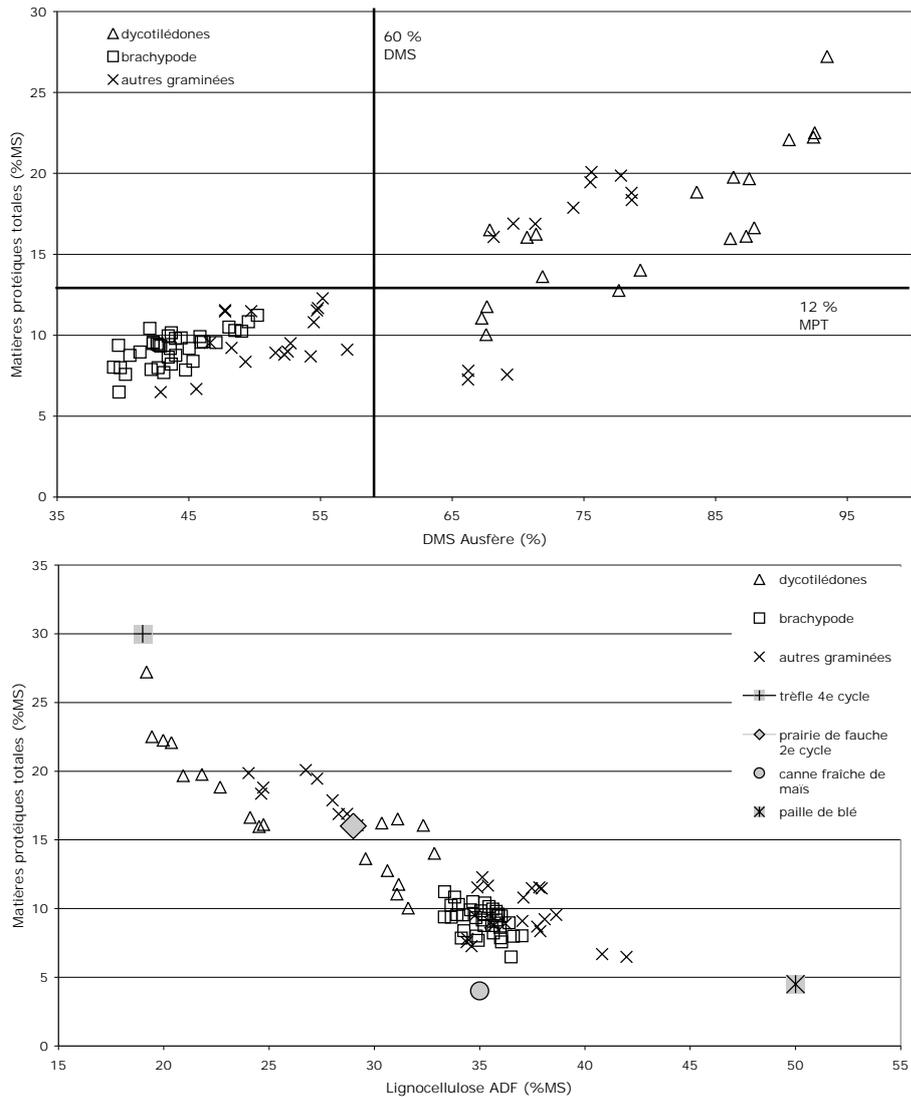


FIGURE 4.35 – Variété de valeurs nutritives de plante-prises issues de trois groupes de plantes. Graphique supérieur : DMS et MPT. Graphique inférieur : ADF et MPT. Valeurs de référence des fourrages plus classiques d'après [Sauvant et al. \(2002\)](#)

de Crau, c'est-à-dire de moindre valeur nutritive comparé aux petites annuelles et à la plupart des autres graminées.

4.1.4.7 Résultats de la qualité nutritive selon les morphes de brachypode.

Nous présentons au graphique inférieur 4.36 les valeurs de ADF-MPT pour les 6 types de morphe de brachypode. Pour des raisons de lisibilité, ce graphique a été très étendu sur l'axe "x" (écart total de 4,5 % ADF seulement). Mais il est important de souligner qu'il faut compter ici avec une marge d'erreur (répétabilité des analyses au laboratoire) d'environ 1,5 à 2 % lorsqu'on estime la teneur en lignocellulose d'un végétal composite. Il n'est donc pas pertinent de chercher ici à déceler des petits écarts selon l'axe horizontal. La marge d'erreur selon l'axe vertical, à savoir pour l'estimation de l'azote (MPT = N x 6,25), est nettement moindre, de l'ordre de 0,3 à 0,5 %, lorsque les échantillons sont prélevés dans de bonnes conditions.

Concernant ces résultats, et en tenant compte des marges d'erreur mentionnées ci-dessus, nous devons nous souvenir que les morphes de brachypode se différencient principalement selon deux caractéristiques :

- Le format. De feuilles fines en aiguille ("dense"); de feuilles fines et pliées ("plié"); de feuilles larges ouvertes ("ouvert").
- La taille. De 5 à 10 cm ("moyen"); de 2 à 5 cm ("petit")

La grille de codage que nous avons présentée (voir figure 3.3 à la section 3.1.3) considère 4 types de distribution des organes verts chez le brachypode : au sommet, dans la moitié supérieure, intercalés à l'horizontale et intercalés à la verticale. De ces distributions, nous avons observé seulement celle intercalée à l'horizontale; cependant nous avons observé que : la proportion de matériel vert varie selon la forme de la feuille ; les feuilles en forme d'aiguille sont très minces ; les feuilles pliées un peu moins et les feuilles ouvertes ont des limbes beaucoup plus larges. En conséquence, pour les morphes observés, même si tous les six présentent du matériel sec intercalé à l'horizontale, ils auront des différences dans leur proportion totale de matériel vert dues principalement à la forme de la feuille.

Les résultats au graphique 4.33, et plus particulièrement les teneurs en MPT, nous indiquent qu'il semblerait effectivement que les morphes "ouvert petit" et "ouvert moyen" sont ceux qui auraient généralement une plus grande proportion de matériel vert.

En résumé, nous avons exposé l'importance des faciès "panaché 2" comme offrant des plante-prises les plus fréquemment observées et également les plus massives. Le brachypode, quant à lui, permet de réaliser des prises massives (> 0,10 g MS) et il est fortement mobilisé (presque 30 % de la collecte totale observée) sans être pour autant d'une meilleure qualité nutritive, au contraire. La variété des structures végétales présentes en Crau a été mise en évidence, tout comme l'importance relative des types de prises réalisées sur les dicotylédones, le brachypode et les autres graminées. Nous allons à présent explorer le comportement alimentaire des brebis face à cette variété de structures végétales.

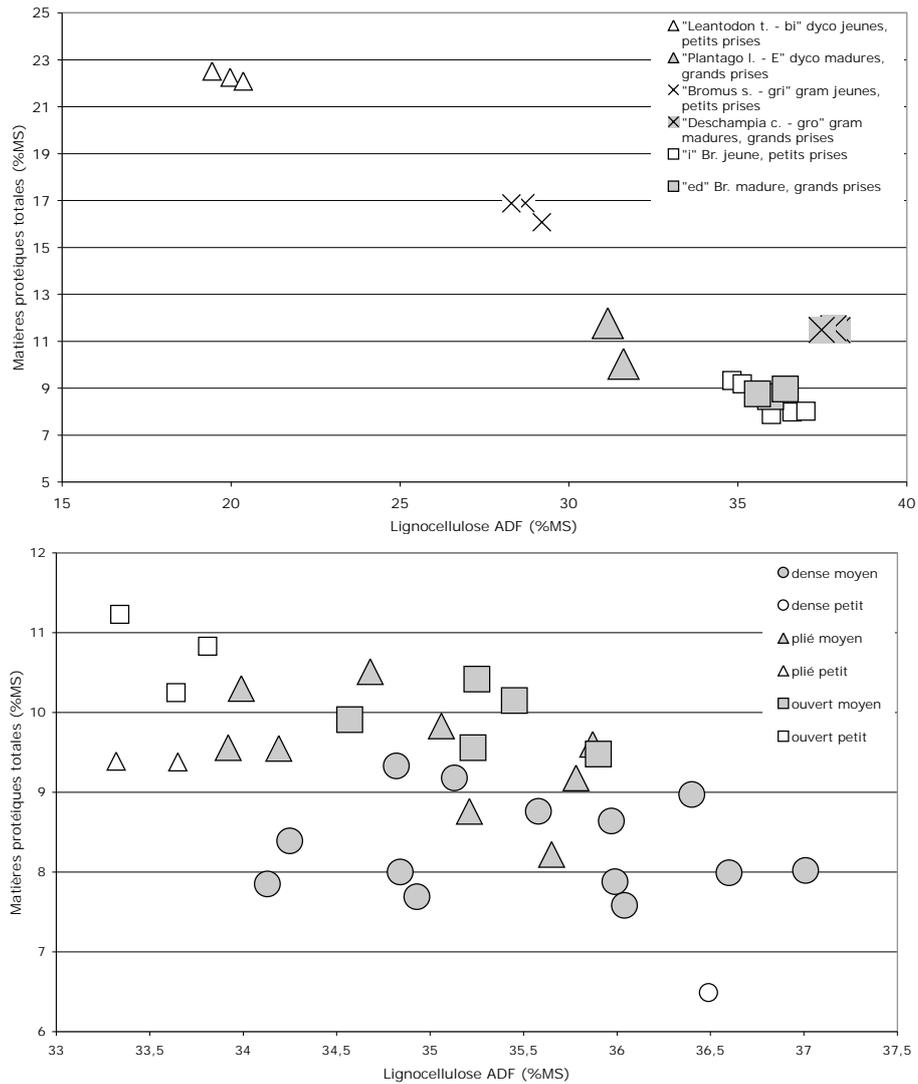


FIGURE 4.36 – Deux indicateurs (ADF-MPT) de la variété de valeurs nutritives de plante-prises issues de trois groupes de plantes. Graphique supérieur : prises sur une gamme de plantes très contrastées. Graphique inférieur : prises sur différents morphes de brachypode.

4.1.5 Description et analyse exploratoire du flux d'ingestion

Dans cette section, nous présenterons les données issues des observations de l'ingestion. Nous exposerons les valeurs de notre indicateur de l'efficacité de collecte, c'est-à-dire le flux d'ingestion instantané. La gamme de flux et ses valeurs en fonction des faciès seront présentées. Nous exposerons aussi l'exploration du rapport entre la masse et la fréquence de prise alimentaire (la "réponse fonctionnelle"). Des résultats classiques concernant le rapport masse / fréquence de prise alimentaire avec le flux, mais également des comportements très différents de nos données, seront présentés. Pour conclure cette partie, la complexité à montrer le lien entre la diversité des structures et le flux obtenu de nos observations selon la base de 20 secondes sera envisagée.

4.1.5.1 Description générale du comportement d'ingestion et de la réponse fonctionnelle

Notre analyse de données nous a amené à utiliser 8.272 séquences de 20 secondes, durée qui a été choisie pour mieux exprimer le processus d'ingestion instantanée. Dans cet ensemble de données, nous avons identifié les valeurs à ne pas prendre en compte car trop éloignées de la distribution (ou artefacts résultants de la méthode de calcul). La procédure statistique a consisté en l'identification des valeurs médianes du flux d'ingestion et des valeurs "suspectes" (*outliers* en R) ; ces valeurs sont des observations numériquement distantes du reste des données. Ce sont les extrêmes qui, statistiquement, sont situés à l'extérieur des valeurs maxima ou minima ; leur définition est donnée comme 1.5 fois la distance interquartile (dans un graphique type boîte à moustache ou "Box and whisker" (voir figure 4.37) qui synthétise visuellement les grandeurs descriptives d'une variable numérique. Si la distance entre un point et le quartil 1 ou le quartil 3 dépasse 1.5 fois la distance interquartile, alors le point est considéré comme "suspect").

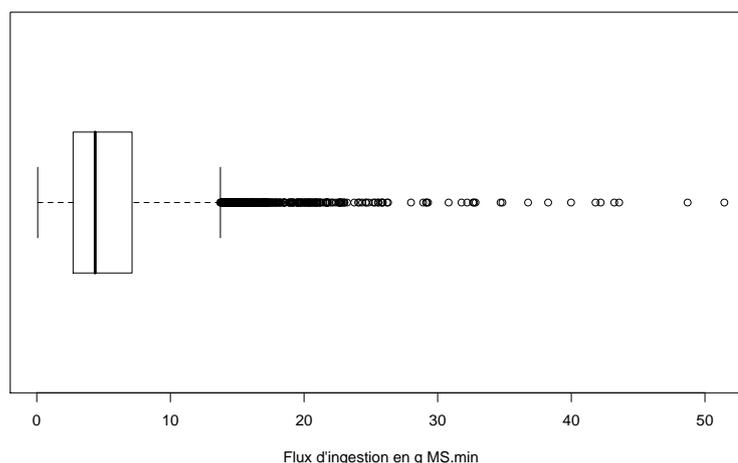


FIGURE 4.37 – Médiane des flux d'ingestion observés dans les trois faciès considérés ensemble

Dans le cas qui nous occupe, 4,6 % des données ont été identifiées comme des valeurs "suspectes" (388 sur 8.272 flux au-delà de 13,74 g MS/min), ce résultat étant normal par rapport aux types de données expérimentales. De telles données ont été écartées de l'analyse, ainsi que 98 séquences correspondant à des séries d'observations effectuées lors du pâturage réalisé sur une friche située en bordure de coussoul. Après ce traitement, les données

effectives sur lesquelles l'analyse a été menée ont été constituées de 7.786 données de flux d'ingestion. De manière générale, pour notre indicateur de l'efficacité d'ingestion, c'est-à-dire le flux d'ingestion, sa valeur médiane a été de 4,371 g MS/min, tous faciès observés confondus.

À la figure 4.37, nous observons la boîte à moustache pour ces 8.272 données de flux d'ingestion. Nous distinguons un rectangle dont la longueur s'étend du premier quartile au troisième quartile, et qui est coupé par un trait vertical à hauteur de la médiane (4,37). De cette boîte partent deux traits horizontaux : l'un va du premier quartile à la valeur minimale de la série (0,07, ceci est un artefact du calcul basé sur 20 secondes), l'autre du troisième quartile à la valeur maximale (13,74). Sur ces deux moustaches, on représente également les valeurs du premier et du dernier décile par des traits verticaux. Les valeurs suspectes sont affichées sous la forme de cercles noirs.

Les flux d'ingestion instantanés que nous avons observés ont atteint jusqu'à 13 g MS/min, ce qui est une valeur plus communément observée sur des parcours de type sous-bois, ou landes embroussaillées, que sur des pelouses (Meuret, 1997). Convertis en grammes de matière organique digestible ingérée (MODI) par minute, ces niveaux maxima atteignent jusqu'à 5 g MODI/min (voir graphique 4.41 au final de cette section 4.1.5.1), ce qui est une valeur également assez élevée.

Par ailleurs, nos résultats (voir figure 4.38) montrent l'absence de corrélation négative entre le flux d'ingestion de matière sèche et la digestibilité de la matière organique prélevée, situation déjà signalée avec des brebis sur parcours et qui ne va pas dans le sens des observations sur herbages cultivés à base de graminées (Agreil, 2003).

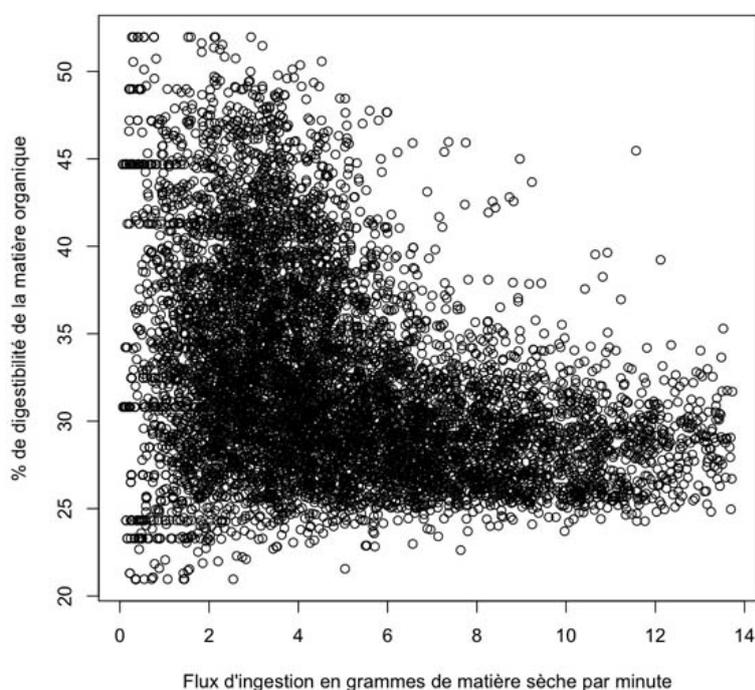


FIGURE 4.38 – Flux en grammes de matière sèche par minute et digestibilité de la matière organique ingérée durant les séquences d'observation de l'ingestion instantanée en Crau sèche.

Le mécanisme par lequel le flux est atteint peut-être analysé par la relation fonctionnelle

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

entre la masse moyenne et la fréquence des prises alimentaires. Ces deux variables sont fréquemment modélisées dans la littérature : la consommation des prises alimentaires (PA) de masses élevées n'est possible qu'à des fréquences faibles (Spalinger et Hobbs, 1992). Par exemple, durant l'ingestion instantanée (périodes de 20 secondes) pendant laquelle la masse des prises est supérieure à 0,5 g MS, sont toujours associées des fréquences inférieures à 50 PA/min. Cependant, des fréquences élevées, de l'ordre de 80 PA/min, avec des prises de masse moyenne de 0,2 à 0,3 g MS/PA, ont été rapportées sur des brebis pâturant des landes à genêts (Agreil, 2003) (voir figure 4.39).

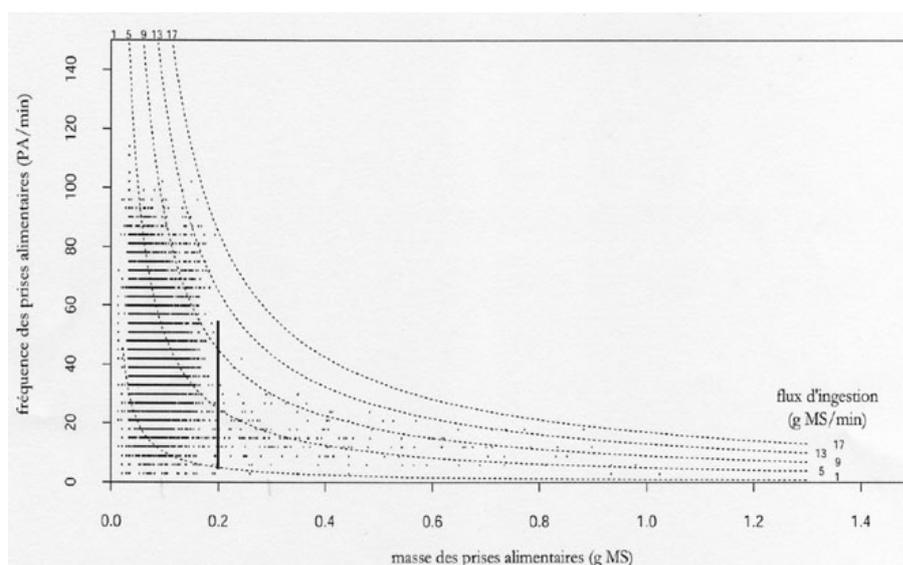


FIGURE 4.39 – Relation de la masse et de la fréquence des prises alimentaires (PA) de brebis sur landes à genêts. D'après Agreil (2003). La ligne verticale signale une masse de 0,20 g MS/PA.

Dans notre cas, la gamme des masses de prises observées s'étend de 0,024 à 1,199 g MS/PA, ce qui correspond à un rapport de 1 à 50. En ce qui concerne la fréquence des prises alimentaires, la gamme observée s'étend de 3 à 114 PA/min, ce qui correspond à un rapport de 1 à 38. Ce résultat est possible à observer sur le graphique 4.40. Une particularité de nos données a été la présence d'observations très nombreuses de masses au-delà de 0,2 g MS/PA, lesquelles ont été effectuées avec une fréquences de l'ordre de 70 PA/min (flux instantané résultant : 14 g MS/min, graphique 4.40). Un tel niveau de masse et fréquence instantanée de PA, même s'il est pour le moins élevé, reste dans la gamme des possibles chez la brebis sur parcours (Agreil, comm. pers.). Il a aussi déjà été fréquemment observé dans le cas de chèvres en forêt broutant des feuillages d'arbres (Meuret, comm. pers.) mais, dans ce cas, c'était surtout la masse très élevée des prises (ex. voisine ou supérieure à 1,0 g MS/PA) qui permettait d'augmenter aisément le flux d'ingestion.

En outre, nous avons observé dans le prélèvement total (122.872 prises observées) une grande proportion de collecte pour des prises considérées comme "massives", car supérieures à 0,10 g MS/PA, notamment dans le cas des certains morphes de brachypode comme nous avons montré à la figure 4.30 dans la section 4.1.4.4. Ces résultats concernant la collecte totale, ajoutés à cet autre constat des niveaux élevés de masse et fréquence de prises, nous indiquent que, pour les brebis de Crau, c'est probablement le format du brachypode qui permet d'atteindre, à la fois, ces niveaux de masse et de fréquence élevés.

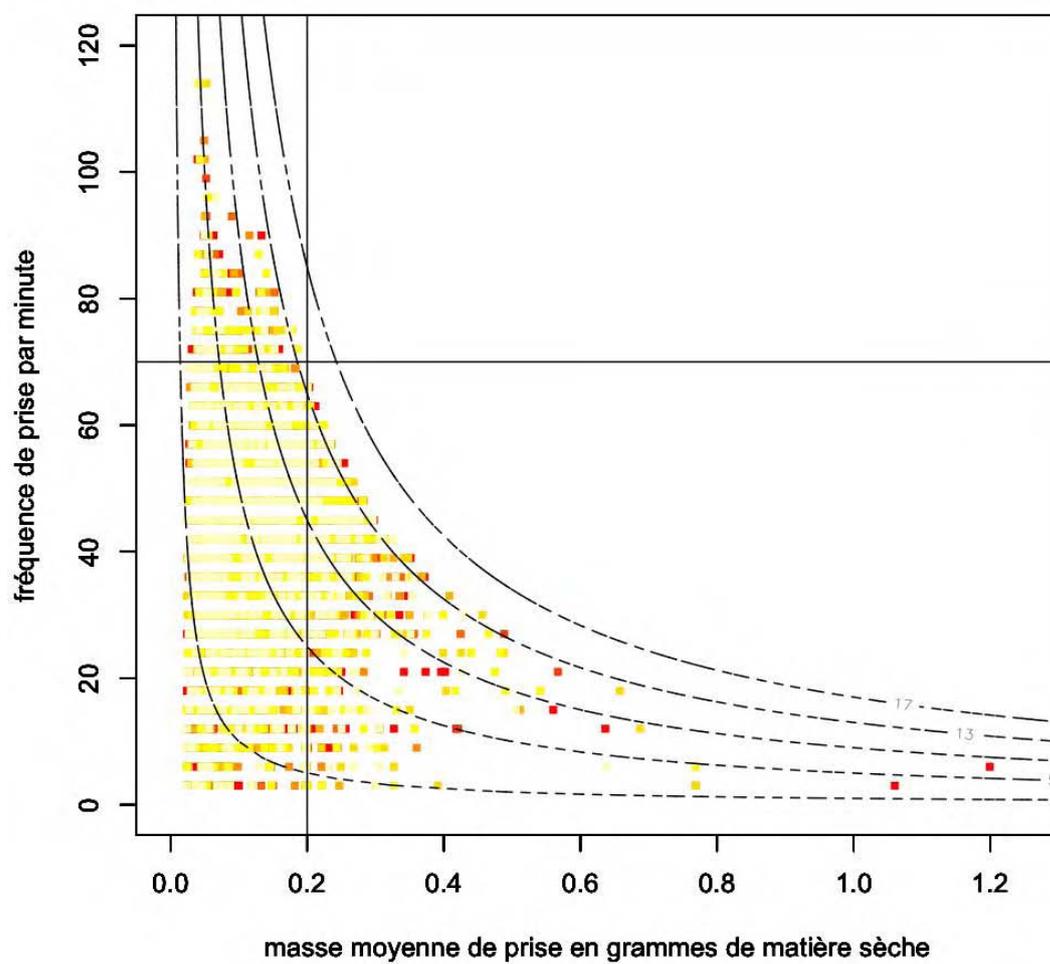


FIGURE 4.40 – Étendue du flux général obtenue pour les trois faciès considérés ensemble

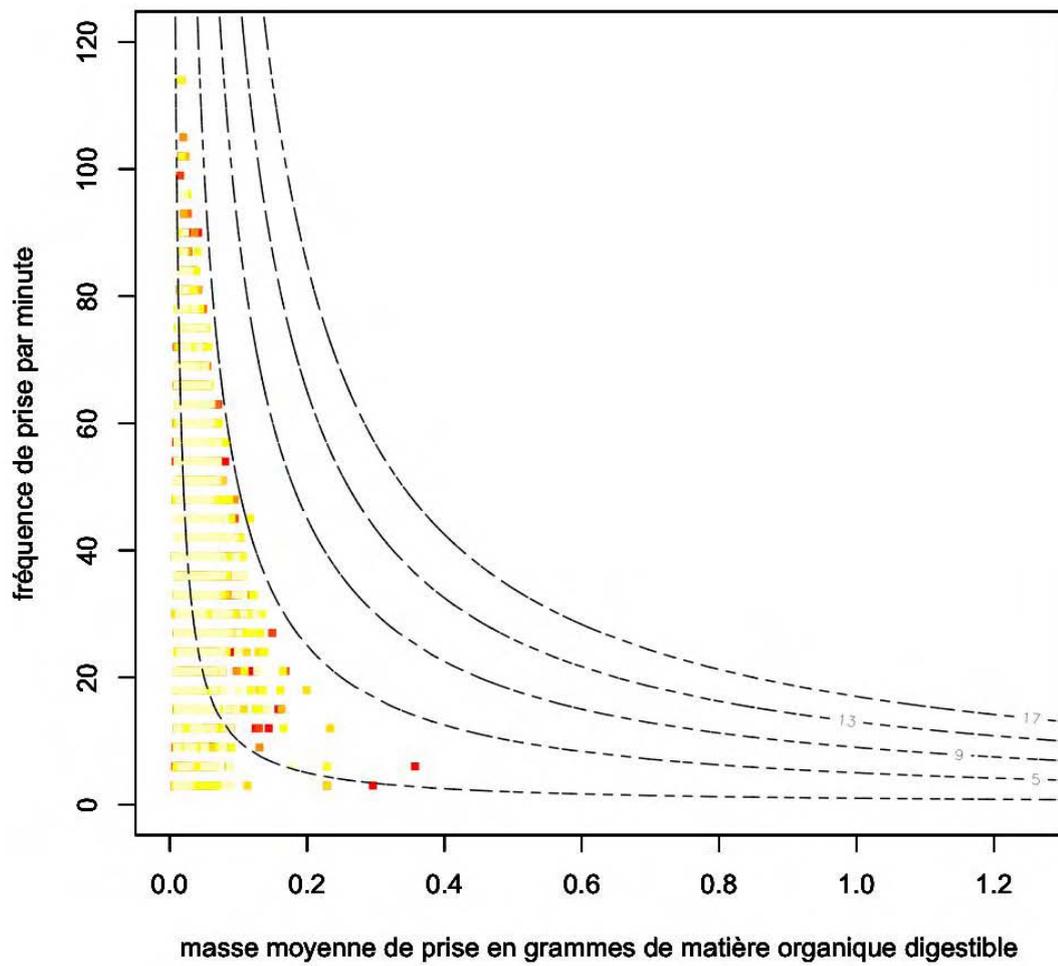


FIGURE 4.41 – flux d'ingestion de matière organique digestible

4.1.5.2 Grande variété de plantes prises par séquence de 20 secondes

À l'intérieur de notre intervalle d'analyse (séquences de 20 secondes), il est possible de trouver jusqu'à 38 plante-prises différentes (voir figure 4.42). Cela aurait des implications pour la façon de traiter les données visant à lier les formats de plante-prises et les flux calculés sur la base de 20 secondes.

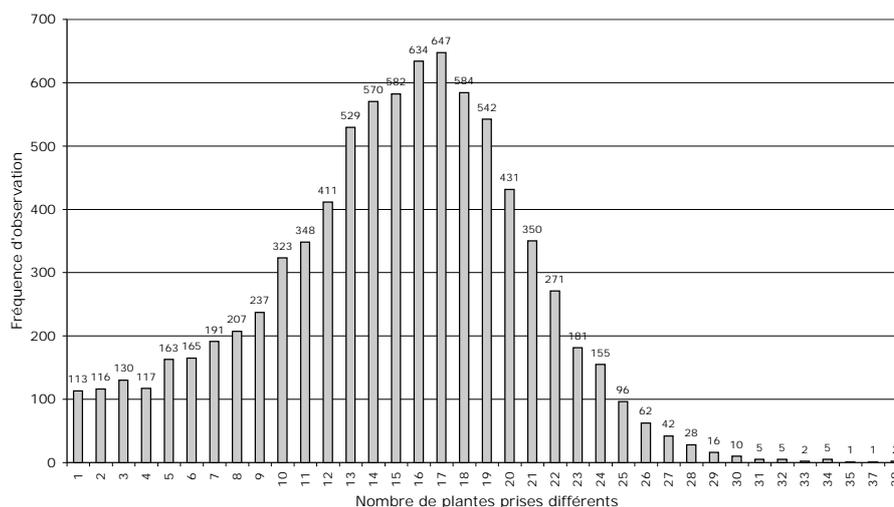


FIGURE 4.42 – Nombre de plante-prises différentes à l'intérieur des séquences de base 20 secondes

L'hétérogénéité des plante-prises a déjà été exposée à la section 4.1.4.2. Étant donné que même à l'intérieur des 20 secondes il y a une grande variété de prises différentes, il n'est pas possible de considérer des séquences avec un type de plante-prise "moyenne". Nos 109 types de plante-prises, ou nos 38 plante-prises différentes dans une séquence de 20 secondes, contribuent tous au flux d'ingestion. Nous faisons donc ici le constat de l'hétérogénéité des plantes-prises prélevées par les brebis en Crau à une échelle très instantanée, même aussi courte que 20 secondes. Cela aura des implications forte lorsque nous cherons à identifier les types de plante-prise qui influent sur le flux (section 4.2)

4.1.5.3 Le flux d'ingestion par faciès

L'expression du flux d'ingestion selon chacun des trois faciès montre que la valeur médiane du flux est la plus élevée pour le faciès panaché 2, intermédiaire pour le faciès panaché 1, et moindre pour le faciès fin (voir figure 4.43). Ces différences sont statistiquement significatives selon la procédure "notched boxplot" rapportée par McGill et al. (1978) qui compare de multiples médianes en utilisant le test de Tuckey. Ce résultat se lit sur les encoches centrales de chaque boîte (voir figure 4.43) : lorsque les encoches de deux boîtes ne se recouvrent pas, les médianes sont statistiquement différentes (avec un $p < 5\%$). Le test de Tuckey permet donc de conclure qu'il y a une différence significative entre les valeurs de flux médians entre les faciès panaché 2 (médiane de 4,8 g MS/min), panaché 1 (médiane de 3,6 g MS/min) et fin (médiane de 3,2 g MS/min). Par contre, cette différence entre faciès, bien que statistiquement significative, est moindre entre les boîtes correspondant aux faciès panaché 1 et fin, par rapport à celle entre panaché 1 et panaché 2.

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

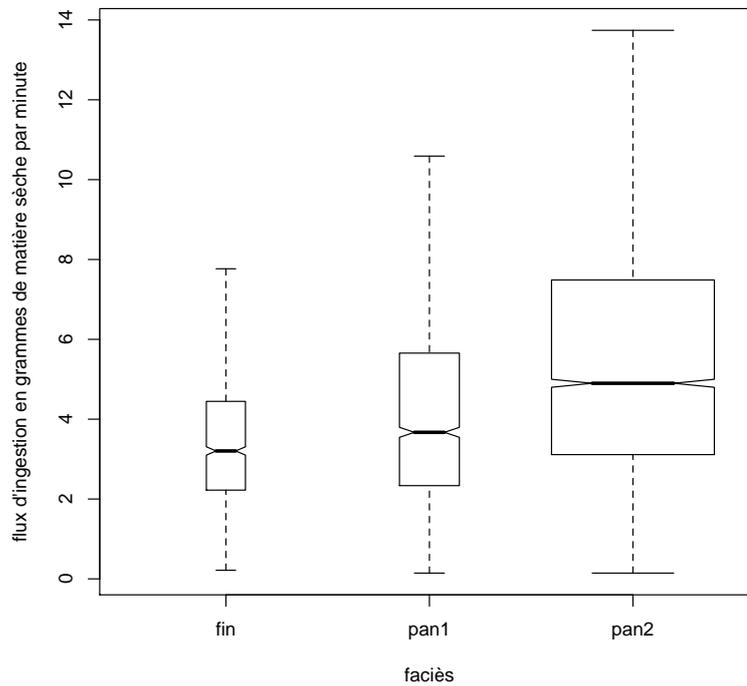


FIGURE 4.43 – Valeurs médianes de flux d'ingestion par faciès

En plus de ce test visuel, nous avons effectué celui de Kruskal-Wallis (voir tableau 4.4), qui est considéré comme une analyse de variance non paramétrique (Siegel et Castellan, 1988), et qui permet d'étudier des liaisons entre un caractère quantitatif et un caractère qualitatif à (k) classes. Dans le cas où le test est significatif, celui-ci indique qu'au moins une des médianes comparées est différente du reste. Dans ce test l'ajustement de Bonferroni (Sokal et Rohlf, 1995) permet déterminer quelles paires de médianes sont différentes.

Multiple comparaison test after Krustal-Wallis			
p value : 0.001			
Comparisons	Obs. dif.	Critical.dif	difference
fin - panaché 1	517.2784	301.8936	TRUE
fin - panaché 2	1410.0833	261.5428	TRUE
panaché 1 - panaché 2	892.8049	221.8312	TRUE

TABLE 4.4 – Résultats du test de Krustal-Wallis, comparaison de valeurs médianes du flux d'ingestion selon faciès

Dans le cas de nos résultats, pour savoir si les médianes sont statistiquement différentes, nous utilisons le test de Kruskal-Wallis qui permet de comparer des valeurs observées et des valeurs critiques par rapport à un niveau de probabilité (p-value 0.001) que nous avons choisi. Si la valeur observée (Obs. dif., colonne deux au tableau 4.4) est supérieure à la valeur critique (Critical.dif., colonne trois au même tableau), alors les paires sont statistiquement différentes. Nous pouvons observer au tableau 4.4 que les trois faciès ont des valeurs médianes statistiquement différentes (ici en quatrième colonne) pour ce qui concerne le flux d'ingestion observé.

4.1.6 Description des pratiques des bergers interviewés et observés

Dans la présente section nous aborderons les résultats apportés par les entretiens effectués avec des bergers, mais aussi ceux obtenus de notre analyse des actions employées par des bergers au cours de leurs circuits de pâturage. Premièrement, la pertinence de notre différenciation des actions à effet direct ou différé en cours de circuit sera présentée. Ensuite, seront exposés les résultats concernant la fréquence d'utilisation de chaque action à effet direct, différé, de faible ou de forte influence sur le troupeau, ainsi que leur durée moyenne. Etant donné l'importance des pratiques de gardiennage dans notre étude, nous considérons utile de faire émerger visuellement les informations permettant de rendre compte de la technicité des bergers dans les actions employées lors des circuits de garde. Pour cela les résultats des actions utilisées à l'échelle de la journée seront présentés dans cette section. Finalement, la complexité du savoir faire sera exposée dans les termes d'un éventail d'utilisation des actions selon les faciès pâturés et des spécificités des actions utilisées selon les différents bergers.

4.1.6.1 Entretiens avec des bergers experts de Crau

Pour identifier les bergers à interviewer, j'ai tiré profit de tout un réseau de contacts bâti pendant la mise en œuvre de mon dispositif de recherche. Bien épaulé pour ce travail, les premiers contacts avec les bergers, ainsi que les pré-entretiens pour faire leur connaissance, se sont déroulés sans problème. En plus, le fait d'avoir vécu durant trois mois d'affilée en immersion sur le terrain, y compris pour mon logement dans une annexe de bergerie de Crau, et aussi d'avoir passé de longues journées au milieu de deux troupeaux pour l'observation de l'ingestion, m'a rendu familier aux yeux des bergers voisins et des "bergers du coin" : le bouche à oreille a fait le reste. Ils ont trouvé un peu surprenant le fait qu'un "vêto" venu du Mexique s'intéresse à leurs pratiques, à leur façon de garder le troupeau et à cette Crau sèche, si différente des prairies artificielles irriguées.

Toujours avec un œil (ou une oreille) sur le troupeau, la plupart d'entre eux ont été bien disposés à discuter. J'ai donc constaté lors des entretiens le haut niveau de complexité utilisé pour décrire la végétation, particulièrement dans le cas du Brachypode. Ces résultats sont décrits ci-dessous. Je n'ai pas effectué d'entretiens à ce sujet avec les deux bergers dont j'ai observé l'ingestion des troupeaux. En fait, je n'ai pas voulu introduire de biais ou influencer leurs opinions, afin de ne pas fausser le résultat de nos conversations, mêmes informelles. Les extraits d'entretiens sont présentés en italiques précédés d'un pseudonyme.

Le premier constat issu des entretiens a concerné le statut de "grossier" attribué au brachypode. Sur le terrain, tous les bergers m'ont montré cette graminée, bien que parfois ils utilisent aussi ce terme pour qualifier des faciès à lavande. Toutefois, sauf indication contraire, lorsque les bergers parlent de "grossier", ils font implicitement référence au brachypode. Les autres graminées et les petites annuelles sont, pour leur part, reconnues comme le "fin".

J'ai aussi pu constater la désignation du brachypode pour qualifier le coussoul. Daniel : *"on fait toujours attention si le coussoul a plus de grossier ou du fin"*. Car, pour les bergers, le brachypode a une importance particulière au début et à la fin de la saison de pâturage. Juan

Pablo : "Au début de saison, c'est le grossier qu'elles mangent, le fin il n'y en a pas, le grossier tient jusqu'à la mi-juillet avant de partir à la montagne".

D'ailleurs, en ce qui concerne les coussouls plutôt fins, j'ai enquêté sur les contraintes de ne pas avoir assez de brachypode, cette ressource de sécurité. Lorsque j'ai demandé aux bergers d'envisager la situation suivante : arriver à mi-mars sur un coussoul où il y a très peu de brachypode, ils ont tous insisté sur le fait que le coussoul ne serait pas suffisant en pareil cas. Par exemple, Carlos : "...il faut qu'il (le troupeau) fasse dehors dans la Crau, ça, c'est clair, parce que pour y mettre la mâchoire la dedans (il me montre un tas de petites plantes annuelles disposées autour des cailloux), ça ne doit être pas facile !".

Dans le cas d'un coussoul "fin", le début de la saison peut devenir très critique et empêcher son utilisation pendant des semaines, comme lors des années trop sèches où les pluies sont en retard. Daniel : "Moi, je fais partie des coussouls les plus fins, il n'y a pas trop de grossier, mais il faut qu'il y ait un peu de grossier. Moi, cette année, je suis arrivé (comme plusieurs) en retard, le 10 avril, parce qu'il n'y avait rien à manger et les brebis ne vivent pas". Cette situation m'a effectivement privé de l'opportunité d'observer l'ingestion d'un troupeau dans un coussoul fin. Au printemps 2008, la plupart des éleveurs utilisateurs de coussouls fins ont été obligés d'y retarder l'arrivée des troupeaux prévue normalement au début ou mi-mars ; d'autres éleveurs et bergers ont donné de la paille, en attendant le démarrage de la végétation fine. Pour ces coussouls, la même contrainte est valable lors de la fin de la saison de pâturage. Juan Pablo : "En 2006, 15 jours avant de partir en montagne, on a été obligé de donner du foin tellement il n'y avait rien à manger ! Les bêtes restaient 15 heures dehors et ne gagnaient pas leur vie. Alors on a décidé de donner du foin".

Les bergers que j'ai enquêté attribuent des qualités nutritives supérieures aux dicotylédones et aux graminées autres que le brachypode. Cependant, ils ont tous insisté sur le fait que le brachypode permet des ingestions plus importantes. Daniel : "Le fin, c'est plus nourrissant, mais le grossier, elles vont en manger beaucoup, parce que c'est comme le foin, le grossier ça les tient". Juan Pablo : "(en début de saison) c'est le grossier qu'elles mangent, le fin il n'y en a pas ; et au soir, les bêtes, elles sont pleines, ça les tient".

Cette particularité du brachypode est utilisée par les bergers pour gagner du temps au cours de la journée de pâturage, comme lors des journées orageuses, ou lorsqu'ils doivent s'absenter pour se ravitailler. Daniel : "Le fin est meilleur (...), mais pour le fin, il faut des heures pour que les brebis soient remplies. Quand elles mangent les petites herbes fines, il faut à peu près 10 à 15 heures, alors qu'avec les autres herbes grossières, en deux heures de temps elles sont pleines". "[Par exemple] quand il y a le mistral, les brebis mangent plus vite le grossier, comme ça elles sont vite pleines et on les rentre vite".

Jusqu'à présent, nous avons présenté les résultats de nos entretiens lorsque les observations des bergers ont porté à l'échelle du coussoul tout entier, ou bien de faciès (ou "zones", comme disent les bergers) de végétation. Maintenant, je vais présenter les résultats lorsque la discussion avec les bergers a porté sur une échelle plus fine, celle des formats de brachypode.

Suite à ma demande d'expliquer plus en détail ce qu'était pour eux ce brachypode, les bergers enquêtés m'ont parlé, non pas d'un brachypode, mais de quatre sortes, ou types de brachypode. Dans leurs descriptions, ils se réfèrent à la proportion d'organes verts et secs, au gabarit de la plante, et au fait qu'elle aurait ou non déjà été pâturée en cours de saison.

1. Le grossier-fin - Le brachypode nous a d'abord été décrit lorsqu'il est à un stade jeune, tendre, souple, vert. Il s'agit là de plantes "nouvelles". C'est ainsi que le décrit par exemple Juan Pablo : *"Le nouveau, celui qui a poussé cette année, le petit qui est vert, tendre et souple, c'est bon ça. Ça, elles le mangent aussi bien que le petit trèfle"* ; ou encore Daniel : *"Le grossier petit, ou on pourrait dire le grossier, fin quand le grossier est tout petit... ça, elles le mangent toujours bien volontiers"*.

2. Le grossier-grossier - À l'opposé de ce premier cas, une toute autre allure du brachypode nous a été décrite. Il s'agit de brachypode de la saison précédente, ayant résisté à la sécheresse de l'été et aussi à l'hiver, comportant un mélange d'organes secs et verts. Dans les mots de Daniel, cela donne ceci : *"Le grossier grossier, le vrai, le grossier qui n'est pas mort, celui qui a tenu, là il y a de quoi manger, là il y a du sec, mais aussi du vert, là c'est vraiment le grossier"*.

3. La crème de repousse - Ensuite, il y a la repousse, avec les nouvelles feuilles ayant poussé en cours de saison, mais surtout suite à l'action du pâturage à la saison précédente. Cette repousse est parfois décrite de manière assez classique, comme ici avec Daniel : *"Quand les brebis ont mangé le grossier, qu'elles l'ont raclé, là, la repousse reprend"*. Mais cette repousse peut-être également décrite de manière très spécifique comme étant la repousse créée par l'action du troupeau dans l'intervalle d'une semaine à l'autre et qui comporte du matériel vert situé dans les parties sommitales de la plante. Daniel : *"Pour la repousse de 4 jours, elles mangent les têtes"*. Le berger parle alors du pâturage sur ce type de repousse comme étant *"le passage sur la crème"*.

4. Le vieux grossier - Un autre type de brachypode est celui qui n'aurait pas été pâturé durant l'année précédente. Ce type de grossier est, selon les bergers, *"très mauvais"*, et *"difficile à faire manger"* par le troupeau. Juan Pablo : *"Le vieux, haut, plutôt sec, qui est reparti du sec"*. Daniel : *"Le trop grossier, c'est le grossier pas mangé des années d'avant. Il devient trop grossier et brûlé. Là, il n'y a rien à manger."*

Enfin, et même s'il ne s'agit pas cette fois d'une forme différente de brachypode, je ne peux m'empêcher de signaler le statut différent assigné par les bergers au brachypode lors des deux premières heures du matin, ou si le temps est calme, ou inversement si la pluie ou le mistral sont de la partie. Nous pouvons presque parler ici de types "situationnels" de brachypode, car c'est bien la situation qui le rend plus attractif, ou moins rebutant, pour le troupeau. Juan Pablo : *"Le matin quand il fait frais et s'il est mouillé, ou bien quand il pleut, ça fait qu'elles vont plus vite à faire des bouchées d'herbe (de brachypode), alors que le fin est alors plus difficile à attraper"*. Carlos : *"Quand il pleut, les brebis mangent plus volontiers le grossier"*. Daniel : *"Quand il y a le mistral, les brebis mangent plus vite le grossier, comme ça elles sont vite pleines et on les rentre vite (à la bergerie)"*.

La description assez détaillée des différentes formes de brachypode reconnues par les bergers enquêtés témoigne de la finesse de leurs observations à l'échelle du troupeau, mais également à l'échelle des individus. Par exemple, des observations sur les manipulations des brebis pour trouver les petites annuelles dissimulées au-dessous des cailloux ne laissent nul doute à ce sujet. Carlos : *"Pour trouver le fin au dessous des cailloux, elles grattent les pierres. (...) J'ai remarqué qu'elles mangent aux pieds des pierres, très bas"*. Un autre exemple a été trouvé lorsque Daniel nous a parlé de ses brebis expérimentées et des vieilles... trop expérimentées. Daniel : *"Les brebis qui ont quatre ans, elles connaissent ma façon de garder, mais les vieilles s'en foutent ! Elles sont têtues, elles vont chercher le petit fin... peut être aussi qu'elles ont des problèmes de dents"*.

4.1.6.2 Un tiers des actions du berger sont à effet différé

Nous avons décrit en détail à la section 5.1.4 nos codes utilisés pour décrire les actions du berger selon leur influence probable sur le troupeau et selon qu'elles induisent des effets "direct" ou "différé" sur le comportement spatial.

Les données analysées correspondent à 17 journées d'observation effectuées sur l'ensemble de deux places de pâturage. De manière générale, 1.146 actions de berger ont été observées : 70 %, concerne des actions à effet direct et 30 % correspondent à des actions à effet différé. C'est à dire que presque un tiers de nos données sont des manœuvres qui doivent permettre de tester notre hypothèse selon laquelle, dans les actions d'influence différée, le flux est lié plutôt à l'action précédente.

La proportion (30 %) d'actions à effet différé témoigne de l'important travail de prévision effectué par le berger. En effet, d'après mon expérience sur le terrain, le berger utilise assez souvent une action à effet direct de forte influence sur son troupeau (par exemple : action "orienté") pour ensuite le laisser plus "libre" (action "accompagne") sur un ou plusieurs faciès où il prévoit que le troupeau consommera alors plus volontiers (en l'occurrence sur les faciès "panaché 1" ou "panaché 2"). L'œil inexpérimenté, ou peu familiarisé avec le gardiennage, pourrait croire que le berger ne fait rien pendant la phase où le troupeau est très "libre", tandis qu'en réalité, il est toujours sous forte influence du berger, ce dernier étant intervenu seulement quelques minutes auparavant.

4.1.6.3 Différentes fréquences d'utilisation pour les actions à effet direct ou différé

Nous nous sommes d'abord intéressés à l'utilisation des actions directes (70 % des cas). Nous avons trouvé une différence dans le nombre de fois que ces actions (avec incidence probable faible ou forte) ont été utilisées par les bergers. De façon général, les actions de faible influence sont beaucoup plus utilisées (voir figure 4.44). Ce résultat suggère que, pour conduire leurs troupeaux, les bergers observés ont privilégié la plupart du temps d'actions "douces" de faible influence. Ce sont les actions du type "accompagne" (code 2) et "orienté en douceur" (code 3) qui ont été les plus utilisées. En conséquence, les actions fortes ont été moins utilisées. Parmi celles-ci, les actions "pousse" (code 4), "attire" (code 5) et "retourne" (code 7) ont été les plus fréquemment utilisées.

Nous nous sommes intéressés ensuite aux actions à effet différé. Les enchaînements les plus fréquemment utilisés sont : "accompagne" précédé d' "orienté en douceur" (32), "accompagne" précédé de "retourne" (72) et "accompagne" précédé de "pousse" (42). D'après mon expérience sur le terrain, ces enchaînements d'actions correspondent bien à des manœuvres utilisées par les bergers pour corriger ou changer la direction du troupeau, notamment de façon à provoquer une plus forte utilisation des faciès panachés (et du brachypode). Notons au passage que les relevés d'observation de l'ingestion ont été difficile à réaliser lors des actions à forte influence (ex. lorsque le berger et son chien "retournent" le troupeau dans une nouvelle direction). Heureusement, la plupart du temps, elles étaient de courte ou très courte durée (voir ci-dessous).

Le nombre de minutes totales serait ainsi très grand pour les actions directes de faible influence sur le troupeau, comme nous pouvons l'observer à la figure 4.41. En fait, les actions que nous considérons comme de faible et moyenne influence ont occupé une plus grande

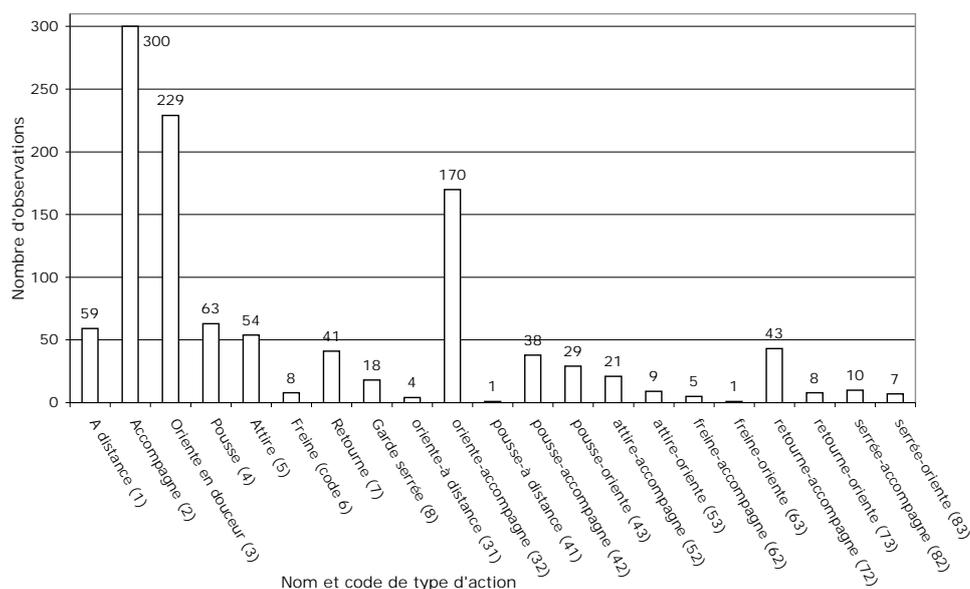


FIGURE 4.44 – Fréquence d'utilisation des actions observées

proportion du temps de gardiennage. Au graphique suivant 4.45, nous apprécions comment les actions "accompagne" et "orienté en douceur" restent à nouveau comme les plus utilisées, cette fois ci exprimées en minutes consacrées aux manœuvres correspondantes à ces actions. L'action "accompagne" précédée d' "orienté en douceur" a été la troisième action la plus utilisée lorsque nous considérons le temps total accumulé.

En revanche, lorsque nous regardons le total de minutes des actions directes à forte influence telles que "pousse" et "attire" (4.45), nous observons que ces actions ont été utilisées avec une durée accumulée moindre par rapport à celle de la plupart des actions à effet différé. Ce dernier résultat, que nous pouvons constater à la figure 4.46, trouve son explication dans le fait que des actions à forte influence ont en général une durée très courte, de seulement quelques minutes (< 3 min).

Par contre, les actions à faible influence, tout comme les "actions à effet différé", ont en général une durée supérieure à 4 minutes. La construction préalable "à dire d'expert" de notre grille des actions de berger, avec du temps court pour les actions de forte influence et du temps de durées plus longues pour les actions de faible influence, est donc validée par les résultats présentés dans le graphique 4.46. Nous constatons aussi que nous avons des données très déséquilibrées du flux d'ingestion observé selon le type d'action utilisée par le berger.

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

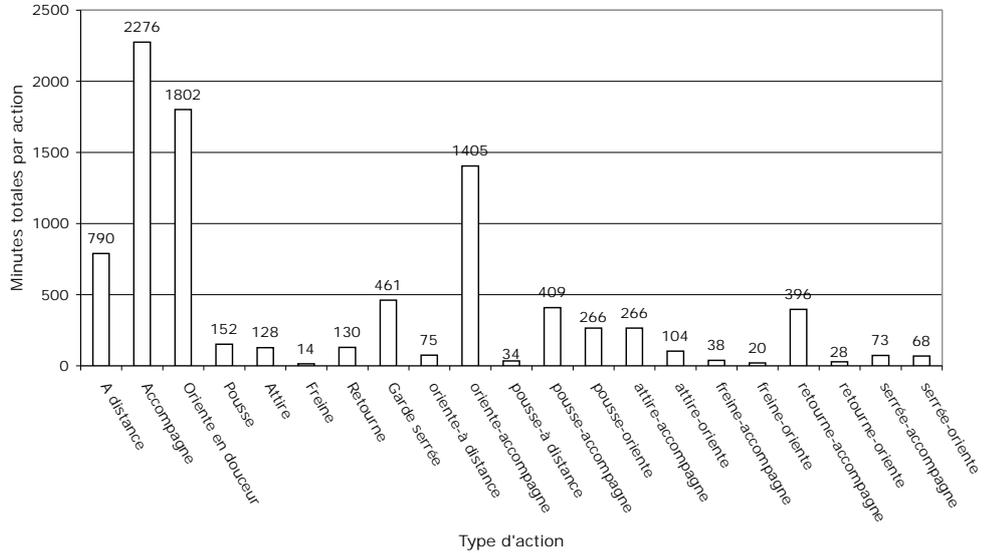


FIGURE 4.45 – Durée totale consacrée aux différentes actions observées (minutes)

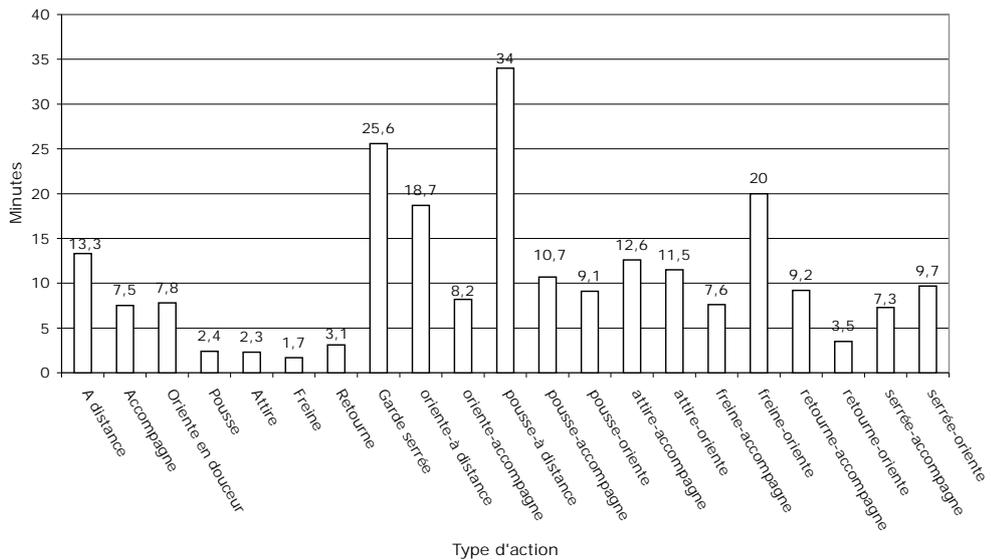


FIGURE 4.46 – Durée moyenne de chaque catégorie d'action observée (minutes)

4.1.6.4 Les actions enchaînées à l'échelle du circuit de pâturage : *"une suite de tenir et laisser faire"*.

Dans le schéma 4.14 de la section 4.1.3 nous avons représenté notre classement à dire d'expert pour les niveaux d'influence que nous avons proposés, avec la hiérarchie pour les différentes actions à effet direct ou différé. Pour les actions à effet différé, le composant "fort" qui précède est toujours utilisé pour situer le niveau d'influence de ce genre d'action par rapport aux actions à effet direct : nous les situons toujours avant la place que le composant fort aurait s'il était considéré comme direct. Exemple : les actions à effet différé (codes 31 et 32) sont placées avant le (code 3) ; les actions à effet différé (codes 41, 42 et 43) sont placées avant le (code 4) ; etc.

De telle sorte que nos 23 catégories d'action (total de celles à effets directs et différés), tout en visant à augmenter la visibilité des niveaux d'influence que le berger emploie sur son troupeau, peuvent être regardées dans un axe construit à dire d'expert. Cet axe des influences sur le troupeau est présenté ci-dessous. Nous l'utilisons pour analyser les types d'actions réalisées par le berger à l'échelle du, ou des deux, circuit(s) de pâturage de la journée.

- 1 = Niveau d'influence faible, groupement des codes 1, 2, 31, 32 et 3
- 2 = Niveau d'influence modéré, code 3
- 3 = Niveau d'influence forte, groupement des codes 41, 42, 43, 4, 52, 53, 5, 62, 63, 6
- 4 = Niveau d'influence très forte, groupement des codes 72, 73, 7, 82, 83, 8, 9

Lorsque nous regardons l'utilisation de ces différents niveaux d'influence, il est possible d'apercevoir l'enchaînement des actions faibles, modérées, fortes et très fortes, comme présenté dans les graphiques suivants où 6 journées sont exposées.

Le graphique 4.47 des niveaux des actions utilisées à l'échelle de la journée pour les dates du 16 et 17 avril est obtenu à partir des données recueillies sur la première place de pâturage lors des circuits avec le premier berger. La silhouette de ce graphique explique bien les alternances dans les niveaux des différentes actions utilisées. Nous observons que les niveaux faibles, modérés, forts et très forts s'enchaînent dans une alternance qui nous permet de faire une analogie avec la définition du gardiennage proposé par le berger d'alpage André Leroy (*in Landais et Deffontaines (1998)*) : *"c'est une suite de tenir et laisser faire"*. Lorsque nous considérons les actions à forte influence sur le troupeau dans le sens que cet auteur accorde au fait de "tenir" (le troupeau), et de façon similaire les actions à faible influence à celles considérées comme "laisser faire" (le troupeau), alors nous pouvons observer dans nos graphiques cette "suite de tenir et laisser faire".

Pour ce qui concerne les journées observées sur la même place de pâturage mais avec le second berger, celui ayant pris la suite du premier avec le même troupeau, les niveaux d'actions utilisées sont présentés à la figure 4.48. Nous trouvons ici le même aspect d'alternance entre les niveaux des actions utilisées, sauf pour la fin du circuit où le berger ne presse pas le troupeau pour rentrer à la bergerie. Ce type de fin de circuit est assez logique et correspond bien à mes observations sur le terrain.

Pour les circuits gardés sur une autre place de pâturage, avec un autre troupeau et avec un troisième berger observé, l'analyse des journées de gardiennage a montré les résultats suivants (voir figure 4.49) : nous pouvons retrouver un aspect d'alternance des actions à forte

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

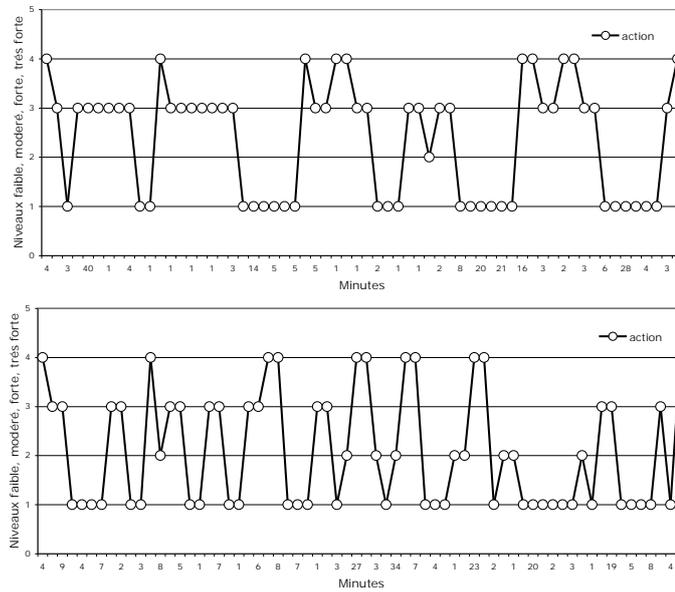


FIGURE 4.47 – Niveau des actions utilisées le 16 avril, (7,2 heures, en haut) et le 17 avril (7,6 heures en bas)

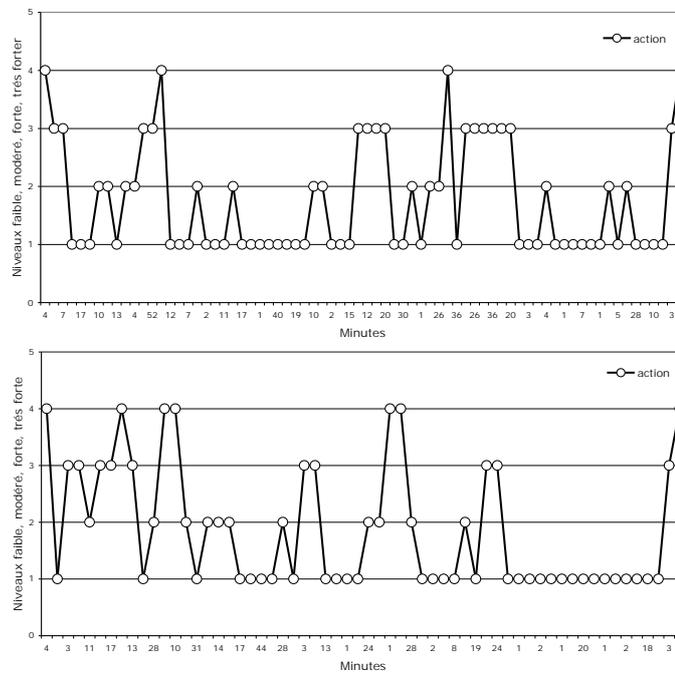


FIGURE 4.48 – Niveau des actions utilisées le 28 (9,8 heures, en haut) et le 30 mai (8,2 heures, en bas)

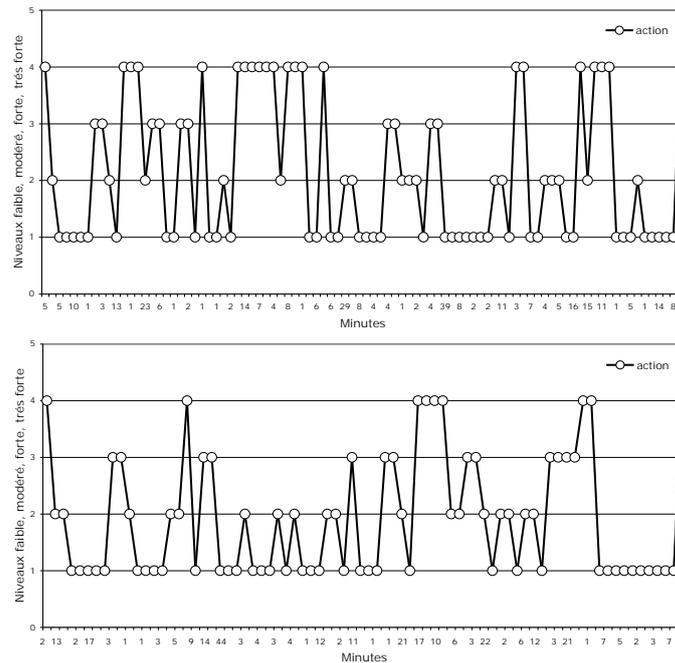


FIGURE 4.49 – Niveau des actions utilisées le 20, (9,8 heures en haut) et le 21 avril (8,2 heures en bas)

ou faible influence, quoique différent en fréquence, et aussi une fin de circuit où domine nettement l’utilisation d’actions à faible influence (mis à part, bien entendu, le retour en bergerie : la dernière donnée).

4.1.6.5 Les actions employées sont ciblées selon les faciès

Nous avons montré à la section 4.1.5.3 comment le flux d’ingestion est très lié aux faciès sur lesquels le pâturage est effectué. Par contre, existe-t-il des associations entre les types d’actions du berger et les faciès utilisés ? Pour répondre à cette question, nous nous sommes intéressé à la fréquence à laquelle chaque action a été utilisée dans chacun des trois faciès étudiés : faciès fin, faciès panaché 1 et faciès panaché 2. Nous avons pondéré la fréquence d’utilisation par heure de temps passé dans les trois faciès ; ainsi, nous avons évité de biaiser les données par un temps plus long passé sur un quelconque faciès. Le résultat est montré à la figure 4.50

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

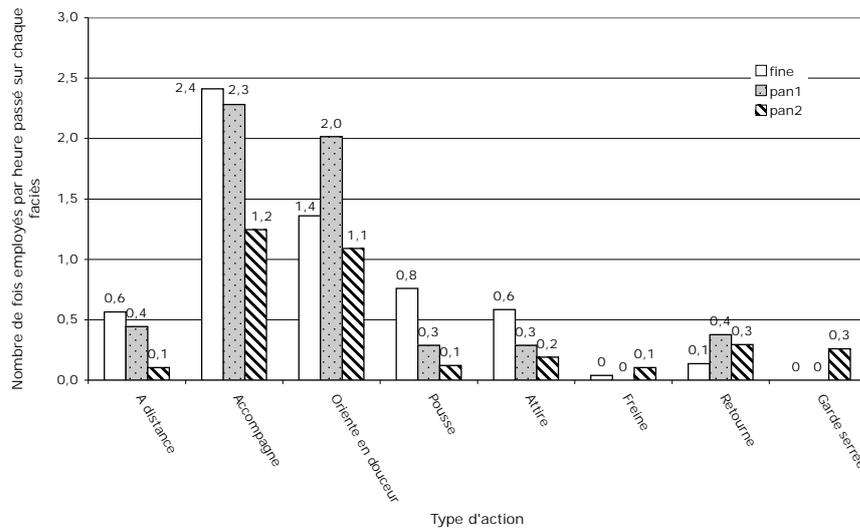


FIGURE 4.50 – Fréquence d'utilisation des actions à effet direct par temps passé sur chacun des trois types de faciès

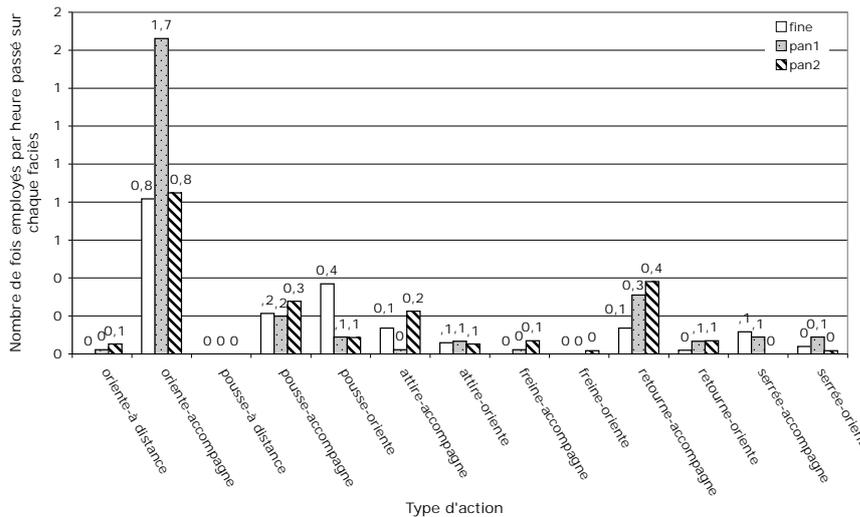


FIGURE 4.51 – Fréquence d'utilisation des actions à effet différé par temps passé sur chacun des trois types de faciès

Dans le graphique 4.50, il est possible d'observer les actions directes et leur fréquence d'utilisation selon le temps passé sur chaque faciès. De manière générale à la graphique, nous trouvons que les actions d'influence extrême (les plus fortes, à droite sur l'axe horizontal, ou les plus faibles, à gauche) sont utilisées sur des faciès différents. En effet, l'action la plus faible "à distance" est prioritairement utilisé sur le faciès fin ; en revanche, les codes d'action plus forte, "retourne" et "garde serrée", sont prioritairement utilisés sur les faciès panaché 1 et panaché 2. Les autres actions directes montrent une gamme d'utilisation selon le faciès, pour l'action "accompagne" ; celle-ci a été utilisée principalement sur des faciès fin et panaché 1 à la différence de l'action "oriente en douceur" qui a été clairement plus utilisée sur le faciès panaché 1. Pour ce qui est des actions "pousse" et "attire", celles-ci ont été plus utilisées sur le faciès fin.

Dans le graphique 4.51, il est possible d’observer les actions à effet différé selon leur fréquence d’observation sur les trois faciès. Les actions "accompagne" précédée de "oriente en douceur", et "accompagne" précédée de "retourne", ont été plus utilisées sur des faciès panaché 1 et panaché 2.

4.1.6.6 Des gammes d’actions spécifiques à chacun des trois bergers.

Les observations nous indiquent une hétérogénéité des actions selon chaque berger. Nous pouvons apercevoir dans le graphique suivant (figure 4.52) la fréquence des observations de chaque action à effet direct chez les trois bergers. Pour les actions d’influence mineure sur le troupeau, c’est-à-dire pour les codes des actions 1, 2 et 3, c’est le troisième berger (M) qui pratique plus ces actions par rapport aux deux autres bergers (R et C). Pour les actions à effet direct avec le plus fort niveau d’influence, (codes 7 et 8) c’est le premier berger (R) qui a presque exclusivement utilisé la "garde serré" (code 8). La deuxième action la plus forte, c’est-à-dire le "retourne" (code 7) a été majoritairement utilisée par le troisième berger (M). Pour ce qui concerne les autres catégories d’actions, nous avons enregistré toute une gamme d’utilisation selon chaque berger. L’action "pousse" (code 4) est plus utilisée par le troisième berger (M), suivi par le deuxième berger (C) et pas du tout par le premier (R). En revanche, celui-ci (R) utilise presque beaucoup plus que les deux autres l’action "attire" (code 5). Quant à l’action "freine" (code 6), elle a été très peu utilisée, et ceci pour l’ensemble des trois bergers observés.

Une telle différence spécifique pour chaque berger s’applique même lorsqu’il s’agit de la même place de pâturage, comme cela a été le cas pour la deuxième place où le premier (R) et le deuxième berger (C) ont gardé respectivement le même troupeau à la suite l’un de l’autre durant les mois d’avril et mai.

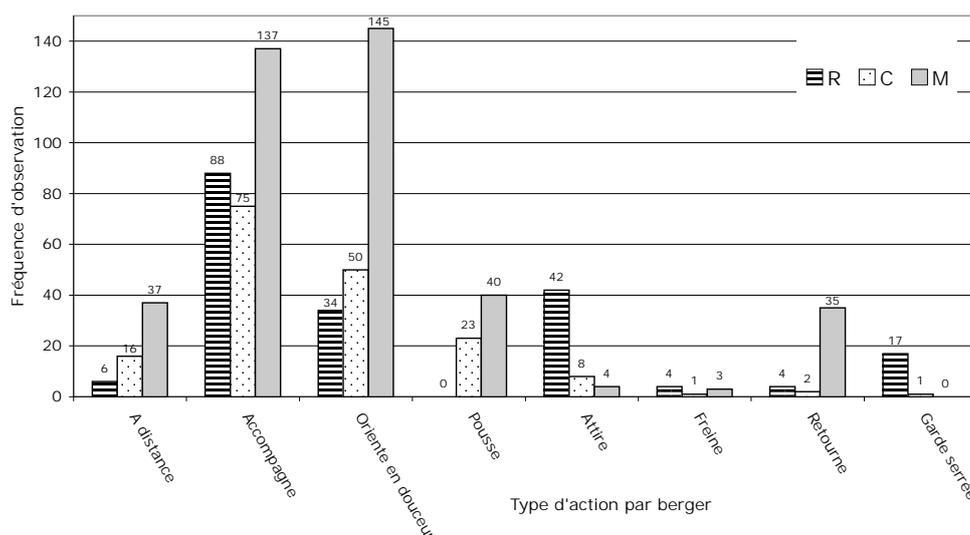


FIGURE 4.52 – Actions utilisées par berger, 1re partie

Nous voyons au graphique suivant (4.53) les résultats concernant les codes différés employés par les trois bergers observés.

4.1. Description des formats de végétation, flux d'ingestion et pratiques de bergers

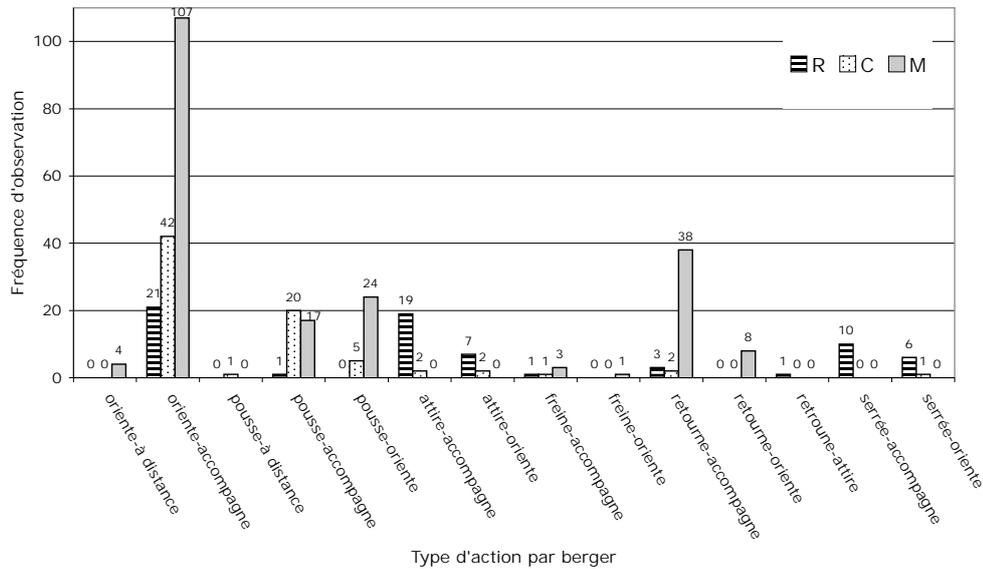


FIGURE 4.53 – Actions utilisées par berger, 2e partie

Nous pouvons observer qu'un type d'action à effet différé a été beaucoup plus employé : "accompagne" précédé d'"orienté en douceur" (code 32). Le troisième berger a également assez fréquemment utilisé l'action "accompagne" précédée de "retourne" (code 72). Les actions précédées de "pousse" (code 4) sont plutôt utilisées par le deuxième (C) et troisième (M) berger, alors que les actions précédées de "attire" (code 5) sont presque exclusivement utilisées par le premier berger (R).

Nous confirmons donc ici la complexité qu'il y a d'étudier les actions de bergers, y compris sur un milieu assez "simple" (une steppe sans beaucoup de dénivelé ni expositions différentes à l'ensoleillement). Nous mettons en évidence le fait que ces actions, en plus de leur variété d'utilisation selon les faciès, sont aussi très diversement utilisées par les bergers. Des spécificités par berger existent dans l'utilisation des actions à effet direct ou différé, de faible ou forte influence sur le troupeau, même dans le cas de deux bergers utilisant à la suite l'un de l'autre la même place de pâturage avec le même troupeau. Nous présentons les résultats concernant le lien entre la diversité des actions de bergers décrites ici et le comportement d'ingestion dans les sections suivants.

4.2 Le comportement d'ingestion selon la contribution de morphes et plante-prises : construction d'un modèle explicatif

À la section 4.1.4 (description des formats de végétation) nous avons présenté la variété de formats et de plante-prises réalisées sur les dicotylédones, sur les morphes de brachypode et sur les autres graminées. Nous avons présenté également les masses de prise associées à chacune de ces structures.

Afin de poursuivre notre analyse de l'efficacité d'ingestion sur des Coussouls de la Crau, nous explorons dans cette partie les liens entre la structure de la végétation et le flux d'ingestion. En travaillant à une échelle très fine, la prise alimentaire, nous souhaitons répondre à une question simple, mais primordiale pour la conduite d'un troupeaux : quelles sont les structures végétales les plus en mesure d'influencer les flux, et donc ce que nous appelons l'efficacité d'ingestion ? Nous souhaitons articuler ici l'analyse fonctionnelle du comportement d'ingestion avec notre objectif plus opérationnel, à savoir l'identification de catégories de végétation repérables par le berger, et ayant du sens pour anticiper l'efficacité d'ingestion. Ainsi, bien que nous ayons montré une influence forte de la masse des prises alimentaire sur les flux d'ingestion, (voir à la partie 4.1.5 description et analyse exploratoire du flux d'ingestion), nous avons préféré, tout en prenant en compte l'information de la masse de prise alimentaire, considérer également une description du format de la plante prélevée, qui est la caractéristique la plus aisément repérable sur le terrain. En conséquence, il nous a fallu travailler ici les relations statistiques d'une variable non numérique (les formats) et d'une variable numérique (le flux d'ingestion).

Dans cette section, nous exposons tout d'abord la justification d'un regroupement des plante-prises en classes décrivant à la fois leur format et leur masse. Ensuite, résultat de cette démarche, nous présenterons ces classes que nous nommerons dorénavant "classes physiologiques", en décrivant les espèces et les prises qui ont été observées sur chacune d'elles, et plus particulièrement pour ce qui concerne les différents morphes de brachypode. Les flux d'ingestion associés à chaque classe seront modélisés pour identifier d'éventuelles différences de flux entre classes physiologiques. Dans une dernière partie, nous montrons comment cette modélisation nous permet d'identifier ce que nous appellerons des "catégories fonctionnelles" de plantes qui, lorsqu'elles sont prélevées de façon prépondérante par les brebis, autorisent des flux d'ingestion élevés, ou au contraire limitent les flux d'ingestion. Nous reviendrons à cette occasion sur la contribution particulière du brachypode, et la distinction de ses différents morphes, plus ou moins "fonctionnels" pour ce qui concerne le flux d'ingestion.

4.2.1 Justification du besoin de regroupement des structures végétales

L'objectif de cette partie est de rechercher des grandes tendances concernant l'effet des structures de plantes sur l'efficacité de l'ingestion (le flux d'ingestion). Pour cela, le travail a consisté à modéliser le flux d'ingestion en fonction des caractéristiques des prises observées. Pour ce qui concerne le flux, nous avons affaire à une variable numérique qui doit être exprimée sur des pas de temps regroupant plusieurs prises alimentaires. Nous avons fixé la durée de ces pas de temps à 20 secondes pour conserver une résolution temporelle fine, et pour ne pas regrouper des comportements trop différents (voir section 4.1.2 construction de jeux

de données). Pour ce qui concerne les caractéristiques des prises, la diversité des structures végétales a été catégorisée en 109 types de plante-prises (voir section 4.1.4 description des formats de végétation). Plusieurs plantes-prises sont souvent présents à l'intérieur de nos séquences d'observation de 20 secondes (de 13 à 19 plante-prises différentes par séquence). Devant un tel éventail de plante-prises pour chaque séquence de 20 secondes, le choix de décrire une structure ou une masse "moyenne", ou "majoritaire", nous aurait conduit à une perte d'information sur la diversité de masses et de structures.

Notre proposition a donc été d'essayer de garder simultanément l'information sur les masses et les structures choisies durant chaque période de 20 seconde, mais également de limiter le nombre de catégories pour permettre d'engager une démarche de modélisation. Nous avons donc regroupé les "plante-prises" dans un petit nombre de classes (15), en croisant 5 types de physionomies et 4 types de masses (voir section suivante). Ces regroupements nous ont permis de modéliser la relation entre le flux d'ingestion (variable numérique, en g MS/min) et la contribution (variable numérique, en pourcentage) de chaque classe physionomique (voir section 4.2.4 encore suivante).

4.2.2 Construction des classes "physionomiques"

La construction des classes physionomiques visait à trouver un compromis pour préserver autant que possible l'information concernant la masse et la structure des plante-prises, tout en réduisant le nombre de catégories. En effet, la masse de prise est une variable qui a une forte influence sur l'efficacité d'ingestion (voir partie 4.1.5 description et analyse exploratoire du flux d'ingestion), nous l'avons donc conservé dans notre phase de construction des classes physionomiques, en distinguant 4 classes de masses de prise. Par ailleurs, l'architecture des plantes est également importante, car elle détermine la préhensibilité pour les brebis, et donc la fréquence de prise qu'il est possible de faire. Pour prendre en compte cette structure, nous avons distingué 5 groupes de plantes : dicotylédones, trois morphes de brachypode ("plié", "moyen", "dense (de hauteur moyen et petit)" et "autres graminées".

La distinction des 4 classes de masses de prise a nécessité une transformation logarithmique des données. En effet, comme nous pouvons le remarquer au graphique 4.54, les données concernant la masse ne sont pas réparties de manière symétrique. Donc, nous avons utilisé une transformation logarithmique qui nous a permis de rendre plus symétrique la distribution, et de diviser la gamme des masses en quatre intervalles égaux sur l'échelle logarithmique. Les valeurs obtenues à la suite de notre procédure sont indiquées au graphique 4.55. Dans l'ordre croissant, ces 4 classes seront dénommées : "minuscule", "petit", "moyen" et "grand".

Le croisement des 5 types de structure et des 4 intervalles de masse aboutit à distinguer potentiellement 20 classes physionomiques, dont seulement 15 ont été effectivement observées (figure 4.56). Notons qu'en ce qui concerne les morphes de brachypode et leur appartenance aux classes physionomiques, seul le morphe "plié" contribue aux classes physionomiques de masse "petit" (deuxième colonne, à la figure 4.56), les autres morphes de brachypode contribuant quant à eux aux classes physionomiques de "moyenne" et "grande" masse.

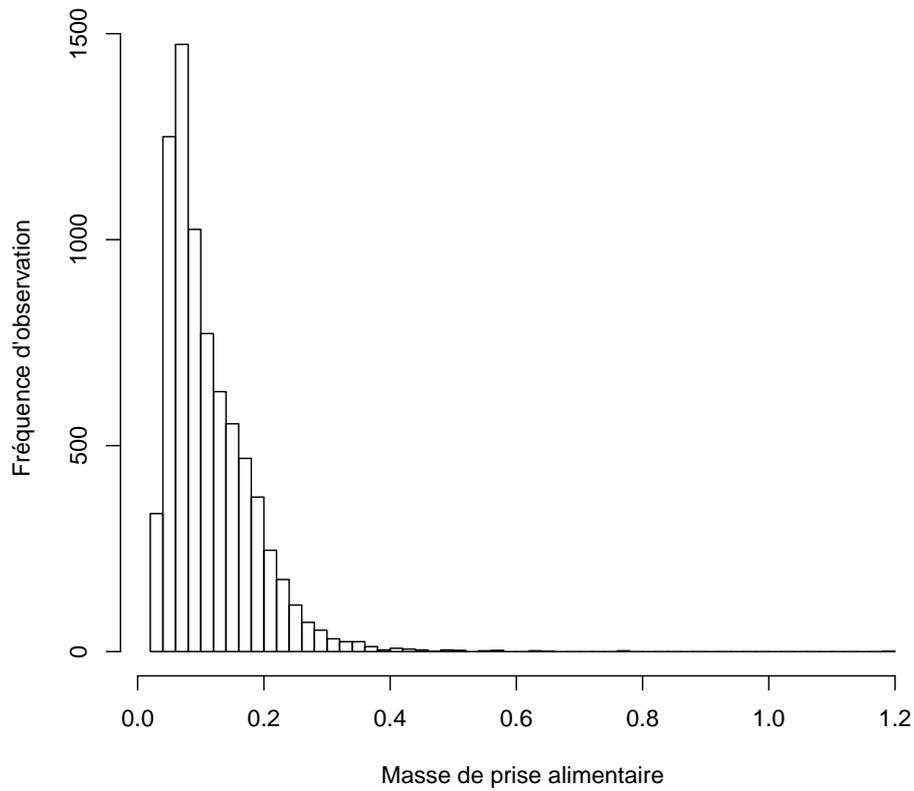


FIGURE 4.54 – Masse de prise alimentaire en g MS/PA

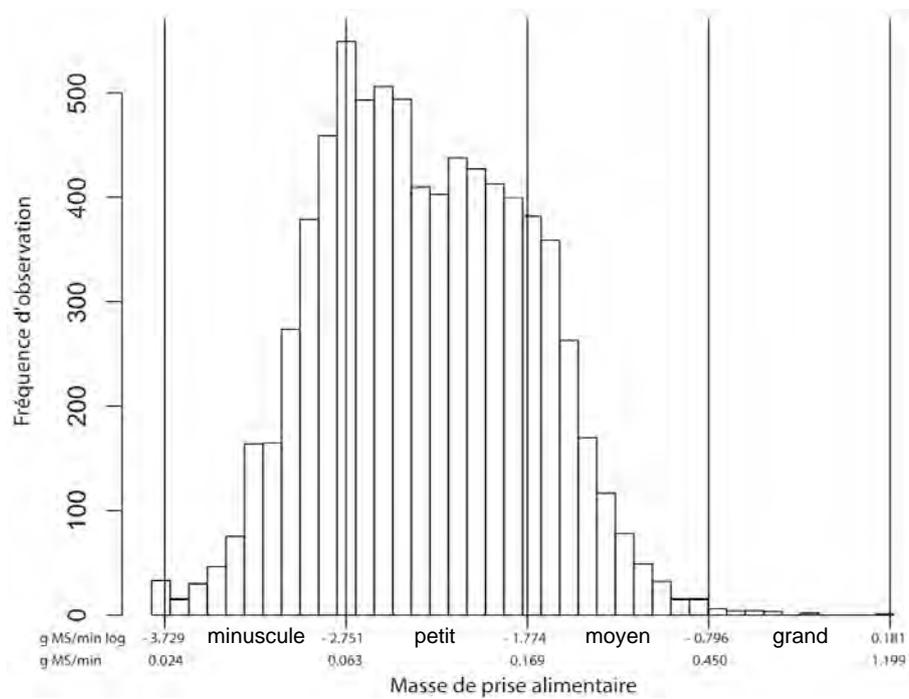


FIGURE 4.55 – Masse de prise alimentaire en g MS/PA, après transformation en échelle logarithmique.

4.2. Le comportement d'ingestion selon la contribution de morphes et plante-prises : construction d'un modèle explicatif

Groupe de format	Groupe de masse minuscule 0.0 à 0.063 g MS	Groupe de masse petit 0.064 à 0.169 g MS	Groupe de masse moyen 0.170 à 0.450 g MS	Groupe de masse grand 0.451 à 1.199 g MS
Dicotylédones	DicoMin	DicoPet	DicoMoy	DicoGr
Morphe Plié 		PliéPet	PliéMoy	PliéGr
Morphe Dense 			DenseMoy	DenseGr
Morphe Ouvert 			OuvertMoy	OuvertGr
Autres graminées	GraMin	GraPet	GraMoy	GraGr

FIGURE 4.56 – Quinze classes physiologiques tenant compte de la structure de plante (1^{er} colonne) et de la masse de plante-prise (2^e à 4^e colonne)

4.2.3 Construction d'une variable explicative numérique : modes de calcul de la contribution de classes physiologiques aux séquences de 20 secondes

Une fois constituées nos 15 classes physiologiques, nous avons poursuivi notre objectif de modéliser le lien avec les flux d'ingestion observés. Cependant, cette réduction de nombre de catégories ne résout pas pour autant le fait que chaque période de 20 secondes d'observation de l'ingestion présente contient plusieurs classes physiologiques. Parmi les 7.786 séquences observées de 20 secondes, seuls 486 cas présentent une seule classe physiologique utilisée. On peut observer cela à la figure 4.57.

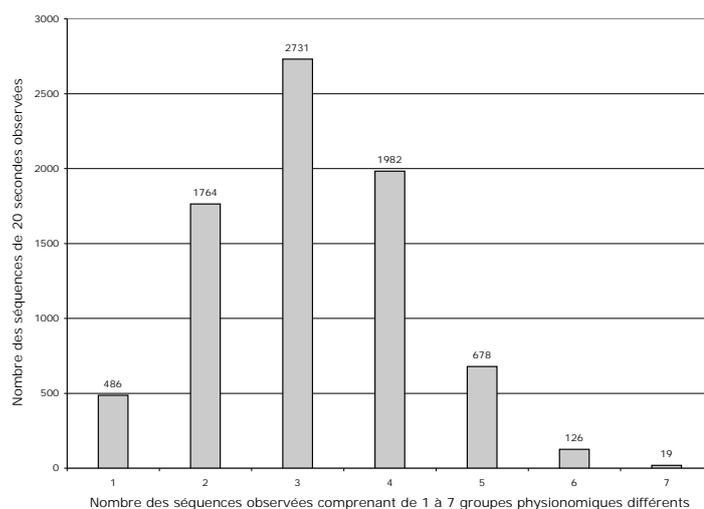


FIGURE 4.57 – Nombre de séquences de 20 secondes observées comprenant de 1 à 7 classes physiologiques différents

Nous avons donc décidé de travailler avec les contributions des classes physiologiques, exprimées en pourcentage, qui présente l'avantage d'être une variable numérique.

Nous essaierons donc d'identifier le comportement de notre variable expliquée, le flux d'ingestion, en fonction de la contribution (exprimée en %) de chacune des classes physiologique aux prises alimentaires des séquences de 20 secondes. Le pourcentage est calculé en rapportant le nombre de prises observée pour la classe physiologique au nombre de prises totales observées pour chaque séquence.

4.2.4 Ajustement d'un modèle additif généralisé pour chaque classe physiologique

Cette partie présente les résultats de la modélisation du flux d'ingestion en fonction de la contribution de chaque classe physiologique aux prises alimentaires. L'objectif est de préciser la tendance dans les flux, de façon à identifier l'effet d'une contribution croissante de chaque classe physiologique. Compte tenu de la relation non linéaire observée visuellement sur les nuages de points, nous avons utilisé des modèles additifs généralisés (GAM, pour General Additive Model), avec "tenseurs" pour la contribution de chacune des quinze classes.

Le modèle GAM avec tenseur ajuste une série de modèles en utilisant des tenseurs. Pour décrire simplement le modèle, il s'agit d'interpoler entre des points qui sont appelés nœuds, identifiés par le logiciel pour ajuster au mieux le modèle aux données, et en utilisant les fonctions "tenseur" pour lisser tout en laissant passer la trajectoire par les noyaux. Le lissage par des tenseurs constitue un type de régression très utilisé grâce à ses bonnes propriétés (Denis et Molinari, 2009).

Pour chaque modèle que nous avons construit, la variable explicative retenue est la contribution d'une classe physiologique. Nous avons considéré uniquement la contribution des classes lorsqu'elles sont strictement supérieures à zéro, car les données de contribution aux prises, calculées pour chaque classe physiologique, présentent un "excès de zéros" qui aurait beaucoup influencé le modèle. La formule du modèle GAM utilisé prend la forme présentée à la figure 4.58 (Hastie et Tibshirani, 1990).

$$g(E(Y)) = \beta_0 + f_1(x_1)$$

FIGURE 4.58 – Formule du modèle additif généralisé avec tenseurs, où Y est le flux d'ingestion en g MS/min et X_1 la contribution de la classe physiologique utilisée comme variable explicative (en %)

Avec le modèle GAM, il nous est possible d'obtenir :

- le p-Value qui nous indique si la probabilité avec laquelle le modèle peut être considéré comme fiable pour rendre compte des données ;
- le pourcentage de la variation expliquée pour chacune des fonctions qui constitue le modèle GAM de la classe physiologique)

Les paramètres résultants pour chaque modèle sont affichés au tableau 4.59. Nous attirons l'attention sur les classes physiologiques DicoGr et DenseGr pour qui la p-value

4.2. Le comportement d'ingestion selon la contribution de morphes et plante-prises :
construction d'un modèle explicatif

(colonne cinq au tableau 4.59) n'est pas significative. La p-value est également peu significative pour la classe PliéGr. Pour les autres classes physiologiques, leurs modèles peuvent être considérées comme fiables.

	edf	Ref.df	F	p-value		Deviance explained %	n
DicoMin	3.991	4.491	467.8	<2e-16	***	39.2	3265
DicoPet	3.971	4.471	570.6	<2e-16	***	31.6	5520
DicoMoy	3.955	4.455	21.18	<2e-16	***	17.6	452
DicoGr	1	1.5	0.057	0.9		0.387	24
PliéPet	3.954	4.454	67.34	<2e-16	***	22.1	1069
PliéMoy	3.739	4.239	20.88	<2e-16	***	13.3	599
PliéGr	3.043	3.543	3.067	0.0328	*	25.2	41
DenseMoy	3.669	4.169	27.96	<2e-16	***	7.28	1539
DenseGr	1.614	2.114	1.725	0.180		2.6	166
OuvertMoy	3.602	4.102	29.7	<2e-16	***	7.7	1503
OuvertGr	3.585	4.085	7.106	1.85e-05	***	12.3	220
GraMin	3.977	4.477	1100	<2e-16	***	46.3	5722
GraPet	3.983	4.483	189.1	<2e-16	***	24	2686
GraMoy	3.946	4.446	140.8	<2e-16	***	47.7	693
GraGr	3.882	4.382	29.26	<2e-16	***	19.1	559

FIGURE 4.59 – Paramètres du modèle additif généralisé avec tenseurs

Les courbes correspondant à ce modèle sont présentées à la figure 4.60, et permettent d'observer la tendance concernant l'évolution du flux d'ingestion en fonction de la contribution de chacune des classes physiologiques (les tracés en pointillés correspondent aux intervalles de confiance des courbes). C'est par l'interprétation de ces résultats que nous allons répondre à notre objectif initial : identifier parmi la diversité des formats de plantes disponibles dans les coussouls la fonctionnalité en matière de flux d'ingestion réalisable. Il s'agit donc ici de repérer les classes physiologiques dont la pente de la courbe est plutôt positive ou négative, et cela en particulier lorsque les contributions sont élevées (sur la droite des graphiques). Rappelons aussi que pour des modèles ajusté GAM, les courbes ajustées sont souvent erratiques lorsqu'il y a peu de points : l'intervalle de confiance (ici, en pointillés) s'élargit, et ces portions de courbes doivent être considérées comme moins fiables que le reste de la courbe.

Il est possible de repérer à la figure 4.60 des classes physiologiques pour lesquelles une contribution croissante aux séquences de 20 secondes est associée à des diminutions des flux d'ingestion observés (courbes descendantes) : dicotylédones de très petite masse (DicoMin), dicotylédones de petite masse (DicoPet) et graminées de très petite masse (Gramin). Mais il est possible de repérer également des classes physiologiques pour lesquelles une contribution croissante aux séquences de 20 secondes est associée à une augmentation du flux (courbes ascendantes) : morphe de brachypode dense de masse moyenne (DenseMoy), morphe de brachypode dense de grande masse (DenseGr) et morphe de brachypode ouvert de masse moyenne (OuvertMoy).

Nous avons ainsi identifié la fonctionnalité des différentes classes physiologiques pour l'efficacité d'ingestion. Nous avons alors cherché à identifier les classes physiologiques qui limitent les flux d'ingestion et celles qui rendent possible des niveaux de flux élevés Pour

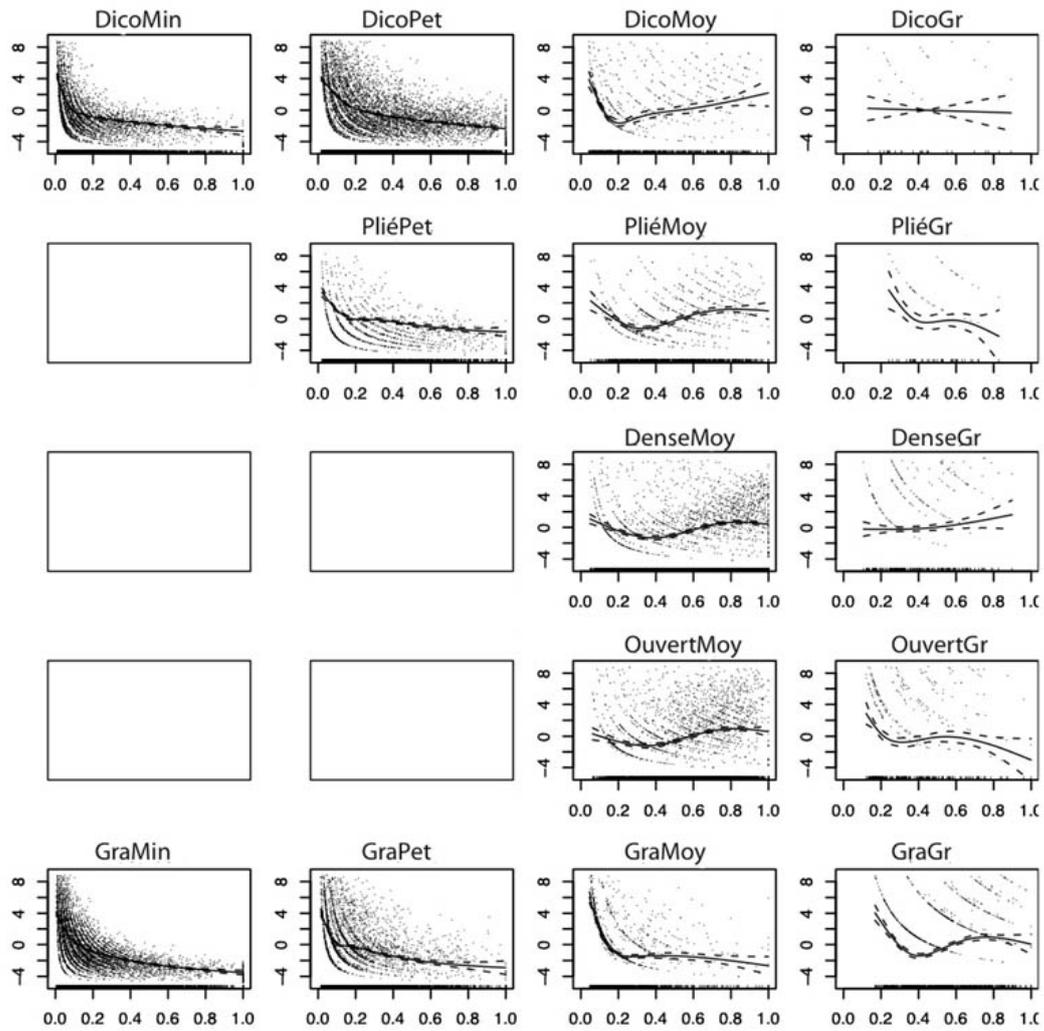


FIGURE 4.60 – Nuage de points et courbe du modèle GAM ajusté pour chacune des 15 classes physiologique : écart au flux d’ingestion moyen (en ordonnée, g MS/min) en fonction de la contribution de la classe au flux d’ingestion (en abscisse : 0, 20, 40, 60, 80 et 100 %)

4.2. Le comportement d'ingestion selon la contribution de morphes et plante-prises :
 construction d'un modèle explicatif

répondre à cette question, nous avons effectué un dernier regroupement de nos 15 classes physiologiques sur la base d'un examen visuel des courbes ajustées par les modèles GAM (voir figure 4.60).

4.2.5 Regroupement des classes en fonction de la forme du modèle ajusté

Nous avons essayé, pour nos 15 classes physiologiques, de discerner deux catégories fonctionnelles qui ont beaucoup de retombées sur le flux d'ingestion instantané :

- les classes physiologiques dont les contributions élevées aux séquences d'ingestion sont associées à une diminution du flux d'ingestion, et qui peuvent donc être considérées comme des "limiteurs" du flux ;
- les classes physiologiques dont les contributions élevées aux séquences d'ingestion sont associées à une plus large gamme de flux d'ingestion, et qui peuvent donc être considérées comme "nécessaires" pour augmenter le flux.

Les résultats de ce regroupement des 15 classes physiologiques en deux catégories sont présentés au tableau 4.61.

LIMITEURS		NÉCESSAIRES	
DicoMin	DicoPet	DicoMoy	DicoGr
	PliéPet	PliéMoy	PliéGr
		DenseMoy	DenseGr
		OuvertMoy	OuvertGr
GraMin	GraPet	GraMoy	GraGr

FIGURE 4.61 – Regroupement de 15 classes physiologiques en deux catégories fonctionnelles du point de vue du flux d'ingestion instantané.

Pour ces deux catégories fonctionnelles de prises, nous avons représenté les nuages de points du flux d'ingestion observé en fonction de la contribution de chacune des catégories (graphique 4.62). Les nuages de points montrent 2 tendances symétriques, conséquence logique du regroupement de toutes les prises observées selon 2 catégories et du calcul des contributions en pourcentage. Pour les faibles contributions des "limiteurs", nous observons un flux supérieur à la moyenne (la valeur 0 sur l'axe des ordonnées). Au-delà de 20 % de ces "limiteurs", le flux montre une tendance à diminuer, jusqu'à aboutir à des flux assez systématiquement en dessous de la moyenne pour les contribution de 100 %. Pour la catégorie des "nécessaires", c'est le comportement inverse, car le flux commence au-dessous de la moyenne lorsque la catégorie contribue très peu à la séquence d'ingestion. En revanche, lorsque cette contribution augmente, le flux augmente également au-dessus de la moyenne jusqu'à un plateau qui semble être atteint aux alentours de 80 % de contribution.

Notons qu'au sein de ces deux catégories fonctionnelles ("limiteurs" et "nécessaires"), la plupart des morphes de brachypode ont été identifiés comme faisant partie des structures

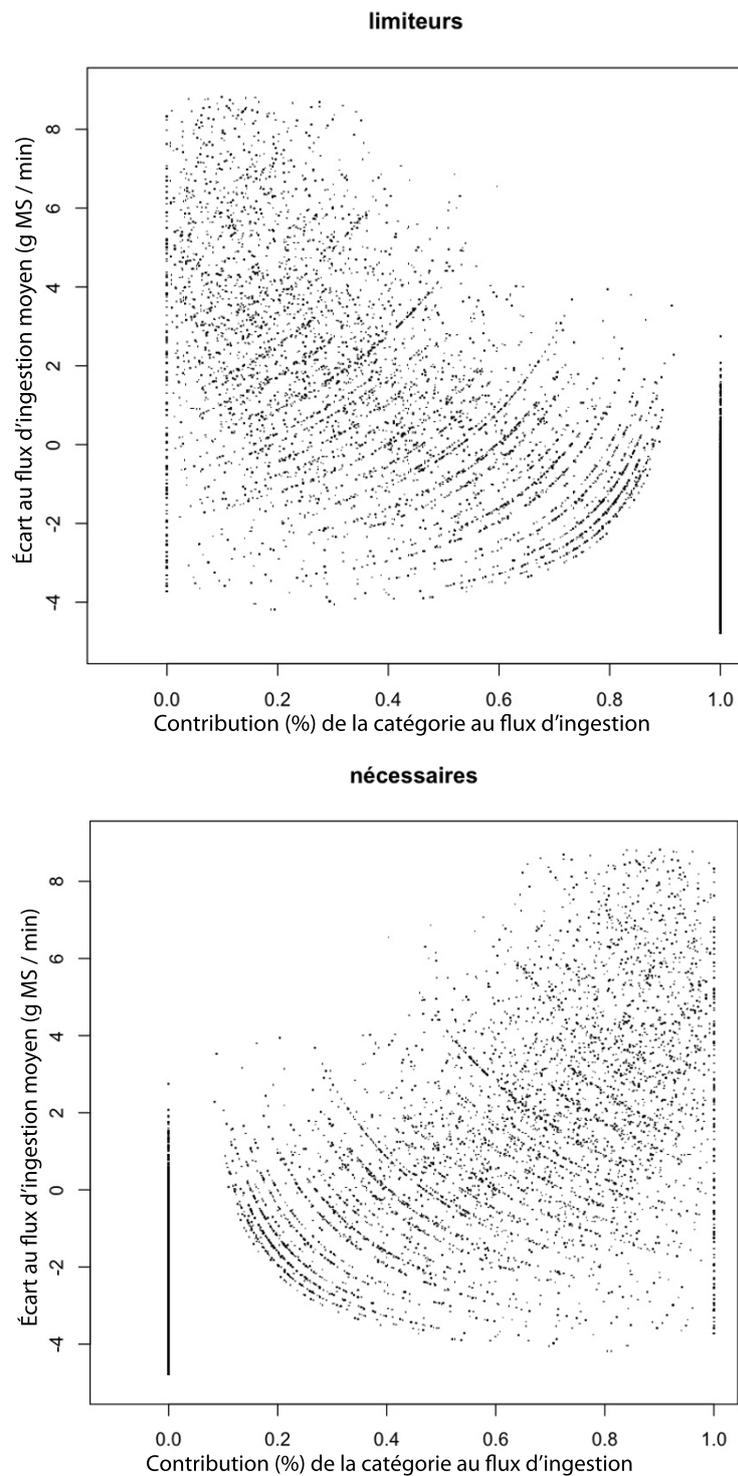


FIGURE 4.62 – Catégories fonctionnelles limiteurs et nécessaires. Le flux d'ingestion à l'axe verticale en g MS/min et la contribution de chaque catégorie à l'axe horizontal en %

"nécessaires" pour permettre des flux d'ingestion élevés.

4.2.6 Retour sur la réponse fonctionnelle des catégories fonctionnelles et classes physiologiques issues des morphes de brachypode.

Dans l'analyse exploratoire du flux d'ingestion (section 4.1.5), nous avons traité la relation entre la masse et la fréquence de prises alimentaires de nos observations et nous avons retrouvé pour nos données la réponse fonctionnelle classique dans l'étude de la dynamique des mécanismes d'ingestion : la masse de prises influe plus sur le flux que leur fréquence. Je cherche dans cette partie à explorer la manière dont la masse et la fréquence contribuent aux flux d'ingestion pour nos deux catégories fonctionnelles.

Nous avons donc à nouveau représenté, pour chacun des catégories "limiteurs" et pour les "nécessaires" les nuages de points de masse et de fréquence de prises, en situant également ces points par rapport aux isoclines de flux d'ingestion (lignes pointillées pour les niveaux de flux de 1, 5, 9, 13 et 17 g MS/min, à la figure 4.63). Afin de distinguer ici l'effet de la contribution de l'un ou de l'autre des deux catégories, nous avons représenté un graphique pour chaque catégorie, et pour chacune de ces deux catégories un dégradé du couleur du jaune au rouge pour représenter un seuil de 10 % de contribution (de la catégorie au flux) supplémentaire (voir figure 4.63).

Ainsi, il est possible d'observer l'étendue de la gamme de masses et fréquences de prises alimentaires, les niveaux de flux qui sont associés, et le comportement de ces trois variables au fur et à mesure que la contribution de l'une ou l'autre de deux catégories aux prises alimentaires augmente (voir figure 4.63).

Pour la catégorie des "limiteurs" (4.63 à gauche), les masses de prise alimentaire sont restreintes à une gamme limitée de masse. Pour interpréter le fait que l'on observe parfois des masses moyennes allant jusqu'à 0,4 g MS, il faut noter que cela est observé pour des contributions des "limiteurs" de l'ordre de 40 %, ce qui signifie que les 60 autres pourcents de contribution sont apportés par le groupe des "nécessaires".

Pour cette catégorie des "limiteurs", la fréquence des prises alimentaires présente en revanche toute une gamme, avec des fréquences très élevées de l'ordre de 100 PA/min. La contribution grandissante de la catégorie se traduit, dans le mécanisme de la réponse fonctionnelle, par une compensation de la faible masse des prises par une augmentation de la fréquence de prises. En ce qui concerne le flux d'ingestion, une contribution de l'ordre de 50 % de cette catégorie, permet d'atteindre une étendue de 1 à 9 g MS/min. Cependant, au dessus de cette contribution de 50 %, le flux reste limité de 1 à 5 g MS/min.

Pour ce qui concerne la catégorie des "nécessaires", nous retrouvons une gamme beaucoup plus grande de masse de prises alimentaires, avec notamment des masses moyennes très élevées lorsque les contributions de cette catégorie sont supérieures à 50 %.

Par contre, comme nous pouvons l'observer au graphique 4.63 à droite, on ne trouve pas un tel résultat symétrique en ce qui concerne la fréquence de prises alimentaires. En effet la fréquence de prises ne diminue pas pour des contributions importantes de la catégorie "nécessaire". La fréquence semble pouvoir être maintenue à des valeurs élevées, jusqu'à 80 PA/min pour une masse de 0,20 g MS/PA lors de contributions de l'ordre de 60 à 80 % de cette catégorie. Avec cette même masse, et lors des contributions de 90 et 100 % la

fréquence peut atteindre les 70 PA/min. Il résulte ainsi que le flux d'ingestion observé lors de contributions supérieures à 50 % de la catégorie "nécessaire" sont beaucoup plus élevés que pour la catégorie "limiteur".

Ces résultats confirment le mécanisme bien connu d'augmentation du flux d'ingestion par la voie de l'augmentation de la masse des prises alimentaires. Mais dans notre cas particulier, nous identifions aussi une spécificité, à savoir la possibilité de maintenir des fréquences de prise alimentaire élevées pour des prises alimentaires massives de l'ordre de 0,200 g MS et plus. Ces résultats montrent le mécanisme par lequel la masse et fréquence de prises alimentaires sont mobilisées pour chaque catégorie fonctionnelle de structures végétales, les "limiteurs" et les "nécessaires". Pour le cas du brachypode, la seule classe physiologique attachée à la catégorie limiteur est issue d'un type de prise de petite masse du morphe "Plié". Pour d'autres classes de masse ce même morphe est attaché à la catégorie fonctionnel nécessaires (voir figure 4.61 à la section précédente). En conséquence nous pouvons considérer que la plupart des morphes de brachypode sont "nécessaires" pour observer des flux d'ingestion importants. Dans la figure 4.64, nous pouvons observer des exemples pour les trois types des morphes, "Plié", "Dense", "Ouvert".

4.2. Le comportement d'ingestion selon la contribution de morphes et plante-prises :
 construction d'un modèle explicatif

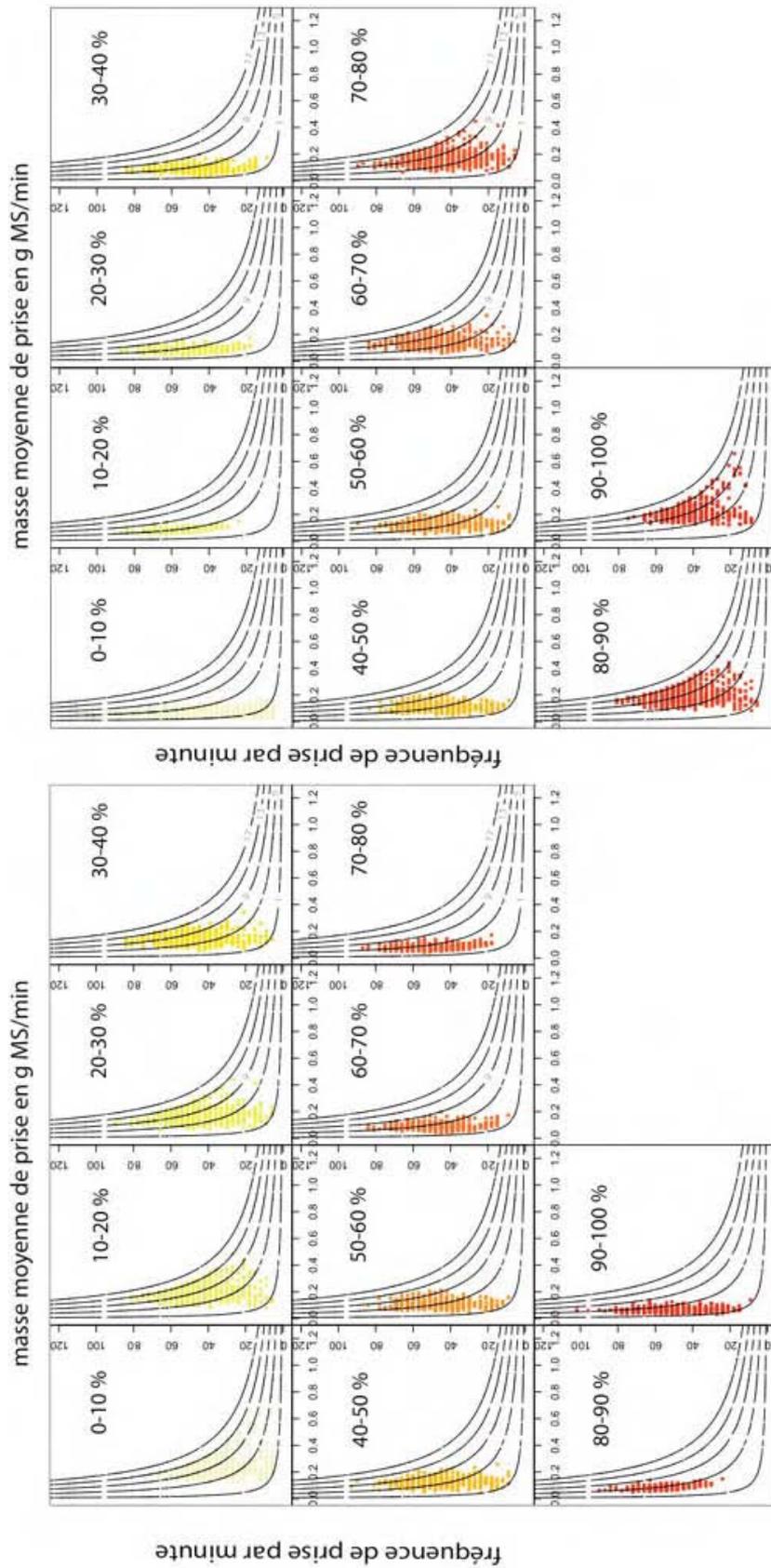


FIGURE 4.63 – Flux d'ingestion (g MS/min) observé pour chaque période de 20 secondes en fonction de la contribution de deux catégories fonctionnelles, à gauche des "limitateurs" et à droite des "nécessaires". Note : Seules sont représentées les séquences avec une contribution strictement positive. Pour les deux catégories, le dégradé du couleur du jaune au rouge représente un seuil de 10 % de contribution (de la catégorie au flux) supplémentaire

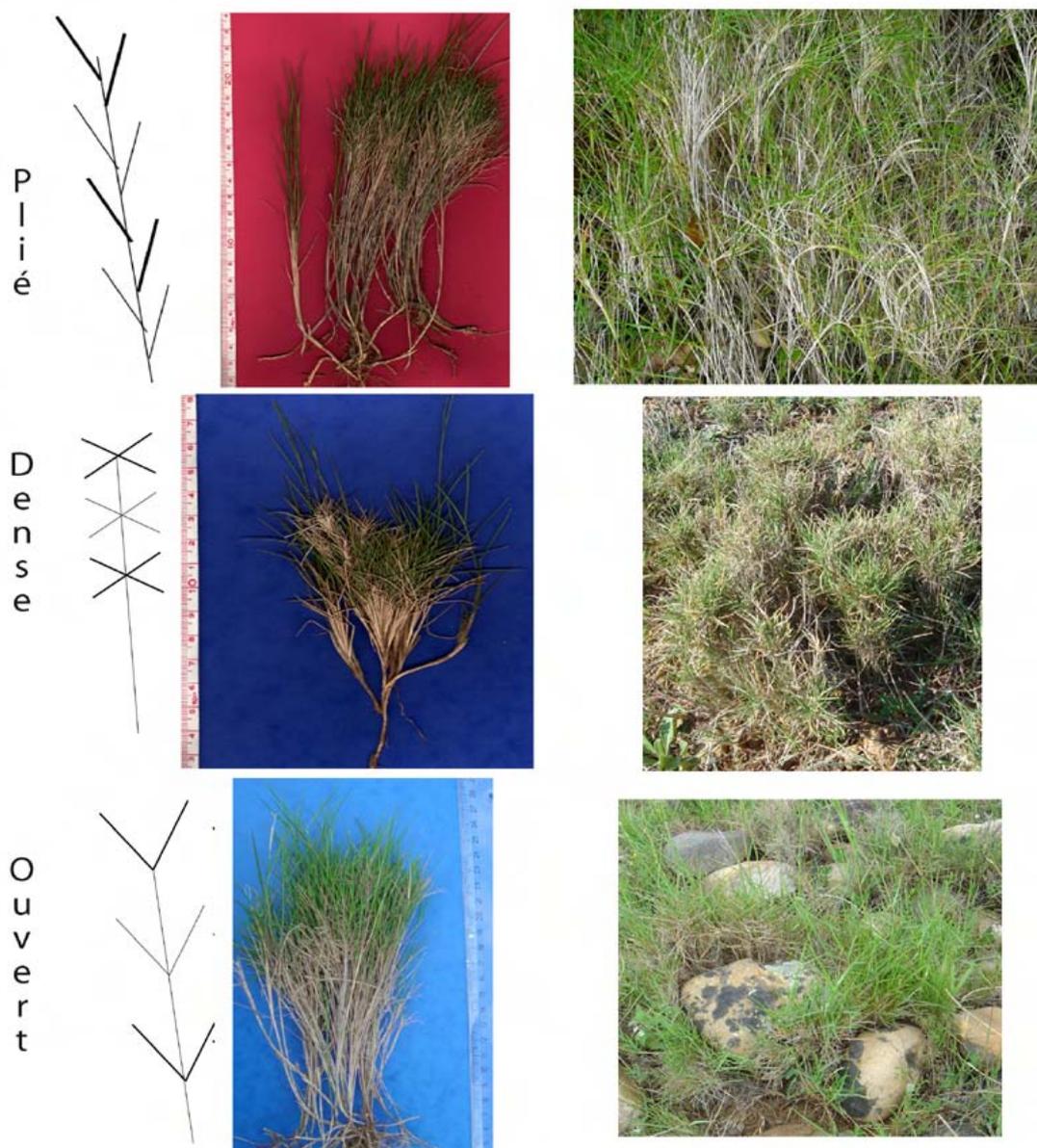


FIGURE 4.64 – Morphes de brachypode. À gauche notre schème pris de la grille de morphes, au centre et à droite photos des exemplaires dans les coussouls.

4.3 Description des variations de flux d'ingestion associées aux actions du berger

Dans cette section, nous abordons la question du lien entre les actions du berger et le comportement d'ingestion des brebis. Dans une première partie, nous présentons les caractéristiques de nos données et décrivons les implications pour leur analyse et interprétation des résultats. Dans les parties suivantes, nous présentons des résultats de notre analyse exploratoire des liens entre action du berger et flux d'ingestion. Enfin, nous approfondirons les analyses pour les actions qui ont été associées aux flux les plus élevés.

4.3.1 Caractéristiques des données et implications pour l'analyse et l'interprétation des résultats

La nature des données utilisées pour cette section est particulière, elle mérite d'être rappelée pour justifier le caractère uniquement exploratoire de nos analyses, et éviter certains écueils dans l'interprétation des résultats. Les données concernant les actions du berger ont été acquises en temps réel, simultanément à l'enregistrement du comportement d'ingestion. Comme cela a été décrit en détail dans la section "Matériel et Méthodes", elles ont été codées par des modalités d'une variable qualitative (non numérique), puis re-qualifiées à dire d'expert selon deux caractéristiques : le caractère direct ou indirect des effets attendus de l'action (variable qualitative), et le niveau d'influence estimé de l'action (variable quantitative).

D'un point de vue théorique, les liens qui existent entre le comportement d'ingestion et les actions du berger ne sont pas simples et univoques (Meuret, 2010b). D'abord il ne faut pas oublier l'effet quasi continu du berger sur le troupeau, du départ au retour à la bergerie, car c'est le berger qui choisi en grande partie quels sont les enchaînements de faciès de végétation sur lesquels le troupeau est mis à pâturer en cours de circuit, et détermine ainsi les flux d'ingestion qu'il est possible de réaliser. En plus, il est assez évident de considérer que certaines actions du berger sur son troupeau au cours du circuit vont avoir un effet direct sur le troupeau et donc un effet indirect sur le comportement d'ingestion des individus, même dans le cas des grands troupeaux de Crau. Mais il faut aussi considérer que, de façon réciproque, les actions des bergers sont déterminées elles aussi par différents facteurs, dont la nature des faciès de végétation à faire manger au plus vite ou, au contraire, à garder pour plus tard (gestion des ressources sur les différents secteurs de pâturage), les événements météorologiques, ou bien même la perception par le berger du comportement d'ingestion du troupeau, de ses états de faim ou de satiété plus ou moins prononcés en cours de journée.

Les liens entre comportement d'ingestion et action du berger sont donc à considérer dans les deux sens (les actions affectent le comportement et les actions sont affectées par la végétation et/ou le comportement). Notre dispositif d'acquisition de données ne nous permettra pas de distinguer ces effets croisés qui s'expriment chacun à des échelles de temps et d'espace distinctes. Par conséquent, les analyses développées dans cette partie se limiteront à des analyses exploratoires afin de dégager des tendances concernant les associations entre type d'action et flux d'ingestion, sans être en mesure de travailler la question des causalités.

Une autre caractéristique des données disponibles pour cette analyse est leur grande hétérogénéité pour ce qui concerne le nombre d'observations réalisées selon les différentes

actions de bergers (voir section 4.1. 3 : "Catégorisation des actions du berger et définition de leur niveau d'influence probable sur le troupeau"). On constate en effet à la figure 4.65 des "boîtes" dont les largeurs sont très différentes, représentées de façon proportionnelle à la racine carrée du nombre d'observations. Cela n'est pas sans conséquence sur le type d'analyse que nous sommes autorisés à effectuer avec ce jeu de données. Nous utiliserons ainsi des indicateurs simples tels que des différences entre médianes, test de Mann et Whitney (comparaison d'une paire de médianes), test de Kruskal Wallis (comparaison de paires multiples de médianes), ou bien des courbes de régression polynomiales pour préciser les tendances, lorsque la variable décrivant les actions du berger est exprimée par une variable numérique ordonnée (niveau d'influence des actions).

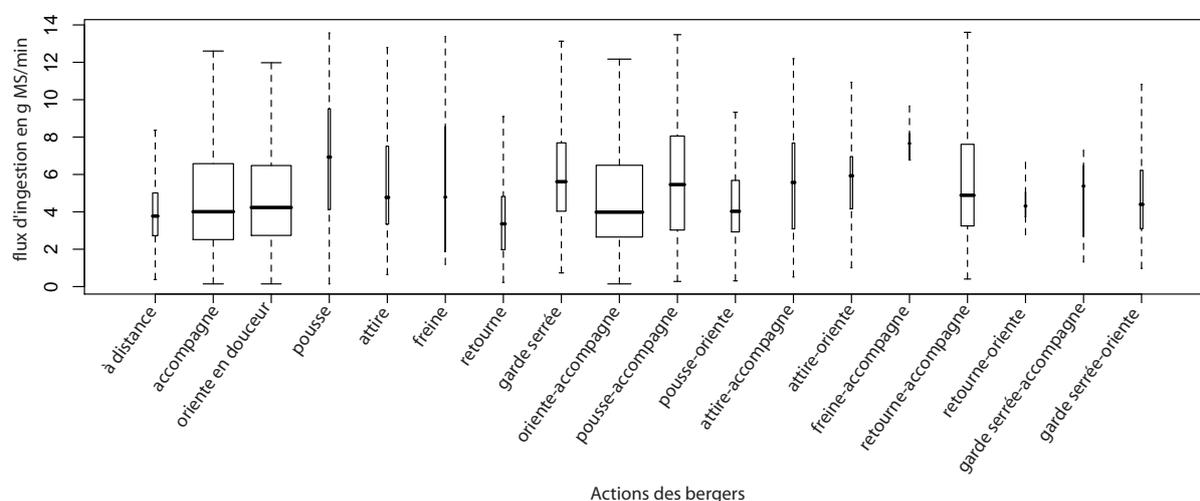


FIGURE 4.65 – Médianes de flux d'ingestion pour toutes les actions de berger (considérées comme étant à effet direct ou différé, voir Chapitre 4), sans distinction des faciès de végétation.

Cette différence très marquée en données disponibles pour associer les flux d'ingestion aux actions de bergers est cohérente avec mon expérience vécue sur le terrain. En effet, pendant l'observation du comportement d'ingestion instantanée chez des individus du troupeau (observations transformées ensuite en séquences de flux d'ingestion), les observations les plus difficiles à réussir ont été précisément celles qui se sont déroulées sous l'influence des actions de berger que nous considérons comme fortes, avec un troupeau souvent très serré et compact, ou très dynamique avec des individus qui changent rapidement de position par rapport au reste du troupeau. Nous disposons donc de très peu de données de comportement d'ingestion pour ce qui est des actions très fortes et de durée très courte. De plus, cette inégalité dans la quantité de données disponibles pour traiter des variations de flux devient plus marquée encore lorsque nous analysons ce flux en distinguant les faciès car, comme nous l'avons déjà montré à la section 4.1.6 (description des pratiques des bergers interviewés et observés), certaines actions sont fortement spécifiques au type de faciès (par exemple : en steppe de Crau, une action "garde serrée" sur du faciès "fin" n'a pas de sens, et le nombre de données est donc égal à zéro).

4.3.2 Les flux d'ingestion observés en considérant les actions comme étant tous à effet direct ou bien en différenciant les actions comme étant à effet direct ou différé.

Au graphique 4.66, nous observons la comparaison entre le fait de considérer toutes les actions du type "accompagne" comme étant à effet direct (1^e boîte à gauche) ou bien le fait de distinguer que cette action peut avoir, soit un effet direct (2^e boîte), soit différé (enchaînements d'actions composés de "orienté-accompagne", "pousse-accompagne", "attire-accompagne", "retourne-accompagne" : de la 3^e à la 6^e boîtes). Le résultat a été obtenu par la procédure "notched boxplot", rapportée par McGill et al. (1978) qui compare de multiples médianes en utilisant le test de Tuckey. Le résultat se lit sur les encoches centrales de la boîte : lorsque les encoches de deux boîtes ne se recouvrent pas, les médianes sont statistiquement différentes (avec un $p < 5\%$).

Le test de Tuckey permet de conclure qu'il y a une différence significative dans les valeurs de leurs flux médians associées à l'action lorsque il n'a pas de distinction des actions selon un effet directs ou différés (considérant tous comme étant accompagne) et seulement les actions distinguées comme étant à effet différé (les 4 boîtes de droite à la figure 4.66). Lorsque l'on regarde plus finement ces résultats pour chaque combinaison observée avec l'action "accompagne", on observe que les combinaisons d'actions "pousse-accompagne", "attire-accompagne" et "retourne-accompagne" ont des valeurs de médiane du flux supérieures à la combinaison "orienté-accompagne". Autrement dit, les enchaînements d'actions "pousse" (c'est-à-dire lorsque le berger se tient derrière le troupeau et tente d'accélérer le mouvement d'avancée vers l'avant), ou "attire" (il se tient devant le troupeau et parfois son chien est placé à l'arrière), ou encore "retourne" (se tenant à l'avant, il renvoie autoritairement le troupeau dans la direction d'où vient ce dernier, ou une direction proche), suivies de "accompagne" (il se tient alors aux côtés du troupeau, mais sans interagir), ont apparemment plus d'effet sur le flux d'ingestion, qui est alors d'un niveau plus élevé, que l'enchaînement d'action "orienté" (le berger se positionne sur un des côtés du troupeau et, en se rapprochant peu à peu, lui et son chien, il dévie doucement le sens général de l'avancée) suivie de "accompagne".

En ce qui concerne les actions considérées à dire d'expert comme ayant une influence faible et modérée sur le troupeau, c'est-à-dire les actions accompagne et orienté (en douceur), nous constatons qu'elles ont été associées aux flux de niveau moyen. De plus, nous n'avons pas trouvé de différence significative entre les flux associés à ces deux actions d'influence faible-modérée (voir graphique 4.66). D'après ces résultats, nous constatons une fois encore que notre choix de discriminer ces deux types d'actions est apparemment valable.

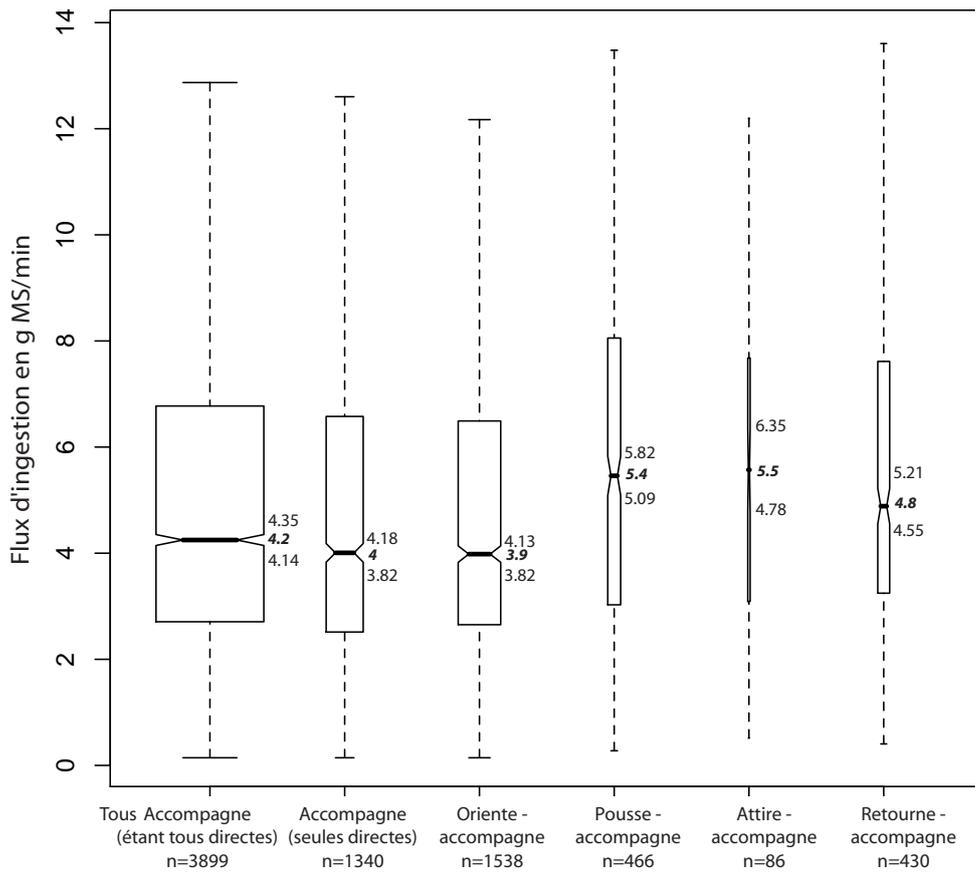


FIGURE 4.66 – Résultats des tests de Tuckey sur la variable flux d'ingestion (axe vertical), obtenus pour différentes façons de considérer l'action "accompagne" du berger, (axe horizontal). De gauche à droite, on lit les résultats pour l'action "accompagne" : considérant toutes les observations comme étant directes (Tous Accompagne), puis en considérant la possibilité, soit d'un effet direct (Accompagne), soit d'un effet ou différé (enchaînements avec Oriente, Pousse, Attire, Retourne). On lit, à droite de chaque boîte et de haut en bas, la valeur supérieure de l'intervalle de confiance, la médiane et la valeur inférieure de l'intervalle de confiance. Lorsque les encoches de deux boîtes ne se recouvrent pas, les médianes sont statistiquement différentes (avec un $p < 5\%$).

4.3.3 Quels liens entre le niveau d'influence des actions sur le troupeau et les flux d'ingestion observés ?

Dans cette partie, nous considérons maintenant les liens entre les valeurs du flux d'ingestion et les actions du berger, décrites par leurs notes attribuées à dire d'expert pour évaluer leurs niveaux d'influence sur le troupeau. Les analyses sont des analyses de corrélation, rendues possibles par la conversion de la variable "actions du berger" en une variable quantitative discrète. Elles nous permettent de détecter des tendances, mais ne peuvent en aucun cas permettre de conclure sur des "causalités" ou des "effets" des actions sur le flux (et réciproquement).

Rappelons à nouveau ici qu'un berger conduit un troupeau entier, et que ceci n'a donc qu'une influence indirecte (par exemple, par la délimitation plus ou moins stricte par le berger du ou des faciès sur lesquels le troupeau est conduit à un moment du circuit, ou sur le rythme général de déplacement du troupeau, accéléré ou ralenti par le berger...) sur le comportement d'ingestion, et donc le flux, chez chacun des individus.

Nous regardons maintenant la moyenne des flux, sans distinguer les trois faciès. Nous pouvons observer au graphique 4.67 qu'il ne semble y avoir aucune relation claire entre les flux et les actions des bergers, lorsque ces dernières sont ordonnées selon leur note décrivant le niveau d'influence sur le troupeau.

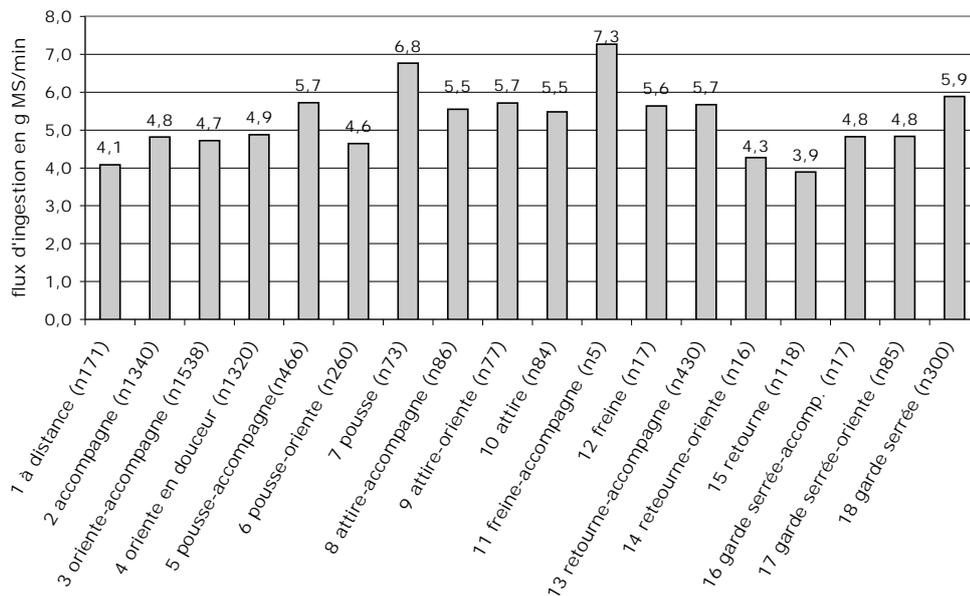


FIGURE 4.67 – Actions des bergers, flux moyens associés, sans distinguer les 3 faciès.

Pour explorer ces liens entre flux d'ingestion et actions du berger, et rechercher une éventuelle tendance, nous avons cherché ensuite à formaliser des courbes de régression polynomiale pour les moyennes des flux d'ingestion, et pour chaque faciès. Les courbes de régression polynomiale sont présentées pour nos 18 types d'actions (à effets directs et différés), tout d'abord sans distinguer les trois faciès (figure 4.68, en haut), puis pour le faciès "fin" (figure 4.68, en bas), le faciès "panaché 1" (figure 4.69, en haut) et enfin pour le "panaché 2" (figure 4.69, en bas).

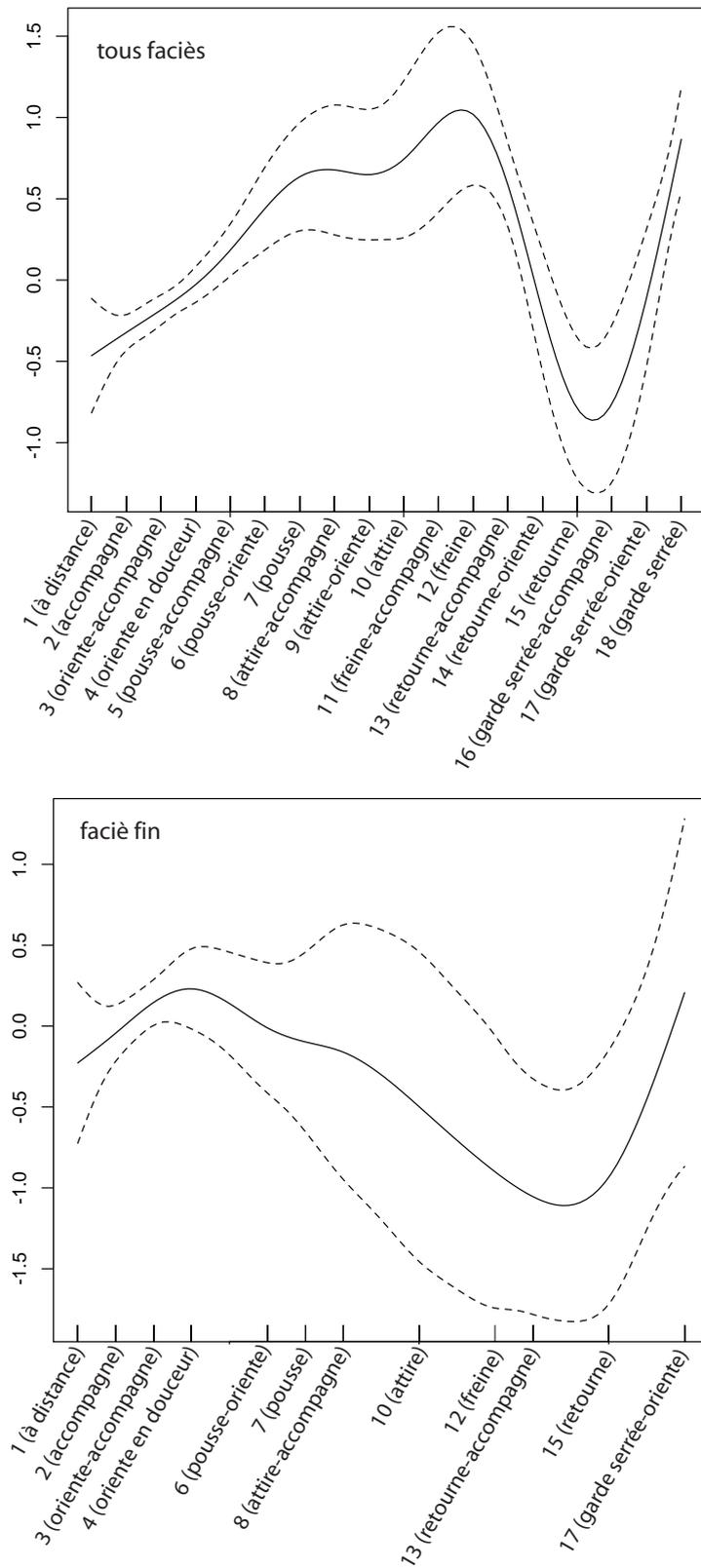


FIGURE 4.68 – Courbe du modèle de régression (trait continu) et intervalle de confiance (en pointillés) pour les 18 types d'action ordonnées selon leur note sur un gradient de niveau d'influence du berger sur le troupeau, pour les trois faciès considérés ensemble (en haut) et pour le faciès fins (en bas).

4.3. Description des variations de flux d'ingestion associées aux actions du berger

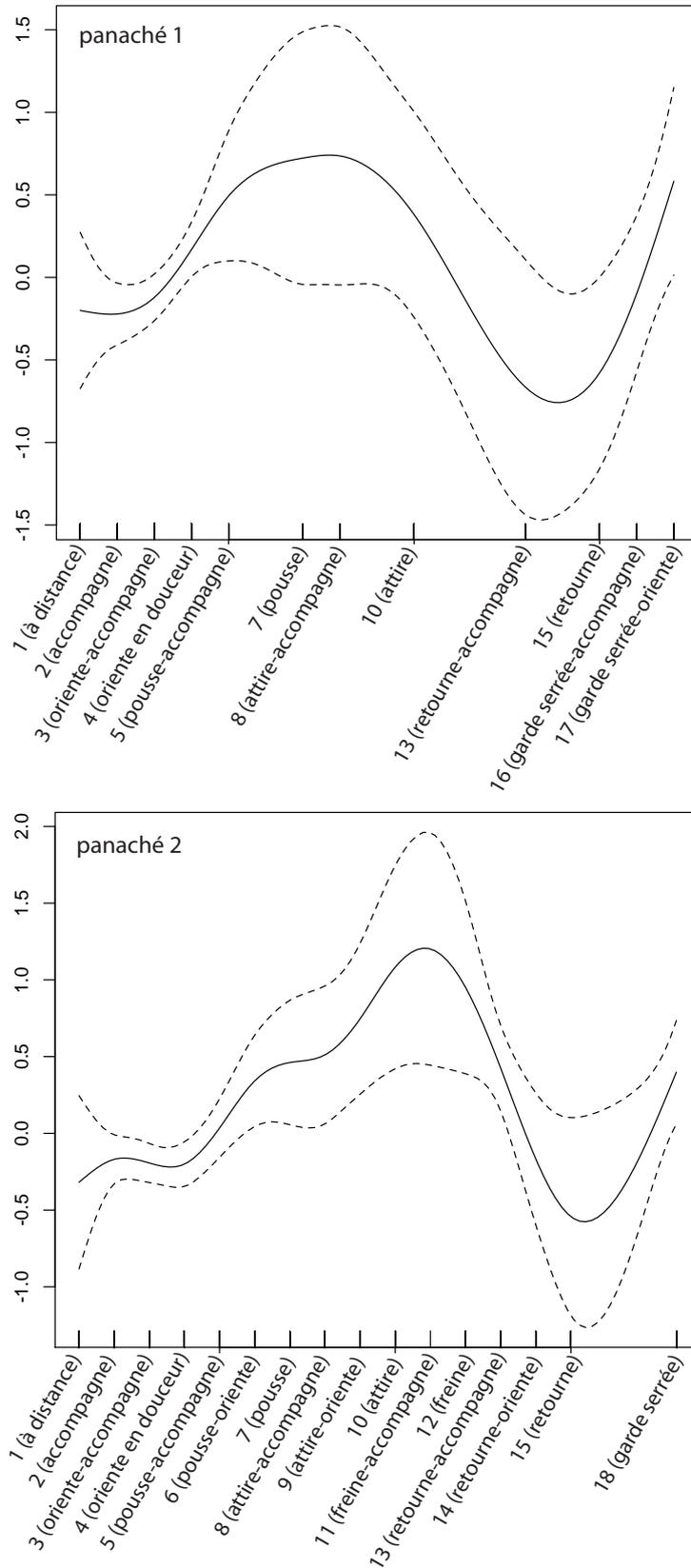


FIGURE 4.69 – Courbe du modèle de régression (trait continu) et intervalle de confiance (en pointillés) pour les 18 types d'action ordonnées selon leur note sur un gradient de niveau d'influence du berger sur le troupeau, pour les faciès panachés 1 (en haut) et panachés 2 (en bas).

Dans les quatre graphiques (figures 4.68 et 4.69), nous pouvons observer l'absence d'une relation simple. Une tendance commune existe toutefois. Elle consiste en une augmentation progressive du flux d'ingestion au fur et à mesure qu'augmente le niveau d'influence du berger sur le troupeau, pour atteindre assez rapidement un maximum (autour des actions dont la note est située autour de 3 pour le faciès fin à 7 et 11 pour les faciès panachés). Une fois passé ces flux maximums, les actions dont la note d'influence est supérieure sont associées à un flux décroissant. Une légère pente positive est à nouveau observée pour les actions dont les niveaux d'influence sont les plus élevés.

À titre exploratoire, nous avons ensuite tenté de regarder comment s'organisent les actions du berger si on les ordonne en fonction de la moyenne des flux observés (graphique 4.70). Il est difficile d'interpréter un tel résultat, car les catégories d'action ont été définies pour rendre compte de la pratique, mais ne sont pas directement liées aux flux d'ingestion (voir rappel ci-dessus, au sujet du fait que l'objet biologique piloté par le berger est le troupeau entier, et non chacun des 1000 individus).

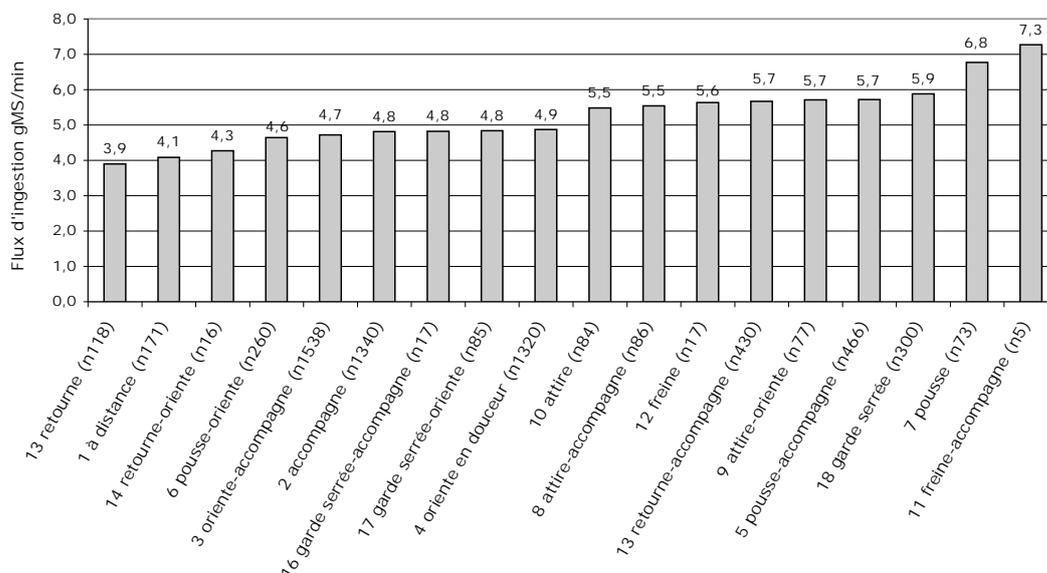


FIGURE 4.70 – Actions de bergers rangées selon leur moyenne de flux d'ingestion associée

Tous ces résultats illustrent la complexité de notre objectif qui consistait à vouloir expliciter les liens entre le comportement d'ingestion et les actions du berger, et plus précisément, sur la volonté de hiérarchiser les actions selon une variable quantitative. En conséquence, une hiérarchisation stricte des actions du berger sur le troupeau sur la base du flux observé chez des individus ne semble pas faisable. En effet, même si les actions sont plus ou moins influentes sur le troupeau, le flux observé est influencé également par le faciès pâturé, ce dernier découlant lui-même et le plus souvent de l'organisation du circuit par le berger. Il est toutefois aussi probable, d'après l'état actuel des connaissances, que les ressources consommées juste auparavant en cours de circuit aient un effet non négligeables sur le comportement d'ingestion sur un faciès donné. C'est ce qui avait été montré dans une autre situation à l'aide d'un "focal sampling" : des effets de "relance de l'appétit" (accélération du flux) lorsque le berger choisissait d'enchaîner des faciès contrastés en cours de circuit (Meuret et al., 1994).

4.3. Description des variations de flux d'ingestion associées aux actions du berger

N'ayant pas choisi de réaliser de "focal sampling", dans notre situation comportant plus de 1000 individus par troupeau, nous n'avons pas les moyens d'analyser les effets sur les variations de flux d'ingestion des enchaînements de faciès organisés par les bergers en cours de circuit. Nous nous contenterons donc ici des principaux résultats suivants :

1) Des actions de bergers avec forte influence sur le troupeau, du type "retourne", peuvent être associées à des niveaux de flux d'ingestion plus bas que des actions dont le niveau d'influence a été considéré comme très faible, comme par exemple l'action "accompagne". Ceci est observé, que nous considérons les trois faciès groupés, ou chacun séparément (voir graphique 4.71).

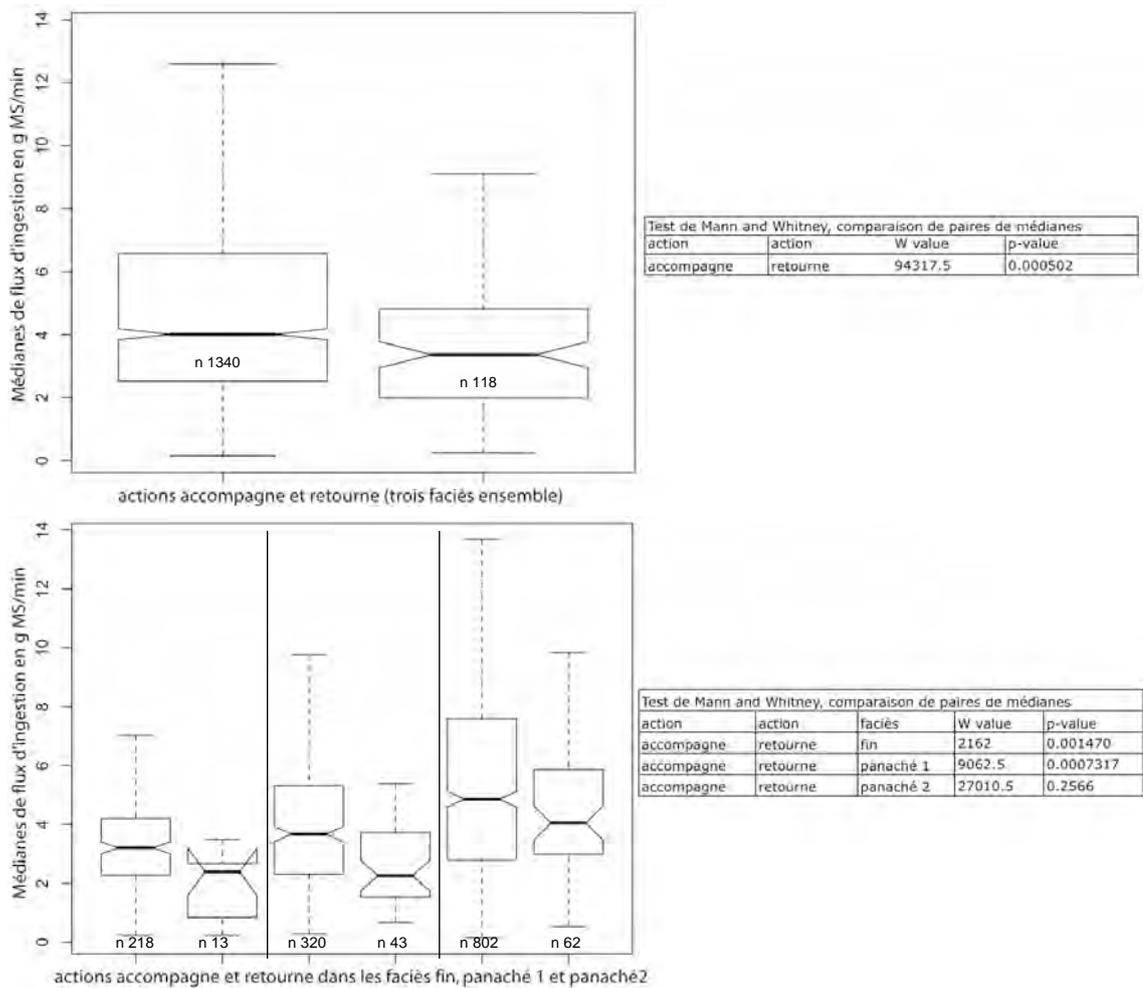


FIGURE 4.71 – Boxplot des flux d'ingestion associés aux actions "accompagne" et "retourne", avec test de Mann et Whitney (test de médianes différentes), sans distinction de faciès (en haut), pour le faciès fin (en bas à gauche), pour le faciès panachés 1 (en bas au centre) et pour le faciès panachés 2 (en bas à droite).

2) La prise en compte de la nature des faciès est importante. Comme nous l'avons rappelé en introduction de cette partie, la mise en relation des données du comportement d'ingestion individuel et des actions du berger sur le troupeau doit tenir compte du fait que certaines actions sont beaucoup plus fréquemment utilisées par les bergers sur un faciès donné, dont la végétation autorise les animaux à réaliser des flux supérieurs. Ce résultat est

opportunément illustré par le cas des actions "pousse" et "attire". Nous avons comparé les flux associés à ces deux actions sans distinguer les trois faciès (Figure 4.72, en haut) et le résultat est une différence statistiquement significative ($p < 0.05$). Puis, nous les avons comparé en considérant chacun des faciès séparément (Figure 4.72, en bas), et le résultat est cette fois une différence non significative. Cependant, il faut prendre avec prudence ces résultats, en raison du nombre parfois réduit et surtout inégal d'observations selon les différentes actions et faciès de végétation (Figure 4.72, en bas).

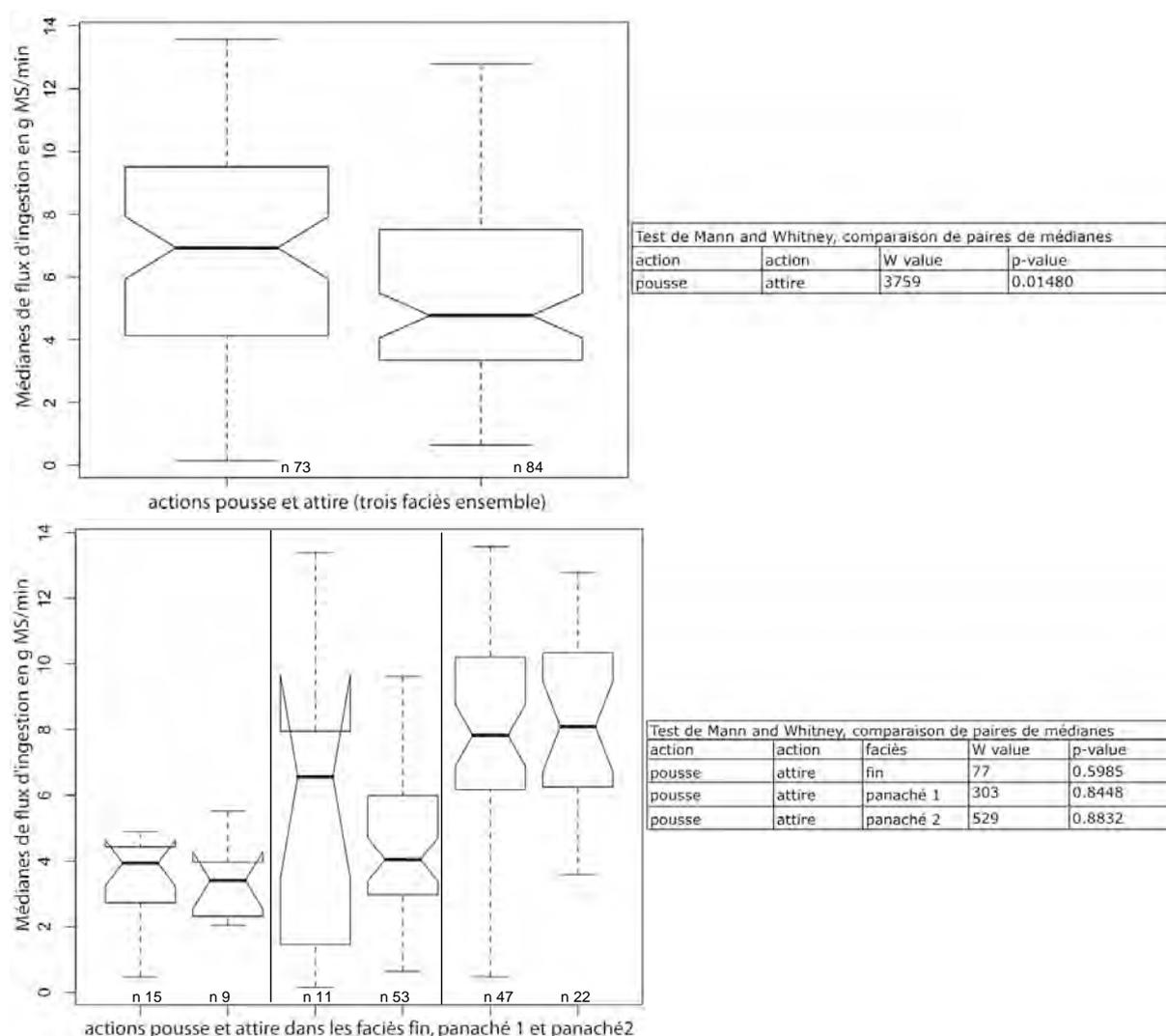


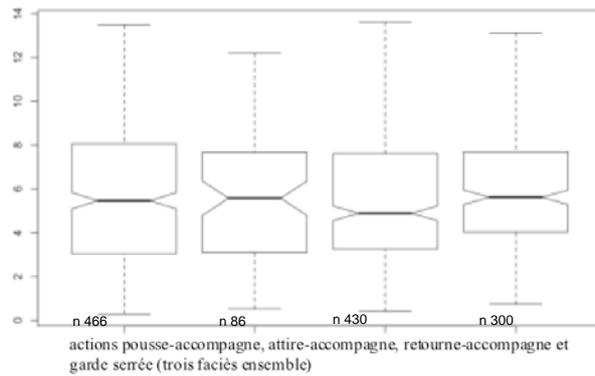
FIGURE 4.72 – Boxplot des flux d'ingestion associés aux actions "pousse" et "attire", avec test de Mann et Whitney (test de médianes différentes), sans distinction de faciès (en haut), pour le faciès fin (en bas à gauche), pour les faciès panachés 1 (en bas au milieu) et pour le faciès panachés 2 (en bas à droite).

3) Une action à effet différé peut être associée à des niveaux en flux similaires à ceux observées lors des actions directes et de forte influence sur le troupeau. Nous pouvons l'observer dans le graphique 4.73 supérieur, pour le cas des actions à effet différé "pousse-accompagne", "attire-accompagne", et "retourne-accompagne", par rapport à l'action "garde serré" lors qu'on considère les trois faciès ensemble. Nous avons également observé si une

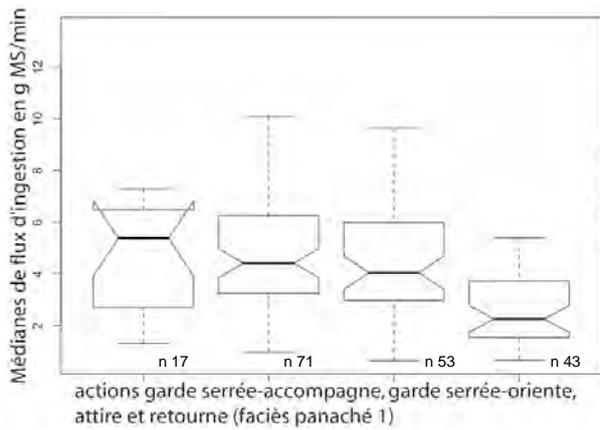
4.3. Description des variations de flux d'ingestion associées aux actions du berger

telle différence reste valable lorsque nous regardons les variations au sein de chaque faciès. Cette différence n'est pas possible à observer dans le cas du faciès "fin", car les actions fortes n'y sont pas, ou très peu, utilisées.

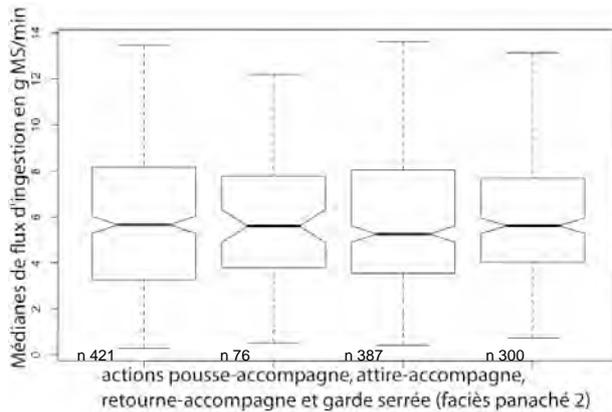
En revanche, nous pouvons comparer dans le cas du faciès "panaché 1" deux actions différées, "garde serrée-accompagne", "garde serrée-orientée" et les actions directes de forte influence "attire" et "retourne", (voir figure 4.73, milieu). Une comparaison similaire est faite pour le faciès "panaché 2" (figure 4.73, bas) en considérant comme actions différées "pousse-accompagne", attire-accompagne, retourne-accompagne ; et comme action directe d'influence forte la "garde serrée". Dans les deux graphiques (4.73, milieu et bas) le niveau de flux est similaire entre les actions différées et directes, sauf pour le cas de l'action "retourne" où, comme déjà mentionné, cette action est associée à des flux d'ingestion plus faibles (voir graphique 4.71 supérieur).



Test de Kruskal-Wallis, comparaison de multiples paires de médianes				
action	action	obs. dif	critical dif	différence
garde serrée	pousse-accompagne	34.3897	72.3010	FALSE
garde serrée	attire-accompagne	48.9139	119.4724	FALSE
garde serrée	retourne-accompagne	52.3779	73.4768	FALSE
pousse-accompagne	attire-accompagne	14.5242	114.6334	FALSE
pousse-accompagne	retourne-accompagne	17.9882	65.3146	FALSE
attire-accompagne	retourne-accompagne	3.4639	115.3786	FALSE



Test de Kruskal-Wallis, comparaison de multiples paires de médianes					
action	action	obs. dif	critical dif	différence	Pan1
attire	retourne	40.1724	28.8393	TRUE	
attire	garde serrée-accompagne	7.7297	39.1658	FALSE	
attire	garde serrée-orienté	6.0006	25.5073	FALSE	
retourne	garde serrée-accompagne	47.9021	40.2567	TRUE	
retourne	garde serrée-orienté	46.1731	27.1525	TRUE	
garde serrée-accompagne	garde serrée-orienté	1.7290	37.9410	FALSE	



Test de Kruskal-Wallis, comparaison de multiples paires de médianes					
action	action	obs. dif	critical dif	différence	Pan2
garde serrée	pousse-accompagne	81.7209	68.1596	FALSE	
garde serrée	attire-accompagne	29.8916	115.8478	FALSE	
garde serrée	retourne-accompagne	15.2879	69.3943	FALSE	
pousse-accompagne	attire-accompagne	21.1707	112.4325	FALSE	
pousse-accompagne	retourne-accompagne	6.5670	63.5781	FALSE	
attire-accompagne	retourne-accompagne	14.6036	113.1852	FALSE	

FIGURE 4.73 – Boxplot des flux d'ingestion associés à diverses actions du berger, avec test de Mann et Whitney (test de médianes différentes), sans distinction de faciès (en haut), pour le faciès panachés 1 (au milieu), et pour le faciès panachés 2 (en bas).

Chapitre 5

Discussion

5.1 Démarche et méthode utilisées dans la thèse

L'objectif de ma thèse est de contribuer à mieux apprécier la fonctionnalité alimentaire de la végétation steppique de la Crau pour des troupeaux de brebis conduits par des bergers au cours de circuits de gardiennage. Pour l'atteindre, nous avons adopté une démarche basée sur quatre niveaux d'analyse : 1) description de la végétation selon six échelles spatiales et temporelles ; 2) entretiens avec des bergers expérimentés ; 3) observation directe des actions de bergers sur le troupeau au cours de leurs circuits de gardiennage ; 4) observation directe de l'ingestion instantanée réalisée par des individus du troupeau au cours de ces circuits. Le premier niveau d'analyse était nécessaire du fait que notre étude, se consacrant aux échelles fines des actes techniques du berger et du processus d'ingestion, nous avons aussi à nous situer par rapport aux préoccupations de gestion de l'ensemble de la steppe de Crau, utilisant des indicateurs d'état de la végétation à des échelles plus larges (photos satellitaires et aériennes, couplées à des diagnostics rapides de terrain). Le deuxième niveau d'analyse nous a permis de recueillir des informations auprès de bergers sur leurs façons de concevoir l'utilisation de la végétation pour le pâturage. En ce qui concerne les troisième et quatrième niveaux d'analyse, ils nous ont permis d'identifier les structures fonctionnelles de végétation en rapport avec l'ingestion instantanée et d'explorer ensuite le lien entre les actions du berger sur le troupeau au cours du circuit et l'ingestion observée chez des brebis.

À notre connaissance, nous avons été les premiers à adapter ici la technique d'observation directe de l'ingestion pour le cas de très grands troupeaux ovins conduits par des bergers. Des expériences précédentes à la mienne avaient été effectuées avec des troupeaux comprenant, soit 30 à 40 chèvres en gardiennage (Meuret et al., 1985), soit entre 25 et 600 brebis en parc clôturé (Agreil, 2003). Cherchant à identifier et à modéliser une "stratégie alimentaire" en cours de repas et en réponse à la raréfaction apparente des ressources au fil des journées passées sur un même espace clôturé, Agreil (2003) avait utilisé la méthode du "focal sampling" d'un individu. Dans notre cas, il aurait été irréalisable de n'observer qu'une seule brebis, car le troupeau comprend plus de 1000 individus, au comportement grégaire, donc souvent placés côte à côte, ce qui empêche toute observation continue durant la journée. Le choix de recourir au "scan sampling" avec un grand troupeau est assez classique en écologie animale (Altman, 1974). Dans mon cas, il m'a surtout permis de m'assurer d'une perturbation minimale sur le troupeau, l'observateur étant en mesure d'interrompre son

suivi lorsque le troupeau change de direction ou de rythme, notamment suite à une action forte du berger. Aucun des trois bergers ne m'ont signalé avoir été contraints par ma présence au cours de leur travail. D'autres bergers, proches voisins de ceux chez qui j'ai mené mes observations, et avec qui ils avaient discuté, ont d'ailleurs dit aux gardes de la Réserve qu'ils regrettaient que je ne vienne pas aussi faire mes observations chez eux (Meuret, *comm. pers.*).

Nos données sont ainsi d'une grande originalité et elles nous permettent d'affirmer que, moyennant quelques adaptations et aussi de la ténacité lors des observations, cette technique est utilisable en conditions de grands troupeaux au pâturage sur une végétation herbacée steppique. Nous avons en effet réussi l'observation directe de 1.023 séquences d'ingestion, avec des durées jusqu'à 7 minutes en continu. Le pourcentage de valeurs du flux d'ingestion (en g MS/min, notre indicateur de l'efficacité d'ingestion), classées comme données aberrantes a été de 4,6 %, c'est-à-dire inférieur au seuil de 5 % généralement considéré comme valable. Nous avons aussi obtenu une bonne répétabilité (coefficient de variation < 15 %) pour ce qui concerne la simulation par un même observateur des différentes "plantations".

Notre dispositif a également été conçu pour aller au-delà de l'analyse scientifique de la réponse fonctionnelle des brebis, et produire des indicateurs permettant aux acteurs (bergers, éleveurs, gestionnaires de la réserve) de décrire la fonctionnalité de la végétation de façon opérationnelle, c'est à dire en y consacrant peu de temps lors des diagnostics de terrain. Pour cela, nous avons identifié les structures de végétation qui influaient le plus sur les niveaux de flux d'ingestion instantanée, recherché quelles étaient les contributions de différents classes physiologiques de plantes aux séquences d'ingestion, et enfin regroupé la diversité des plantes et de leurs organes dans un petit nombre de catégories fonctionnelles, assez faciles à repérer visuellement sur le terrain. Notre démarche s'inscrit ainsi dans le prolongement des travaux de mon équipe d'accueil, en apportant un croisement original des travaux menés sur les pratiques de gardiennage (Meuret, 2010b) et des travaux menés sur la conduite des troupeaux en parcs (Agreil, 2003; Agreil et al., 2004). Il s'agissait de considérer autant le format de la structure végétale (type dicotylédones, type autres graminées que brachypode, type trois de morphes de brachypode : plié, ouvert, dense) que la masse qu'il était possible de prélever par une brebis (minuscule, petite, moyenne ou grande). Les classes influent plus ou moins sur l'ingestion en imposant chacun une gamme de valeurs possibles de fréquences et de masses des prises alimentaires. Le regroupement des 15 classes physiologiques en seulement 2 "catégories fonctionnelles" vis-à-vis du flux, les "limiteurs" et les "nécessaires", nous permet de proposer une clef d'identification assez simple de la fonctionnalité alimentaire de la végétation steppique de la Crau.

L'observation des actions de trois bergers et la catégorisation de ces actions selon le niveau d'influence probable sur leur troupeau, nous a permis de regrouper tous les cas de figure observés en seulement 18 catégories d'action. Les niveaux d'influence sur le troupeau ont été définis *a priori*, à dire d'experts (scientifiques et bergers), et sans prétendre être en corrélation quelconque avec leurs incidences, positive ou négative, sur le flux d'ingestion chez des individus. Le lien entre comportement de troupeau et comportement d'ingestion instantanée chez les individus est connu par les scientifiques pour être complexe, notamment dans le cas de grands troupeaux (Lécrivain et al., 2010). De plus, pour ce qui concerne plus précisément le flux d'ingestion, il n'y avait aucune connaissance disponible pour des troupeaux comportant plus de 1000 individus, puisque nous avons été les premiers à mesu-

rer des flux d'ingestion instantanés dans ces conditions. Quant aux bergers, mêmes devenus experts, ils sont en mesure d'évaluer l'incidence d'une action en cours de circuit sur l'activité de prélèvement alimentaire (proportion d'animaux qui mangent) et aussi de faire quelques sondages dans le troupeau sur la fréquence de prises alimentaires, mais pas sur le flux d'ingestion. Leurs principaux indicateurs de réussite du circuit sont l'apparition de signaux de satiété vers la fin du repas, et surtout le niveau de remplissage des panses en fin de journée (Meuret, 2010b). Comme nous le verrons dans la suite de cette discussion, il se confirme que le lien entre catégories d'action de berger et niveau de flux d'ingestion instantanée n'est pas à effet direct dans le cas de grands troupeaux. Par contre, c'est bien le berger qui influe sur la nature du ou des faciès de végétation pâturés en cours de circuit qui, eux, ont une incidence sur le niveau de flux d'ingestion.

5.2 Une végétation steppique apparemment frugale mais en réalité assez généreuse pour l'ingestion des brebis

Pour celles et ceux qui ne sont pas habitués aux végétations steppiques, la plaine de Crau peut paraître pauvre en ressources fourragères, surtout si l'évaluation de ces ressources se contente de procéder par la mesure des biomasses ou des phytovolumes, comme cela se fait en prairies, et sans observer les brebis et leur comportement d'ingestion.

En effet, malgré l'absence de strates arbustive ou arborée, qui autorisent généralement les petits ruminants à prélever des prises alimentaires plus massives que sur les herbacées (Meuret, 1997), le flux d'ingestion que nous avons mesuré dans les coussouls atteint des valeurs proches de ceux mesurés sur parcours de sous-bois et landes à genêts. La valeur maximale du flux en Crau est de 13,7 g MS/min. Elle est donc inférieure aux 17 g MS/min relevés par (Agreil, 2003) en landes à genêts, mais elle est surtout bien supérieure aux 4 à 6 g MS/min généralement qualifiés dans la littérature comme étant le maximum atteint chez les ovins sur des pâturages herbacés de milieux tempérés (Spalinger et Hobbs, 1992; Jason et al., 2000). Lorsque le flux d'ingestion instantané est exprimé en matière organique digestible ingéré par minute, il atteint un maximum de 5 g MODI/min, ce qui est aussi une valeur assez élevée. Nous avons également confirmé le fait que, contrairement à des situations observées sur des herbages, les prises qui ne permettent pas d'obtenir des flux élevés ne sont pas systématiquement de meilleure valeur nutritive.

Pour ce qui concerne la mécanique du processus d'ingestion, nous avons retrouvé la réponse fonctionnelle classique, à savoir que le flux d'ingestion peut être augmenté plus efficacement par des incréments dans la masse de prises alimentaires (PA) que par l'incrément de la fréquence de prises (Alden et I.A., 1970; Spalinger et Hobbs, 1992). Une particularité de nos données a toutefois été l'observation de nombreuses séquences comportementales avec des masses de prises au-delà de 0,2 g MS/PA, et des fréquences de l'ordre de 70 PA/min (flux instantané résultant : 14 g MS/min). Des fréquences élevées, de l'ordre de 80 PA/min, avec des prises de masse moyenne de 0,2 à 0,3 g MS/PA, avaient été rapportées pour des brebis pâturant des landes à genêts (Agreil, 2003). Nous avons également mentionné que des niveaux de flux aussi importants ont été fréquemment observés dans le cas de chèvres en forêt broutant des feuillages d'arbres (Meuret, 1997) mais, dans ce cas, c'était surtout la masse très élevée des prises (voisine ou supérieure à 1,0 g MS/PA) qui permettait d'augmenter aisément le flux d'ingestion. Dans notre cas particulier de la steppe de

Crau, le maintien d'une fréquence élevée pour des masses de prises élevées peut être attribué aux propriétés de structure des plantes, et en particulier à la structure très particulière du brachypode (voir ci-dessous).

Un autre constat sur la steppe, c'est la grande variété de structures végétales collectées en très peu de temps, donc sur de très petits espaces, en cours de repas. Nous avons en effet observé jusqu'à 38 plante-prises différentes par intervalle de 20 secondes. La steppe de Crau est bien connue et appréciée pour la diversité de ses espèces botaniques. Mais, lorsqu'on s'intéresse aussi à la diversité des structures végétales qui peuvent constituer les prises alimentaires des brebis (rappelons qu'une même espèce végétale peut se présenter sous divers types physiologiques et structures de ses organes comestibles, et donc offrir aux brebis la possibilité de prélever des prises parfois très différentes), cette steppe ressemble à un espace diversifié de parcours, et fort peu à un couvert herbacé classique. Cette diversité semble jouer en faveur d'une bonne fonctionnalité pour l'ingestion.

5.3 Vu du comportement alimentaire de la brebis, le brachypode s'apparente à un petit arbuste

Nous avons analysé dans cette thèse la collecte de trois types de plantes en Crau : les dicotylédones, les trois morphes de brachypode, les autres graminées. Entre ces trois types de plantes, la fréquence d'observation du prélèvement de brachypode a été moindre. Les trois morphes de brachypode ont été discriminés selon la structure du brachypode : forme ou densité des feuilles : dense, plié et ouvert ; présentes en deux tailles de hauteur : moyen (5 à 10 cm) et petit (2 à 5 cm).

Les différences de hauteur du brachypode semblent avoir une influence uniquement sur la fréquence d'utilisation (exprimée en nombre de prises alimentaires observées). Nous avons observé que les morphes de hauteur moyenne (5-10 cm) ont été collectés plus souvent que les petits (2-5 cm). Ce résultat peut être lié à des différences dans l'abondance relative de ces structures végétales sur les places de pâturage (avec absence de sélectivité alimentaire par les brebis), ou à des différences dans les choix opérés par les brebis (avec sélectivité alimentaire). Nous ne pouvons pas trancher cette question à partir de notre travail, car notre dispositif ne prévoyait pas d'acquies des données décrivant la disponibilité du brachypode sur chacune des places, quartiers et secteurs de pâturage. Or, les données de disponibilité alimentaire sont indispensables pour pouvoir traiter la question de la sélection et des préférences (Johnson, 1980). Dans notre contexte de milieu hétérogène et avec gardiennage par le berger, il serait d'ailleurs difficile de qualifier de façon fiable le "disponible alimentaire", du fait que le travail du berger consiste à circonscrire plus ou moins fermement les portions d'espaces rendus disponibles pour le troupeau au cours des circuits quotidiens. Il est donc pour l'instant impossible d'attribuer une préférence, ou plus grande sélectivité, aux morphes de hauteur plus importante. Cependant, nous avons analysé plus en détail les différentes masses issues des morphes de brachypode, en cherchant à identifier quelles formes, densité et hauteur de plante permettent aux brebis d'effectuer des prises alimentaires plus massives.

Comment considérer la masse prélevée par les brebis sur le brachypode par rapport aux dicotylédones et autres graminées ? En considérant la masse de 0,10 g MS comme un

5.3. Vu du comportement alimentaire de la brebis, le brachypode s'apparente à un petit arbuste

seuil fonctionnel pour des brebis pâturant des pelouses (Agreil, 2003), nous signalons deux résultats importants :

- Même si dans la fréquence de collecte observée, les plante-prises issues des dicotylédones et des autres graminées ont été collectées plus souvent que le brachypode, leur masse est pour la plupart inférieure à 0,10 g MS. Cela induit des conséquences sur l'ingestion instantanée lorsque ces structures, identifiées dans notre démarche comme faisant partie de la catégorie fonctionnelle des "limiteurs", contribuent en forte proportion à la séquence d'ingestion : le flux d'ingestion reste inférieur à 5 g MS/min
- En revanche, les prises issues des morphes de brachypode, même si nous les avons observés moins fréquemment que les dicotylédones et autres graminées (un tiers en moins), ont été dans la plupart des cas de masse supérieure à 0,10 g MS. Ces structures faisant partie de notre catégorie fonctionnelle des "nécessaires", elles rendent possible des flux d'ingestion supérieurs à 5 g MS/min

Nous avons principalement décrit les morphes de brachypode selon la forme ou la densité des feuilles et selon la hauteur des organes comestibles et accessibles (mesurée à partir du sol et en centimètres). Il est à présent intéressant de discuter les résultats du comportement (gamme de masses de prises alimentaires) par rapport à ces deux caractéristiques, car aujourd'hui elles ne sont pas utilisées de manière équivalente lors de la caractérisation de la végétation par les éleveurs et les gestionnaires des coussouls de Crau.

La physionomie de type "petit arbuste" des morphes de brachypode semble offrir aux brebis des prises plus denses et massives que dans le cas des dicotylédones et des autres graminées. Pour des morphes de même forme de feuille, nous avons trouvé qu'une différence en hauteur n'implique pas des différences dans la masse prélevée pour un même type de prise. Par contre, pour des morphes de même hauteur, une différence dans la forme de feuille implique généralement des différences dans la masse prélevée pour un même type de prise. La densité de feuilles semble aussi être importante sur la fréquence d'utilisation, car le morphe dense a été le plus fréquemment utilisé, suivi par le morphe ouvert, puis par le morphe plié. Le morphe plié présente une imbrication moindre de ses feuilles (et donc une densité moindre) par rapport aux morphes ouvert et dense. C'est le seul morphe qui présente deux types de plante-prises dont la masse est inférieure à 0,10 g MS. C'est donc ce morphe plié qui présente la densité de feuilles la plus faible, qui est le moins fréquemment utilisé, et qui conduit à certaines masses de prises assez faibles.

Pour les morphes de brachypode, la forme de la feuille est donc plus déterminante de la masse des prises que la hauteur de la plante. Ce résultat doit être pris en compte car, à ce jour, c'est la hauteur au sol du brachypode qui reste l'indicateur privilégié dans : a) le suivi des dynamiques d'habitats des diverses espèces d'avifaune de Crau, qui ont des exigences également diverses de hauteur de végétation selon l'utilisation (alimentation, construction des nids, accouplement etc. ; (A. Wolff, 2004)). b) l'estimation des dynamiques interannuelles des ressources fourragères réalisée par les chercheurs et techniciens pastoraux en Crau, pour qui la "hauteur d'herbe" permettrait les mêmes estimations de ressources qu'en prairies de graminées cultivées (Bourrelly et al., 1983).

Nous avons ainsi progressé vers la proposition de considérer la densité de feuilles comme un meilleur indicateur que la hauteur de plante pour caractériser les ressources alimentaires des brebis. Elle permet en effet d'anticiper, non seulement la masse des bouchées sur le bra-

chypode, mais aussi une partie des choix alimentaires des brebis sur la steppe de Crau, y compris au printemps. Nous suggérons donc que les différentes physionomies de brachypode, et plus particulièrement nos deux "catégories fonctionnelles" vis-à-vis du flux d'ingestion instantané, les "limiteurs" et les "nécessaires" (voir ci-après, pour un développement de cet aspect), soient intégrées à l'avenir dans les études ou suivis de l'évolution de cette graminée très structurante du couvert végétal.

Ces résultats ouvrent également d'autres perspectives de travail concernant les déterminismes de cette variabilité d'architecture du brachypode. Une des questions serait à l'avenir de savoir s'il s'agit seulement d'une réponse phénotypique du brachypode au pâturage, ou s'il s'agit d'une pression de sélection que le pâturage impose à cette population végétale. Dans le premier cas, une plante peut passer d'un morphe à un autre en réponse à un changement d'impact du pâturage. Dans le deuxième cas, les différents morphes sont issus de la sélection de génotypes différents, et les changements de structure se feraient alors avec une plus grande inertie temporelle (Briske et Anderson, 1992; Sultan et Spencer, 2002).

5.4 Le brachypode et d'autres graminées méritent leur appellation de "grossier"

Pour apprécier la valeur nutritive des structures végétales, nous avons utilisé l'Acid Detergent Fiber (ADF en %) comme indicateur de la teneur de lignocellulose, les matières protéiques totales (MPT en %) et la digestibilité in vitro de la matière sèche (DMS en %) selon Aufrère, J. (1982).

En général, les meilleures valeurs nutritives correspondent à des prises issues de dicotylédones et d'autres graminées. Que ce soit pour les couples de teneurs ADF-DMS ou pour les couples MPT-DMS, les prises issues de ces deux types de plantes présentent une gamme étendue de valeurs. Cela est cohérent avec nos observations de terrain, car nous avons observé des prises aussi bien sur des stades jeunes que sur des stades et organes très matures.

En ce qui concerne les prises issues de brachypode, elles sont de nettement moindre valeur nutritive que celles issues des dicotylédones et autres graminées, ce qui valide leur qualification de "grossier" par les bergers, éleveurs et techniciens pastoraux. Cependant, leurs valeurs sont parfois comparables à celles de certaines prises issues d'autres graminées. Par rapport aux valeurs nutritives des dicotylédones et autres graminées, la gamme de celles des prises sur du brachypode est nettement plus restreinte. La gamme de teneurs en lignocellulose, notamment, est considérablement moins étendue dans le cas du brachypode. La structure similaire à celle d'un petit arbuste, associée au fait qu'il s'agit ici d'une graminée pérenne, comporte généralement une proportion importante d'organes de soutien non chlorophylliens, mélangés à des feuilles sénescents et à des organes morts et secs. Nous avons d'ailleurs observé sur le terrain que la plupart des prises réalisées sur les morphes de brachypode plus jaunes, comportent presque toujours des organes sénescents, ou "pailleux".

En ce qui concerne les différents morphes de brachypode, ils ont été identifiés principalement par la forme des feuilles. Celles du morphe "ouvert" sont les plus larges, celles du morphe "plié" sont moins larges et aussi moins longues en comparaison au morphe "ouvert". Cependant, parmi tous ces morphes, les prises alimentaires sont de valeur nutritive

similaire, excepté pour le morphe "dense" (feuilles en forme d'aiguilles et très minces) dont la valeur est moindre.

5.5 Les bergers identifient plusieurs types de "grossiers"

De même que d'autres travaux antérieurs (Dureau et Bonnefon, 1997), j'ai pu constater que les bergers font référence au brachypode dans leur qualification des coussouls. Ces derniers sont qualifiés de plus ou moins "grossiers" selon l'abondance de cette plante. L'importance du brachypode comme "ressource de sécurité", au départ et à la fin de la saison de pâturage en Crau, est remarquable. J'ai d'ailleurs été témoin des troupeaux qui ont du être sortis des coussouls "fins" (sans brachypode) et amenés vers d'autres pâturages car la végétation constituée par les espèces annuelles n'avait pas encore poussé (pluies en retard pour la saison de printemps observée en 2008).

Cette ressource de sécurité pour la saison de pâturage entière est aussi très importante au fil de chaque journée. Même si les bergers accordent des qualités nutritives supérieures aux dicotylédones et autres graminées, le brachypode est toujours considéré comme la ressource qui permet au troupeau des ingestions plus importantes, écourtant ainsi du temps de pâturage et de présence du berger à l'échelle de la journée. Ces qualifications semblent cohérentes avec les résultats de nos travaux.

Quelles caractéristiques identifient les bergers dans le brachypode ? Ils identifient quatre types de grossier : 1. le "grossier-fin" lorsqu'il est à un stade jeune, tendre, souple, vert constitué de tiges et feuilles "nouvelles" ; 2. le "grossier-grossier", ou "vrai grossier", de la saison précédente, ayant résisté à la sécheresse et comportant un mélange d'organes secs et verts, et qui n'a pas encore été pâturé durant l'année en cours ; 3. la "crème de repousse", qui est "une repousse" suite à l'action du pâturage de la saison précédente, au cours de saison ou d'une semaine à l'autre ; 4. le "vieux grossier", ou "mauvais grossier", celui qui n'aurait pas été pâturé au cours de l'année précédente.

Ce sont donc des caractéristiques comme la souplesse de la plante, sa maturité, le fait que le brachypode ait été ou non brouté au cours des saisons précédentes, la présence ou non d'organes jeunes et verts suite à une repousse, qui sont importants dans la catégorisation des diverses formes de "grossier" par les bergers. Il est à noter que parmi ces caractéristiques, aucun des bergers n'a fait référence à la hauteur du brachypode. Ceci est un résultat contraire aux résultats d'enquêtes menées récemment sous la forme de questions dirigées (Debit, 2010), qui ont montré que la hauteur de cette graminée est utilisée par les bergers comme indicateur de l'intensité de son utilisation. Mes entretiens, conduits sous la forme d'un dialogue assez libre et non dirigé, n'ont pas incité les bergers enquêtés à mentionner les hauteurs de plantes, surtout lorsqu'il s'agissait de discuter de leur conception et organisation des circuits de pâturage et de la motivation alimentaire plus ou moins importante de leurs brebis.

En effet, pour identifier leurs quatre types de brachypode, les bergers considèrent aussi, et apparemment en priorité, le comportement de prélèvement de cette plante par les brebis. Le grossier-fin est ainsi mangé "*toujours bien volontiers*" ; le grossier-grossier, "*là, il y a de quoi manger*" ; pour la crème de repousse (de 4 jours), "*elles mangent les têtes*" ; par contre, pour le

vieux grossier, "*là, il n y a plus rien à manger*" lorsque le brachypode abonde dans cette partie de coussoul.

Cette catégorisation par les bergers du brachypode en quatre types de "grossier" synthétise très probablement plusieurs indicateurs importants pour leur pratique de garde, dont la proportion des organes verts, la quantité de fourrage offert par le brachypode, qui dépend de la motivation des brebis à ingérer tout ou partie de la plante.

Le cas du "grossier-fin", qui est mangé "*toujours bien volontiers*", est un bon exemple de la capacité des bergers, d'une part à soigneusement observer, et d'autre part à faire évoluer les terminologies consacrées. Sur cette steppe de Crau, éleveurs, bergers, techniciens et chercheurs, ont en effet depuis assez longtemps cherché à discriminer le "fin" du "grossier", le premier synonyme de meilleure ressource mais fugace en saison, le second synonyme de ressource pauvre mais plus constamment disponible. Dans le cas du "grossier-fin", c'est "*grossier*", car il s'agit bien de la graminée pérenne disponible à plusieurs saisons où rien d'autre ne l'est, mais c'est aussi "*fin*", lorsqu'il y a surtout des repousses vertes et tendres et que les brebis l'apprécient alors autant que les espèces annuelles des faciès fins ("*Elles le mangent aussi bien que le petit trèfle*").

Notre grille descriptive des morphes de brachypode a été conçue avant tout pour réussir à prendre en compte la plus grande diversité des formats de cette graminée et, surtout, des diverses prises alimentaires susceptibles d'être prélevées par les brebis. Les quatre types de "grossiers" des bergers et mes trois morphes de brachypode (plié, ouvert, dense) ne sont donc pas forcément comparables. Cependant, et même si l'étude du cycle de vie et de la dynamique saisonnière du brachypode n'étaient pas dans mes objectifs de thèse, je considère suite à mes observations de terrain que, probablement, le morphe ouvert correspondrait à "le poussé de l'année" des bergers, c'est-à-dire aux nouvelles pousses du "grossier fin". Le morphe dense et plié correspondrait à la croissance du brachypode après pâturage de l'année précédente, qui comporte à la fois du matériel vert et sec, serait le "grossier-grossier", ou "vrai grossier", des bergers. Pour le brachypode haut et sec, non pâturé lors de l'année précédente, dit "vieux grossier" par les bergers, il est probable qu'il soit produit par les morphes denses ou pliés, lorsque non pâturés durant l'année précédente. Il est probable que ce "grossier-grossier" corresponde au "grossier-fin", mais à un stade de maturation plus avancé que je n'ai pas distingué dans mes observations. Enfin, pour ce qui concerne la repousse de quelques jours ("la crème de repousse", selon les bergers), elle peut être générée par les trois types de morphes. Je ne l'ai jamais observée, puisque mes observations ont été menées sur des pas de temps plus courts que ceux de la repousse du brachypode.

5.6 Actions de berger sur le troupeau et flux d'ingestion chez des individus

Pour ce qui concerne les relations entre actions des bergers et ingestion individuelle, ma démarche d'analyse des données a été très exploratoire, ce qui m'a conduit à abondamment discuter ce point dans la partie "Résultats". Je n'y reviendrai donc pas trop en détail ici.

Nos 18 types d'action de berger ont été définis selon leur niveau d'influence probable sur le troupeau. Même si nous n'avons pas prétendu lier a priori ces niveaux d'influence avec un effet positif ou négatif sur le comportement d'ingestion individuel, nous l'avons utilisé

pour explorer le lien entre l'action du berger en cours de circuit et l'ingestion instantanée des brebis au cours du repas correspondant.

Malgré le fait que nous ne pouvons établir de liens directs entre actions du berger et flux d'ingestion, et même si je ne dispose pas de données pour comparer l'ingestion qui se serait réalisée sur les mêmes coussouls mais en l'absence d'un berger, j'aimerais toutefois signaler des niveaux de flux d'ingestion qui, probablement, n'auraient pas été observés sans la contribution active du berger. Par exemple, sans les manœuvres "pousse" et "attire" sur le faciès panaché 2, nous n'aurions probablement jamais enregistré des flux de 8 g MS/min à partir de ce faciès. Je fais également ici l'hypothèse que, sans le berger, ce type de faciès ne serait probablement pas si intensément pâturé, les trois bergers observés ayant en effet souvent insisté et apparemment réussi à stimuler le troupeau à y pâturer.

L'action du berger en cours de circuit consiste essentiellement à faire enchaîner l'utilisation de différents faciès par le troupeau, en insistant plus ou moins sur l'un ou l'autre, par exemple le faciès panaché 2 plus fourni en brachypode. On pourrait ainsi considérer que, plutôt que de chercher à identifier un lien direct entre actions de berger et flux d'ingestion, il serait préférable de dégager d'abord un lien entre actions de bergers et intensité/durée d'utilisation des différents faciès, puis ensuite de rapporter ceci à la relation entre physiologies et structures des plantes dans les faciès et leurs incidences, avérées cette fois, sur le flux d'ingestion. Autrement dit, avec de grands troupeaux ovins en Crau, ce n'est pas tant une chaîne d'actions : Berger -> Localisation et rythme de pâturage du troupeau -> Flux chez les individus selon le faciès ; c'est plutôt : Berger -> Choix du faciès mis à pâturer -> Localisation et rythme de pâturage du troupeau -> Flux chez les individus en rapport avec le contenu du faciès mis à pâturer et le rythme de pâturage du troupeau.

Ma suggestion est donc que, à l'avenir, d'autres recherches explorent davantage le lien entre les circuits de bergers (que nous avons cartographiés un par un), l'effet des différentes actions du berger sur la durée d'utilisation des faciès et le rythme de pâturage du troupeau, et les flux d'ingestion obtenus au regard du contenu de ces faciès décrit selon nos catégories fonctionnelles de végétation. De plus, il me semblerait également important de réussir à explorer les effets d'enchaînements de faciès en cours de circuit sur les séquences de flux, ainsi que d'autres effets comme l'ingestion cumulée depuis le début du repas correspondant. Le problème sera alors de réussir à obtenir plus fréquemment des observations de séquences d'ingestion de 5 à 10 minutes, ce qui est difficile dans les conditions de la steppe de Crau : grand troupeau, nombreux cailloux, vent du nord violent, journées assez interminables, autant pour l'observateur que pour le berger.

Chapitre 6

Conclusion

Durant mon parcours de thèse, je me suis consacré à étudier le comportement alimentaire des brebis face à des végétations hétérogènes et dans des grands troupeaux gardés par des bergers.

Cela m'a demandé d'acquérir des connaissances sur un sujet très différent de ce que j'avais appris au cours de ma formation de zootechnicien et vétérinaire, puis lors d'une première pratique professionnelle dans des élevages bovins au Mexique, où les animaux au pâturage sont principalement conduits en prairies artificielles. À cette époque, lorsque j'avais eu aussi à me confronter à d'autres types de végétations, pâturées cette fois par des petits ruminants et sur des milieux semblables à des garrigues, l'utilisation consécutive par les éleveurs de parcs clôturés, avec une logique de rotation de parcelles reproduisant le système de gestion des prairies, me laissait insatisfait. D'une part, j'avais l'impression que ce système était trop imposé aux éleveurs par leurs conseillers techniques, sans envisager que certains éleveurs, ou gardiens de troupeaux, puissent avoir eux aussi des connaissances empiriques utiles ; d'autre part, j'avais le sentiment que les animaux étaient considérés un peu comme des machines par les scientifiques et les conseillers, n'ayant plus qu'à brouter les plantes considérées comme "bonnes fourragères" à partir des analyses de laboratoire. Mes expériences avec des vaches dans des sous-bois secs du sud du Mexique ont éveillé ma curiosité : ces vaches boutaient assez souvent des plantes non référencées, ou classées en valeur nulle ou très limitée. Pour mon travail de thèse, j'ai donc tenu à mettre en œuvre un dispositif de recherche permettant d'obtenir des données directement de la part de mes deux "informateurs principaux" : les bergers et leurs brebis. La méthode de l'entretien compréhensif, mais aussi le précieux intérêt vis-à-vis de mon travail montré par les bergers interviewés et observés, m'ont amené à adopter un regard plus "utilitaire" sur la végétation de Crau : utilitaire du point de vue de la conduite du troupeau par des bergers en cours de journée, utilitaire aussi du point des brebis qui ont à se remplir le ventre à partir d'une végétation à première vue assez "maigre". Cette végétation, même si abondamment décrite pour ce qui concerne sa diversité botanique, sa hauteur, sa production de phytomasse, les dates et lieux d'occupation par des troupeaux et ceux par les oiseaux rares, n'a pas encore été selon moi beaucoup étudiée "du point de vue des brebis". Par exemple, le brachypode, bien décrit comme "ressource de sécurité" en début et fin de saison de pâturage, est presque toujours qualifié de "grossier, peu apprécié des brebis", donc qui ne se mange que lorsqu'il n'y a plus rien d'autre, ou pas encore d'autres végétaux meilleurs à pâturer. Mes analyses

de teneur nutritionnelle confirment le caractère "grossier" du brachypode. Mais, lorsqu'on suit des brebis dans la journée, on s'aperçoit assez vite qu'elles mélangent presque toujours l'ingestion d'herbes fines et de brachypode, y compris au printemps. Et lorsqu'on interroge à ce sujet des bergers expérimentés, on voit qu'il y a pour eux plusieurs sortes de brachypode, qui sont à utiliser différemment selon leur attractivité pour les brebis. Il y a même une forme de brachypode qui "est aussi du fin", car très apprécié pour ses repousses vertes et tendres. L'observation de l'ingestion par "scan sampling" des individus dans les troupeaux m'a permis de montrer la grande diversité des espèces et structures de plantes prélevées, même durant une vingtaine de secondes, qui est un très court laps de temps. Contribuant à cette diversité, le brachypode, généralement décrit seulement selon sa "hauteur d'herbe", a été identifié ici en trois formats différents qui méritent d'être considérés dans l'optique de sa contribution à l'efficacité de l'ingestion instantanée. Certains de ses formats rendent en effet possibles des flux d'ingestion élevés et proches de ceux référencés dans les sous bois ou sur pelouses embroussaillées.

En quoi cette nouvelle clé de lecture fonctionnelle de la végétation pourrait-elle devenir utile aux éleveurs et bergers de Crau ? Je n'ai malheureusement pas eu le temps de réunir les bergers enquêtés et les éleveurs, afin de discuter avec eux de mes résultats et de débattre des façons de les interpréter pour ce qui concerne les modes de gestion des coussouls. Je m'y étais pourtant engagé, mais je n'avais pas bien anticipé alors combien le travail de rédaction et de finition de ma thèse serait en réalité exigeant en temps de travail.

Ce que je crois néanmoins pouvoir affirmer ici, et cela rejoint des constats déjà faits par mon équipe d'accueil à l'Inra, c'est que des bergers, ou des éleveurs qui observent un petit moment leurs brebis, sont attentifs à deux comportements : 1. celui de la recherche des nourritures "préférées", à l'échelle des secteurs de pâturage, notamment en début de circuit de garde ou lors de l'entrée dans un parc clôturé à une saison donnée ; 2. celui du rythme de prélèvement, à l'échelle des plantes ou des groupes de plantes, évalué à partir de la fréquence des prises alimentaires (PA/min). Pour un berger qui conduit le troupeau, et qui se tient donc à quelques distances des brebis, surtout en Crau où les troupeaux sont grands et circulent presque sans arrêt, un "prélèvement efficace" est celui où la fréquence de prises paraît élevée. Donc, par exemple dans le cas du brachypode, cette fréquence est parfois élevée (jusqu'à 70 prises/minute), mais elle peut être aussi assez faible (20 à 30 PA/min), souvent lorsqu'il s'agit de prises de masse importante constituées à partir de groupes d'organes verts et secs à trier dans le tapis végétal. Des bergers ou éleveurs peuvent ainsi avoir l'impression avec le brachypode que : a. il n'est pas recherché dès le début de circuit, donc il n'est visiblement pas préféré ; b. il peut être brouté avec des fréquences assez faibles, ce qui laisse à penser que les brebis ne l'apprécient pas beaucoup.

Il y a donc un fort enjeu à faire évoluer l'un des indicateurs des éleveurs et bergers : passer de la seule appréciation de la fréquence des prises (fréquence élevée = fort intérêt des brebis ; fréquence basse = moindre intérêt) à une appréciation de la fréquence des prises croisée avec la physionomie du couvert végétal local, ce permet d'anticiper si les brebis sont en mesure, ou non, de réaliser des prises plus massives et donc, en réalité, d'ingérer plus de matière par unité de temps (le flux d'ingestion instantané). Pour ce qui concerne les bergers expérimentés, ils sont déjà très observateurs des différents formats de brachypode. Il devrait être faisable et surtout intéressant de discuter avec eux de cet indicateur, comme il a déjà été fait par l'Inra dans le cas des feuillages de sous-bois pâturés par des chèvres laitières.

Pour ce qui concerne l'intégration du critère formats de plantes et incidence probable sur le flux d'ingestion instantané dans les suivis des gestionnaires de la Réserve Naturelle des coussouls de Crau, nous nous sommes engagés à leur fournir une grille illustrée de notre catégorie fonctionnelle des "nécessaires" (voir extrait à la figure 4.64, au chapitre Résultats). Nous nous sommes également engagés à leur fournir les coordonnées GPS de plusieurs secteurs de végétation comportant des formats de brachypode typiques de cette catégorie (tels que repérés au printemps 2008), avec l'espoir qu'ils puissent ensuite être intégrés aux opérations de calibration de terrain des photos aériennes et satellites. Ceci devrait contribuer aux recherches, mais aussi au conseil technique en élevage pastoral, visant à mieux anticiper les excès d'une homogénéisation des pratiques de bergers en Crau. Pour finir, je tiens à revenir en quelques lignes ici sur les difficultés rencontrées, autant pour la mise en œuvre de mon dispositif d'observations que pour l'analyse de mes jeux de données. Je retiens surtout de mon parcours en thèse la prudence avec laquelle tout novice en travail de recherche doit considérer un système complexe comme l'est le trio berger-troupeau-végétation en Crau, où différents processus et échelles spatio-temporelles sont assez intimement enchevêtrés. La prudence est d'autant plus nécessaire lorsqu'il y a aussi, comme dans mon cas, le souci de produire des résultats à vocation opérationnelle. C'est ce qui m'a guidé dans ma description des formats de brachypode, mais aussi de catégories physiologiques. Pour cela, rien ne vaut de longs séjours préalables sur le terrain, où l'on ne fait qu'observer sans déjà avoir à saisir des données. Pour cela aussi, j'ai compris quelle peut être la richesse des dialogues des personnes qui travaillent déjà sur le même terrain depuis de nombreuses années, des conseillers d'élevage, bien sûr, mais aussi et directement des éleveurs et des bergers. Réussir à intégrer une telle complexité sans trop la dénaturer n'est pas forcément facile pour un doctorant. Cependant, au vu de la façon dont les bergers s'en sortent avec leurs troupeaux en fin de journée, je pense que nous devrions être plutôt optimiste.

Liste des illustrations

1.1	Situation géographique de la Crau	12
1.2	Poudinge	14
1.3	Poudinge	14
1.4	Steppe xérique de Crau	16
1.5	Brachypodium retusum	16
1.6	Quelques espèces emblématiques de la Crau.	18
1.7	Calendrier de pâturage simplifié des troupeaux ovins transhumants de Crau.	20
1.8	Effectifs dans les troupeaux de Crau.	20
1.9	Troupeau à la rentrée en bergerie sur un coussoul en Crau sèche	22
1.10	Industrie sidérurgique en Crau.	26
1.11	Fête "rave" dans les coussouls de Crau.	26
1.12	Fuite de pétrole dans la Réserve Naturelle de Crau.	27
1.13	Résumé des mesures et dispositifs agri-environnementaux en Crau.	31
1.14	Formes de brachypode en Crau.	36
2.1	Système biotechnique complexe : végétation-pratiques d'élevage-troupeau	58
3.1	Exemple de places de coussouls fins et panachés à l'échelle de la Crau	67
3.2	Exemple de formats de brachypode en Crau	69
3.3	Grille de lecture des formes de brachypode	70
3.4	Vérification sur le terrain des images infrarouges	73
3.5	Place de l'observateur par rapport à l'individu observé	76
3.6	Place de l'observateur par rapport à l'individu observé	77
3.7	Placement de l'observateur par rapport au troupeau	77
3.8	Grille de codage de prises alimentaires	80
3.9	Technique manuelle de la simulation des prises alimentaires.	81
4.1	Éléments constitutifs de la place de pâturage "Redorcarmin" et répartition de faciès fins, panachés 1 et panachés 2.	92
4.2	Éléments constitutifs de la place de pâturage "Grand Carton" et répartition de faciès fins, panachés 1 et panachés 2.	93
4.3	Coefficients de variation des estimations de masses sèches	94
4.4	Répartition selon leur durée des 1.195 séquences d'ingestion observées	95
4.5	Observations cumulées de la durée des 1.195 séquences d'ingestion	95
4.6	Durée en minutes de 1 023 séquences d'ingestion	96
4.7	Exemple d'action observée	98

4.8	Catégories d'actions d'un berger selon leur influence probable sur un troupeau au pâturage en steppe de Crau.	100
4.9	Circuit découpé en phases, utilisé par le berger "RM"	101
4.10	Durée des actions utilisées	102
4.11	Niveau d'influence du berger sur le troupeau des actions utilisées par le berger RM dans le coussoul Redorcamin. Journée du 17 avril 2008.	103
4.12	Exemple des portions de un circuit avec des actions considérées comme directes.	104
4.13	Exemple d'un effet différé d'une action du berger.	105
4.14	Catégories d'actions à effet "direct" et "différé" d'un berger selon leur influence probable sur un troupeau.	107
4.15	Collecte observée selon trois groupes de plantes	109
4.16	Collecte observée (en nombre de prises alimentaires) par groupe de plantes et selon les faciès fin, panaché 1 et panaché 2.	110
4.17	Groupes de forme "dycotilédonnes" observés en Crau sèche.	111
4.18	Morphes de brachypodes et groupes de format "graminées autres que brachypode" observés en Crau sèche.	112
4.19	Nombres de prises alimentaires observées selon les 22 groupes de plantes, non discriminés selon les faciès de végétation.	114
4.20	Collecte sur le faciès, 22 groupes de plantes	114
4.21	Collecte sur le faciès panaché 1, 22 groupes de plantes	115
4.22	Collecte sur le faciès panaché 2, 22 groupes de plantes	115
4.23	Masse moyenne de prises alimentaires. Dycotilédonnes a)	117
4.24	Masse moyenne de prises alimentaires. Dycotilédonnes b)	117
4.25	Masse moyenne de prises alimentaires. Autres graminées	118
4.26	Masse moyenne de prises alimentaires. Morphes de Brachypode	119
4.27	Collecte observée de prises alimentaires des dycotilédonnes a)	120
4.28	Collecte observée de prises alimentaires des dycotilédonnes b)	121
4.29	Collecte observée de prises alimentaires des autres graminées	121
4.30	Collecte observée de prises alimentaires des morphes du brachypode	122
4.31	Collecte observée de prises alimentaires des dycotilédonnes par faciès a)	123
4.32	Collecte observée de prises alimentaires des dycotilédonnes par faciès b)	124
4.33	Collecte observée de prises alimentaires des autres graminées par faciès	124
4.34	Collecte observée de prises alimentaires des morphes de brachypode par faciès	125
4.35	variété de valeurs nutritives de plantes prises issues de trois groupes de plantes. DMS-MPT et ADF-MPT	127
4.36	Deux indicateurs de la variété de valeurs nutritives de plantes prises issues de trois groupes de plantes. ADF-MPT de prises et morphes différents	130
4.37	Médiane des flux d'ingestion observés dans les trois faciès considérés ensemble	131
4.38	Flux en grammes de matière sèche et digestibilité de la matière organique	132
4.39	Relation de la masse et de la fréquence des prises alimentaires de brebis sur landes à genêts. D'après Agreil (2003)	133
4.40	isoflux pour les trois faciès	134
4.41	flux d'ingestion de matière organique digestible	135
4.42	Nombre de plante-prises différentes à l'intérieur des séquences de base 20 secondes	136
4.43	Valeurs médianes de flux d'ingestion par faciès	137
4.44	Actions observées	142

4.45	Durée totale consacrée aux différentes actions observées (minutes)	143
4.46	Durée moyenne de chaque catégorie d'action observée (minutes)	143
4.47	Niveau des actions, 16 et 17 avril	145
4.48	Niveau des actions, 28 et 30mai	145
4.49	Niveau des actions, 20 avril	146
4.50	Fréquence d'utilisation des actions à effet direct selon le temps passé sur chacun des trois types de faciès	147
4.51	Fréquence d'utilisation des actions à effet différé par temps passé sur chacun des trois types de faciès	147
4.52	Codes d'action par berger, 1er partie	148
4.53	Codes d'action par berger 2ème partie	149
4.54	Masse de prise alimentaire en g MS/PA	152
4.55	Masse de prise alimentaire en échelle logarithmique et en g MS/min	152
4.56	Quinze classes physiologiques	153
4.57	Classes physiologiques différents observés par période de 20 secondes	153
4.58	Formule du modèle additif généralisé avec tenseurs	154
4.59	Paramètres du modèle additif généralisé avec tenseurs	155
4.60	Nuage de points et courbe du modèle GAM ajusté pour chacune des 15 classes physiologique	156
4.61	Regroupement de 15 classes physiologiques en deux catégories fonctionnelles	157
4.62	Catégories fonctionnelles limiteurs et nécessaires	158
4.63	Flux d'ingestion (g MS/min) observé pour chaque période de 20 secondes en fonction de la contribution de deux catégories fonctionnelles	161
4.64	Morphes de brachypode	162
4.65	Médianes de flux d'ingestion pour toutes les actions (considérées comme étant à effet direct ou différé), sans distinction des faciès.	164
4.66	Résultats des tests de Tuckey sur la variable flux d'ingestion pour différentes façon de considérer l'action "accompagne" du berger.	166
4.67	Actions des bergers, flux moyennes associés, sans distinguer les 3 faciès.	167
4.68	Courbe du modèle de régression et intervalle de confiance pour 18 types d'action ordonnées selon leur note sur un gradient d'intensité, trois faciès et faciès fins	168
4.69	Courbe du modèle de régression et intervalle de confiance pour 18 types d'action ordonnées selon leur note sur un gradient d'intensité, faciès panachés 1 et panachés 2.	169
4.70	Actions de bergers rangées selon leur moyenne de flux d'ingestion associée	170
4.71	Boxplot des flux d'ingestion associés aux actions "accompagne" et "retourne".	171
4.72	Boxplot des flux d'ingestion associés aux actions "pousse" et "attire"	172
4.73	Boxplot des flux d'ingestion associés à divers actions, avec test de Mann et Whitney	174

Liste des tableaux

3.1	Échelles spatiales et temporelles utilisées dans le dispositif de recherche. . . .	66
3.2	Parcours accidenté pour effectuer des observations sur les coussouls "fins" et "panachés"	90
4.1	Catégories d'actions employées par le berger selon le niveau d'influence sur le troupeau	99
4.2	Dix catégories d'actions du berger avec effet différé sur le comportement spatial du troupeau.	106
4.3	Descripteurs utilisés dans la présentation de résultats concernant les structures végétales prélevées par les troupeaux en la Crau sèche	108
4.4	Résultats du test de Kruskal-Wallis, comparaison de valeurs médianes selon faciès	137

Bibliographie

- (A. Wolff, 2004) A. Wolff, 2004. Influence de la mosaïque d'habitats sur l'écologie et la distribution de l'outarde canepetière en Crau. *Ecologia mediterranea* 30, 111–132.
- (Adama, 1994) T. Adama, 1994. Evaluation des différentes végétations pastorales et fourragères utilisées par des ovins dans une région steppique du sud de la France : La Crau. PhD. Université de Montpellier II.
- (AFP, 2009) AFP, 2009. AFP. LA DEPECHE.fr, fuite de pétrole dans une réserve naturelle. www.ladepeche.fr consulté le 7 août 2009.
- (Agreil, 2003) C. Agreil, 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.
- (Agreil et al., 2005) C. Agreil, H. Fritz, et M. Meuret, 2005. Maintenance of daily intake through bite mass diversity adjustment in sheep grazing on heterogeneous and variable vegetation. *Applied Animal Behaviour Science* 91, 35–36.
- (Agreil et al., 2008) C. Agreil, G. Guérin, D. Magda, et P. Mestelan, 2008. Grazing management on dynamic, heterogeneous vegetation of rangelands : evolution of technical referential and public policies. the case of the northern alps, the regional park of massif des bauges, France. Dans B. Hubert, T. Kamili, et J. Tournad (Eds.), *A shift in natural resources management paradigm : from resource sufficiency to functional integrity. 21th International Grassland Congress ; 8th International Rangeland Congress ; 2008/06/28-2008/07/05, Huhhot, China.*, 153–184. French Initiative for International Agricultural Research.
- (Agreil et Meuret, 2004) C. Agreil et M. Meuret, 2004. An improved method for quantifying intake rate and ingestive behaviour of ruminants in diverse and variable habitats using direct observation. *Small Ruminant Research* 54, 99–113.
- (Agreil et Meuret, 2008) C. Agreil et M. Meuret, 2008. Recording the prehensive bite diversity in cows for a dynamic analysis of foraging behavior on diversified vegetation. proc. multifunctional grasslands in a changing world. *XXI International Grassland Congress. VII International Rangeland Congress. Huhhot, China. 1*, 439.
- (Agreil et al., 2006) C. Agreil, M. Meuret, et H. Fritz, 2006. *Adjustment of Feeding choices and intake by a ruminant foraging in varied and variable environments : new insights from continuous bite monitoring*. In *CAB International 2006. Feeding in Domestic Vertebrates : From Structure to Behaviour*. V ; Bels.

- (Agreil et al., 2004) C. Agreil, M. Meuret, et M. Vincent, 2004. GRENOUILLE : une méthode pour gérer les ressources alimentaires pour des ovins sur milieux embroussaillés. *Fourrages* 180, 467 – 481.
- (Albright, 1993) J. Albright, 1993. Nutrition, feeding, and calves. feeding behaviour of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 76, 485–498.
- (Allden et I.A., 1970) W. Allden et M. I.A., 1970. The determinants of herbage intake by grazing sheep : The interrelationship of factors influencing herbage intake and availability. *Australian Journal of Agricultural Research* 21, 755 – 766.
- (Altman, 1974) J. Altman, 1974. Observational study of behaviour : Sampling methods. *Behaviour* 9, 227 – 265.
- (Aufrère, J., 1982) Aufrère, J., 1982. Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par une méthode enzymatique. *Annales de Zootechnie* 31, 111–130.
- (Badan et al., 1995) O. Badan, J. Brun, et G. Congès, 1995. Les bergeries romaines de la Crau d'Arles. Les origines de la transhumance en Provence. *Gallia* 52, 263–310.
- (Barre et al., 2006) P. Barre, J. Emile, M. Betin, F. Surault, M. GhesquiÈre, et L. Hazard, 2006. Morphological characteristics of perennial ryegrass leaves that influence short term intake in dairy cows. *Agronomy Journal* 98, 978–98.
- (Baumont et al., 2004) R. Baumont, D. Cohen-Salmon, S. Prache, et D. Sauvant, 2004. A mechanistic model of intake and grazing behaviour in sheep integrating sward architecture and animals decisions. *Applied Feed Science and Technology* 112, 5–28.
- (Baumont et al., 2006) R. Baumont, M. Doreau, S. Ingrand, et I. Veissier, 2006. *Feeding and mastication behaviour in ruminants. In : Feeding in domestic vertebrates : from structure to behaviour.* V. Bels.
- (Benvenuti et al., 2006) M. Benvenuti, I. Gordon, et D. Poppi, 2006. The effect of the density and physical properties of grass stems on the foraging and instantaneous intake rate by cattle grazing an artificial reproductive tropical sward. *Grass forage science* 61, 272–281.
- (Bigot et al., 1983) M. Bigot, G. Cheseddine, et G. Delye, 1983. Contribution à la connaissance de la structure et de la dynamique de la communauté des arthropodes terrestres de la plaine désertifiée (ou coussou) de la Crau (Bouches-du-Rhône. *Biologie-Ecologie méditerranéenne* 10(1-2), 119–144.
- (Bocquier et al., 1998) F. Bocquier, M. Theriez, S. Prache, et A. Brelurut, 1998. Alimentation des ovins. Dans les actes de *Alimentation des bovins ovins et caprins*, 249–275. Jarrige, R.
- (Bonnaud, 1997) T. Bonnaud, 1997. Les vaches de la déprise : enquêtes sur les pratiques d'utilisation de l'espace dans les Baronnie. Mémoire ITA, ENESAD Dijon, Inra-SAD Avignon, 93 p.
- (Bourrelly et al., 1983) M. Bourrelly, L. Borel, J. Devaux, J. Louis-Palluel, et A. Archiloque, 1983. Dynamique annuelle et production primaire nette de l'écosystème steppique de crau (bouches-du-rhône). *Biologie-Ecologie méditerranéenne* 10(1-2), 55–82.

- (Briske et Anderson, 1992) D. Briske et V. Anderson, 1992. Competitive ability of the buchgrass *schizachyriumscoparium* as affected by grazing history and defoliation. *Vegetatio* 103, 41–49.
- (Buisson et al., 2004) E. Buisson, T. Dutoit, et W. A., 2004. Bilan de trente années de recherches en écologie dans la steppe de Crau. *Ecologia Mediterranea* 30(1), 7–24.
- (Burlison et al., 1991) A. Burlison, J. Hodgson, et A. Illius, 1991. Sward canopy structure and the bite dimensions and bite weight of grazing sheep. *Grass and Forage Science* 46, 29–38.
- (Butris, 1987) J. Butris, G.Y. et Phillips, 1987. The effect of herbage surface water and the provision of supplementary forage on the intake and feeding behaviour of cattle. *Grass forage science* 42, 259–264.
- (Carvalho et al., 1999) P. Carvalho, S. Prache, C. Roguet, et F. Louault, 1999. Defoliation process by ewes of reproductive compared to vegetative swards. Dans les actes de *Proceedings of the Vth international symposium on the nutrition herbivores*, Texas.
- (Caturla et al., 2000) R. Caturla, J. Raventos, R. Guàrdia, et V. Vallejo, 2000. Early post-fire regeneration dynamics of *brachypodium retusum* pers. (beauv.) in old fields of the valencia region (eastern spain). *Acta Oecologica* 21(1), 1–2.
- (CEEP, 2000) CEEP, 2000. Etude de la population d'alouette calandre (*Melanocorypha calandra*, *Alaudidae*, *Passeriformes*) en centre crau. conservatoire-etudes des écosystèmes de provence, 10p.
- (CEEP, 2009a) CEEP, 2009a. Cinq hectares de coussouls pollués aux hydrocarbures dans la réserve naturelle des Coussouls de Crau. Communiqué de Presse, mercredi 12 août 2009.
- (CEEP, 2009b) CEEP, 2009b. Plan de gestion 2008 - 2012. Réserve Naturelle de Coussouls de Crau.
- (Cerde, 1999) A. Cerde, 1999. Parent material and vegetation affect soil erosion in eastern spain. *Soil Science Society of America* 63(1), 362–368.
- (CERPAM, 2008) CERPAM, 2008. Etat d'avancement des travaux réalisés par le CERPAM dans le cadre des mesures d'accompagnement GDF/SAGESS – volet Pastoralisme. Document interne de travail.
- (Cherel, 1988) O. Cherel, 1988. *Contribution à l'étude des relations végétation-mouton. Adaptation et développement de méthodes d'étude du régime alimentaire*. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille I.
- (Cheylan et al., 1983) G. Cheylan, P. Bence, J. Boutin, F. Dhermain, G. Olioso, et P. Vidal, 1983. L'utilisation du milieu par les oiseaux de la crau. *Biologie-Ecologie méditerranéenne* 10(1-2), 83–106.
- (Cheylan G., 1975) Cheylan G., 1975. Esquisse écologique d'une zone semi-aride :la crau(bouches-du-rhône). *Alauda* 43, 23–54.

- (Clayton et al., 2006) W. Clayton, K. Harman, et H. Williamson, 2006. GrassBase - The Online World Grass Flora (2006 onwards) <http://www.kew.org/data/grasses-db.html>. [accessed 03 November 2008 ; 15 :30 GMT].
- (Colas et al., 2002) S. Colas, F. Muller, M. Meuret, et C. Agreil, 2002. *Pâturage sur pelouses sèches : un guide d'aide à la mise en oeuvre*, 152. Espaces Naturels de France.
- (Comité du Foin de Crau, 2007) Comité du Foin de Crau, 2007. Projet agro environnemental. mise en place d'une mae territorialisée sur le site natura 2000 crau centrale et crau sèche.
- (Cooper et Owen-Smith, 1986) S. Cooper et N. Owen-Smith, 1986. Effects of plant spinescence on large mammalian herbivores. *Oecologia* 68, 446–455.
- (Cooper et al., 2003) S. Cooper, M. Owens, D. Spalinger, et T. Ginnett, 2003. The architecture of shrubs after defoliation and the subsequent feeding behavior of browsers. *Oikos* 100, 387–393.
- (Cramp, 1998) S. Cramp, 1998. *Handbook of the birds of Europe, middle East and North Africa. Vol 5. pp.99-102*. Paris France : Oxford University Press.
- (Curco, 1991) I. Curco, 1991. Le peuplement végétal de la réserve de Peau de Meau. Données pour la gestion. Rapport non publié, CEEP.
- (Dardenne, 1990) P. Dardenne, 1990. *Contribution à l'utilisation de la spectrométrie dans le proche infrarouge pour l'étude de critères de qualité des céréales et des fourrages*. Thèse de doctorat. Gembloux, Belgique. 173p. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon.
- (Débit, 2005) S. Débit, 2005. Des veaux bien éduqués : enquêtes sur les pratiques d'élevage des futures vaches laitières ayant à pâturer des terrains très pentus dans le massif des bauges (France). mém. 2e année master recherche muséum national d'histoire naturelle et université Paris VII Denis Diderot, 66 p. + annexes.
- (Debit, 2010) S. Debit, 2010. Coussouls, troupeaux et climat. Quelles évolutions des pratiques et de la végétation ? Rapport d'étude réalisée dans le cadre des mesures d'accompagnement GRT gaz/SAGESS. CERPAM, 50 p.
- (Delagarde et O'Donovan, 2005) R. Delagarde et M. O'Donovan, 2005. Les modèles de prévision de l'ingestion journalière d'herbe et de la production laitière des vaches au pâturage. *Inra Prod. Anim.* 18(4), 241–253.
- (Demment et al., 1995) M. Demment, J. Peyraud, et E. Laca, 1995. *Herbage intake at grazing : a modelling approach*. In : *Alimentation des bovins ovins et caprins*. Jarrige R.
- (Denis et Molinari, 2009) M. Denis et N. Molinari, 2009. Choix du nombre de noeuds en régression spline par l'heuristique des pentes. 41ème Journées de Statistique, SFds, Bordeaux.
- (Devaux et al., 1983) J. Devaux, A. Archiloque, L. Borel, M. Bourrelly, et J. Louis-Palluel, 1983. Notice de la carte phyto-écologique de la Crau. *Biologie-Ecologie méditerranéenne* 10(1-2), 5–54.

- (Dulphy et al., 1995) J. Dulphy, W. Martin-Rosset, et J. Jouany, 1995. Ingestion et digestion comparées des fourrages chez différentes espèces d'herbivores. *INRA Prod. Anim.* 8(4), 293–307.
- (Dumont, 1996) B. Dumont, 1996. Dossier : Palabilité et choix alimentaires. *INRA Prod. Anim.* 9(5), 337–366.
- (Dureau et Bonnefon, 1997) R. Dureau et O. Bonnefon, 1997. Étude des pratiques de gestion pastorale des Coussouls. In : Patrimoine naturel et pratiques pastorales en Crau. CEEP-CA13-CERPAM-AOM-INRA. France. pp. 61-89.
- (Edwards et al., 1995) G. Edwards, A. Parsons, P. Penning, et J. Newman, 1995. Relations between vegetation state and bite dimensions of sheep grazing contrasting plant species and its implications for intake rate and diet selection. *Grass and Forage Science* 50, 378–388.
- (El Aich et al., 2007) A. El Aich, N. El Assouli, A. Fathi, P. Morand-Fehr, et A. Bourbouze, 2007. Ingestive behaviour of goats grazing in the southwestern argan (*argania spinosa*) forest of morocco. *Small Ruminant Research* 70, 248–256.
- (Fabre, 1998) P. Fabre, 1998. La Crau, depuis toujours terre d'élevage. Dans : Patrimoine naturel et pratiques pastorales en Crau. CEEP-CA13-CERPAM-AOM-INRA. Miramas, France. p 34-45.
- (Fabre et Boutin, 2002) P. Fabre et J. Boutin, 2002. Troupeaux transhumants et gestion de l'écosystème pâturé de la Crau. In : Transhumance, relique du passé ou pratique d'avenir ? Cheminements, pp.177-196.
- (Fadda et al., 2004) S. Fadda, J. Orgeas, P. Ponel, et T. Dutoit, 2004. Organisation et distribution des communautés de coléoptères dans les interfaces stepp-friches post-culturelles en crau. *Ecologia mediterranea* 30(1), 852–104.
- (Faverdin, 1997) M. Faverdin, P. et Picard, 1997. Préhensibilité des aliments par les herbivores et les volailles. *Inra Prod. Anim.* 10(5), 375–414.
- (Faverdin et al., 1995) P. Faverdin, R. Baumont, et K. Ingvarstsen, 1995. Control and prediction of feed intake in ruminants. Dans INRA (Ed.), *Recent development in the nutrition of herbivores. Proceedings of the IVth international symposium on the nutrition of herbivores*, 95–120.
- (Filiz et al., 2009) E. Filiz, B. Ozdemir, F. Budak, J. Voger, M. Tuna, et H. Budak, 2009. Molecular, morphological, and cytological analysis of diverse *Brachypodium distachyon* inbred lines. *Genome* 52(10), 876–890.
- (Flores et al., 1993) E. Flores, E. Laca, T. Griggs, et M. Demment, 1993. Sward height and vertical morphological differentiation determine cattle dimensions. *Agron. J.* 85, 527–532.
- (Forbes, 1995) Forbes, 1995. *The intake of fresh and conserved grass. In : Voluntary food intake and diet selection in farm animals, CAB international.* North America : C.A.B. International.
- (Frisch O. V., 1965) Frisch O. V., 1965. Beobachtungen an *symmictus costatus* loew, 1875, ssp. *frischi* teschner (diptera :nemestrinidae). *Zool. Anzeiger* 175, 368–370.

- (Godin, 2000) C. Godin, 2000. Representing and encoding plant architecture : A review. *annals of forest sciences. Forest Sciences* 57, 413–438.
- (Golée, 2002) S. Golée, 2002. *Un Puy de savoirs. Concilier production en élevage et préservation de milieux naturels au titre de Natura 2000. Mémoire de fin d'études. Inra d'Avignon, Ecodéveloppement*. Thèse de Doctorat, Enita de Clermont-Ferrand.
- (Gordon et Benvenuti, 2006) I. Gordon et M. Benvenuti, 2006. *Feeding in domestic vertebrates : from structure to behaviour*, Chapter Food in 3D : How ruminant livestock interact with sown sward architecture at the bite scale, 263–277. CAB International.
- (Gordon et al., 1996) I. Gordon, A. Illius, et D. Milne, 1996. Sources of variation in the foraging efficiency of grazing ruminants. *Functional ecology* 10, 219–226.
- (Gordon et Lascano, 1993) I. Gordon et C. Lascano, 1993. Foraging strategies of ruminant livestock on intensively managed grasslands : potential and constraints. Dans M. Baker (Ed.), *Proceedings of the 17th International Grassland Congress*, Wellington, New Zealand, 681–689. SIR Publishing.
- (Griffiths et Gordon, 2003) W. Griffiths et I. Gordon, 2003. Sward structural resistance and biting effort in grazing ruminants. *Anim. Res.* 52, 145–160.
- (Hastie et Tibshirani, 1990) T. Hastie et R. Tibshirani, 1990. *Generalized Additive Models*. Chapman Hall/CRC. London, U.K. 325 p.
- (Hazard et al., 1998) L. Hazard, A. De Morales, M. Betin, R. Traincau, et J. Emile, 1998. Perennial ryegrass cultivar effects on intake of grazing sheep and feeding value. *Annales de Zootechnie* 47, 117–125.
- (Hodgson, 1982) J. Hodgson, 1982. Ingestive behaviour. In : *Herbage intake handbook*. Leaver J.D. (Eds) British grassland society publication. pp. 113-138.
- (Hodgson, 1986) J. Hodgson, 1986. Grazing behaviour and herbage intake. Dans les actes de *British Grassland Society. Occasional symposium*, Volume 19, 51–64.
- (Hofmann, 1989) R. Hofmann, 1989. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants : a comparative view of their digestive system. *Oecologia* 78, 443–457.
- (Iason et al., 2000) G. Iason, D. Sim, et I. Gordon, 2000. Do endogenous seasonal cycles of food intake influence behaviour and intake by grazing sheep? *Functional Ecology* 14, 614 – 622.
- (Illius et Gordon, 1987) A. Illius et I. Gordon, 1987. The allometry of food intake in grazing ruminants. *Journal of Animal Ecology* 56, 989–999.
- (Illius et Gordon, 1990) A. Illius et I. Gordon, 1990. *Behavioural mechanisms of food selection*. R.N. Hughes Ed., Chapter Constraints of diet selection and foraging behaviour in mammalian herbivores, 369–393. Springer-Verlag.
- (Illius et al., 1999) A. Illius, I. Gordon, D. Elton, et J. Milne, 1999. Diet selection in grazing ruminants : a test of intake rate maximization. *Ecology* 80, 1008–1018.

- (Illius et al., 1995) A. Illius, I. Gordon, J. Milne, et W. W., 1995. Costs and benefits of foraging on grasses varying in canopy structure and resistance to defoliation. *Functional Ecology* 9, 894–903.
- (Johnson, 1980) D. Johnson, 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61, 65 – 71.
- (Kaufmann, 1996) J. Kaufmann, 1996. L'entretien compréhensif. Eds Nathan. France. 128 p.
- (Laca et al., 1993) E. Laca, M. Demment, R. Distel, et T. Griggs, 1993. A conceptual model to explain variation in ingestive behaviour within a feeding patch. Dans les actes de *Proceedings 17th international grassland congress*, 710–712.
- (Laca et Ortega, 1995) E. Laca et I. Ortega, 1995. Integrating foraging mechanisms across spatial and temporal scales. Dans les actes de *Fifth international rangelands congress*, Salt Lake City, Utah, 129–132.
- (Laca et al., 1992) E. Laca, E. Ungar, N. Seligman, et M. Demment, 1992. Effects of sward height and bulk density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. *Grass and Forage Science* 47(1), 91–102.
- (Landais et Deffontaines, 1998) E. Landais et J. Deffontaines, 1998. Andres L. Un berger parle de ses pratiques. INRA-URSA. Versailles-Dijon-Mirecourt. 111 p.
- (Lécrivain et al., 1993) E. Lécrivain, A. Leroy, I. Savini, et J. Deffontaines, 1993. Les formes de troupeau au pâturage : genèse et diversité. In : Landais E. (coord.) *Pratiques d'Élevage Extensif : identifier, modéliser, évaluer*. INRA Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement. Landais E. (coord.) France. 27. 237-263.
- (Lécrivain et al., 2010) E. Lécrivain, A. Leroy, I. Savini, et J. Deffontaines, 2010. Les formes d'un troupeau gardé en alpage par un berger : genèse et diversité. In : Meuret M. (coord.), *Un savoir-faire de bergers*. Coed. Educagri-Quae, Dijon-Versailles : 101-104.
- (Lebaudy, 2004) G. Lebaudy, 2004. Gravures et graffiti des bergers de la plaine de Crau : un patrimoine fragile et méconnu. *Ecologia Mediterranea* 30(1), 34–45.
- (Legeard et al., 2010) J. Legeard, P. Fabre, et J. Gascoin, 2010. *Histoire récente et état des lieux au sujet du recours au gardiennage des troupeaux ovins et caprins en France*. In : *Shepherders' know-how*. Washington, DC, USA : Meuret and Provenza Eds, Island Press.
- (Lundberg et Dannell, 1990) P. Lundberg et K. Dannell, 1990. Functional response of browsers : tree exploitation by moose. *Oikos* 58, 378–384.
- (Machat, 2009) M. Machat, 2009. Comment a évolué le Brachypode rameux (*Brachypodium retusum* ou *B. ramosum*) des coussouls de Crau au cours d'une décennie présentant des aléas climatiques marqués. Rapport de Stage Génie Biologique option agronomie, IUT de Provence.
- (Magda et Gonnet, 2001) D. Magda et J. Gonnet, 2001. Consequence of agricultural extensification on landscape : an exemple of vegetation dominance with chaerophyllum aureum in the meadows of a pyrenean valley. *Landscape Ecology* 16, 6.

- (Magda et al., 2001) D. Magda, M. Meuret, L. Hazard, et C. Agreil, 2001. Répondre à une politique de conservation de la biodiversité : le pâturage des brebis pour la maîtrise des landes à genêts. *FaçSADe* 12, 1–4.
- (McGill et al., 1978) R. McGill, J. Tukey, et L. W.A., 1978. Variations of Box Plots. *American Statistician* 32(1), 12–16.
- (Médail et Vidal, 1998) F. Médail et E. Vidal, 1998. Organisation de la richesse et de la composition floristiques d'îles de la méditerranée occidentale (sud-est de la France). *Canadian Journal of Botany* 76(2), 321–331.
- (Meuret, 1989) M. Meuret, 1989. *Feuillages, fromages et flux ingérés*. Thèse de doctorat. 248p. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, INRA-SAD Écodéveloppement. Avignon.
- (Meuret, 1993a) M. Meuret, 1993a. Les règles de l'Art : garder des troupeaux au pâturage. *Études et Recherches Systèmes Agraires et Développement* 27(1), 199–216.
- (Meuret, 1993b) M. Meuret, 1993b. Piloter l'ingestion au pâturage. *Études et Recherches Systèmes Agraires et Développement* 27(1), 161–198.
- (Meuret, 1996) M. Meuret, 1996. Organizing a grazing route to motivate intake on coarse resources. *Annales de Zootechnie* 10(1), 391–401.
- (Meuret, 1997) M. Meuret, 1997. Préhensibilité des aliments chez les petits ruminants sur parcours en landes et sous-bois. *INRA Productions Animales* 10(1), 391–401.
- (Meuret, 2006) M. Meuret, 2006. Menu model : The herder as a restaurant chef. Dans les actes de *BEHAVE Annual Meeting*, Homestead ? Midway ? Utah ? USA, 24–26.
- (Meuret, 2010a) M. Meuret, 2010a. Des troupeaux dans la broussaille : un comportement inattendu qui incite à changer de paradigme scientifique. In : Florence Burgat (dir.), Comment penser le comportement animal ? Contribution à une critique du réductionnisme, Co-édition MSH/Quae, coll. "Nature sociale", Versailles : 223-252.
- (Meuret, 2010b) M. Meuret, 2010b. *Modèle Menu : le berger vu comme un chef cuisiner*. In M. Meuret (coord.), *Un savoir-faire de bergers*. Dijon et Versailles. p 167-190 : Eds. Educagri, Eds. Quae.
- (Meuret, 2010c) M. Meuret, 2010c. *Stimuler l'appétit lors des circuits de garde : échange d'expériences entre un berger et un chevrier*. In : M. Meuret (coord.), *Un savoir-faire de bergers*. Dijon et Versailles : 149-165 : Eds. Educagri, Eds. Quae, Dijon et Versailles : 149-165.
- (Meuret et al., 1985) M. Meuret, N. Bartiaux-Thill, et A. Bourbouze, 1985. Évaluation de la consommation d'un troupeau de chèvres laitières sur parcours forestiers : méthode d'observation directe des coups de dents ; méthode du marqueur oxyde de chrome. *Annales de Zootechnie* 34, 159 – 180.
- (Meuret et al., 1993) M. Meuret, P. Dardenne, R. Biston, et O. Poty, 1993. The use of NIR in predicting nutritive value of Mediterranean tree and shrub foliage. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 1(1), 45–54.

- (Meuret et al., 2006) M. Meuret, S. Débit, C. Agreil, et P. Osty, 2006. Éduquer ses veaux et génisses : un savoir empirique pertinent pour l'agroenvironnement en montagne ? *Natures Sciences Sociétés* 14(1), 343–352.
- (Meuret et al., 1994) M. Meuret, C. Viaux, et J. Chadoeuf, 1994. Land heterogeneity stimulates intake during grazing trips. *Annales de Zootechnie* 43, 296.
- (Meyer, 1983) D. Meyer, 1983. Vers une sauvegarde et une gestion du milieu naturel de la Crau. *Biologie-Ecologie méditerranéenne* 10, 155–172.
- (Ministère d'Écologie, 2007) Ministère d'Écologie, 2007. Carte des régions écologiques de la France méditerranéenne.
- (Mitchell et al., 1991) R. Mitchell, J. Hodgson, et D. Clark, 1991. The effect of varying leafy sward height and bulk density on the ingestive behaviour of young deer and sheep. Dans les actes de *N Z Soc Anim Prod*, Volume 51, 159–165.
- (Mojzes et al., 2003) A. Mojzes, T. Kalapo, et K. Viragh, 2003. Plasticity of leaf and shoot morphology and leaf photochemistry for *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv. growing in contrasting microenvironments in a semiarid loess forest-steppe vegetation mosaic. *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 198(4), 304–320.
- (Molenat et al., 1997) G. Molenat, D. Hubert, P. Lapeyronie, et J. Gouy, 1997. Utilisation de la végétation du coussoul par le troupeau ovin. In : Patrimoine naturel et pratiques pastorales en Crau. CEEP-CA13-CERPAM-AOM-INRA. France. pp. 46–54.
- (Molinier et Tallon, 1950) R. Molinier et G. Tallon, 1949 - 1950. La végétation de la Crau (Basse-Provence). *Revue Générale de Botanique* 57 - 57, 525–540, 48–61.
- (Morley, 1981) F. Morley, 1981. *World Animal Science B1. Neimann-Sorensen, A., Tribe, D.E. Ed.*, Chapter Grazing animals, 411. Elsevier.
- (Oliosio et al., 1983) G. Oliosio, P. Bence, J. Boutin, G. Cheylan, F. Dhermain, et P. Bergier, 1983. Les passereaux nicheurs des coussous de la Crau. *Biologie-Ecologie méditerranéenne* 10(1-2), 107–118.
- (O'Reagain et al., 1996) P. O'Reagain, B. Goetsch, et R. Owen-Smith, 1996. Effect of species composition and sward structure on the ingestive behaviour of cattle and sheep grazing south african sward. *Journal of Agricultural Science* 127, 271–280.
- (Parsons et al., 1994) A. Parsons, H. Thornely, J. Newman, et D. Penning, 1994. A mechanistic model of some physical determinants of intake rate and diet selection in a two-species temperate grassland sward. *Functional Ecology* 8, 187–204.
- (Penning et al., 1991) P. Penning, A. Parsons, R. Orr, et T. Treacher, 1991. Intake and behaviour responses by sheep to changes in sward characteristics under continuous stocking. *Grass and Forage Science* 46, 15–28.
- (Post, 2009) L. Post, 2009. Le Post, fuite de pétrole dans une réserve naturelle des Bouches-du-Rhône. www.ladepeche.fr consulté le 8 août 2009.
- (Prache, 1997) J.-L. Prache, S. et Peyraud, 1997. Préhensibilité de l'herbe pâturée chez les bovins et les ovins. *Inra Prod. Anim.* 10(5), 377–390.

- (Prache et al., 1998) S. Prache, C. Roguet, et M. Petit, 1998. How degree of selectivity modifies foraging behaviour of dry ewes on reproductive compared to vegetative sward structure. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 57, 91–108.
- (Provenza, 1995) F. Provenza, 1995. Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *J. Range Manage* 48, 2–17.
- (Provenza, 2003) F. Provenza, 2003. *Foraging behavior : managing to survive in a world of change. Behavioral Principles for Human, Animal, Vegetation, and Ecosystem Management*. Utah, USA : Utah State University.
- (Provenza, 2007) F. Provenza, 2007. Social organization, culture and use of landscapes by livestock. *Options Médit. A N° 74*, 307–308.
- (Rieux et al., 1977) R. Rieux, G. Ritschel, et C. Roux, 1977. Etude écologique et phytosociologique du *Crassuletum tillaeae* Molinier et Tallon 1949. *Biol. Ecol. Méd.* 4(3), 100–101.
- (Römermann et al., 2005) C. Römermann, T. Dutoit, P. Poschlod, et B. E., 2005. Influence of former cultivation on the unique mediterranean steppe of france and consequences for conservation management. *Biological conservation* 121(1), 21–33.
- (RNCC/CEEP, 2009) RNCC/CEEP, 2009. Photo reprise par divers médias sur le site de la Réserve Naturelle des Coussouls de Crau. www.reserve-crau.org, consulté le 10 août 2009.
- (Rook et al., 2004) A. Rook, A. Harvey, A. Parsons, R. Orr, et S. Rutter, 2004. Bite dimensions and grazing movements by sheep and cattle grazing homogeneous perennial ryegrass swards. *Applied Animal Behaviour Science* 88, 227–242.
- (Sauvant et al., 2002) D. Sauvant, J. Perez, et G. Tran, 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. INRA Editions. Paris France. 304 p.
- (Savini et al., 2010) I. Savini, E. Landais, T. P., et J. Deffontaines, 2010. *Taking advantage of an experienced herder's knowledge to design summer range management tools*. In : *Shepherders' know-how*. Washington, DC, USA : Meuret and Provenza Eds, Island Press.
- (Savini et al., 1993) I. Savini, E. Landais, P. Thinon, et J. Deffontaines, 1993. L'organisation de l'espace pastoral : des concepts et des représentations construits à dire d'expert dans une perspective de modélisation. In : Landais E. (coord.) *Pratiques d'Élevage Extensif : identifier, modéliser, évaluer*. INRA Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement. Landais E. (coord.) France. 27. 137-160.
- (Senft et al., 1987) R. Senft, M. Coughenour, D. Bailey, L. Rittenhouse, O. Sala, et D. Swift, 1987. Large herbivore foraging and ecological hierarchies. *Bioscience* 37, 789–799.
- (Shenk et Westerhaus, 1991) J. Shenk et M. Westerhaus, 1991. *ISI-NIRS-2 : Software for near-infrared instruments. User manual*. Port Matilda, USA. : Infrasoftware International. .
- (Shipley et al., 1994) L. Shipley, J. Gross, D. Spalinger, N. Hobbs, et B. Wunder, 1994. The scaling of intake rate in mammalian herbivores. *The American Naturalist* 143, 1055–1082.

- (Shipley et al., 1999) L. Shipley, A. Illius, K. Danell, T. Hobbs, et D. Spalinger, 1999. Predicting bite size selection of mammalian herbivores : a test of a general model of diet optimization. *Oikos* 84, 55–68.
- (Siegel et Castellan, 1988) S. Siegel et N. J. Castellan, 1988. *Nonparametric Statistics for the Behaviour Sciences*. New York-USA : MacGraw Hill Int.
- (Sinnaeve et al., 1994) G. Sinnaeve, P. Dardenne, R. Agneesens, et R. Biston, 1994. The use of near infrared spectroscopy for the analysis of fresh grass silage. *Journal of near infrared spectroscopy* 2, 79–84.
- (Sokal et Rohlf, 1995) R. R. Sokal et F. J. Rohlf, 1995. *Biometry*. New York-USA : Freeman and Company.
- (Spalinger et al., 1998) D. Spalinger, T. Hanley, et C. Robbins, 1998. Analysis of the functional response in foraging in the sitka black-tailed deer. *Ecology* 69, 1166–1175.
- (Spalinger et Hobbs, 1992) D. Spalinger et N. Hobbs, 1992. Mechanisms of foraging in mammalian herbivores : New models of functional response. *American Naturalist* 140, 325 – 348.
- (Sultan et Spencer, 2002) S. Sultan et H. Spencer, 2002. Metapopulation structure favors plasticity over local adaptation. *American Naturalist* 160, 271 – 283.
- (Terraube, 2004) J. Terraube, 2004. Caractérisation par télédétection de l'hétérogénéité de la végétation des milieux steppiques de la plaine de la Crau ; Application à l'étude de la sélection d'habitat par le Ganga cata. Mémoire de stage de Maîtrise de biologie des populations et des écosystèmes, Université de Montpellier II, 12p.
- (Touareg.org, 2008) Touareg.org, 2008. Teuf Trafké ADN 83 06 Avri 2007 La Crau (PACA). www.touarek.org consulté le 15 mars 2008.
- (Ungar, 1996) E. Ungar, 1996. *The ecology and management of grazing systems*. Hodgson, J. and Illius, A.W. Eds., Chapter Ingestive Behaviour, 185–218. CAB International.
- (Ungar et al., 1991) E. Ungar, A. Genizi, et M. Demment, 1991. Bite dimensions and herbage intake by cattle grazing short hand constructed swards. *Agron. J.* 83, 973– 978.
- (Van Soest, 1982) P. Van Soest, 1982. *Nutritional ecology of the ruminant*. London UK. : Cornell University Press. 476 p.
- (Van Soest, 1994) P. Van Soest, 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*, Chapter Ruminants, 500. Cornell University.
- (Van Soest et Robertson, 1985) P. Van Soest et J. Robertson, 1985. *Analysis of forages and fibrous foods : A laboratory manual for animal science*. London UK. : Cornell University Press. 613 p.
- (Williams et Norris, 1990) P. Williams et K. Norris, 1990. *Near-infrared technology in the agricultural and food industries*. Minnesota, USA. : American Association of Cereals Chemists. Inc.

Bibliographie

- (Wolff et Fabre, 2004) A. Wolff et P. Fabre, 2004. Transhumant sheep systems of south-eastern France, with special reference to long-distance transhumance from the plain of the Crau to the Alps. Bunce, R.G.H. and Pérez-Soba, M. and Jongman, R.H.G. and Gomez Sal, A. and Herzog, F. and Austan I. Eds. Wageningen, The Netherlands. pp.113 - 130 .
- (Wolff, 1998) Wolff, 1998. Effectifs et répartition de la grande avifaune nicheuse des cous-souls de crau, patrimoine naturel et pratiques pastorales en crau, ceep ecomusée de crau, saint-martin de crau (1998), pp. 13–21.
- (Wolny et Hasterok, 2009) E. Wolny et R. Hasterok, 2009. Comparative cytogenetic analysis of the genomes of the model grass *brachypodium distachyon* and its close relatives. *Annals of Botany* 104(5), 873–881.
- (Yearsley et al., 2001) J. Yearsley, B. Tolkamp, et A. Illius, 2001. Theoretical developments in the study and prediction of food intake. *Proceedings of the Nutrition Society* 60, 145–156.

Évaluation de la fonctionnalité des diverses structures végétales de la steppe de Crau (Bouches-du-Rhône) en tant que ressource alimentaire pour des troupeaux ovins conduits par des bergers

Résumé

La steppe de Crau abrite des espèces de faune et de flore remarquables, dont les habitats sont structurés et entretenus de longue date par le pâturage ovin conduit en gardiennage par des bergers. Les gestionnaires de la Réserve Naturelle de Crau souhaitent donc que les éleveurs continuent de recourir au travail des bergers. Cependant, le contexte économique difficile de l'élevage ovin incite à augmenter l'effectif de brebis confiés à un même berger, avec des résultats incertains sur la végétation. Pour les gestionnaires de la Réserve, il s'agit ainsi de réussir à justifier techniquement le besoin de maintenir la diversité des pratiques pastorales, dont la garde par des bergers. Il s'agit surtout d'anticiper les conséquences d'un excès d'homogénéisation de la végétation qui ferait suite à l'abandon du gardiennage au profit du parcage des troupeaux. Des suivis d'espèces animales emblématiques sont réalisés, ainsi que de la hauteur et recouvrement du brachypode rameux (*Brachypodium retusum* Pers beauv.), graminée pérenne structurant le tapis végétal. Cette espèce est généralement qualifiée de "grossier" peu apprécié des brebis. Elle constitue pourtant une ressource-clé en début et fin de saison de pâturage, lorsque les espèces annuelles ne sont pas disponibles.

L'objectif de la thèse est d'évaluer la fonctionnalité alimentaire de la végétation de la steppe de Crau au printemps pour des brebis conduites en gardiennage par des bergers au sein de grands troupeaux. Il s'agit d'apporter des connaissances pour la construction d'un indicateur de terrain opérationnel permettant de qualifier les diverses natures et structures de végétation au regard de leur fonctionnalité pour l'ingestion à l'échelle quotidienne.

La démarche de recherche est basée sur l'observation directe du comportement d'ingestion chez des individus au cours des circuits quotidiens. C'est la toute première fois que cette technique est adaptée à des troupeaux de plus de 1000 brebis. Elle est couplée à une description multi-échelles de la végétation, à des relevés cartographiés des circuits quotidiens de bergers, ainsi qu'à des entretiens semi-directifs avec des bergers expérimentés.

Nous avons identifié deux catégories de structures végétales, fonctionnelles du point de vue de l'ingestion instantanée : des "nécessaires" et des "limiteurs", permettant ou non aux brebis d'atteindre des niveaux de flux d'ingestion élevés (en grammes de matière sèche/minute). La plupart des structures de brachypode, décrites ici sous la forme d'une variété de "morphes pâturés", contribuent à la catégorie des "nécessaires". Ce n'est pas le cas des dicotylédones et autres graminées. Quant aux bergers, ils identifient quatre catégories de brachypode, selon le stade de maturité, le type de repousse et l'appétence pour les brebis. Au cours des circuits, les bergers incitent les troupeaux à alterner le pâturage sur faciès à petites dicotylédones et sur faciès abondants en brachypode. C'est dans ces derniers que nous avons mesuré les flux d'ingestion instantanée les plus élevés. Au printemps, le brachypode est pourtant de valeur nutritive bien moindre que la plupart des autres espèces.

En tentant d'adopter le "point de vue" de l'animal, mais aussi celui du berger, ce travail de thèse suggère de caractériser la végétation autrement qu'en mesurant classiquement sa hauteur et son recouvrement, surtout lorsqu'il s'agit de l'apprécier en tant que ressource alimentaire. Certains morphes de brachypode, aisément identifiables selon la forme des feuilles, sont nécessaires à l'obtention de flux d'ingestion élevés. Nous proposons ces morphes comme un indicateur opérationnel à intégrer dans les suivis de dynamiques de végétation en Crau. Nous confirmons aussi le rôle du berger dans la distribution spatiale du pâturage. Celui-ci est en mesure, par diverses actions sur le troupeau à l'échelle du circuit de pâturage, d'encourager l'utilisation de tel ou tel faciès de végétation. Ceci, pour des raisons de gestion de l'alimentation quotidienne, mais aussi de gestion du renouvellement des ressources pastorales de la steppe à l'échelle pluriannuelle.

Mots clés : élevage, biodiversité, pastoralisme, comportement d'ingestion, petits ruminants, pâturage, berger, milieu steppique.