EXPERTISES

JUIL. 2018

PARASOL :

AGROFORESTERIE EN SYSTEME D'ELEVAGE OVIN

Etude de son potentiel dans le cadre de l'adaptation au changement climatique

Rapport final

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec :

INSTITUT DE L'ELEVAGE

INRA SCIENCE & IMPACT

AGROOF S.C.O.P

UniLaSalle Terre & Sciences

REMERCIEMENTS

Consortium de recherche/comité de pilotage :
Camille Béral – AGROOF SCOP
Nicolas Girardin – AGROOF SCOP
David Grandgirard – UniLasalle
Dorothée Bizeray-Filoche – UniLasalle
Cécile Ginane – INRA-UMRH
Mickaël Bernard – INRA-UERT
Donato Andueza – INRA-UMRH
Véronique Deiss – INRA-UMRH
Jean-Claude Emile – INRA-Ferlus
Sandra Novak – INRA-Ferlus
Eric Pottier – IDELE
Jean-Christophe Moreau – IDELE
Julien Fradin – IDELE
Fabien Liagre – AGROOF SCOP
Audrey Trévisiol – ADEME

Contributeurs (hors comité de pilotage) :
Hélène LeGallic (AGROOF SCOP) ; Antoine Marin (AGROOF SCOP) ; Sébastien Dulieu (AGROOF SCOP) ; Ambroise Martin-Chave (AGROOF SCOP) ; Pierrick Gouhier (AGROOF SCOP) ; Fabienne Picard (INRA Theix) ; André Guittard (INRA Theix) ; Julianne Pourrat (INRA Theix) ; Stéphanie Mahieu (INRA Ferlus Lusignan)

Stagiaires :
Matthias Thiery (2015) – AGROOF SCOP ; Samuel Lama (2015) – IDELE ; Guillaume Sabourin (2016) – AGROOF SCOP ; Thibault Berne (2016) – IDELE ; Victor Cuisinez (2016) – UniLasalle ; Alice Elvinger (2016) – UniLasalle ; Carla Gava (2016) – INRA Theix ; Arthur Rocher (2017) – AGROOF SCOP ; Hugo Lasselin (2017) - UniLasalle ; Pauline Dechavanne (2017) – INRA Theix ; Vincent Lefevre (2017) – IDELE ; Jean Baptiste De Solère (2017) – IDELE ; Maxime Jardillier (2018) – INRA Theix ; Méric Thellou (2016) – UniLasalle ; Camille Payen (2017) – UniLasalle ; Emma Beaubier (2018) – INRA Theix ; Jean-Pierre Talon (2018) – IDELE/ INRA Theix/AGROOF SCOP.

Remerciements :
Nous tenons à remercier l'ADEME pour son soutien financier durant ces trois années de projet, ainsi que son suivi technique assuré par Audrey Trévisiol.
Nos remerciements vont à l'ensemble des éleveurs ayant contribué au projet PARASOL : M. Ozieblo, M. François, M. Leduc, M. Ducrocq, M. Pacory, M. Leroyer, Mme Senaux, Mme et M. De Ridder, M. Giaccopeli, M. Plet, M. Ozieblo.
Nous remercions également Philippe Majot du PNR des Caps et Marais d'Opale, ainsi que Mehdi Bounab de la Chambre d'Agriculture de l'Ariège pour avoir organisé avec nous des journées d'échanges avec les éleveurs locaux.
Enfin nous remercions aussi le projet CASDAR ARBELE pour la collaboration active avec PARASOL, ainsi que le Ministère de l'Agriculture pour le co-financement de la tâche 2 du projet PARASOL.

CITATION DE CE RAPPORT

Béral C., Andueza D., Ginane C., Bernard M., Liagre F., Girardin N., Emile J-C., Novak S., Grandgirard D., Deiss V., Bizeray D., Moreau J-C., Pottier E., Thiery M., Rocher A., 2018. Agroforesterie en système d'élevage ovin : étude de son potentiel dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. 158p.

Cet ouvrage est disponible en ligne :
www.ademe.fr/mediatheque
http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1560C0025

Étude réalisée par AGROOF SCOP, IDELE, INRA et UniLasalle pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : Camille BERAL - AGROOF SCOP
Appel à projet de recherche : REACCTIF II

Coordination technique - ADEME : TREVISIOL Audrey
Direction/Service : Direction Productions et Energies Durables / Service Forêt Alimentation Bioéconomie

TABLE DES MATIERES

Résumé **9**

Abstract **10**

1. CONTEXTE DU PROJET **11**

2. ETAT DES LIEUX DES PRATIQUES : La place l'agroforesterie dans les élevages ovins **13**

2.1. Objectifs 14

2.2. Méthodologie 14

2.2.1. Zone d'étude et échantillonnage 14

2.2.2. Méthode d'enquête 15

2.3. Résultats du travail d'enquêtes 15

2.3.1. La conduite des ovins sous fruitiers 15

2.3.1.1. Quelles sont leurs motivations ? 16

2.3.1.2. Quelles contraintes rencontrent-ils du fait de cette association ? 16

2.3.2. La conduite du pâturage ovins sous arbres forestiers 17

2.3.2.1. Qui sont-ils ? 17

2.3.2.2. Quels avantages voient-ils à cette pratique ? 18

2.3.2.3. Quelles contraintes voient-ils à cette pratique ? 18

2.3.3. Perception du changement climatique par les agriculteurs 19

2.4. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action 19

3. DESCRIPTION DES PARCELLES SUIVIES **20**

3.1. Présentation du réseau de parcelles 20

3.1.1. Généralités et localisation 20

3.1.2. Limites du réseau 22

3.2. Présentation de la parcelle principale : Lamartine – INRA Theix 23

3.2.1.1. Généralités 23

3.2.1.2. Descriptif des parcelles du site 23

4. MICROCLIMAT : Impacts des arbres sur l'ambiance microclimatique des parcelles agroforestières. **25**

4.1. Introduction 26

4.2. Objectifs 27

4.3. Matériels et méthodes 27

4.3.1. Ouverture de canopée / Ombrage 27

4.3.2. Température et humidité relative 28

4.3.3. Calcul du THI 28

4.4. Résultats 29

4.4.1. Ouverture de canopée en agroforesterie 29

4.4.2. Température et humidité relative sous les arbres agroforestiers 30

4.4.1. Stress thermiques : Temperature Humidity Index 33

4.5. Conclusions et perspectives 34

4.5.1. Ouverture de canopée et compétition lumineuse 34
4.5.2. Effet tampon des arbres sur les extremums T et HR et impact sur le bien-être des animaux 35
5. PRODUCTION FOURRAGERE HERBACEE : Impacts des arbres et place des parcelles dans le fonctionnement des systèmes fourragers. 36
5.1. Introduction 37
5.2. Finalité et objectifs 38
5.3. Etude sur l'impact de la densité d'arbres agroforesterie sur les prairies permanentes 38
5.3.1. Démarche 38
5.3.2. Matériels et Méthode 38
5.3.3. Résultats 39
5.3.3.1. Données météorologiques 39
5.3.3.2. Composition botanique 39
5.3.3.3. Rendement 39
5.3.3.4. Stade phénologique 40
5.3.3.5. Matières azotées totales 41
5.3.3.6. Parois cellulaires et digestibilité cellulase 42
5.3.4. Conclusion 44
5.1. Etude de l'impact spatialisé des arbres agroforestiers sur les prairies permanentes 44
5.1.1. Démarche 44
5.1.2. Matériels et méthodes 44
5.1.2.1. Sites étudiés 44
5.1.2.2. Protocole expérimental 46
5.1.2.2.1. Le dispositif 46
5.1.2.2.2. Indicateurs de production herbacée 47
5.1.2.2.3. Approche botanique et phénologique des prairies 48
5.1.3. Résultats 49
5.1.3.1. Impacts des arbres sur la production prairiale 49
5.1.3.1.1. Au printemps (P2) 49
5.1.3.1.2. A l'été (P3) 50
5.1.3.2. Impact des arbres sur la composition botanique et la phénologie des prairies 52
5.1.3.2.1. Pour les sites situés en Hauts De France et en Normandie 52
5.1.3.2.2. Pour les autres sites : Auvergne et Languedoc Roussillon 53
5.1.3.3. Qualité de l'herbe 56
5.1.4. Conclusion 57
5.2. Conclusions et perspectives 58
5.3. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action 59
6. BIOMASSE AERIENNE DES ARBRES : Répartition compartimentalisée et évolution dans le temps 61
6.1. Finalité et objectifs 62
6.2. Répartition compartimentalisée de la biomasse aérienne et évolution dans le temps 62

6.2.1. Sites étudiés....62
6.2.2. Matériels et Méthode....63
6.2.2.1. Recensement des individus et classification....63
6.2.2.2. Echantillonnage compartimenté....64
6.2.2.1. Modélisation allométrique, logigramme et outils statistiques utilisés....66
6.2.3. Résultats....67
6.2.4. Discussion des résultats....67
6.3. Conclusions et perspectives....71
6.4. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action....71
7. RESSOURCES FOURRAGERES ARBOREES : Composition, digestibilité et intérêt pour l'alimentation des troupeaux....72
7.1. Finalité et objectifs....73
7.2. Valeur alimentaire, *in vitro*, des feuilles de ligneux pour les ruminants....73
7.2.1. Matériels et méthodes....73
7.2.2. Résultats....75
7.2.2.1. Les effets de l'espèce et de la date de récolte sur la valeur fourragère des feuilles d'arbres conduits en haut jet....75
7.2.2.1.1. Composition biochimique et digestibilité....75
7.2.2.1.2. Teneur en tanins et en minéraux....76
7.2.3. Les effets du mode d'exploitation sur la valeur fourragère....76
7.3. Mesure de l'ingestion et de la digestibilité, *in vivo,* de deux espèces d'intérêt pour les ruminants, le frêne et le murier blanc....79
7.3.1. Matériels et Méthode....79
7.3.2. Résultats....80
7.3.2.1. Des valeurs alimentaires intéressantes....80
7.3.2.2. Deux espèces avec des niveaux d'ingestion élevés....80
7.3.2.3. Une bonne utilisation par l'animal....81
7.1. Conclusions et perspectives....82
7.2. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action....82
8. COMPORTEMENT ET BIEN-ETRE : Impacts de la présence d'arbres....84
8.1. Introduction....85
8.2. Finalité et objectifs....85
8.3. Méthodologie générale....85
8.4. Activité des brebis au pâturage et positionnement vis-à-vis de l'arbre et de l'ombre....86
8.4.1. Méthodes....86
8.4.2. Résultats....87
8.4.2.1. Activités générales....87
8.4.2.2. Utilisation de l'arbre....88
8.4.2.3. Activités sous les arbres....89
8.5. Evaluation du stress thermique et de la gêne liée aux insectes....91

8.5.1. Méthodes 91
8.5.2. Résultats 91
8.6. Conclusion et perspectives 92
8.7. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action 93
9. PERFORMANCES ET SANTE ANIMALE : Impacts de la présence d'arbres 94
9.1. Etat de l'art et objectifs 95
9.2. Dispositif : le site expérimental principal : Lamartine 95
9.2.1. Les règles de pilotage du pâturage 95
9.2.2. Les mesures 96
9.2.2.1. Performance prairiale 96
9.2.2.1.1. Hauteur d'herbe 96
9.2.2.1.2. Quantité et qualité de la biomasse disponible 96
9.2.2.2. Performance animale 96
9.2.2.3. Suivi parasitaire des brebis et agneaux 96
9.3. Résultats 97
9.3.1. L'évolution quantitative et qualitative de la biomasse 97
9.3.2. Les brebis 98
9.3.3. Les agneaux 99
9.3.4. Le suivi du parasitisme 99
9.4. Discussion des résultats 100
9.5. Conclusion et perspectives 101
9.6. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action 101
10. PERFORMANCES GLOBALES des systèmes d'élevage ovin intégrant l'agroforesterie 102
10.1. Finalité et objectifs 103
10.2. Etude des performances fourragères réelles et potentielles : Cas de Lamartine 103
10.2.1. Objectifs 103
10.2.2. Matériels et méthodes 103
10.2.2.1. Calendrier de production et zootechnique 103
10.2.2.2. Biomasse herbacée disponible 104
10.2.2.3. Evolution de la qualité de l'herbe 106
10.2.2.4. Quantification des besoins énergétiques et protéiques des lots 107
10.2.2.5. Calculs des disponibilités énergétique et protéique 109
10.2.3. Résultats 112
10.2.3.1. Valeur alimentaire des feuilles de frêne 112
10.2.3.2. Estimation des déficits énergétiques et protéiques journaliers 112
10.2.3.3. Caractéristiques arborées d'un système sylvopastoral optimisé 114
10.2.4. Conclusions 118
10.2.4.1. Compétition interspécifique 118
10.2.4.2. Déficits fourrager et scenarii d'exploitation de la biomasse foliaire arborée 119
10.2.4.3. Productivité complémentaire de plaquettes 119

10.3. Performances technico-économiques et environnementales 120
10.3.1. Objectifs 120
10.3.2. Matériels et méthodes 120
10.3.2.1. Echelles considérées et sites retenus 120
10.3.2.2. Indicateurs utilisés 120
10.3.3. Résultats 120
10.3.3.1. Impact du schéma d'aménagement sur la productivité globale 120
10.3.3.2. Production de plaquettes pour substitution partielle de la paille 123
10.4. Etude du bilan carbone : Etude du cas de la parcelle de Lamartine 125
10.4.1. Objectif 125
10.4.2. Méthode 125
10.4.1. Résultats 125
10.4.2. Conclusion 126
10.5. Néo-systèmes sylvopastoraux et pistes de scénarios à tester 126
10.5.1. Objectif 126
10.5.2. Matériels et méthodes 127
10.5.2.1. Le projet OASYS – INRA Lusignan 127
10.5.2.2. Quels projets pour demain ? 129
10.6. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action 132
11. VALORISATION DU PROJET 133
11.1. Objectif de l'action 134
11.2. Logo et charte graphique 134
11.3. Site Internet 134
11.4. Supports pédagogiques 135
11.4.1. L'idée : la dimension pédagogique d'un protocole 135
11.4.2. Du document interactif et de l'utilisation de la vidéo 135
11.4.3. De la création d'une grille de réalisation 135
11.4.4. Les délivrables et leur diffusion 136
11.5. Journées d'échanges 137
11.5.1. Journée d'échanges avec les éleveurs en lien avec le PNR Caps et Marais d'Opale 137
11.5.2. Journée d'échanges avec les éleveurs d'Ariège organisée en partenariat avec le projet AGROSYL et CASDAR ARBELE 137
11.5.3. Journée d'échanges au Lycée du Pradel à Aubenas en partenariat avec le CASDAR ARBELE 138
12. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES GENERALES 139
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 141
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES 145
SIGLES ET ACRONYMES 152
ANNEXES 153

Résumé

Dans le contexte actuel de changement climatique, le double enjeu pour l'agriculture est d'améliorer son bilan carbone tout en imaginant des systèmes de cultures/d'élevage permettant une adaptation/atténuation des effets du changement climatique sur les exploitations. Les éleveurs, notamment, doivent faire face à un contexte économique difficile : l'indice des prix d'achat des moyens de production agricole montre une constante hausse depuis sa création. La fréquence des sécheresses, de plus en plus régulière, impacte fortement le prix de la paille et des céréales, augmentant les charges des exploitations d'élevage et menacent leur autonomie fourragère. Les éleveurs doivent intégrer de nouvelles dynamiques annuelles des productions fourragères : creux estival de plus en plus accentué, avance de la production printanière et une production hivernale non négligeable. Face à ce contexte, l'agroforesterie pourrait être un élément déterminant dans l'adaptation des systèmes d'élevage au changement climatique. S'ils sont reconnus depuis quelques années dans le cadre de l'atténuation du changement climatique (accords de Kyoto), leur importance sur le volet adaptation en climat tempéré est en revanche moins étudiée.

De juillet 2015 à juillet 2018, le projet PARASOL s'est donné pour objectifs d'étudier, dans une diversité de situations pédoclimatiques, les interactions entre les arbres, les prairies permanentes et les animaux, et les performances potentielles globales de ces systèmes. La finalité de ce travail était d'en tirer des éléments pour comprendre le potentiel de l'agroforesterie dans le cadre de l'adaptation des systèmes d'élevage ovin au changement climatique et les pistes techniques pour optimiser l'intégration de l'agroforesterie dans ces exploitations. Pour cela, le projet PARASOL s'est basé sur un partenariat de spécialistes, réunissant AGROOF SCOP, l'INRA (UE Herbipole, UE FERLUS, UMRH), l'Institut de l'Elevage (IDELE), et l'UniLasalle. Un réseau de 13 parcelles agroforestières a été établi suivant des critères d'âge, de localisation, de potentiel expérimental et de caractéristiques des élevages. Le site principal étant celle de Lamartine à l'INRA de Theix (Puy de Dôme, France).

Notre approche s'est principalement basée sur une comparaison stricte de parcelles arborées (à différentes densités sur le site de Lamartine) ou non arborées, complétée par une étude prospective à l'échelle d'exploitations. Les prairies agroforestières ne changent pas fondamentalement de composition botanique mais subissent un retard phénologique corrélé au degré d'ombrage. Ainsi, malgré une baisse de productivité parfois importante en fonction de la densité, ces surfaces expriment leur potentiel plus tardivement en saison, avec des plantes de meilleure valeur alimentaire. En cas de compétition trop importante entre arbres et herbacées, l'étêtage des arbres est apparu comme un levier d'intérêt pour l'éleveur, pouvant également permettre d'engager des co-productions de fourrage, bois énergie et bois litière. C'est d'autant plus intéressant que les feuilles d'arbres se sont avérées d'excellentes ressources alimentaires. Le mûrier et le frêne sont les essences les plus intéressantes, avec des niveaux d'ingestion et d'utilisation par les brebis élevés et majorés par rapport au foin. L'animal est également impacté par les arbres : les brebis recherchent activement l'ombrage malgré une occurrence plus élevée de réactions aux insectes. Nos suivis zootechniques mettent en évidence des résultats variables d'une année sur l'autre et ne permettent pas de conclure de façon certaine sur les performances et la charge parasitaire des animaux. **L'ensemble de ces résultats soulignent le potentiel intéressant des surfaces agroforestières à une période tardive, pouvant répondre aux besoins d'animaux à forte demande, et pouvant favoriser la résilience des exploitations face aux aléas climatiques.** Nos études mettent également en avant la nécessité de penser les aménagements agroforestiers à l'échelle de l'exploitation en prenant en compte ses besoins/contraintes, et en appréhendant les évolutions climatiques à venir. En effet, en raisonnant sur les surfaces nécessaires, l'agroforesterie a le potentiel d'aider à l'éleveur à piloter la disponibilité en quantité et qualité du fourrage, favoriser le bien-être des animaux et renforcer l'indépendance de son exploitation. Néanmoins, en situations climatiques limitantes, les surfaces agroforestières peuvent aussi nécessiter des modes de conduite spécifiques qu'il est important de préciser en termes de coût.

Ainsi, si les études à l'échelle parcellaire demanderaient d'être poursuivies en jouant sur des modes de conduite spécifiques (date de mise au pâturage, choix d'espèces prairiales adaptées, etc.), des études à l'échelle d'exploitation sont indispensables pour préciser le potentiel de l'agroforesterie. Le projet PARASOL a pris le parti de se baser sur des projets agroforestiers matures, initialement implantés sans logique à l'échelle de l'exploitation, mais dont les interactions seraient plus fortes. Aujourd'hui, de jeunes systèmes agroforestiers pensés à l'échelle de l'exploitation existent (OASYS, etc.) et peuvent d'ores et déjà servir de référence pour des études plus intégrées.

Abstract

In a context of climate change, the dual challenge for agriculture is to improve its carbon footprint while imagining crop / livestock systems to adapt / mitigate the effects of climate change on their farms. Farmers have to face a difficult economic context: The Purchasing Price Index for means of agricultural production shows a constant increase since its creation. Coupled with regular droughts that affect food self-sufficiency, these developments undermine farms. The frequency of droughts has a strong impact on the price of straw and cereals, increasing the costs of livestock farms. Breeders must integrate new annual dynamics of forage production: summer heaps increasingly accentuated, advance of spring production and a significant winter production. Given this context, agroforestry could be a determining factor in the adaptation of livestock systems to climate change. Although they have been recognized for some years in the context of climate change mitigation (Kyoto agreements), their importance in the climate adaptation component is less studied.

From July 2015 to July 2018, the PARASOL project set itself the goal of studying, in a variety of pedoclimatic situations, the interactions between trees, meadows and animals, as well as the overall performance of these systems. The purpose of this work was to draw some elements to understand the potential of agroforestry in the context of the adaptation of sheep farming systems to climate change and the technical approaches to optimize the integration of agroforestry into these farms. For this, the PARASOL project was based on a partnership of specialists, bringing together AGROOF SCOP, INRA - EU Herbipole, INRA - UE FERLUS, INRA - UMRH, the Institute of Livestock (IDELE), and UniLasalle. A network of agroforestry plots has been established according to precise criteria of age, location, experimental potential and characteristics of the farms. There are 13 sites that have been involved, the main experimental site being "Lamartine" at INRA Theix (Puy de Dôme, France).

Our approach was mainly based on a strict comparison of tree plots (at different densities on the Lamartine site) and control plots (without trees), supplemented by a prospective study at the farm scale. It became clear that, depending on the density, agroforestry trees had a greater or lesser impact on herbaceous forage production and animal welfare. Agroforestry grasslands do not fundamentally change botanical composition but suffer a phenological delay correlated with the degree of shading. Thus, despite a significant decrease in productivity, these surfaces express their potential later in the season, with forages of better nutritional value. In the event of excessive competition between trees and herbaceous species, tree pollarding has emerged as a lever of interest for the farmer, which may also allow the co-production of fodder, wood energy and litter. This is especially interesting because tree leaves have proven to be excellent food resources. The white mulberry and the common ash are the most interesting species, with levels of ingestion and use by the ewes are better compared to the hay. The animal is also impacted by trees: ewes actively seek shade despite a higher occurrence of insects. Our zootechnical follow-ups show variable results from one year to another and do not allow us to definitively conclude on the performance and parasite load of animals. All these results highlight the interesting potential of agroforestry surfaces at a late period, which can meet the needs of animals with high demand, and which can promote the resilience of farms in the face of climatic hazards. Our studies also highlight the need to think agroforestry systems at the farm level considering its needs / constraints and apprehending future climate changes. Indeed, by reasoning on the necessary surfaces, agroforestry has the potential to help the farmer to control the availability of quantity and quality of feed, promote the welfare of animals and enhance the independence of its operation. Nevertheless, in some limiting climatic conditions, agroforestry surfaces may also require specific practices that are important to specify in terms of cost.

Thus, if the studies at the plot scale could be continued by playing on specific practices (date of grazing, varietal selection, etc.), studies at the farm scale are essential to clarify the agroforestry potential. The PARASOL project has chosen to rely on mature agroforestry plots, initially implemented without farm logic, but whose interactions would be stronger. Today, young agroforestry systems thought out at farm level exist (OASYS, etc.) and can serve as support for more integrated studies.

1. CONTEXTE DU PROJET

L'élevage ovin en France est un secteur qui connaît de nombreuses difficultés. Le nombre d'exploitations en ovin a diminué de presque 50% en dix ans. Le prix des aliments a également tendance à fluctuer, et s'oriente à la hausse, ce qui pousse de nombreux éleveurs à rechercher l'indépendance fourragère afin de diminuer les coûts de production (IDELE, 2016). Cette contrainte couplée aux importations de Nouvelle Zélande et d'Australie fragilise les exploitations. En plus de la compétition sur le plan économique, l'élevage fait face à une autre problématique : le changement climatique. Le GIEC (2013) prévoit une augmentation des températures de 1,8 à 4°C d'ici 2100 (+ 2,2 à 5,1°C d'ici 2100 dans les régions méditerranéennes, plus vulnérables au changement climatique). A cela devrait s'ajouter une augmentation des moyennes annuelles de précipitations accompagnée d'une diminution des précipitation estivales (-4 à -27% en zones méditerranéennes). Cela devrait se traduire par des sécheresses 10 fois plus fréquentes et intenses.

Ces changements ne sont pas sans conséquences pour le secteur de l'élevage français, déjà face à un contexte économique difficile. Les sécheresses affectent la production fourragère et plus globalement l'autonomie alimentaire, et fragilisent les exploitations. La fréquence des sécheresses impacte également le prix de la paille et des céréales, augmentant les charges des exploitations d'élevage. Les éleveurs doivent s'adapter en intégrant de nouvelles dynamiques annuelles des productions fourragères : creux estival de plus en plus accentué, avance de la production printanière et une production hivernale non négligeable (Ruget *et al.,* 2012). Toutefois, à très long terme, d'ici la fin du siècle, une dégradation rapide des rendements des prairies est possible, avec pour conséquence l'obligation dans de nombreuses zones de devoir rentrer les animaux l'été, ou du moins les affourager à l'extérieur (Moreau et al. 2008). Les hausses des températures avec des extrêmes plus fréquents ont également des conséquences sur les animaux au pâturage. Il est notamment connu que l'exposition des ovins à des températures ambiantes importantes peut affecter négativement leur organisme, et par conséquent leur bien-être et leurs fonctions de production et reproduction (Marai *et al.*, 2007 ; Silanikove *et al.*, 2000). Cela impacte la santé animale, avec une plus grande incidence du parasitisme dans les régions où la pluie se fera plus abondante, ainsi que dans les régions dans lesquelles les hivers seront plus doux qu'avant (Croisier et Croisier, 2014).

Pour répondre à ces enjeux, une des pistes étudiées est de procéder à des changements dans les systèmes de production. Nombreux sont les acteurs à souligner l'intérêt du pâturage dans les systèmes d'élevage et le besoin d'optimiser les performances des systèmes fourragers (productivité, qualité, autonomie) (Couturier et al., 2016). L'allongement de la durée de pâturage, vers des périodes de moindre production fourragère, sur prairies ou sur parcours, est une des clés d'adaptation. Il permet des économies importantes en fourrages stockés et en concentrés sans dégrader les performances des animaux (Pottier et al. 2001). La diminution de l'exposition aux radiations solaires des animaux au pâturage par la fourniture d'abris est une solution pour réduire le stress thermique des animaux (Silanikove et al., 2000).

L'agroforesterie caractérisée par la culture simultanée ou séquentielle d'arbres d'une part, et de cultures ou d'animaux d'autre part, en vue d'en retirer des bénéfices techniques, environnementaux ou / et économiques, peut être en mesure d'apporter une réponse à certaines de ces problématiques. Les systèmes agroforestiers sont reconnus depuis quelques années dans le cadre de l'atténuation du changement climatique, notamment en climat tropical (accords de Kyoto par exemple). L'importance de ces systèmes sur le volet adaptation en climat tempéré est en revanche moins étudiée. Pourtant, l'implantation d'arbres en prairie peut avoir une influence considérable en modérant la température de l'air et du sol, en accroissant l'humidité relative (Lal et Cummings, 1979) et d'autre part, en limitant l'évapotranspiration (Dupraz et al., 2012). Ces effets bénéfiques à la croissance des cultures sont mis à profit dans de nombreux systèmes d'agroforesterie (Weber et Hoskins. 1983; Vergara et Briones 1987). En plus de la ressource fourragère disponible sous les arbres, le feuillage et les fruits des arbres constituent une ressource non négligeable pour l'élevage : elle permet de combler une pénurie de fourrage sur l'exploitation en cas de sècheresse, de sécuriser le système (Gautier et al., 2011) et d'étaler l'offre fourragère dans l'année (Balandier, 2004 ; Agreil et Greff 2008). Enfin, la qualité fourragère en minéraux et oligo-éléments des feuilles ou fruits des arbres pourrait en faire d'excellents aliments, notamment pour les animaux en lactation, notamment à des périodes de faibles ressources herbacées (Bertrand, 1997 ; Liagre, 2006). L'arbre serait un réel élément de soutien et d'adaptation au changement climatique, en période estivale, mais également en période hivernale en assurant un rôle de protection des animaux vis-à-vis des intempéries.

Sur le terrain, les professionnels du domaine font état d'un engouement des agriculteurs. Un sondage effectué dans le cadre du projet européen SAFE auprès de 300 céréaliers répartis entre sept pays européens a montré que 48% d'entre eux étaient motivés pour essayer l'agroforesterie au moins sur une parcelle (Dupraz & Capillon, 2006). En Union Européenne, en 2005, déjà un million d'hectares d'agroforesterie moderne étaient plantés sans compter les 15 000 ha d'agroforesterie traditionnelle (à base de noyers, oliviers, chênes) et les 170 000 ha de près vergers (Dupraz & Capillon, 2006). En 2008, à l'occasion d'un projet de recherche et développement soutenu financièrement par le ministère de l'agriculture (CASDAR Agroforesterie), 80 parcelles de démonstration reparties dans une vingtaine de départements ont été installées (Chambre agri., 2010). Une fédération européenne (EURAF) a aussi été créée pour coordonner les initiatives pour le développement de l'agroforesterie (Mosquera-Losada et al., 2012). Depuis la réforme des réglementations engagée en 2001, le nombre de projets récents progresse et leur surface dépasse les 10 000 ha en 2012 (Liagre et al. 2012). Cette augmentation pose la question de l'accompagnement sur le terrain et soulève surtout de nouvelles questions de recherche, notamment dans une perspective de prise en compte grandissante de l'agroécologie.

Une synthèse sur la multifonctionnalité de l'arbre à l'échelle de plusieurs territoires a été menée dans le cadre du projet CasDAR ARBELE (Fages & Mignot, 2015). Bien que s'appuyant majoritairement sur des exemples d'agroforesterie sur forme de haie/bocage cette étude relève que pour les agriculteurs les atouts principaux des arbres sont leur contribution au bien-être animal, à la biodiversité et au paysage. Les freins majeurs sont liés à la surcharge de travail et aux coûts d'entretien engendrés mais aussi à des problèmes inhérents au statut foncier des parcelles. Cette étude soulève une perte de la culture de l'arbre chez les agriculteurs. Pour retrouver ces savoir-faire il est important que les tissus d'acteurs se structurent afin d'offrir des références techniques, des outils (CUMA) et des débouchés aux agriculteurs. Le bois énergie reste un des modes de valorisation préférentiel. Mais des freins juridiques, notamment le code des marchés publiques, tendent à limiter le rôle des collectivités territoriales dans la structuration des filières. D'autres modes de valorisation comme la litière en copeaux de bois émergent aujourd'hui dans différents territoires.

L'ensemble de ces constats pousse à souligner la nécessité de mieux comprendre les interactions entre les arbres, l'herbe et les animaux dans les systèmes d'élevage. Cela permettrait une optimisation des itinéraires techniques pour les agriculteurs, et une meilleure prise en compte de l'agroforesterie par les instances politiques comme solution potentielle pour l'adaptation des systèmes d'élevage au changement climatique. C'est à cette finalité que s'est attaché le projet PARASOL. En réunissant un partenariat de scientifiques de disciplines diverses et complémentaires (spécialistes du comportement et du bien-être animal, des systèmes d'élevage ovins, des arbres, des prairies et des fourrages), le projet visait à : i) Faire un état des lieux de quelques pratiques agroforestières ; ii) Comprendre l'impact de l'arbre sur l'ambiance microclimatique des parcelles, élément indispensable au bien-être des animaux et impactant la flore prairiale, iii) Etudier l'impact potentiel de l'agroforesterie sur la production de ressources fourragères (prairiales et arborées), iv) Tirer des pistes de réflexion pour une meilleure intégration du potentiel des arbres dans les systèmes agroforestiers et en estimer les performances technico-économiques.

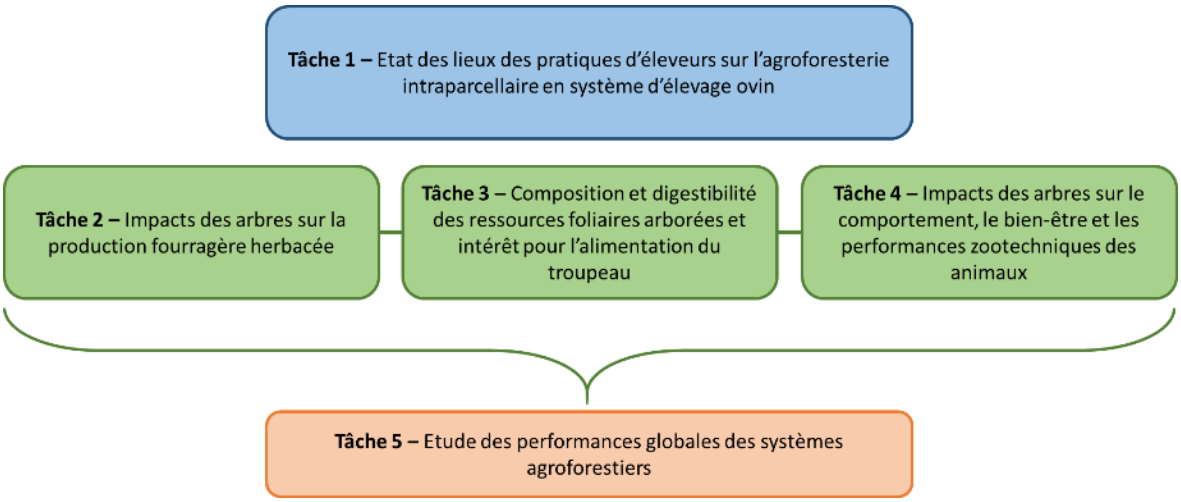

Figure 1- Diagramme des différentes tâches du projet PARASOL – la tâche 6 sur la « communication » ainsi que l'étude complémentaire sur le microclimat ne sont pas représentées.

Figure 2 – Merisiers de la parcelle de Lamartine à Saint Genès Champanelle, Puy de Dôme (crédit photo : AGROOF SCOP)

2. ETAT DES LIEUX DES PRATIQUES : La place l'agroforesterie dans les élevages ovins.

Etude menée dans le cadre de l'action 1 du projet PARASOL. Elle a été réalisée sous la responsabilité de Camille Béral (AGROOF SCOP) avec l'appui d'Antoine Marin (AGROOF SCOP) et de Matthias Thiery, stagiaire de 6 mois à AGROOF SCOP en 2015.

Auteurs: Camille Béral (AGROOF SCOP), Matthias Thiery (AGROOF SCOP).

Contributeurs : Tous les partenaires du projet PARASOL

2.1. Objectifs

L'agroforesterie peut présenter des atouts pour lutter à l'échelle locale contre le changement climatique, notamment par l'influence des arbres sur le microclimat via leur ombre, et donc sur la température, la rétention d'eau, la diminution de l'évapotranspiration, ou encore un confort accru des animaux.

Cependant, étant donné le peu de données disponibles sur l'agroforesterie en élevage ovin en France, il est important de procéder à un état des lieux des pratiques des éleveurs dans ces systèmes. Plusieurs objectifs ont été poursuivis dans le cadre de cette étude :

- Comprendre la manière dont les éleveurs ayant des arbres en agroforesterie intraparcellaire les ont intégrés à leur système d'exploitation.
- Comprendre la place qu'ils accordent aux arbres par rapport au changement climatique, et leur rôle potentiel pour l'adaptation de leur système au changement climatique.
- Identifier les perspectives de recherche en agroforesterie.

2.2. Méthodologie

2.2.1. Zone d'étude et échantillonnage

La zone d'étude comprend quatre grandes régions : les Hauts de France, Normandie, Auvergne Rhône Alpes, et Occitanie (Figure 3).

Elles correspondent aux régions dans lesquelles l'IRSTEA, l'INRA, le Parc Naturel Régional du Cap et Marais d'Opale et le CRPF Languedoc-Roussillon ont subventionné la mise en place de parcelles expérimentales d'essences forestières dans les années 1985 à 1995. A ces parcelles s'ajoutent de nombreux arboriculteurs ayant développé l'élevage de moutons sous les vergers de fruitiers.

Ces régions ont l'avantage de représenter une certaine diversité des zones agroécologiques françaises.

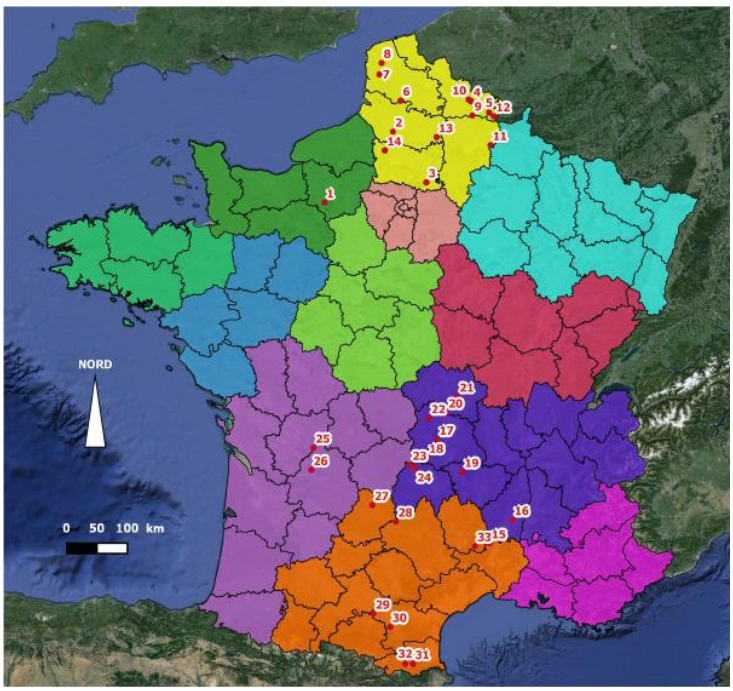

Figure 3- Carte des localisations des entretiens réalisés dans le cadre de l'étude

Les coordonnées de nombreux éleveurs contactés provenaient des réseaux de parcelles expérimentales agroforestières mis en place par l'INRA, l'IRSTEA, le PNR Cap et Marais d'Opale, le CRPF. Des coordonnées supplémentaires ont été fournies par les partenaires du projet PARASOL (IDELE, INRA de Lusignan et Clermont-Ferrand, Institut Lasalle-Beauvais).

La liste d'agriculteurs établie comptait 59 agriculteurs, dont 32 agriculteurs ont été enquêtés. Ils représentent donc un peu moins de 1 / 1000 des exploitations françaises en ovin.

2.2.2. Méthode d'enquête

Pour cette étude, un questionnaire semi-directif a été construit et appliqué. Le but était d'avoir un guide d'entretien aussi structuré que possible, tout en permettant la tenue de conversations et d'explications additionnelles sans lesquelles beaucoup d'éléments du questionnaire auraient été incompréhensibles (notamment sur la place de l'arbre au sein du système d'élevage et la perception des éleveurs du changement climatique). Du fait de l'éclatement géographique des agriculteurs (du Nord au Sud de la France), des réunions de groupe n'étaient pas envisageables.

Le processus de description du système agroforestier en ovin et de la place de l'arbre intraparcellaire au sein du système s'est composé des parties suivantes :

- Présentation de l'exploitation et analyse de son fonctionnement global : Productions, parcellaire, orientation technico-économique, équipements, gestion du troupeau (alimentation, reproduction, commercialisation), etc.
- Présentation du dispositif agroforesterie et retours d'expériences : essences, espacements, productions arborées, motivations, craintes, technicité, entretien, etc.
- Discussion sur les impacts observés des arbres à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation : avantages, contraintes, interaction arbres/animal/prairie, productivité, etc.
- Discussion sur leur perception du changement climatique et leurs stratégies pour y faire face.
- Visite de l'exploitation, observation de l'état des parcelles et des arbres, recueil de données pédoclimatiques, etc.

2.3. Résultats du travail d'enquêtes

2.3.1. La conduite des ovins sous fruitiers

Figure 4 - brebis Texel sous un pré-verger de pommiers haute-tige en Normandie (crédit photo : M. THIERY)

Parmi les 32 éleveurs rencontrés, 16 possédaient des systèmes agroforestiers mêlant arboriculture et élevage d'ovins. Les fruitiers étaient principalement destinés à produire des pommes (Figure 4) et dans une moindre mesure des poires et des prunes (dans le Nord), ainsi que des noix et châtaignes (dans le Sud). La plupart étaient arboriculteurs avant d'intégrer l'élevage ovin sous les arbres.

2.3.1.1. Quelles sont leurs motivations ?

Leurs principales motivations (Figure 5) pour intégrer les troupeaux d'ovins dans les vergers, étaient l'intensification du système**, par la double production de fruits et de viande / lait**, ainsi que le souhait d'économiser de l'argent en laissant les moutons entretenir l'herbe des parcelles. Ensuite, venaient les motivations d'ordre technique et agronomique :

- La valorisation de l'herbe des vergers, qui passe d'une gêne à une ressource. Cette herbe est d'autant plus facilement valorisable que les vergers sont conduits en haute-tige. D'une part les animaux circulent plus facilement, et d'autre part, la densité d'arbres en haute tige est beaucoup moins importante qu'en basse tige (haute-tige = 100 à 200 arbres/ha ; basse-tige = 1000 arbres/ha).
- En production de pommiers, les arboriculteurs/éleveurs rapportent qu'ils ne sont plus obligés d'enlever les feuilles pour éviter la tavelure, puisque les moutons les piétinent et accélèrent leur décomposition. Ceci contrebalance, pour eux, les limites d'usage du cuivre.
- Un agriculteur a observé que l'incidence de la cochenille avait diminué depuis l'introduction des moutons sur la parcelle, ce qu'il lie au fait que les moutons se frottent sur les arbres.
- Finalement, les arbres, par leurs racines profondes, ramènent à la surface de la matière organique et des nutriments. Leurs racines fonctionnent de plus comme un filet qui aide à limiter la perte d'engrais, notamment d'azote.

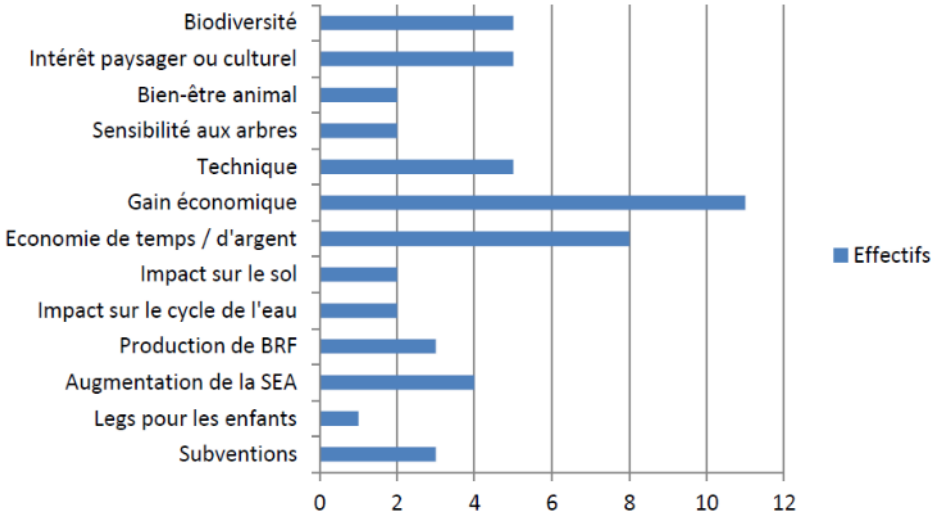

Figure 5 – Nombre d'occurrences des principales motivations des agriculteurs pratiquant le pré-verger (Thiery, 2015).

Enfin, d'autres avantages à l'association des fruitiers et de l'élevage ont été mentionnés tels que l'intérêt pour la biodiversité, ou encore un intérêt paysager et / ou culturel. L'impact sur bien-être animal a curieusement été peu cité spontanément, mais la plupart des arboriculteurs ont observé que les moutons se servaient souvent des arbres comme abri, soit du vent et de la pluie, soit du soleil, et gagnaient donc en confort.

2.3.1.2. Quelles contraintes rencontrent-ils du fait de cette association ?

Pour ces arboriculteurs introduire un élevage dans leurs vergers s'accompagne de **contraintes structurelles** telles que la nécessité de faire clôturer les parcelles, et de fournir un abri pour les ovins (soit une bergerie, soit un abri plus simple comme une serre pour les troupeaux passant toute l'année dehors).

En ce qui concerne les contraintes dans la gestion de la parcelle et du troupeau :

- Il est nécessaire de faire attention à la quantité de fruits pourris que les moutons mangent au sol, qui peuvent nuire à leur santé.

- Les animaux abroutissent les branches des arbres de basse-tiges, ainsi que des arbres de mi-tiges et haute-tige si les fruits font pendre les branches assez basses.
- Les animaux peuvent dans certains cas abîmer l'écorce des arbres. Il a été plusieurs fois rapporté que les moutons font ça pour obtenir des minéraux, et que s'ils n'en manquent pas, ils n'attaquent pas l'écorce des arbres adultes.
- La récolte des fruits nécessite d'enlever les animaux un mois avant si les fruits sont récoltés au sol, pour éviter les salissures dues aux déjections, il faut donc prévoir une parcelle libre où les mettre.

Autre contrainte importante, il est important de raisonner l'usage de produits phytosanitaires qui peut, dans certaines conditions, représenter un danger pour les animaux. Plusieurs agriculteurs ont rapporté que le cuivre, par exemple, ne pouvait être utilisé à dose supérieure à 1,5 kg / ha / an. Un délai entre la date de traitement et la mise au pâturage doit également être respecté (3 semaines environ). Tous les produits n'ont pas les mêmes contraintes : des agriculteurs qui utilisaient du souffre ou des huiles essentielles ont rapporté qu'ils ne rencontraient pas de contraintes spéciales.

Enfin, en ce qui concerne les arbres et la prairie, les arbres peuvent gêner au niveau de l'utilisation de matériel mécanisé si l'espacement et la hauteur ne sont pas suffisants. Les arbres peuvent également gêner la pousse de l'herbe ; ce dernier problème augmente avec la densité d'arbres. Les feuilles peuvent également poser un problème avec certaines essences : les planteurs de noyers et châtaigniers ont rapporté qu'il était nécessaire d'écarter les feuilles, en les broyant ou en en faisant des balles, qui sont compostées ou brûlées. Les moutons n'aiment apparemment pas les feuilles d'arbres tombées à l'automne, elles ne peuvent donc être considérées comme un aliment.

2.3.2. La conduite du pâturage ovins sous arbres forestiers

2.3.2.1. Qui sont-ils ?

Les systèmes rencontrés étaient principalement des exploitations comprenant une grande partie de pâturage, qui comptait une ou quelques parcelles plantées en agroforesterie, souvent de petite taille (1 ou 2 ha), et parfois de plus grande taille (7 ha, 10 ha…). Une seule exploitation avait plus de la moitié du parcellaire plantée d'arbres en agroforesterie, et 2 exploitations étaient originellement en densités forestières, et étaient en conversion vers des espacements plus larges, l'agneau se valorisant mieux que le bois d'éclaircie.

Il est important ici de préciser que l'ensemble de ces éleveurs se sont lancés en agroforesterie intraparcellaire dans les années 1990-1995 dans le cadre d'une expérimentation en réseau menée par l'IRSTEA et l'INRA (Sud et Massif Central), ainsi que le PNR des Caps et Marais d'Opale (Nord). A cette époque, les chercheurs étaient à la recherche de propriétaires fonciers/éleveurs acceptant de mettre à disposition une de leur parcelle pour expérimenter la plantation d'arbres d'origine forestière en prairie et ainsi étudier leur développement. L'approche était très sylvicole : plusieurs essences, densités et protection d'arbres ont été testées. La plupart des éleveurs/propriétaires fonciers qui ont accepté n'ont pas été impliqués dans le montage technique du projet, les besoins expérimentaux étant alors prioritaires. En ce qui concerne le choix des modalités expérimentales aucune concertation n'a eu lieu entre la structure de recherche et les agriculteurs/propriétaires mais les agriculteurs/propriétaires avaient clairement identifié le caractère expérimental en raison du contexte dans lequel le projet s'est mis en place « *On a répondu à un appel à candidatures de l'INRA pour expérimenter l'agroforesterie sur une parcelle pâturée* » ; « *le CEMAGREF cherchait des éleveurs pour tester l'agroforesterie* ». Les modalités testées étaient principalement une diversité d'essences forestières (95%) et les densités de plantation (15%) et de manière plus ponctuelle les protections ou la conduite des arbres.

Figure 6 – Photographies de deux parcelles dans le Pas de Calais (Gauche) et dans l'Aude (Droite) (crédit photo : AGROOF SCOP)

Pour les agriculteurs c'était une opportunité de se lancer dans une pratique innovante, en étant financés et accompagnés. Ils n'avaient aucune connaissance préalable de la pratique et se sont entièrement basés sur la structure accompagnante dans le montage de leur projet.

D'autres motivations assez variées ont également joué : capitalisation (32%), bien-être animal (37%), intérêt paysager ou culturel (7%), biodiversité ou encore pour stabiliser le sol et limiter l'érosion (7%). Certains ont planté des arbres afin d'augmenter la production totale à l'échelle de la parcelle, pour utiliser les arbres comme arbres fourragers, comme legs pour les enfants, ou enfin comme moyen d'augmenter la matière organique des sols.

2.3.2.2. Quels avantages voient-ils à cette pratique ?

Certains éleveurs ont observé une plus grande pousse de l'herbe sous les arbres en période de chaleur ou sécheresse, ainsi que le fait que la prairie séchait moins que les prairies sans arbres. Ensuite, les ovins passent beaucoup de temps sous les arbres, ce qui permet aux éleveurs de laisser les moutons dehors en saison chaude, ou en saison venteuse ou pluvieuse. Certains éleveurs y voyaient une augmentation de la biodiversité (oiseaux utiles, insectes, etc…). Enfin, à l'échelle de la parcelle, les arbres peuvent apporter un revenu supplémentaire.

Du point de vue des forestiers, les moutons valorisent une ressource qui ne serait pas valorisée autrement dans les plantations, ce qui facilite la circulation et l'entretien, ainsi que la croissance des arbres (en supprimant la végétation concurrente). La faible densité d'arbres est, elle, compensée par le fait que la production d'agneaux apporte un revenu plus régulier et plus important que la valorisation des coupes d'éclaircie. De plus, les arbres à essences forestières requièrent peu de temps d'entretien par an.

2.3.2.3. Quelles contraintes voient-ils à cette pratique ?

Les arbres doivent être protégés individuellement pour protéger des ovins. Dans la très grande majorité des parcelles, ces protections avaient été fournies par l'organisme de recherche et faisaient souvent l'objet d'un test. Plusieurs éleveurs rapportent que le manchon fourni était supposé se dégrader tout seul, mais dans les faits ce n'était pas le cas. Ainsi, par méconnaissance et par manque d'implication des éleveurs dans les aspects techniques liés aux arbres, très peu de protection ont été entretenues (changées si nécessaires, ou retirées quand devenues gênantes pour la croissance de l'arbre), ce qui a pu blesser et abimer nombre d'arbres.

La mécanisation peut ensuite être un problème dans les plantations à espacements serrés. Les agriculteurs recommandent un espacement d'au moins 10 à 12 mètres entre les arbres. Certains éleveurs ont rapporté, qu'en dessous de ces espacements, une diminution de productivité de l'herbe pouvait être constatée.

Enfin, l'élagage doit être réalisé si l'agriculteur souhaite faire du bois d'œuvre. Les agriculteurs ont rapporté que cela prenait entre 3 et 5 minutes par arbre en fonction de l'équipement.

2.3.3. Perception du changement climatique par les agriculteurs

Le changement climatique est une réalité chez les agriculteurs enquêtés : tous ont rapporté observer des effets inhabituels en ce qui concerne le climat. Chez la plupart des agriculteurs (21/32), ce changement prend la forme d'une accentuation des sécheresses et épisodes de chaleur, et pour la moitié des éleveurs (16/32), la météo devient de plus en plus aléatoire, avec des alternances inhabituelles pour les saisons de périodes de soleil et de pluie. Pour 15/32 éleveurs, ce changement a un impact sur la productivité herbagère, soit à cause des sécheresses, soit à cause de l'absence de regain dans des régions où il y en avait auparavant. Tout ceci a donc un impact sur la capacité des éleveurs à faire des stocks de foin. Seuls 4 agriculteurs sur les 32 ont rapporté avoir observé un changement positif à leur échelle.

Pour ce qui est des stratégies d'adaptation, il s'avère que les agriculteurs avaient peu de moyens à leur disposition : la stratégie la plus utilisée en cas de manque de fourrage à cause des sécheresses était l'achat de foin à l'extérieur (13/32), suivie du déstockage des foins d'hiver (7/32). Ceci montre bien la nécessité de développer d'autres stratégies plus économiques pour les agriculteurs. Seuls 3/32 agriculteurs utilisaient l'arbre fourrager comme stratégie lors des périodes de manque de fourrage.

En ce qui concerne l'arbre fourrager, 3 méthodes ont été observées : la première, pratiquée par un éleveur dans l'Aude, consistait à donner à manger aux animaux les résidus d'élagage des arbres en août. Selon l'éleveur, l'intérêt n'est pas dans la quantité ainsi fournie aux animaux, mais dans la diversité de l'alimentation : cet apport bienvenu lui permet de donner un foin de mauvaise qualité en plus pour compléter la ration alimentaire : de la paille de pois avec de l'ammoniac.

La deuxième méthode, au Domaine Olivier de Serre au Pradel, en Ardèche, était un champ de mûriers conduits en têtards, à 50 cm du sol. Les arbres sont plantés en 1x3m, et sont pâturés directement par les animaux, en avril et en juillet-août (le mûrier fait deux fois des feuilles dans l'année. Cet aliment riche permet à l'éleveur de faire un « flushing » sur les brebis, ce qui augmente la productivité numérique.

Enfin, dernière méthode, dans le village de St Martin de Lansuscle en Lozère, encore une fois avec des mûriers. L'éleveur a conduit des mûriers en têtards entre 1,5 et 1,8 m de haut, assez bas pour être étêtés sans échelle, et prélève en saison sèche les branches de 3 mûriers. Selon lui, les branches de 3 arbres sont suffisantes pour apporter la moitié de la ration alimentaire journalière à 120 brebis Blanche du Massif Central en période de basse consommation.

Dans le premier cas, la production de bois d'œuvre est possible, mais pas dans les deux derniers, du fait de la conduite en têtard.

2.4. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action

***Thiery Matthias, 2015**. Le rôle de l'arbre intraparcellaire au sein des systèmes d'élevage ovins en France, et son utilisation comme potentielle stratégie d'adaptation au changement climatique. Rapport de stage, présenté pour le master Agris Mundus en agronomie, DARS, RESAD, Montpellier SupAgro. 106 pages*

- ✓ Disponible sur le site Internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

3. DESCRIPTION DES PARCELLES SUIVIES

3.1. Présentation du réseau de parcelles

3.1.1. Généralités et localisation

Sur la base des enquêtes présentées dans la partie précédente de ce rapport, nous avons constitué un réseau d'éleveurs/parcelles avec lesquels nous avons travaillé dans le cadre des actions expérimentales du projet. Un ensemble de critères ont été retenus pour la sélection des parcelles :

- Constituer un réseau de parcelles suivant un gradient Nord / Sud à travers la France (Figure 7)
- La présence d'un témoin sans arbres
- Prairies permanentes
- Des parcelles agroforestières de plus de 15 ans
- La présence d'un troupeau ovin significatif faisant l'objet d'une activité économique
- L'intérêt de l'éleveur vis-à-vis du projet
- Les essences d'arbres présentes

Finalement, 13 parcelles ont été sélectionnées et sont présentées dans le Tableau 1.

Figure 7 - Réseau de sites collaborant dans le cadre du projet PARASOL (© Google Earth)

Tableau 1 – Parcelles composant le réseau employé dans le cadre du projet PARASOL (OV = Ovin Viande ; OL = Ovin Lait ; BL = Bovin Lait ; PP = Prairie Permanente)

SITES	Coordonnées GPS	Climat	Altitude (m)	Département	Surfaces	Types d'arbres	Essences	Espacements (m)	Densité (arbres/ha)	Date de plantation	Prairie	Taille troupeau	Type troupeau	T2	T3 BOIS	T3 FOURRAGE	T4
LAMARTINE	N 45°42.964' / E 003°01.652'	Montagnard	768	Puy de Dôme	3 ha	Forestier	Merisiers et érables	1) 8 x 8 2) 8 x 12	1) 150 2) 60	1989	PP Pâturée	350	OV	Oui	Oui	Oui	Oui
BONNEFONT	N 45°16.531' / E 003°28.502'	Continental	479	Haute-Loire	2,2 ha	Forestier	Noyers hybrides	16 x 6	83	1990	PP Pâturée	400	OV	Oui	Oui	Oui	Oui
THEIX	45°42'2.80"N / 3° 1'1.81"E	Montagnard	967	Puy de Dôme	1,5 ha	Forestier	Frênes	14 x 7	102	1991	PP Pâturée		BL	Non	Non	Oui	Non
SAINTE MARGUERITE EN OUCHE	49°00'54.82" N ; 0°40'13.35" E	Océanique	167	Eure	3 ha	Fruitier	Pommiers haute tige	9 x 9	123	1985	PP Pâturée	50	OV	Oui	Oui	Oui	Oui
ZOTEUX	50° 37' 9.080" N 1° 53' 42.468" E	Océanique	155	Pas de Calais	4,19	Forestier	Hêtres ; Erables sycomores	13 x 7	110	1993	PP Pâturée	NR	Bovin	Non	Non	Oui	Non
BRUNEMBERT	50° 42' 32.674" N 1° 52' 55.963" E	Océanique	100	Pas de Calais	1,5 ha	Forestier	Frênes ; Cormiers ; Poiriers ; Erables	12 x 8	104	1996	PP Pâturée	40	BL	Non	Non	Oui	Non
EQUINS SUR BAILLONS	50° 34' 19.268" N 1° 51' 4.324" E	Océanique	72	Pas de Calais	1 ha	Forestier	Erables ; frênes	12 x 15	55	1997	PP Pâturée	6	OV	Non	Oui	Oui	Non
MANTILLY	48°31'53.9"N 0°47'42.5"W	Océanique	177	Orne	1,5 ha	Forestier, fruitiers	Plantation mixte	12 x 10	83	1986 à 2006	PP Pâturée		Bovin	Non	Non	Oui	Non
NIORT LA FONTAINE	48°27'08.0"N 0°34'16.9"W	Océanique	127	Mayenne	1 ha	Fruitier	Pommiers haute tige	12 x 6	139	2001	PP Pâturée		OV	Oui	Oui	Oui	Oui
POMY	N 43°03.610' / E 002°02.837'	Méditerranéen Océanique	472	Aude	3 ha	Forestier	1) Merisiers 2) feuillus mixtes	1) 10 x 10 2) 6 x 6	1) 100 2) 277	1992	PP Pâturée	330	OV	Oui	Oui	Oui	Non
LALOSSE	43° 15' 22.608" N 1° 44' 13.830" E	Méditerranéen Océanique	279	Aude	1,5 ha	Forestier	Noyers communs	11 x 12	76	2003	PP Pâturée	80	OL	Oui	Oui	Oui	Oui
AUBENAS	44°34'47.67" N ; 4°30'03.28" E	Méditerranéen	265	Ardèche	2,6 ha	Fourrager	Mûriers	1 x 3	3333	1990	PP Pâturée	60	OV	Non	Non	Oui	Non
LORE	48°28'57.94"N 0°35'12.96"O	Océanique	117	Orne	1,0 ha	Fruitier	Poiriers ; Pommiers	10 x 10	100	1992	PP Pâturée		BL	Oui	Non	Non	Non
CARSIX	49° 7'58.80"N / 0°39'51.36"E	Océanique	154	Eure	3 ha	Fruitier	Pommiers haute tige	12 x 9	93	1996	PP Pâturée	315	OV	Oui	Oui	Oui	Oui

3.1.2. Limites du réseau

Il fût difficile de réunir l'ensemble des critères sur l'ensemble des sites finalement sélectionnés. Les critères de sélection n'étant pas totalement les mêmes en fonction des tâches du projet, toutes les parcelles n'accueillent pas systématiquement toutes les expérimentations (Tableau 1).

La difficulté à constituer un réseau accueillant l'ensemble des expérimentations du projet s'expliquent notamment par la jeunesse de l'agroforesterie en France et, en résultante, le faible nombre de parcelles expérimentales matures. Dans le cas présent, nous nous sommes principalement reposés sur le réseau de l'INRA, de l'IRSTEA et du PNR des Caps et Marais d'Opale mis en place dans le cadre d'expérimentations sur la croissance et le développement de feuillus en conditions agroforestières. Ce réseau avait été créé dans les années 80 ou 90 et comprend des parcelles de prairies permanentes pâturées par des troupeaux bovins, caprins, ovins et volailles.

Il fut particulièrement difficile de trouver des parcelles ovines dans le Nord de la France qui remplissent tous les autres critères recherchés. La grande majorité associent arbres et élevage bovins. Par ailleurs, aucune de ces parcelles expérimentales n'avaient initialement été conçues avec leur témoin « sans arbres ». Cette difficulté s'explique principalement par le fait que les parcelles du réseau INRA/IRSTEA avaient pour vocation expérimentale principale de comparer les croissances d'une diversité de feuillus plantés à des densités variables. Pour augmenter le panel de parcelles, nous avons également ouvert aux « vieilles » parcelles en pré-vergers intégrant des arbres de haute-tige.

Plus globalement, notre difficulté à trouver des parcelles alliant pertinence expérimentale, ancienneté et intérêt de l'éleveur, a posé la question générale de la démarche de recherche en agroforesterie. En effet, l'étude des systèmes agroforestiers se heurtent principalement à deux difficultés : « leur complexité » en raison de l'hétérogénéité de ces systèmes sur une même parcelle et de leur évolution dans le temps ; « leur diversité » en raison des différentes conditions pédoclimatiques, d'itinéraires techniques et de productions associées.

Dans PARASOL, nous avons tenté de lever ces difficultés de plusieurs manières : en restreignant le sujet à l'agroforesterie avec feuillus précieux sur des prairies permanentes, en choisissant une diversité de contextes pédoclimatiques, et en travaillant sur des parcelles âgées susceptibles de nous révéler l'impact des arbres à leur « maturité ». Comme explicité précédemment, plusieurs compromis ont dû être faits en raison aussi du faible effectif de parcelles âgées avec feuillus précieux. Néanmoins, ce travail a eu pour mérite d'ouvrir la réflexion sur d'autres démarches de recherche possibles.

Aujourd'hui, on compte de plus en plus d'éleveurs qui introduisent les arbres dans leurs prairies : pour des raisons de bien-être animal, mais aussi pour une diversification des productions et l'intérêt fourrager de certaines espèces. Ces initiatives sont d'autant plus intéressantes qu'elles sont totalement portées par les éleveurs, contrairement aux parcelles anciennes du réseau INRA/IRSTEA où l'initiative était principalement aux chercheurs, et où, finalement, les objectifs de l'éleveur n'étaient pas prioritaires face aux objectifs de l'expérimentation. Ces projets agroforestiers, portés par les éleveurs sont parfois encore jeunes sur l'échelle de vie d'un arbre, mais mériteraient d'être recensés à l'échelle nationale et animés pour constituer petit à petit un réseau d'éleveurs expérimentant et pratiquant l'agroforesterie. Cela est d'autant plus vrai qu'à l'échelle locale c'est parfois le cas aussi grâce à des instituts techniques ou des associations qui en assurent l'animation.

Un tel réseau, à l'échelle nationale, pourrait être le moteur d'une recherche participative, alliant chercheurs et éleveurs, autour de thématiques et questionnements partagés. La complexité de ces systèmes en fait d'ailleurs de parfaits candidats pour ce type de recherche dans la mesure où ils démontrent clairement, à la fois, le besoin d'une technicité croissante pour les piloter, mais aussi l'intérêt de croiser les regards et de mutualiser les compétences et les savoirs (plus académiques, plus pragmatiques…). Ce mode de recherche pourrait alors permettre d'appréhender la diversité des systèmes agroforestiers et permettrait de travailler efficacement à l'applicabilité des résultats de la recherche.

Mais qu'entendons-nous par recherches participatives ? Quelles formes peuvent-elles prendre ? Qu'impliquent-elles pour ses acteurs ? Comment sont-elles perçues par la recherche ? Quelles questions spécifiques posent-elles ? Quels outils peuvent être imaginés pour les appuyer ?

Ce sont tant de questions complexes qu'il reste à aborder.

3.2. Présentation de la parcelle principale : Lamartine – INRA Theix

3.2.1.1. Généralités

Le dispositif Lamartine dépend de l'Unité Expérimentale Herbipôle (anciennement l'UERT). Cette unité se situe en Auvergne, à Theix sur la commune de Saint Genès Champanelle (63122) dans le Puy-de-Dôme, coordonnées GPS :45.72°N, 3.018°E, à une altitude d'environ altitude 860m.

Figure 8 – Photographie d'une parcelle de Lamartine à l'INRA de Theix, Saint Genès Champanelle, Puy de Dôme (crédit photo : AGROOF SCOP)

- **Climat :** Montagnard
- **Sols :** Les sols reposent sur des formations alluviales anciennes à sable et galets basaltiques. Ils possèdent une texture limono argileuse.
- **Troupeau :** Le site est pâturé par des brebis. Environ 60 brebis/ha parcourent habituellement les parcelles. Dans le cadre du projet PARASOL, débuté en 2015, les différentes parcelles ont été pâturées chacune par un lot de 10 brebis, en pâturage continu.

Les aménagements agroforestiers du site ont été réalisés en 1989 dans le cadre d'une expérimentation en réseau menée par l'INRA et le CEMAGREF. A l'époque l'objectif était de voir le comportement d'essences d'arbres forestières en plantation agroforestières sur des prairies permanentes. Avant le projet PARASOL, ce site n'avait jamais fait l'objet d'étude sur l'impact des arbres sur les animaux pour la production herbacée.

3.2.1.2. Descriptif des parcelles du site

Figure 9 – Vue aérienne du site de Lamartine (Saint Genès Champanelle, Puy de Dôme) ; en rouge la parcelle de merisiers et d'érables à 60 tiges/ha, en vert la parcelle de merisiers à 150 tiges/ha, en bleu la parcelle témoin adjacente (crédit photo : Google Earth)

Le site de "Lamartine" comporte trois parcelles de surface similaires d'environ 8000 m² et caractérisées par des densités d'arbres adultes (frêne, merisiers et érables) différentes :

- A0 : 1 arbre/ha : La parcelle ne contient qu'un seul arbre, un frêne adulte d'environ 50 ans. Elle a la densité la plus faible ; elle est considérée comme notre témoin, l'arbre a été gardé, i) pour satisfaire les recommandations éthiques et réglementaires sur les conditions d'hébergement à l'extérieur et l'obligation qu'ils disposent d'un abri notamment pour leur bien-être (Code Rural, article R214 – 18) et ii) pour voir comment les animaux allaient l'utiliser pour s'abriter uniquement ou plus largement pour différentes activités et cela en fonction des conditions climatiques rencontrées durant la durée du projet .
- A+ : 60 arbres/ha : Actuellement, cette parcelle a une densité d'arbres de l'ordre de 60 arbres à l'hectares, à la plantation en 1989 elle était de 100 arbres/ha. Les deux espèces présentes sont l'érable sycomore et le merisier. L'espèce la plus présente est le merisier avec les deux tiers des sujets.
- A++ : 150 arbres/ha : Cette parcelle a la densité d'arbres la plus élevée avec environ 150 arbres /ha actuellement, la densité de plantation était de l'ordre de 200 arbres/ha en 1989. Il n'y a qu'une seule espèce d'arbre présente, le merisier.

Une estimation de la surface couverte par les houppiers sur chaque parcelle a été faite grâce à des tracés GPS. L'objectif de cette estimation était de pouvoir évaluer la proportion de surface de chaque parcelle couverte par le houppier des arbres afin de pouvoir interpréter le comportement de l'animal et son utilisation de l'arbre, en termes de proportion de son temps passé à l'ombre par exemple. Les données sont présentées dans le Tableau 2.

Tableau 2 - Surfaces des parcelles et proportions couvertes par les houppiers

Parcelle	Somme aire Houppier (m²)	Aire parcelle (m²) - GPS + IGNMap	% couvert
A0	73.75	7959	0.9
A+	3341	8046	41.5
A++	6809	8485	80.2

Nous pouvons ainsi retenir que la surface couverte par les arbres est approximativement de 0.9%, 41% et 80% pour les traitements A0, A+ et A++, respectivement.

Figure 10 – Enregistreurs température/humidité Voltcraft © placés sous son abri (crédit photo : AGROOF SCOP)

4. MICROCLIMAT : Impacts des arbres sur l'ambiance microclimatique des parcelles agroforestières.

Etude menée en complément de l'ensemble des tâches du projet PARASOL. Elle a été réalisée sous la responsabilité de Camille Béral (AGROOF SCOP).

Auteur : Camille Béral (AGROOF SCOP)

Contributeurs : Éric Pottier & Jean-Christophe Moreau (IDELE), Guillaume Sabourin (stagiaire AGROOF SCOP), Arthur Rocher (stagiaire AGROOF SCOP), Thibault Berne (stagiaire IDELE), Vincent Lefevre (stagiaire IDELE), Jean Baptiste De Solère (stagiaire IDELE), Ambroise Martin-Chave (AGROOF SCOP).

Principaux résultats

- Les arbres tamponnent les extremums climatiques à l'échelle d'une journée.
  - Cet effet tampon est d'autant plus important en période caniculaire avec des différences entre parcelle agroforestière et parcelle témoin pouvant varier de 3°C à 6°C à la période la plus chaude de la journée (14h).
  - La nuit l'effet tampon a également été mis en évidence. La modalité témoin se refroidit plus que les modalités agroforestières.

- La densité et la gestion des houppiers sont des leviers pour piloter l'ombrage des arbres et impacter les conditions microclimatiques.

- Ces modifications microclimatiques ont un impact significatif sur le niveau de stress thermique des animaux au pâturage, et donc leur bien-être

4.1. Introduction

Les arbres agroforestiers altèrent le climat général d'une parcelle et créent un microclimat localisé (Benavides et al., 2009 ; Guevara-Escobar et al., 2007). L'intensité de cette altération va dépendre de nombreux facteurs comme : le type de feuillage (persistant versus caduque), la densité, l'architecture des arbres (hauteur, nombre de branches, hauteur de bille, taille, etc.), l'âge des arbres, le relief de la parcelle et l'exposition aux vents (Benavides et al., 2009). En contexte de changement climatique, où les extremums climatiques sont de plus en plus intenses et fréquents, le microclimat ressort comme un paramètre important à appréhender et à piloter pour favoriser l'adaptation des systèmes d'élevage.

Les arbres interceptent une partie du rayonnement lumineux arrivant au sol de manière plus ou moins importante, en fonction de la période de l'année (évolution de l'angle zénithal du soleil) et du type de feuillage (persistants versus caduques) (Peri et al., 2007 et Benavides et al., 2009). L'interception de la lumière se fait de manière hétérogène sur une parcelle : dans l'Hémisphère nord, l'interception de la lumière est plus forte au nord. Plus on s'éloigne des arbres, plus cette interception est diminuée (Benavides et al., 2009). Autre paramètre important, la présence d'arbres influence la vitesse des vents (Monteith et al., 1991). A titre d'exemple, dans les systèmes sylvopastoraux à faux hêtres (Nothofagus) en Patagonie la vitesse du vent peut être réduite de 80% par rapport aux systèmes ouverts (Peri et al., 2016). Néanmoins la dynamique du vent est complexe à appréhender et des variations dans la nature du couvert ou encore les formes d'élagage peuvent conduire à une accélération du vent (effet Venturi) (Dupraz & Liagre, 2008).

En interceptant une partie des radiations émises par le soleil, mais aussi en modifiant la dynamique des vents, la présence de l'arbre joue sur les températures de l'air et du sol en comparaison d'une surface non arborée. Sous couvert arboré les sols semblent se réchauffer plus vite en début de saison (Monteith et al., 1991) pour aboutir sur un climat plus frais lors des saisons chaudes (Guevra-Escobar et al., 1997). Les températures de sols sous une plantation agroforestière de peupliers (37,2 tiges/ha et 16m de haut en moyenne) sont généralement plus basses qu'en zone ouverte, de -3.3 à -0.6 °C (Guevara-Escobar 1997). A l'échelle journalière également, Percival et al., 1984 ont montré, sous *Pinus radiata de 11 ans à 200 tiges/ha*, que la température était plus chaude la nuit et plus froide durant la journée que sans couvert arboré.

Le couvert arboré intercepte également une partie des précipitations atteignant la strate de végétation au sol. Benavides et al. (2009) rapportent que dans les systèmes sylvopastoraux de Nouvelle Zélande cette interception peut varier entre 6 et 34 % en fonction des densités, des âges des peuplements, en comparaison d'une pâture sans arbres. L'évapotranspiration de l'ensemble système est plus élevée que dans les pâturages ouverts principalement en raison de celle portée par les arbres. Cependant, conjointement avec la réduction du vent, en conditions sèches, cela permet de réduire l'évapotranspiration du couvert au sol en augmentant l'humidité de l'air (Guevara Escobar et al., 1998 ; Dupraz & Liagre, 2008 ; Peri et al., 2016). Il existe en effet une relation linéaire entre la vitesse du vent et l'évapotranspiration (Stigter et al., 2002 ; Kainkwa & Stigter, 2000).

La plupart de ces références ont été obtenues en Nouvelle Zélande ou sont tirées d'études menées en foresterie. Très peu d'études se sont focalisées sur le microclimat créé par des arbres intraparcellaires plantés sur prairie à de relatives faibles densités (50 à 130 arbres par hectare). Dans PARASOL, pour mieux interpréter le comportement de la végétation herbacée et des animaux dans un contexte agroforestier, nous nous sommes intéressés aux conditions microclimatiques de la majorité des parcelles étudiées.

L'impact sur la végétation herbacée sera traité au chapitre 5 de ce document. Nous traiterons ici également, en guise de réflexion, de l'impact des conditions microclimatiques sur les stress thermiques théoriques ressentis par les animaux d'élevage au pâturage. En effet, la température et l'humidité de l'air exercent une influence directe sur le bien-être des animaux et leurs performances. Le stress thermique est un des facteurs limitants de la production laitière en climats chauds (méditerranéens principalement) (Johnson et al., 1962). C'est d'autant plus le cas dans les élevages semi-extensifs lorsque les animaux sont en pâturage à l'extérieur et que la température est alors un paramètre difficile à contrôler. Bien qu'ils aient développés des mécanismes de thermorégulation, les ruminants ne maintiennent pas une stricte homéothermie en conditions de stress thermique. Il est aujourd'hui bien connu, qu'un stress thermique se traduit par des réactions physiologiques (transpiration, halètement), hormonal (production de cortisol, activité de la glande thyroïdienne) et comportementale impactant à la fois le bien-être des ruminants, mais également leur productivité (baisse de la consommation en fourrage, baisse de la production laitière et altération de la qualité du lait (West, 2003 ; Silanikove, 2000 ;

Finocchiaro et al., 2005). La sensibilité aux stress thermiques dépend du type de ruminants, les bovins apparaissant plus sensibles que les ovins, et de la catégorie productive (Silanikove, 2000). Dans l'Hémisphère nord, les stress thermiques les plus importants pour les ruminants d'élevage extensifs ou semi-extensifs sont attendus en juillet et août, car les températures restent élevées la nuit et réduisent la capacité des animaux à dissiper le gain de chaleur accumulé pendant la journée. Quelques études se sont penchées sur l'étude du stress thermique des animaux par mesures de leur températures annales, fréquence de respiration, traits physiologiques, etc. (Srikandakumar et al., 2003 ; Lowe et al., 2001), mais ces mesures sont coûteuses et difficilement mises en œuvre. Le THI (Temperature Humidity Index) est un indicateur couramment utilisé pour évaluer le stress thermique des animaux car il est facile à appréhender et ne se base que sur les données de températures et humidité relative ambiantes.

4.2. Objectifs

Nos objectifs pour cette étude étaient les suivants :

- Caractériser les conditions microclimatiques de l'ensemble des parcelles étudiées dans le cadre du projet.
- Appréhender, en guise de réflexion, l'impact sur le stress animal en calculant sur nos parcelles les THI des mois d'été.

4.3. Matériels et méthodes

Deux types de mesures ont été réalisés :

4.3.1. Ouverture de canopée / Ombrage

L'ouverture de canopée a été mesurée sur chacune des parcelles à l'aide d'un appareil photo hémisphérique (360°). Elles ont été prises à 1m du sol à différents emplacements :

- 5 photos ont été prises en prairies témoin
- 6 photos ont été prises en prairie agroforestière à plusieurs distances d'un arbre : 1m au Nord, 1m au Sud, D/4 au Nord, D/4 au Sud, D/2 au Nord, D/2 au Sud (en considérant D comme la distance entre deux arbres). Cela a été répété 3 fois (autour de 3 arbres différents mais d'envergure similaire).

Les photos n'ont été réalisées qu'en plein été en 2016 ou 2017, lorsque les arbres sont en pleine feuille. Nous avons ainsi ciblé la période de fermeture de canopée maximale.

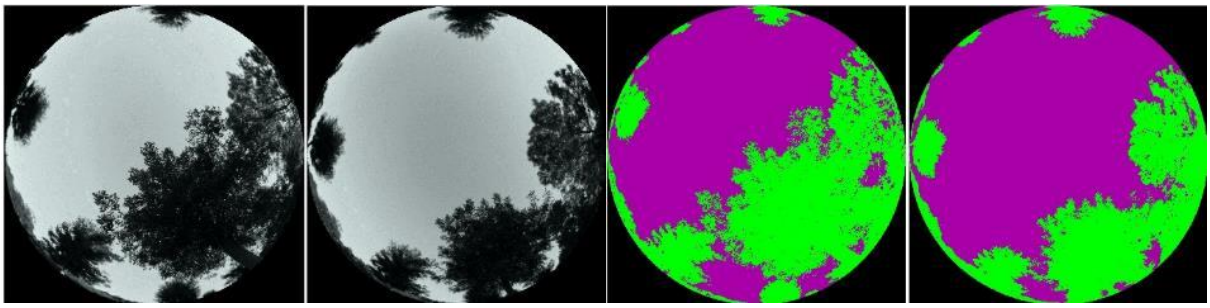

Figure 11 – Exemple de deux photos hémisphériques réalisées sur la parcelle de La Vigérale à l'INRA de Theix, avant (deux photos de gauche) et après (deux photos de droite) traitement sous CANEYE ©INRA (crédit photo : AGROOF SCOP).

Les photos obtenues ont ensuite été traitées grâce au logiciel CANEYE (© INRA) (Figure 11). Ce traitement nous permet d'obtenir un indice d'ouverture de canopée exprimé en %.

Une projection de l'ouverture de canopée à l'échelle de la parcelle a été réalisée. Elle s'appuie sur un mécanisme d'attribution d'ouverture de canopée à un hectare, et suivant les espacements entre les

arbres (ceux de la plantation réel). Elles réalisent ainsi une extrapolation du quadrat à un secteur censé être représenté par ce dernier (Figure 12). Il est important donc de noter que ces résultats ne sont issus d'aucune statistique. Ce sont donc uniquement des tendances.

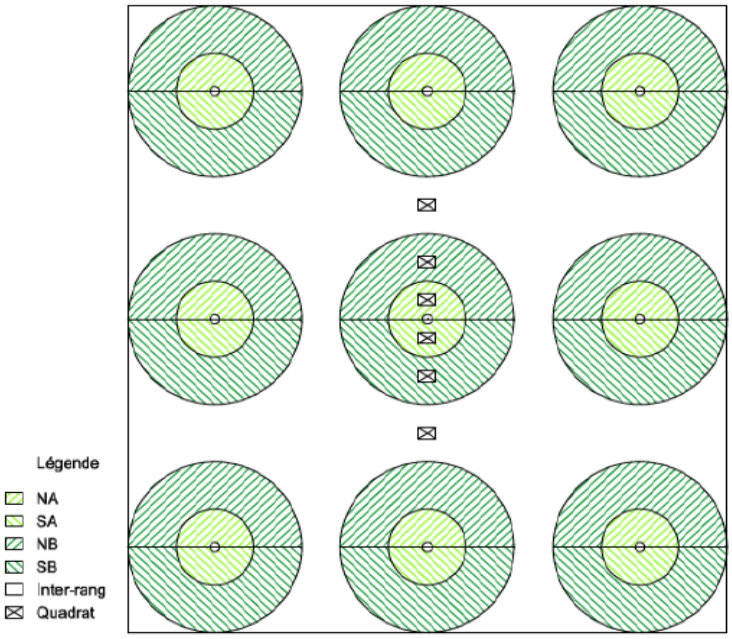

Figure 12 – Schéma pour comprendre l'extrapolation des rendements à l'échelle parcellaire.

4.3.2. Température et humidité relative

Des enregistreurs de température/humidité relative Voltcraft © ont été installés, sur chaque parcelle, à une hauteur de 1 m par rapport au sol. Sur chaque site 1 capteur a été installé dans la zone témoin, 1 autre à proximité du premier quadra Nord d'une zone expérimentale (1 m de l'arbre) et un dernier au milieu de l'inter-rang entre deux arbres.

Les capteurs ont été réglés pour relever les données toutes les 10 minutes sur les 2 années d'expérimentation du projet (2016 et 2017).

Le traitement des données a été effectué sous le logiciel R (version 1.0.136). Les températures moyennes journalières ont été obtenues en utilisant les jours comme réplicas.

4.3.3. Calcul du THI

Pour appréhender le bien-être des animaux, nous avons employé un indicateur de stress thermique : le THI (Temperature Humidity Index). Pour le calculer, nous avons utilisé la formule tirée de Thom 1958, qui se compose des moyennes journalières de température (T) et d'humidité relative (HR) :

$$THI = 1{,}8 * T - (1 - HR) * (T - 14{,}3) + 32$$

Les seuils de stress appliqués sont tirés de Armstrong (1994) :

- < 72 : aucun stress
- 72-78 : stress léger
- 79-89 : stress modéré
- 89 : stress marqué

Le traitement des données a été effectué sous le logiciel R (version 1.0.136). Le calcul du THI a été réalisé à partir des moyennes de températures et d'humidité relative journalière enregistré par chacune des sondes.

4.4. Résultats

4.4.1. Ouverture de canopée en agroforesterie

Sur la plupart des sites suivis, les modalités agroforestières et témoin se distinguent clairement en fonction de l'ouverture de canopée (Tableau 3).

Les zones témoins sont en général totalement ouvertes avec des ouvertures de canopée entre 94 à 99%.

Les modalités agroforestières présentent, quant à elles, des degrés d'ouverture de canopée globales variables en fonction des sites. Cette variabilité est probablement due à l'architecture des arbres (hauteur, circonférence de leur houppier), les essences choisies (houppiers plus ou moins denses) et à l'implantation des arbres (densités et espacements). On peut par exemple remarquer que les parcelles en pré-verger présentent des ouvertures de canopée globales plus importantes que les parcelles d'arbres forestiers, alors que les dates de plantation sont approximativement les mêmes et que les densités peuvent être plus élevées. Ceci est dû au fait que les fruitiers haute tige ont une hauteur totale plus faible (entre 6 et 8m de haut) et que leur ombrage est plus localisé.

Tableau 3 – Pourcentage d'ouverture de canopée moyen en fonction des modalités sur les sites suivis dans le cadre de PARASOL (sd = écart type)

			Agroforesterie							Témoin	
			1m de l'arbre		Quart de l'inter-rang		Milieu d'inter-rang		Projection parcelle		
SITES	DENSITE	TYPE D'ARBRES	Moyenne	*Ecart -type*	Moyenne	*Ecart -type*	Moyenne	*Ecart -type*		Moyenne	*Ecart-type*
THEIX	102	Forestiers - hauts jets	18%	*6%*	19%	*7%*	38%	*3%*	30%	94%	*0,50%*
THEIX	103	Forestiers - têtards	53%	*7%*	73%	*7%*	80%	*5%*	75%		
POMY	100	Forestiers	34%	*6%*	42%	*5%*	54%	*7%*	51%	99%	*0,00%*
BONNEFONT	83	Forestiers	14%	*5%*	46%	*1%*	78%	*7%*	61%	98%	*0,05%*
NIORT LA F.	139	Fruitiers HT	30%	*5%*	47%	*1%*	77%	*2%*	62%	99%	*0,04%*
MANTILLY	83	Fruitiers HT	12%	*7%*	25%	*6%*	79%	*4%*	65%	99%	*0,04%*
LORE	100	Fruitiers HT	21%	*6%*	47%	*0%*	80%	*5%*	68%	97%	*0,00%*
CARSIX	93	Fruitiers HT	22%	*2%*	62%	*3%*	83%	*2%*	73%	97%	*0,05%*
LALOSSE	76	Forestiers	55%	*5%*	69%	*0%*	83%	*3%*	79%	97%	*0,4%*
BRUNEMBERT	104	Forestiers	45%	*0%*	74%	*9%*	89%	*3%*	81%	95%	*0,05%*
STE MARGUERITE	123	Fruitiers HT	55%	*2%*	81%	*5%*	91%	*1%*	85%	94%	*0,04%*

On observe également une grande hétérogénéité intraparcellaire de l'ombrage sur les parcelles agroforestières. Les surfaces à proximité des arbres étant forcément plus ombragés que les milieux de l'inter-rang. Sur les sites de Bonnefont ou de Mantilly par exemple on observe des écarts importants entre les ouvertures de canopée à 1m de l'arbre et au milieu de l'inter-rang avec respectivement (14% contre 78% ; 12% contre 79%). Globalement c'est en pré-verger que cette hétérogénéité est la plus marquée comme l'illustre la Figure 13.

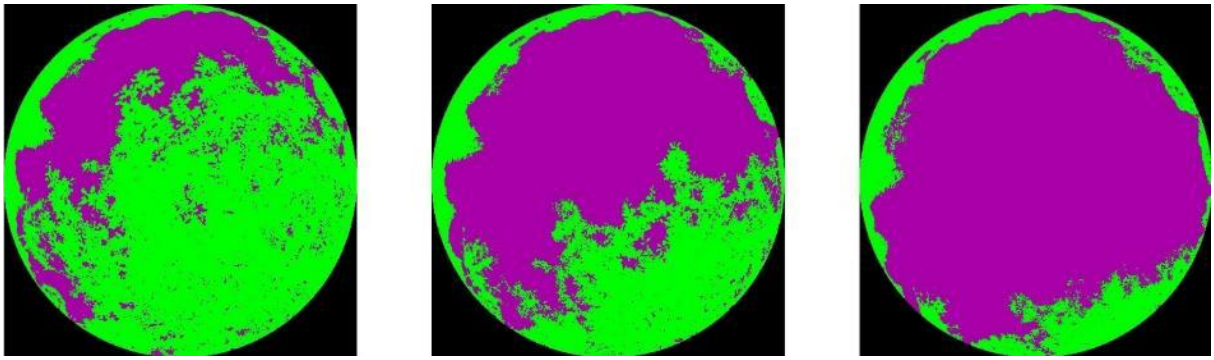

Figure 13 – Photos hémisphériques traitées sur le site de Loré, avec, de gauche à droite (1m de l'arbre, d/4 et d/2) (crédit : AGROOF SCOP)

A Lalosse ou à Brunembert, il est intéressant de noter que même à proximité des arbres, l'ouverture de canopée reste proche de 50%. Les houppiers clairsemés des noyers de Lalosse (peu développés pour leur âge) impactent moins la fermeture de canopée.

Enfin, la parcelle de La Vigérale de l'INRA de Theix (notée « THEIX ») intègre une modalité intermédiaire en termes d'ombrage : la modalité « Agroforesterie Têtards ». Dans cette parcelle, la modalité « Agroforesterie Hauts-jets » présente une ouverture de canopée moyenne de 25% avec peu d'hétérogénéité spatiale (18% à 1m des arbres et 38% à mi-distance entre deux arbres), tandis que la modalité « Agroforesterie – têtards » possède une ouverture de canopée moyenne de 69%. L'intervention d'étêtage réalisée en 2015 sur les têtards a donc permis de gagner environ 44% d'ouverture. L'hétérogénéité spatiale de la modalité « têtards » est importante (53% à 1 m des arbres contre 80% à mi-distance entre deux arbres), mais à proximité des arbres l'ouverture reste supérieure à 50%.

4.4.2. Température et humidité relative sous les arbres agroforestiers

Dans la plupart des parcelles, la présence d'arbres influence les conditions de températures et d'humidité relative (ici mesurées à 1m du sol).

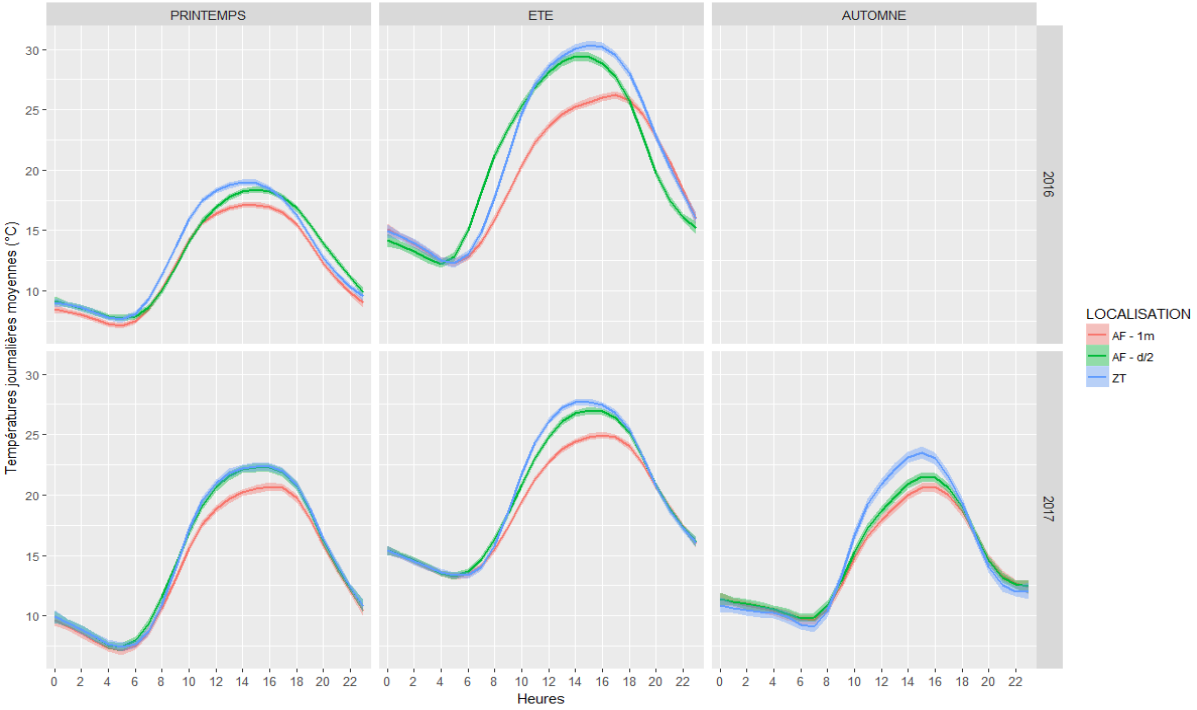

Figure 14 – Températures journalières moyennes par saison, sur deux années, sur le site de Bonnefont (rouge = AF - 1m ; vert = AF - d/2 ; bleu = Témoin)

La Figure 14 montre les températures journalières moyennes par saison sur le site de Bonnefont. On peut voir que dès le printemps, les températures sous les arbres sont moins élevées en milieu de journée en comparaison du témoin (-2°C entre une sonde à 1m de l'arbre et la sonde en témoin). Au milieu de l'inter-rang, la température relevée est comprise entre celle mesurée à 1m de l'arbre et celle du témoin en 2016, puis similaire au témoin en 2017. En été, période de l'année la plus chaude, les différences de températures sont plus fortes en 2016 et 2017. Les températures sont nettement moins élevées en milieu de journée à proximité des arbres (-4,8°C en 2016 et -3,3°C en 2017) en comparaison du témoin. Au milieu de l'inter-rang les températures semblent tamponnées mais de manière moins importante (-0,6°C en 2016 et -1,2°C en 2017). A l'automne l'effet tampon de l'arbre sur les températures persiste mais baisse en intensité.

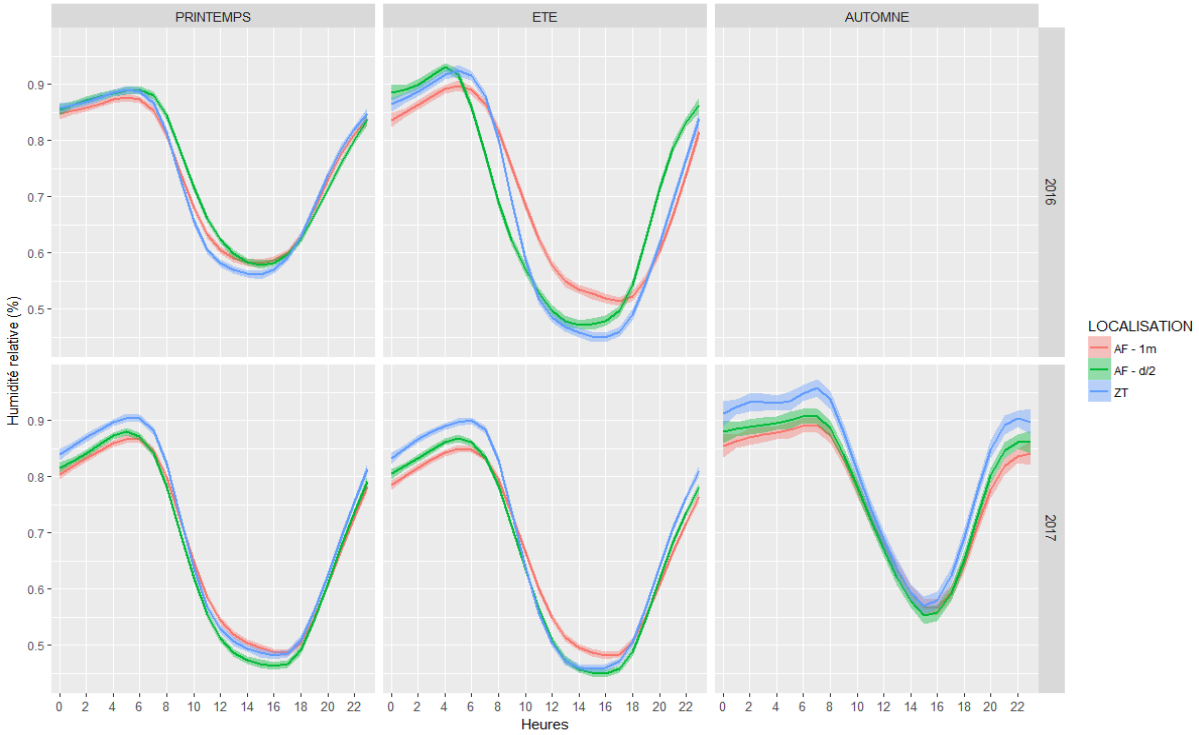

Figure 15 – Humidité relative moyenne par saison, sur deux années, sur le site de Bonnefont (rouge = AF -1m ; vert = AF - d/2 ; bleu = Témoin)

L'humidité relative suit les mêmes tendances que la température. L'air reste plus humide aux périodes les plus chaudes de la journée, à proximité des arbres comme le montre la Figure 15.

Le Tableau 4 résume les différences de températures observées sur l'été en les différentes sondes et à différentes périodes de la journée. Sauf sur le site de Brunembert, on peut voir que la présence d'arbres diminue les températures de 6 :00 à 18 :00 avec un pic de l'effet tampon entre 10 :00 et 14 :00. A la tombée, l'effet tampon est encore présent, mais inversé. Les arbres gardent la chaleur et l'air se refroidit moins vite qu'en parcelle témoin.

Tableau 4 – Températures estivales moyennes en 2016 à différentes périodes de la journée sur l'ensemble des sites équipés de sondes Voltcraft © (crédit : AGROOF SCOP).

		AM (6h - 10h)			MID (10h - 14h)			PM (14h - 18h)			DUSK (18h - 22h)			NIGHT (22h - 6h)		
SITES	**LOCALISATION**	**Moyenne**	*Ecart - type*	**Différence avec le témoin**	**Moyenne**	*Ecart - type*	**Différence avec le témoin**	**Moyenne**	*Ecart - type*	**Différence avec le témoin**	**Moyenne**	*Ecart - type*	**Différence avec le témoin**	**Moyenne**	*Ecart - type*	**Différence avec le témoin**
Bonnefont	AF - 1m	16,2	0,1	-2,1	23,9	0,2	-4,8	25,8	0,2	-3,7	21,6	0,2	**0,0**	14,0	0,1	**0,0**
	AF - d/2	20,7	0,2	2,4	28,2	0,2	-0,6	27,9	0,2	-1,6	19,1	0,2	-2,5	13,4	0,1	-0,6
	ZT	***18,3***	0,2		***28,8***	0,2		***29,6***	0,2		***21,6***	0,2		***14,0***	0,1	
Brunembert	AF - 1m	16,5	0,1	-0,5	22,4	0,1	0,3	22,1	0,1	0,2	17,3	0,1	0,2	14,5	0,0	0,1
	AF - d/2	17,4	0,1	0,4	22,5	0,1	0,5	22,9	0,1	1,0	17,6	0,1	0,4	14,9	0,0	0,4
	ZT	***17,0***	0,1		***22,1***	0,1		***21,9***	0,1		***17,2***	0,1		***14,5***	0,0	
Carsix	AF - 1m	16,4	0,2	-0,1	21,5	0,2	-1,1	23,8	0,2	0,1	19,1	0,2	0,2	14,4	0,1	0,6
	AF - d/2	15,8	0,2	-0,6	21,6	0,2	-1,0	23,8	0,2	0,2	18,1	0,2	-0,8	13,4	0,1	-0,3
	ZT	***16,5***	0,2		***22,7***	0,2		***23,7***	0,2		***18,9***	0,2		***13,7***	0,1	
Lalosse	AF - 1m	18,4	0,1	0,4	25,5	0,1	-0,9	27,6	0,1	-0,4	22,9	0,1	0,9	17,3	0,1	0,8
	AF - d/2	18,0	0,1	0,0	25,9	0,1	-0,5	27,8	0,1	-0,1	22,1	0,1	0,2	16,5	0,1	-0,1
	ZT	***18,0***	0,1		***26,4***	0,1		***27,9***	0,1		***21,9***	0,1		***16,5***	0,0	
Loré	AF - 1m	15,9	0,2	-1,1	21,9	0,2	-2,4	24,6	0,3	-0,4	19,3	0,2	0,3	13,9	0,1	0,7
	AF - d/2	16,9	0,2	-0,1	24,0	0,3	-0,4	25,1	0,3	0,1	19,2	0,2	0,2	14,1	0,1	0,9
	ZT	***17,0***	0,2		***24,4***	0,3		***25,0***	0,3		***19,0***	0,3		***13,2***	0,2	
Pomy	AF - 1m	17,9	0,1	-0,6	23,8	0,1	-2,0	25,4	0,2	-1,5	20,2	0,1	-0,4	16,2	0,1	0,0
	AF - d/2	18,2	0,1	-0,3	24,2	0,1	-1,6	25,9	0,2	-1,0	20,8	0,1	0,2	16,4	0,1	0,3
	ZT	***18,4***	0,1		***25,8***	0,2		***26,9***	0,2		***20,6***	0,1		***16,2***	0,1	
Ste Marguerite	AF - 1m	16,5	0,2	-0,9	22,0	0,2	-2,4	23,7	0,2	-0,6	18,8	0,2	1,5	13,8	0,1	1,0
	AF - d/2	16,9	0,2	-0,5	24,4	0,3	0,0	25,0	0,3	0,7	18,9	0,2	1,5	13,6	0,1	0,8
	ZT	***17,4***	0,2		***24,4***	0,3		***24,3***	0,2		***17,4***	0,2		***12,8***	0,1	
Theix	AF - 1m	15,5	0,1	-1,1	20,3	0,1	-3,7	21,5	0,1	-2,8	17,1	0,1	-0,5	13,6	0,1	0,2
	AF - d/2	14,5	0,1	-2,0	20,4	0,1	-3,5	22,1	0,1	-2,2	16,4	0,1	-1,2	12,8	0,1	-0,6
	ZT	***16,6***	0,1		***24,0***	0,1		***24,3***	0,1		***17,6***	0,1		***13,4***	0,1	

4.4.1. Stress thermiques : Temperature Humidity Index

Dans la plupart des parcelles suivies, en raison de l'effet tampon des arbres sur les conditions de températures et d'humidité relative, le THI se retrouve diminué à proximité des arbres.

A titre d'exemple, sur le site de Bonnefont en 2016 (Figure 16) ou en 2017 (Figure 17), nous pouvons voir que le THI journalier calculé à partir des données d'une sonde placée à 1m de l'arbre en agroforesterie reste inférieur aux indices calculés à partir des sondes des zones témoin et du milieu de l'inter-rang agroforestier.

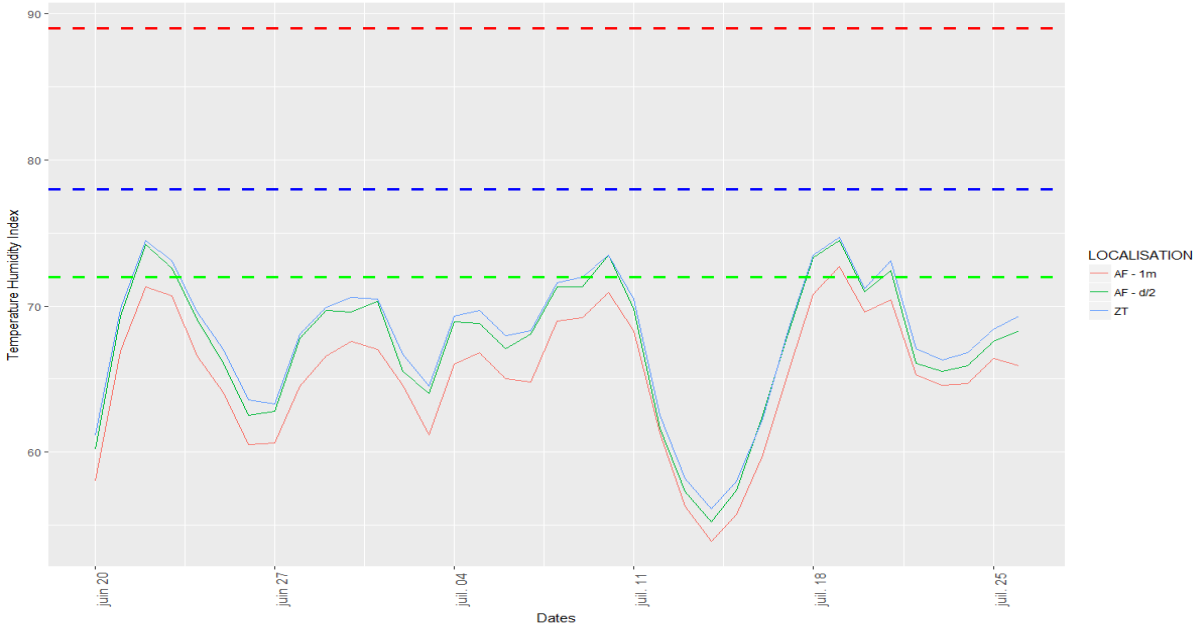

Figure 16 – THI journalier calculé sur le site de Bonnefont en 2016 sur une partie de la période estivale : 20 juin au 17 juillet 2016 (pointillés verts = stress léger ; pointillés bleus = stress modéré ; pointillés rouges = stress marqué)

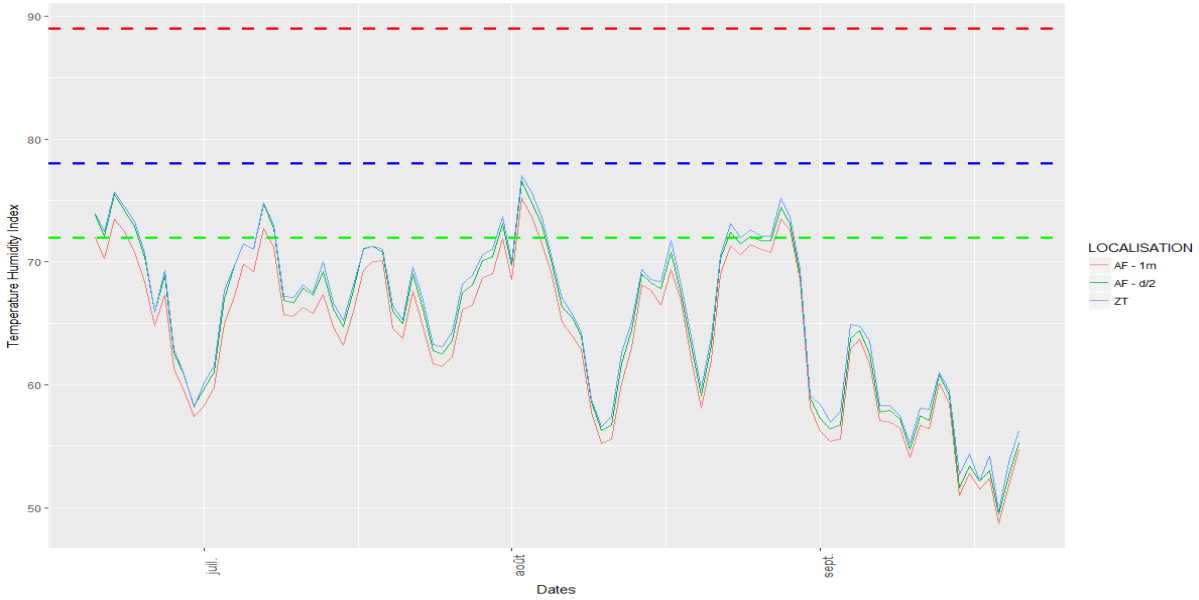

Figure 17 – THI journalier calculé sur le site de Bonnefont en 2017 sur toute la période estivale (pointillés verts = stress léger ; pointillés bleus = stress modéré ; pointillés rouges = stress marqué)

Ce comportement a pu être observé sur l'ensemble des sites suivis. Le nombre de jours de l'année où le THI dépasse 72, seuil de stress chez les ruminants, est inférieur en agroforesterie à 1m de l'arbre, et largement supérieur en zone témoin. Au milieu de l'inter-rang agroforestier, nous avons une situation intermédiaire, quoique proche de celle du témoin (Tableau 5).

Tableau 5 – Somme du nombre de jours pour lesquels la valeur du THI dépasse 72 (seuil de stress thermique).

		Localisation des sondes			Différence
	Sites	**Agroforesterie - 1m**	**Agroforesterie - milieu de l'inter-rang**	**Témoin**	**Témoin – AF1m**
2016	Bonnefont	1	6	6	**5**
	Brunembert	3	4	3	**0**
	Carsix	2	1	2	**0**
	Lalosse	8	6	6	**-2**
	Loré	2	0	4	**2**
	Niort la F.	2	3	3	**1**
	Pomy	1	1	3	**2**
	Ste Marguerite	2	3	2	**0**
	Theix	0	0	2	**2**
2017	Bonnefont	7	20	22	**15**
	Lalosse	8	8	9	**1**
	Pomy	7	10	9	**2**
	Theix	0	1	8	**8**
	NB MOYEN DE JOURS	**3,3 (±0,8)**	**4,9 (±1,5)**	**6,1 (±1,5)**	**2,8 (±1,2)**

4.5. Conclusions et perspectives

4.5.1. Ouverture de canopée et compétition lumineuse

Les arbres, en fonction de leur densité et de leur architecture, créent un ombrage plus ou moins important. Nos travaux ont permis de caractériser l'ouverture de canopée des sites, en fonction des distances à l'arbre à la période de pleine feuille, c'est-à-dire lorsque la canopée est au maximum de son développement. Le choix de ne cibler que cette période a été motivé par la multiplicité des sites et la lourdeur du protocole, imposant la prise de photos hémisphériques avant le lever du soleil, ou après son coucher (ou en pleine journée sous ciel bien couvert). Nous avons pu voir une très forte hétérogénéité spatiale de l'ombrage imputé aux arbres, avec des ouvertures de canopée pouvant varier de moins de 20% à plus de 80% sur une même parcelle en fonction de la distance à l'arbre. L'ombrage peut être piloté en intervenant sur les houppiers des arbres avec une taille plus ou moins forte des branchages.

Dans de futures études, peut-être centrées sur un moins grand nombre de sites, des mesures complémentaires pourraient être réalisées. Tout d'abord, le suivi de la phénologie des arbres, et la mesure du degré d'ouverture de canopée à différentes périodes de l'année (printemps avant débourrement des feuilles, printemps après débourrement, plein été, automne) permettrait de mieux faire le lien entre le développement des arbres et la lumière reçue par le couvert (avec tous les impacts que cela comporte sur la phénologie et la pousse de ces plantes). Ensuite, l'ouverture de canopée seule ne suffit pas à apprécier seule, la compétition lumineuse. Le positionnement de luxmètres sur les parcelles peut permettre de mesurer la quantité et la qualité des radiations reçues par le couvert herbacé. C'est d'autant plus intéressant qu'il a été démontré qu'en plus de diminuer la quantité de photons reçue par le couvert herbacé, l'ombre de l'arbre change aussi la qualité du rayonnement reçu en modifiant le rapport R/FR (rouge/infrarouge). Ce rapport peut varier de 1,32 en milieu ouvert à 0,90 pour les bords de l'ombre de *Pinus radiata* lors d'une journée ensoleillée (Peri et al., 2007). La qualité de la lumière, évaluée par ce rapport, influe sur les traits morphologiques des plantes. Les herbacées répondent à une lumière de mauvaise qualité (rapport R/IR faible) en favorisant l'élongation cellulaire (l'étiolement) au détriment du tallage (Peri et al., 2007). En intégrant ainsi des variables climatiques régionales, la configuration des parcelles et l'architecture des arbres, il serait alors possible de réaliser un modèle prédictif de la compétition lumineuse entre les arbres et le couvert herbacé. A noter que le CIRAD AMAP travaille sur le sujet sur plusieurs parcelles agroforestières françaises, via l'utilisation de lidars terrestres (TLS : Terrestrial Lidar Scanners) utilisant le principe de la télémétrie laser pour caractériser les structures arborées des parcelles. Ils sont ensuite capables de simuler la quantité de rayonnement atteignant le couvert au sol, voire de modéliser d'autres configuration agroforestières (en jouant sur les densités, la taille des houppiers, etc.).

4.5.2. Effet tampon des arbres sur les extremums T et HR et impact sur le bien-être des animaux

Notre étude a montré que les arbres permettaient de tamponner les excès climatiques, notamment aux périodes les plus chaudes de l'année (juillet et aout). Les conditions de températures apparaissaient alors plus fraîches en pleine journée en agroforesterie et plus chaudes en témoin. A l'inverse la nuit, le témoin aura tendance à plus se refroidir que l'agroforesterie. Si cet effet est plus marqué l'été et à proximité des arbres, il est néanmoins présent tout au long de l'année. En effet, des arbres sans feuilles représentent malgré tout un ombrage (branchage) et des éléments topographiques modifiant la dynamique de circulation de l'air sur les parcelles. De manière complémentaire, le calcul du THI nous a permis de voir que le stress thermique des animaux en période estivale était moins important en agroforesterie avec un nombre de jours total en stress inférieur.

Notre plan d'échantillonnage a été calibré pour suivre les conditions de températures et d'humidité toute l'année sur une multitude de sites. Pour confirmer et étayer ces premiers résultats il serait intéressant de multiplier le nombre de sondes par site. Par ailleurs, il serait également intéressant de voir s'il existe une corrélation entre ouverture de canopée et effet tampon en fonction des climats considérés. Cette composante (l'effet tampon) est souvent recherchée par les éleveurs désireux de mettre en place de l'agroforesterie, souvent pour optimiser le bien-être de leurs animaux face aux conditions parfois caniculaires. Le développement de nouveaux outils permettant de modéliser le niveau d'ombrage et les variables climatiques associées permettrait d'accompagner la conception de projets agroforestiers intégrant cet objectif microclimatique.

Figure 18 - Brebis pâturant sur une prairie agroforestière dans l'Aude à Pomy (crédit photo : G. Sabourin)

5. PRODUCTION FOURRAGERE HERBACEE : Impacts des arbres et place des parcelles dans le fonctionnement des systèmes fourragers.

Etude menée dans le cadre de l'action 2 du projet PARASOL. Elle a été réalisée sous la responsabilité de Camille Béral (AGROOF SCOP) ; Éric Pottier & Jean-Christophe Moreau (IDELE) ; Donato Andueza (INRA UMRH).

Auteurs : Camille Béral (AGROOF SCOP), Donato Andueza (INRA – UMRH), Arthur Rocher (stagiaire AGROOF SCOP), Julien Fradin (IDELE)

Contributeurs : Fabienne Picard (INRA Theix), André Guittard (INRA Theix), Julianne Pourrat (INRA Theix), Guillaume Sabourin (stagiaire AGROOF SCOP), Arthur Rocher (stagiaire AGROOF SCOP), Thibault Berne (stagiaire IDELE), Vincent Lefevre (stagiaire IDELE), Jean Baptiste De Solère (stagiaire IDELE), Ambroise Martin-Chave (AGROOF SCOP), Fabien Liagre (AGROOF SCOP), Pierrick Gouhier (AGROOF SCOP) ; Carla Gava (stagiaire INRA Theix).

Principaux résultats

Les arbres impactent :

- La phénologie des prairies (plus l'ombre est importante, plus le retard de développement est important)
- Le rendement prairial, avec dans certains cas une baisse plus importante à proximité des arbres.
- La valeur nutritive de l'herbe, avec une teneur en MAT et digestibilité de l'herbe des prairies agroforestières plus élevées au cours de l'été
- La composition botanique de manière assez faible, avec néanmoins moins de légumineuses en agroforesterie et la présence d'espèce tolérantes à l'ombrage et au piétinement à proximité des arbres.

Ces effets peuvent être piloté via le choix des densités d'arbres, le type d'arbres et la taille des houppiers.

5.1. Introduction

L'introduction d'arbres dans un agroécosystème modifie les conditions aériennes et souterraines à la croissance et au développement des plantes herbacées. Des données généralisables sont quasiment absentes de la littérature scientifique. Les principales études sont souvent liées à des conditions locales spécifiques (sols, climat, pool d'espèces, âge et densité du peuplement, arbres cultivés). Des méta-analyses décrivant toutes les composantes des écosystèmes agroforestiers n'ont, à notre connaissance, pas encore été réalisées dans des climats tempérés et méditerranéens. Le présent état de l'art se base donc sur des exemples issus de systèmes variés à l'échelle du globe.

En modifiant la quantité et la qualité du rayonnement atteignant la strate herbacée, les arbres impactent la croissance des herbacées. La qualité de la lumière, évaluée par le rapport R/IR (rouge/infra-rouge), influe sur les traits morphologiques des plantes. Les herbacées répondent à une lumière de mauvaise qualité (rapport R/IR faible) en favorisant l'élongation cellulaire (l'étiolement) au détriment du tallage (Peri et al., 2007). Granier et Roy ont observé une baisse de 36% de la population de tallage de dactyle (*Dactylis glomerata*) sous une chênaie transmettant 33% du rayonnement lumineux (Granier & Roy, 1998 in Peri et al., 2007). Une réponse similaire a été observée chez deux espèces de raygrass (Lolium) (Deregibus et al., 1983) et chez le trèfle blanc (*Trifolium reptens*) avec une élongation des pétioles (Marcuvitz & Turkington, 2000). Ces deux effets semblent conjointement impacter la qualité des fourrages en baissant le taux de glucides mais en augmentant le taux en protéines brutes. Ce phénomène semble être dû, entre autres, à une baisse d'activité des photosynthétases qui a pour conséquence d'augmenter le taux en azote (Sander et al., 1997 - Wall et al., 1997 in Benavides et al., 2009 ; Peri et al., 2007).

Sur la composition botanique des prairies, même si Guevara Escobar et al., en 1998 ne semblent pas avoir démontré de différences sur l'année au niveau de la composition spécifique, il semblerait néanmoins que certaines espèces soit favorisées par rapport à d'autres. Les plantes en C3 montrent une plus grande adaptabilité aux systèmes agroforestiers que les C4 (Lin et al., 1999). Plus précisément, il semblerait que le dactyle et de la houlque laineuse (*Holcus lanatus*) soit plus adaptées à l'agroforesterie que le Raygrass (Devkota et al. 2009).

En ce qui concerne le rendement prairial, il existe une opposition dans la communauté scientifique sur la nature de la corrélation entre l'intensité du rayonnement et la baisse de rendement. Certains proposent une baisse linéaire (Gosse et al., 1986) tandis que d'autres soutiennent que les modifications morphologiques et biochimiques, comme l'augmentation du taux chlorophylle par feuille, le développement de feuilles plus fines mais plus larges et l'élongation générale de la plante, tendent à tamponner cette tendance (Solangaarachchi & Harper, 1987 - Wall et al., 1997 in Benavides et al., 2009). Une baisse de la production massique peut être aussi enregistrée, cette dernière allant de 22 à 44% selon les systèmes étudiés (Guevara Escobar et al., 1998 ; Peri et al., 2007 ; Silva-Pando et al., 2002). La diminution de production végétale est en partie expliquée par les phénomènes de compétition, mais aussi par la baisse directe de la surface disponible pour les herbacées (Kallenbach et al., 2006). La balance compétition-facilitation semble liée aux précipitations (plus les précipitations augmentent plus les relations dérivent vers la compétition) et à la densité des peuplements (Moustakas et al., 2013). Il est à noter que le régime de taille des arbres permet aussi d'équilibrer cette balance en contrôlant la compétition pour la lumière (Devkota et al. 2009). Une perte de rendement chez les arbres peut être aussi observée dans les premières années de plantation. Le diamètre et la hauteur des troncs de jeunes plants (6 ans) de noyer noir peuvent être divisés par deux du fait de la compétition avec la grande fétuque (Festuca arrundinaceae) (Roth & Mitchell, 1982).

Pour illustrer l'intérêt de l'agroforesterie dans des situations hors-normes, Benavides et al., en 2009 rapportent les résultats d'une étude de Hawley and Dymond 1988 qui montre que les pertes liées aux cyclones ont été réduites de 13,8% dans les systèmes agroforestiers comparés aux systèmes ouverts. Une étude sur les systèmes agroforestiers anglais a aussi montré que lors des épisodes de sécheresse la production herbagère en système agroforestier pouvait être augmentée de 16% par rapport aux pâtures ouvertes (Sibbald, 2006). En zone méditerranéenne, les systèmes agroforestiers semblent retarder le jaunissement de trois semaines (Dupraz & Liagre, 2008). Globalement, les systèmes agroforestiers tendent à tamponner les effets des variations climatiques (Silva-Pando et al., 2002). Un gain de productivité peut aussi être rapporté dans le cas des sols oligotrophes (Obrador & Moreno). De plus, il semblerait que les effets positifs de l'agroforesterie soient aussi plus marqués sur les sols fins où la présence des arbres permet de limiter l'évaporation de l'eau des sols (Palma et al., 2016).

Cet état de l'art souligne les effets parfois contradictoires de l'arbre sur la végétation herbacée des prairies. Tout l'enjeu aujourd'hui pour la recherche et la pratique, est d'acquérir plus de références de manière à approcher les leviers techniques à disposition pour piloter au mieux ces systèmes et s'approcher des conditions optimales, où les phénomènes de compétition ne l'emportent pas sur les phénomènes de facilitation.

5.2. Finalité et objectifs

La finalité de cette tâche est d'appréhender le potentiel de l'agroforesterie dans la gestion de la ressource fourragère herbacée, notamment face à l'enjeu d'adaptation au changement climatique. Pour y répondre, nous avons **évalué l'impact de la présence d'arbres sur la productivité et la qualité de la ressource prairiale**.

Deux approches complémentaires ont été développées d'une part sur les sites du réseau (partie 5.4), et d'autre part sur le site expérimental principal du projet (parcelle de Lamartine, à l'INRA de Theix (63) (partie 5.3). Deux années d'expérimentations ont à chaque fois été réalisées : 2016 et 2017.

5.3. Etude sur l'impact de la densité d'arbres agroforesterie sur les prairies permanentes

5.3.1. Démarche

La présence d'arbres dans la parcelle, modifie l'intensité de radiation solaire arrivée à la strate herbagée, ce qui peut jouer sur le rendement de biomasse et sur la qualité de l'herbe. Cette influence est due à un effet sur la morphogénèse des plants mais aussi sur la composition chimique des fourrages issus de ces prairies. Ces effets sont variables selon le type de plantes et selon le dégrée d'ombre à laquelle la prairie est soumise. Ils dépendent aussi des conditions météorologiques des saisons de croissance. Ces effets sont parfois contradictoires sur la valeur nutritive des fourrages.

L'objectif de cette expérimentation est donc, **d'évaluer l'influence de la densité d'arbres sur la productivité, et la qualité de la ressource prairiale au cours du premier et du deuxième cycle de végétation**.

5.3.2. Matériels et Méthode

Un dispositif composé de 3 parcelles d'un ha chacune, situé à Saint-Genès Champanelle, dans le Puy de Dôme a été utilisé. Une des parcelles n'avait pas l'influence de la présence d'arbres (A0) tandis que les autres parcelles disposent d'une densité de 60 (A+) et 150 arbres/ha (A++) âgés de 20 ans.

Sur chaque parcelle, 3 zones en défens ont été installées avant le début de l'expérimentation. Un échantillon de 0,20m² de fourrage a été prélevé le 5 et le 20 mai, le 6 et le 21 juin, le 7 et le 28 juillet ainsi que le 10 août pendant le premier cycle de végétation de l'année 2016. En 2017 les parcelles ont été prélevées le 14 avril, le 2, 15 et le 31 mai le 15 et le 29 juin le 12 et le 27 juillet et le 10 et le 28 août 2017. Une zone coupée le 15 juin simulant la coupe de printemps a été prélevée le 27/07, le 10 et 25 août, le 8 et le 21 septembre ainsi que le 6 et le 25 octobre pour étudier l'évolution du 2ème cycle de végétation.

En 2016, le 2ème cycle de végétation n'a pas été étudié à cause du manque d'herbe. Sur chaque échantillon, des mesures de composition botanique, de stade phénologique et de structure de la prairie selon la méthode de Moore et al., (1991), de composition chimique (matières azotées totales (MAT) (AOAC, 1990), parois cellulaires (NDF) (Van Soest et al., 1991) et digestibilité cellulase (dcellms) (Aufrère et al., 1989) ont été réalisées. La digestibilité de la matière organique a été calculée à partir des résultats de la dcellms selon les équations proposées par Aufrère et al., (2007).

Des données climatiques ont été obtenues dans une station météorologique proche (100m) et la somme de températures pour chaque date de prélèvement a été calculée.

5.3.3. Résultats

5.3.3.1. Données météorologiques

Les données de pluviométrie et de températures mensuelles moyennes des années 2016 et 2017 sont affichées dans la Figure 19. Le printemps de 2016 est caractérisé par une pluviométrie élevée au mois d'avril et de mai mais aussi par un déficit de pluie pendant les mois de juin et ceux d'été. Par ailleurs, dans l'année 2017 la pluviométrie a été déficitaire pendant les mois d'avril et de mai mais excédentaire au mois de juin (Figure 19). L'été est caractérisé par une faible pluviométrie mensuelle (< que 60 mm). Ces résultats vont conditionner les valeurs de rendement et de qualité nutritive des parcelles obtenus.

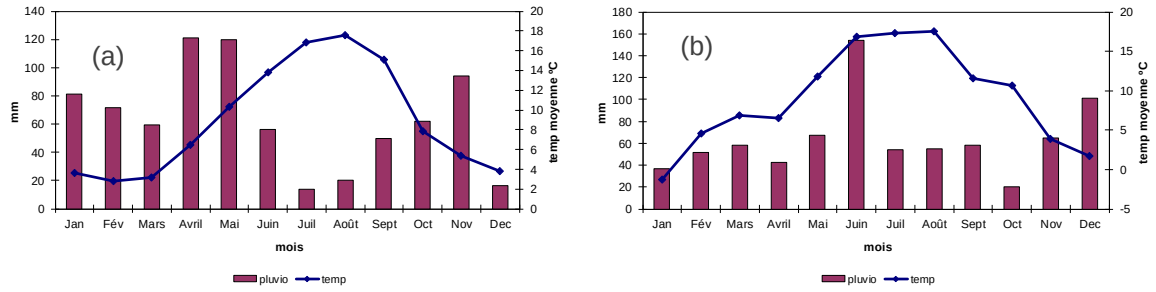

Figure 19 - Données de température moyenne (temp) et pluviométrie mensuel (pluvio) des années 2016 (a) et 2017 (b) issues de la station météorologique de Saint-Genès Champanelle

5.3.3.2. Composition botanique

La composition des parcelles en termes de familles botaniques est montrée dans la Figure 20. La proportion de graminées est dominante dans les 3 parcelles avec une proportion supérieure au 70%, tandis que les diverses représentent 15 % du total dans la parcelle caractérisée par une densité d'arbres de 60 arbres/ha. Parmi les graminées les plus importantes dans la parcelle sans arbres on trouve l'*Agrostis capillaris,* la *Festuca rubra* et le *Lolium perenne*, tandis que la parcelle A+ contient des proportions élevées d'*Agrostis capillaris* et de *Trisetum flavescens*. Enfin la parcelle A++ est plutôt caractérisée par la présence supérieure à 10% d'*Agrostis capillaris,* de *Trisetum flavescens*, d'*Holcus lanatus* et de *Festuca rubra*. Aucune légumineuse ou diverse est présente dans des proportions importantes dans les parcelles étudiées.

5.3.3.3. Rendement

Les rendements obtenus en 2016 ont été en général plus élevés que ceux obtenus en 2017 dans le premier cycle de végétation (Figure 21) principalement pour les traitements A0 et A+. Pour les deux années d'expérimentation, la parcelle A++ est caractérisée par une biomasse plus faible que les parcelles A0 et A+ pendant le premier cycle de végétation. En 2016, la quantité de biomasse obtenue dans la parcelle A++ est plus faible pendant la totalité du cycle de végétation (Figure 21), tandis que en 2017, pendant la première partie du cycle (14/04 -14/05) la biomasse obtenue dans cette parcelle est similaire à celle obtenue dans les parcelles A0 et A+ et ensuite les rendements de ces dernières parcelles sont plus élevés que celui de la parcelle A++ (Figure 21). Ces résultats sont largement conditionnés par les conditions météorologiques des deux printemps. Le rendement des 3 parcelles pendant le 2eme cycle de végétation en 2017 (Figure 22) se caractérise par une stabilité au tour de 1,50 tMS/ha pour les 3 parcelles pendant la période comprise entre le 01/08 et le 06/10.

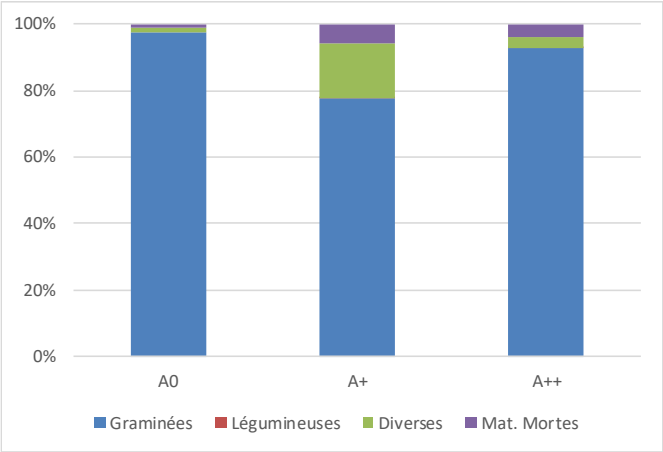

Figure 20 - Proportion de graminées, légumineuses et diverses présentes dans la prairie permanente sous différentes densités d'arbres (A0 sans arbre ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha)

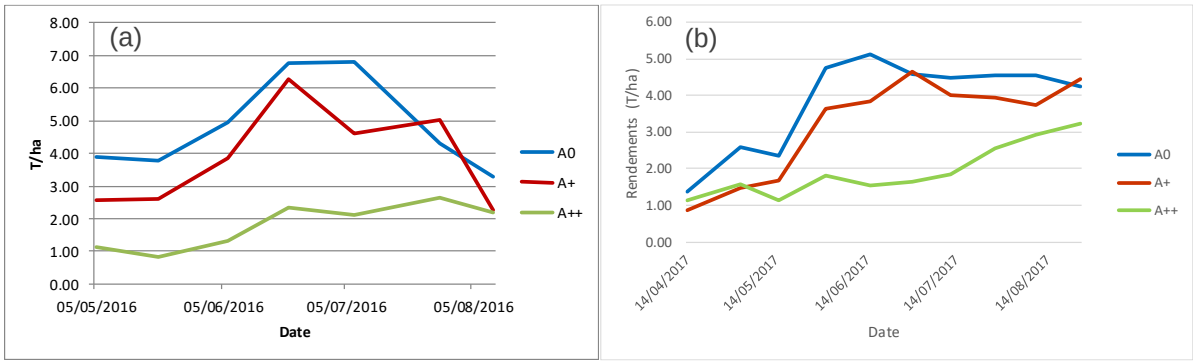

Figure 21 - Evolution du rendement des prairies au cours du premier cycle de végétation en 2016 (a) et 2017 (b) en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha)

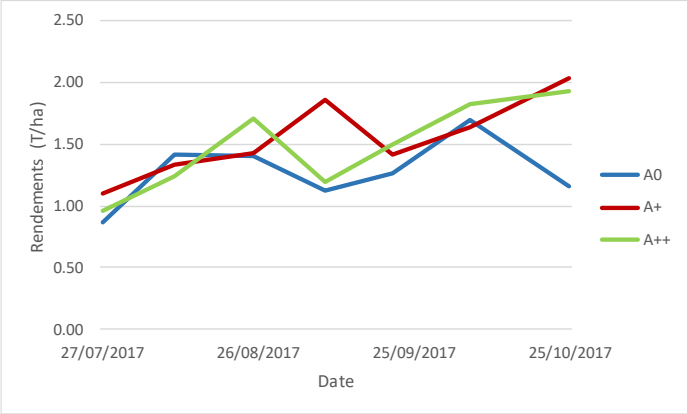

Figure 22 - Evolution du rendement des prairies au cours du deuxième cycle de végétation en 2017 en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha)

5.3.3.4. Stade phénologique

L'évolution de la note du stade phénologique des parcelles est similaire pendant la première partie des deux années d'expérimentation (Figure 23). En 2017, à partir de la mi-juillet pour les parcelles A0 et A+ et à partir de la fin juillet pour la parcelle A++, la note du stade phénologique diminue tandis que cette évolution n'est pas observée en 2016. Cette chute de la note du stade phénologie en 2017 peut être expliquée par l'apparition de nouvelles talles. Ce phénomène a une influence plus faible en 2016 à cause principalement du déficit de précipitations pendant les mois de juin juillet et août.

En ce qui concerne le stade phénologique des parcelles, la parcelle A++ est caractérisée par une présence plus importante de talles n'arrivant pas au stade épiaison que les parcelles A0 et A+ (Figure

23). Les différences entre ces deux dernières parcelles ont été moins importantes que les différences avec la parcelle A++. La présence importante d'arbres pourrait empêcher l'arrivée d'une partie importante de la lumière et donc influencer le développement des plantes et leur rendement.

La phénologie des parcelles pendant le 2eme cycle de végétation en 2017 (Figure 24) est assez similaire avec une note comprise entre 1,5 et 2. (végétatif et début montaison) (Andueza et al., 2018).

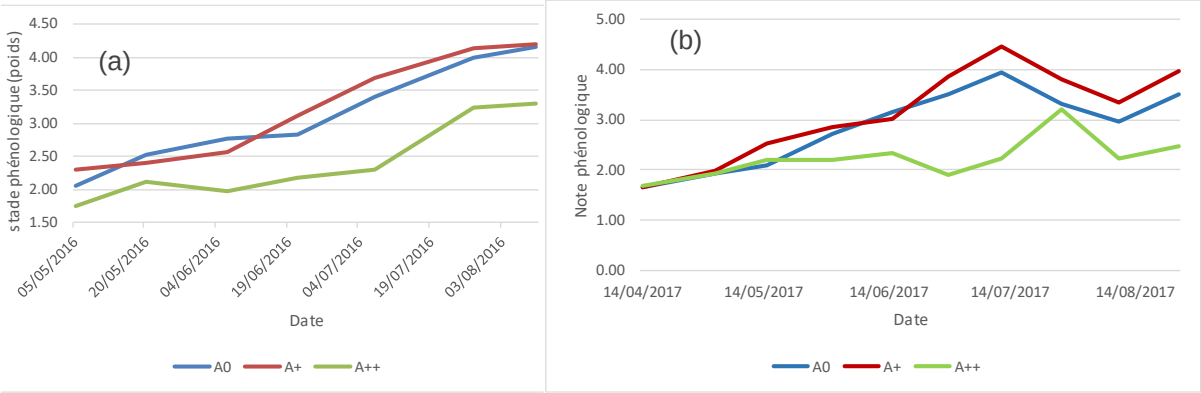

Figure 23 - Evolution de la note de stade phénologique des prairies au cours du premier cycle de végétation en 2016 (a) et 2017 (b) en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha)

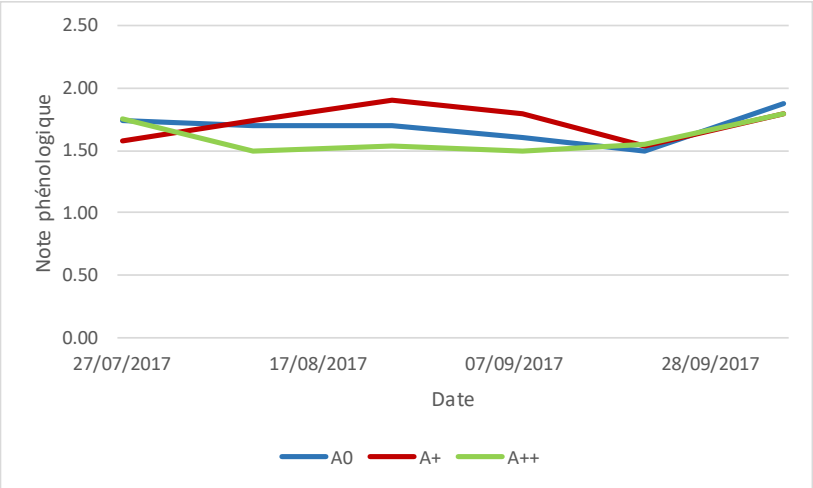

Figure 24 - Evolution de la note du stade phénologique des prairies au cours du deuxième cycle de végétation en 2017 en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).

5.3.3.5. Matières azotées totales

La teneur en MAT diffère entre prairies au cours du cycle de végétation. La parcelle A++ est caractérisée par des teneurs plus élevées de MAT que les parcelles A0 et A+. Par ailleurs, la teneur en MAT de la parcelle A0 est plus faible que celle de la parcelle A+. La présence d'arbres modifie la teneur azotée du fourrage. Celle-ci s'incrémente avec le niveau d'ombre. D'un point de vue pratique, la teneur plus élevée en MAT des fourrages soumis aux effets des arbres permet le maintien des animaux pendant un intervalle de temps plus large en périodes de sécheresse car le niveau de MAT de la parcelle sans arbres, devient limitant pour l'entretien des animaux à partir de la mi-juin pour les deux années d'expérimentation.

La teneur en MAT diffère entre prairies au cours du premier cycle de végétation (Figure 25). La parcelle A++ est caractérisée par des teneurs plus élevées de MAT que les parcelles A0 et A+. Par ailleurs, la teneur en MAT de la parcelle A0 est plus faible que celle de la parcelle A+. La présence d'arbres modifie la teneur azotée du fourrage. Celle-ci s'incrémente avec le niveau d'ombre. D'un point de vue pratique, la teneur plus élevée en MAT des fourrages soumis aux effets des arbres permet le maintien des animaux pendant un intervalle de temps plus large en périodes de sécheresse car le niveau de MAT de la parcelle sans arbres, devient limitant pour l'entretien des animaux à partir de la mi-juin pour les deux années d'expérimentation.

Entre années, l'évolution de la teneur en MAT est similaire, sauf au début du cycle (Figure 25). En effet, en 2017 la teneur en MAT est similaire pour le fourrage obtenu dans les 3 parcelles voire plus élevée pour la parcelle A0 tandis que en 2016, le gradient entre la teneur en MAT des parcelles (A++ > A+ > A0) est maintenu pendant tout le cycle.

La teneur en MAT des fourrages obtenus dans les parcelles au deuxième cycle de végétation est montrée dans la Figure 26. La parcelle A0 est caractérisée par la teneur de MAT plus faible au cours de la totalité du cycle

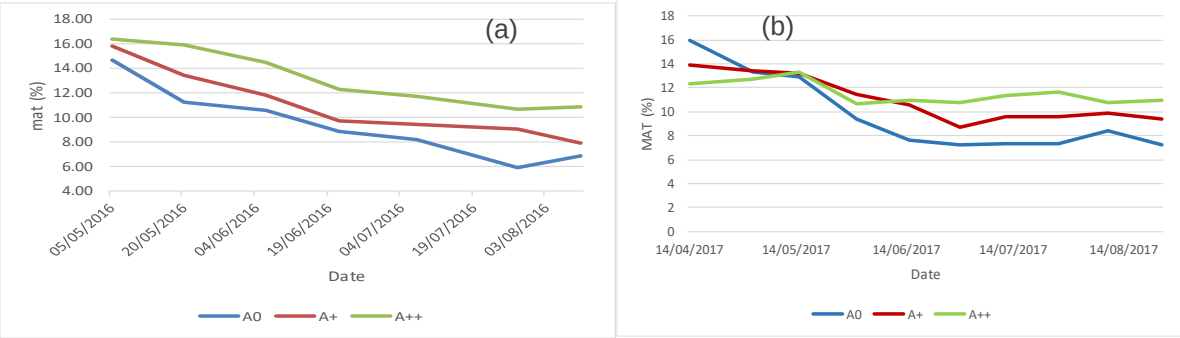

Figure 25 - Evolution de la teneur en matières azotées totales (MAT) au cours du premier cycle de végétation en 2016 (a) et 2017 (b) en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbre ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).

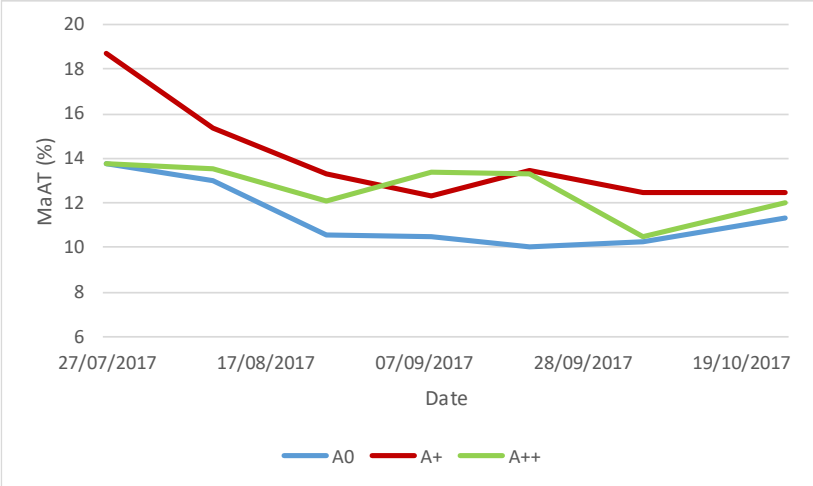

Figure 26 - Evolution de la teneur en matières azotées totales (MAT) des prairies au cours du deuxième cycle de végétation en 2017 en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).

5.3.3.6. Parois cellulaires et digestibilité cellulase

L'évolution de la teneur en parois cellulaires est similaire pour les trois prairies jusqu'à la mi-juin, mais à partir de cette date la teneur en parois de la parcelle A++ reste stable tandis que celle des prairies A0 et A+ ne cesse d'augmenter dans l'année 2016 tandis qu'elle arrive à une teneur de 65 % et ensuite elle reste stable au tour de 60-65% de parois cellulaires en 2017 (Figure 27). De ce fait, la dcellms (Figure 28) des fourrages des prairies est similaire au cours du premier cycle de végétation jusqu'à la mi-juin, mais après cette date, la chute de la valeur nutritive des prairies A0 et A+ est plus intense que celle de la prairie A++.

L'évolution de la teneur en parois du deuxième cycle en 2017 est présentée dans la Figure 29. Dans cette figure, on constate une évolution différente de la teneur en parois du fourrage obtenu de la parcelle A0 par rapport á l'évolution de la teneur en parois du fourrage obtenu sous arbres. Cette différence d'évolution se traduit en valeurs de dcellms (Figure 30) plus élevées pour les échantillons de fourrage obtenus pour les parcelles sous arbres, et notamment de la parcelle A++, que celles obtenues pour la parcelle A0.

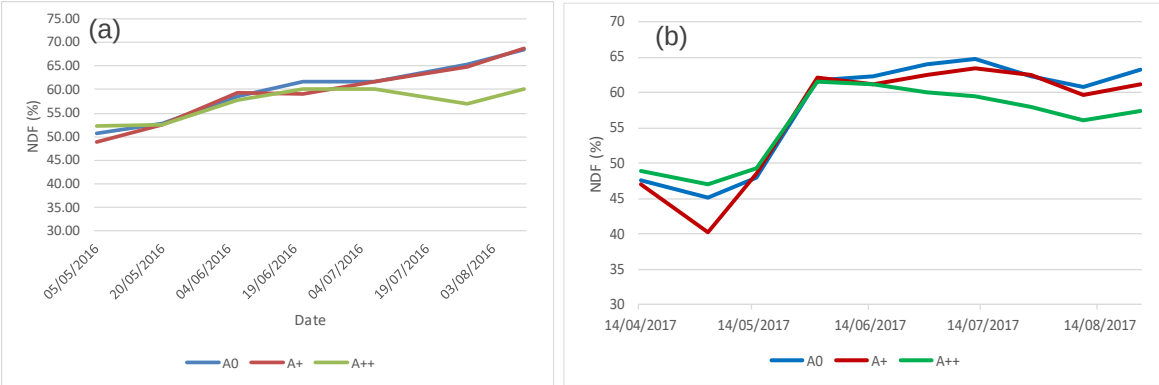

Figure 27 - Evolution de la teneur en parois cellulaires totales (NDF) au cours du premier cycle de végétation en 2016 (a) et en 2017 (b) en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbre ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).

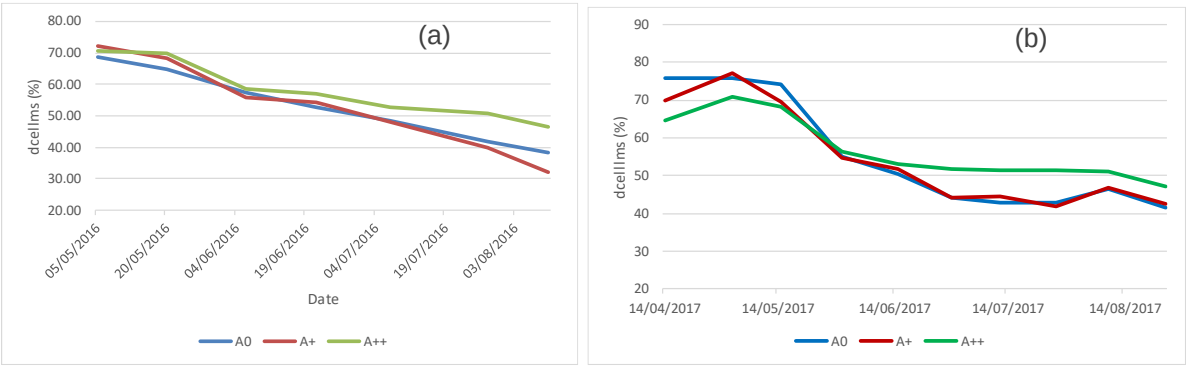

Figure 28 - Evolution de la digestibilité cellulase (dcellms) au cours au cours du premier cycle de végétation en 2016 (a) et en 2017 (b) en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbre ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).

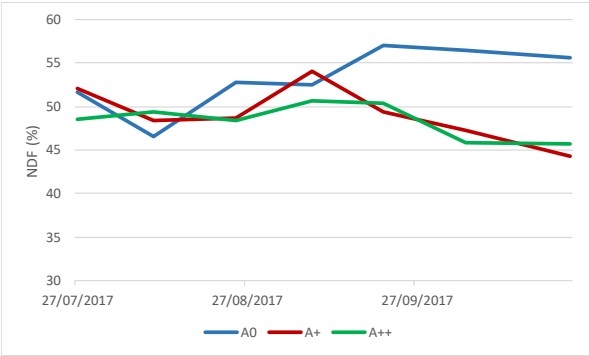

Figure 29 - Evolution de la teneur en parois cellulaires (NDF) des prairies au cours du deuxième cycle de végétation en 2017 en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).

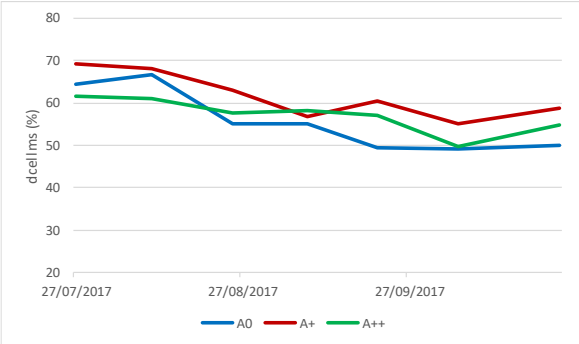

Figure 30 - Evolution de la digestibilité cellulase (dcellms) des prairies au cours du deuxième cycle de végétation en 2017 en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).

5.3.4. Conclusion

La présence d'arbres modifie la quantité et la qualité du fourrage produit par la prairie. A l'échelle de l'exploitation, malgré le faible rendement des prairies présentant une forte densité d'arbre, la présence d'arbres dans certaines prairies permettrait d'augmenter la souplesse de la conduite des prairies, car les parcelles fortement arborées ont la capacité d'héberger des animaux avec des besoins plus élevés. Ces résultats montrent aussi l'intérêt d'une utilisation plus tardive dans les deux cycles de végétation des prairies sous l'influence d'arbres que pour des prairies sans arbres. Enfin, ce travail montre aussi l'intérêt de l'agroforesterie à densités d'arbres élevés pour combler le manque de fourrage de qualité dans des périodes de sécheresse.

5.1. Etude de l'impact spatialisé des arbres agroforestiers sur les prairies permanentes

5.1.1. Démarche

Sur certains sites du réseau, nous nous sommes intéressés à l'impact spatialisé des arbres sur la prairie, c'est-à-dire en fonction de différentes distances à l'arbre, en comparaison d'un témoin. Les prélèvements d'herbe se sont répartis à plusieurs périodes de l'année de manière à simuler, toujours au même endroit, des prélèvements ponctuels et appréhender les dynamiques de repousses.

Deux années d'expérimentation ont été menées (2016 et 2017). L'année climatique 2016 a été marquée par des températures chaudes, supérieures aux Normales (+0.5°C) hormis au printemps et à l'automne. La pluviométrie a été excédentaire au cours du premier semestre de l'année puis déficitaire à l'été. En Normandie le déficit a pu atteindre 10%, et 20% en Occitanie (Météo France, 2018). L'année 2017 a quant à elle était marquée par des températures élevées (+0.8°C) et un fort déficit de précipitations (50% de avril et octobre), ce qui en fait une année associant, à l'instar des années 2003, 2011 et 2015, chaleur et sécheresse. Les printemps et été ont été les deuxièmes plus chauds observés depuis 1900 (Météo France, 2018).

5.1.2. Matériels et méthodes

5.1.2.1. Sites étudiés

Sur l'ensemble des sites de notre réseau, 10 ont été sélectionnés pour réaliser les suivis de production fourragère herbacée en fonction de l'intérêt de l'éleveur pour l'expérimentation et de la présence d'un témoin sans arbres adéquate. En raison du faible nombre de sites agroforestiers matures à pâturage ovin et disposant un témoin prairial sans arbres, nous avons également sélectionné des sites avec un pâturage bovins (Tableau 6)

Tableau 6 – Principales caractéristiques des parcelles étudiées dans le cadre de la tâche 2 du projet PARASOL

Site	« Bonnefont »	« Theix »	« Pomy »	« Lalosse »	« Ste Marguerite en Ouche »	« Carsix »	« Mantilly »	« Loré »	« Brunembert »	« Niort la F. »
Altitude	479	867	472	279	166	153	176	115	95	124
Climat	Continental	Montagnard	Méditerranéen dégradé	Méditerranéen dégradé	Océanique	Océanique	Océanique	Océanique	Océanique	Océanique
Système	Ovins viande	Vaches laitières	Ovins viande	Ovins lait	Ovins viande	Ovins viande	Bovins lait	Bovins lait	Bovin lait	Ovins viandes
Type de prairie	Pâturée	Pâturée	Pâturée	Pâturée	Pâturée	Pâturée	Pâturée	Pâturée	Pâturée	Pâturée
Type d'arbres	Forestiers	Forestiers	Forestiers	Forestiers	Fruitiers	Fruitiers	Fruitiers	Fruitiers	Forestiers	Fruitiers
Surface	1,5 ha	3 ha	2 ha	1,5 ha	3 ha	3 ha	1,5 ha	1 ha	1,5 ha	1,5 ha
Essences	Noyers noirs	Frênes	Merisiers	Noyers hybrides	Pommiers haute-tige	Pommiers haute-tige	Pommiers haute-tige	Pommiers haute-tige	Frênes, cormiers, poiriers, érables	Pommiers haute-tige
Date de plantation	1990	1991	1992	1997	1985	1996	1996	1996	1996	2000
Densité	83	102	100	76	123	93	80	100	104	180
Espacements	16 x 6 m	14 x 7 m	6 x 6 m	11 x 12 m	9 x 9 m	12 x 9 m	12 x 10 m	10 x 10 m	12 x 8 m	8 x 6 m

5.1.2.2. Protocole expérimental

5.1.2.2.1. Le dispositif

Les suivis prairiaux s'étalent sur l'ensemble de la saison fourragère de deux années (2016 et 2017). Chacune de ces années est découpée en 5 périodes (P) basées sur la phénologie des prairies :

- **P1 et P2 : La production de printemps**. Une première période à 500 degrés-jours et une hauteur minimum d'herbe de 8cm, et une seconde période à 1100-1200 degrés-jours, toutes deux à partir du 1er février.
- **P3 : La production d'été.** Cette période est déterminée en fonction du nombre de jours de repousses. Il été initialement prévu de compter environ 40 à 45 jours avant d'intervenir pour la P3. Les années 2016 et 2017 ayant été marquées par de fortes sécheresses nous avons finalement décidé de repousser les dates d'intervention, et de les caler suivant des règles de décision propres à chaque éleveur reposant principalement sur la hauteur d'herbe.
- **P4 : La production d'automne.** Cette période est déterminée en fonction du nombre de jours de repousses. Il été initialement prévu de compter environ 40 à 45 jours avant d'intervenir pour la P4. Les années 2016 et 2017 ayant été marquées par de fortes sécheresses nous avons finalement décidé de repousser les dates d'intervention, et de les caler suivant les règles de décision propres aux éleveurs reposant principalement sur la hauteur d'herbe.

Une P5 était initialement prévue pour évaluer la production hivernale (40 à 45 jours après la P4). De nombreuses contraintes liées aux conditions météorologiques et à la non reprise de l'herbe ont impacté notre capacité d'échantillonnage. Pour cette raison, la période P5 a été retirée de l'étude.

Figure 31 – Photographies de mises en défens en parcelle agroforestière (crédit photo : Thibaut Berne)

Figure 32 – Photographies de mises en défens en parcelle témoin (crédit photo : Thibaut Berne)

Sur chacun des sites retenus, deux parcelles expérimentales ont été retenues : la parcelle agroforestière (Figure 31) et la parcelle témoin (Figure 32).

- **Sur la parcelle agroforestière** (Figure 33) : 3 zones expérimentales ont été définies, chacune située autour de 3 arbres distincts mais d'envergure similaire sur la base des critères suivants : hauteur finale, hauteur de bille, circonférence du tronc et circonférence du houppier. Les zones expérimentales agroforestières ont été matérialisées par des mises en défens (clôtures électriques + grillage à mouton). Dans chaque mise en défens « agroforestière », 6 quadras de mesures de 0,54m² ont été réalisés suivant un gradient d'éloignement nord/sud par rapport à un arbre : 1m au nord (NA) ; d/4 au nord (NB) ; d/2 au nord (NC) ; 1m au sud (SA) ; d/4 au sud (SB) ; d/2 au sud (SC) (d représentant la distance entre deux arbres).
- **Sur la parcelle témoin** (Figure 32) : 1 seule zone expérimentale a été mise en défens et comportait 5 quadras de mesure de 0,54m².

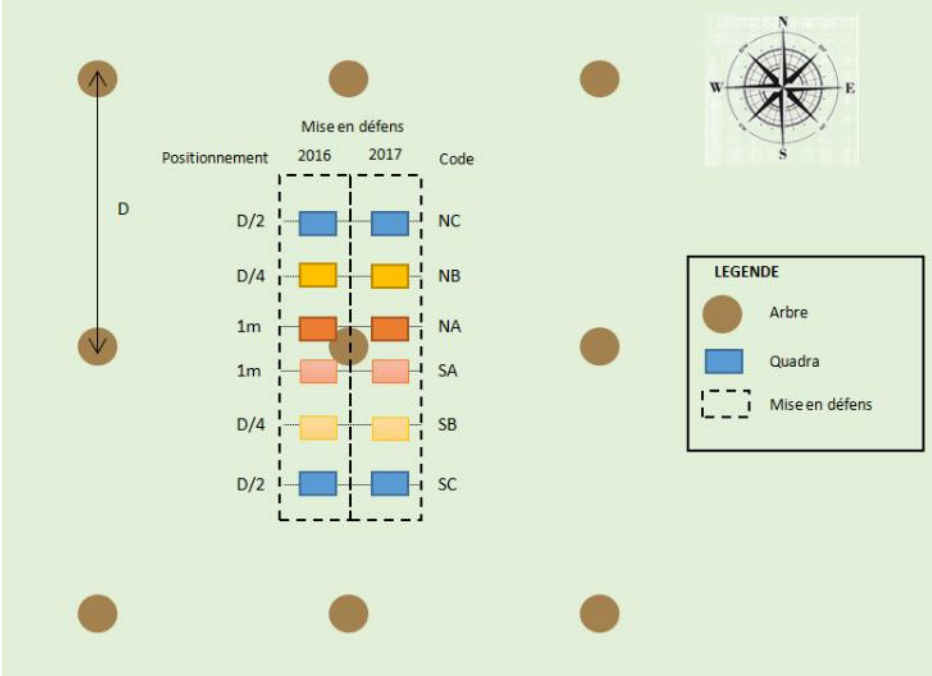

Figure 33 – Schéma d'une mise en défens en parcelle agroforestière

Il est à noter que d'une année à l'autre la mise en défens a été légèrement décalée de manière à garder la représentativité de la prairie étudiée et éviter un biais lié à l'expérimentation en seconde année.

5.1.2.2.2. Indicateurs de production herbacée

Hauteur d'herbe et hauteur de repousse :

A chaque période d'étude, sur chaque quadrat, la hauteur d'herbe a été mesurée avant et après prélèvement grâce à un herbomètre à plateau. Après prélèvement, la hauteur d'herbe devait avoisiner les 5 cm.

Une hauteur de repousse a été calculée pour les périodes P2, P3 et P4 pour chaque quadra, de la manière suivante :

Hauteur de repousse à la période Pi (cm) = Hauteur avant coupe (cm) de la période Pi – Hauteur après coupe (cm) de la période Pi-1.

Rendement herbacée au quadra :

La biomasse herbacée a été prélevée à l'aide d'une mini-tondeuse et directement pesée sur site. Un sous échantillon d'environ 300g a été constitué, conditionné et congelé pour être ramené au laboratoire où il a été pesé avant et après mise à l'étuve (72h-60°c) de manière à déterminer le taux de matières sèches des différents échantillons récoltés.

Ces taux individuels ont été appliqués à la pesée sur site afin d'en extrapoler un rendement en tonnes de matières sèches par hectare (tMS/ha). Une correction a été effectuée en fonction de la hauteur d'herbe effectivement prélevée (pouvant varier en fonction des opérateurs et des terrains, malgré l'effort de laisser une hauteur de 5cm).

*Rendement = (Poids MF * TMS) / (0.54*10000)*

5.1.2.2.3. Approche botanique et phénologique des prairies

La composition botanique des quadras a été étudiée à la deuxième date de prélèvement (P2), c'est-à-dire au printemps. Un relevé botanique total a été effectué sur chaque quadrat. Pour chaque espèce identifiée nous avons affecté un coefficient de Braun Blaquet (Tableau 7).

Tableau 7 - Coefficients de Braun Blanquet et ses traductions [Braun-Blanquet et al., 1952 ; Baudière & Serve, 1975]

Note d'abondance	Description	Classe de recouvrement	Recouvrement moyen
+	Individus rares (ou très rares) et recouvrement très faible	<1	0.5
1	Individus assez abondants, mais recouvrement faible	1-5	2.5
2	Individus très abondants, recouvrement au moins 1/20	5-25	15
3	Nombre d'individus quelconques, recouvrement 1/4 à 1/2	25-50	37.5
4	Nombre d'individus quelconques, recouvrement 1/2 à 3/4	50-75	62.5
5	Nombre d'individus quelconques, recouvrement plus de 3/4	75-100	87.5

Les espèces ont été identifiées avec le Guide Delachaux des fleurs de France (Streeter et al., 2001), la flore forestière française tome 3 : région méditerranéenne (Rameau et al., 2008), la flore complète portative de la France, de la Suisse et de la Belgique (Bonnier & De Layens, 1986) et grâce à trois clefs de détermination des graminées au stade végétatif (Limbourg ; Leconte ; INRA & ITCF, 1975).

Une fois déterminées, on attribue aux espèces de graminées légumineuses et dicotylédones un stade phénologique à partir de l'adaptation des travaux de Jeangros et Arnaudruz, (2005) (Tableau 8). Dans la mesure où une même espèce peut présenter des individus à des stades phénologiques différents, nous avons fait le choix de ne considérer, pour une espèce donnée, que le stade s'appliquant à la majorité de ses individus.

Tableau 8 – Echelles de notation des stades de développement phénologique pour les graminées, légumineuses et dicotylédones (Source : Jeangros et Arnaudruz, 2005)

Graminées		Légumineuses		Dicotylédones	
1	Tallage – début montaison	1	Rosette	1	Rosette
2	Montaison	2	Montaison	2	Boutons floraux
3	Début épiaison	3	Début floraison	3	Montaison
4	Pleine épiaison	4	Floraison-flétrissement	4	Début floraison
5	Fin épiaison	5	Fin de cycle	5	Pleine floraison

6	Pleine floraison			6	Fin floraison
7	Fructification			7	Fructification
8	Dispersion des graines			8	Dispersion des graines

Une note phénologique a été ensuite attribuée à chacun des quadras en réalisant la moyenne des notes phénologiques de chacune des familles d'herbacée (graminées, légumineuses, dicotylédones).

5.1.3. Résultats

Nous ne présenterons ici que les principaux résultats issus de la P2 et la P3 représentant respectivement, la période au potentiel de production le plus élevé et la période au potentiel de production le plus sensible aux sécheresses. Des fiches présentant les résultats par site d'étude seront éditées d'ici fin 2018 et seront disponibles sur le site : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/.

5.1.3.1. Impacts des arbres sur la production prairiale

Nous nous sommes à chaque fois intéressés à l'effet de la distance à l'arbre. Le site de Theix a été traité indépendamment des autres sites, en raison de la présence de la modalité agroforestière têtard. Dans le cas de ce site, nous n'avons pas étudié l'effet de la distance, mais l'effet du traitement agroforestier, à savoir « Agroforesterie – Haut-jet » (AF) ; « Agroforesterie – Têtards » (AFT) ; « Témoin » (ZT).

5.1.3.1.1. Au printemps (P2)

Sur les sites sur réseau

L'effet de la distance à l'arbre sur les rendements prairiaux est très variable d'un site à un autre (Df = 24 ; F-value = 2.920 ; p-value = 1.24e-05). Il n'y a pas d'interactions avec l'année de prélèvement (Df = 14 ; F value = 1.576 ; p-value = 0.09). L'effet de la distance à l'arbre sera donc présenté pour chaque site indépendamment, mais les deux années confondues (Figure 34).

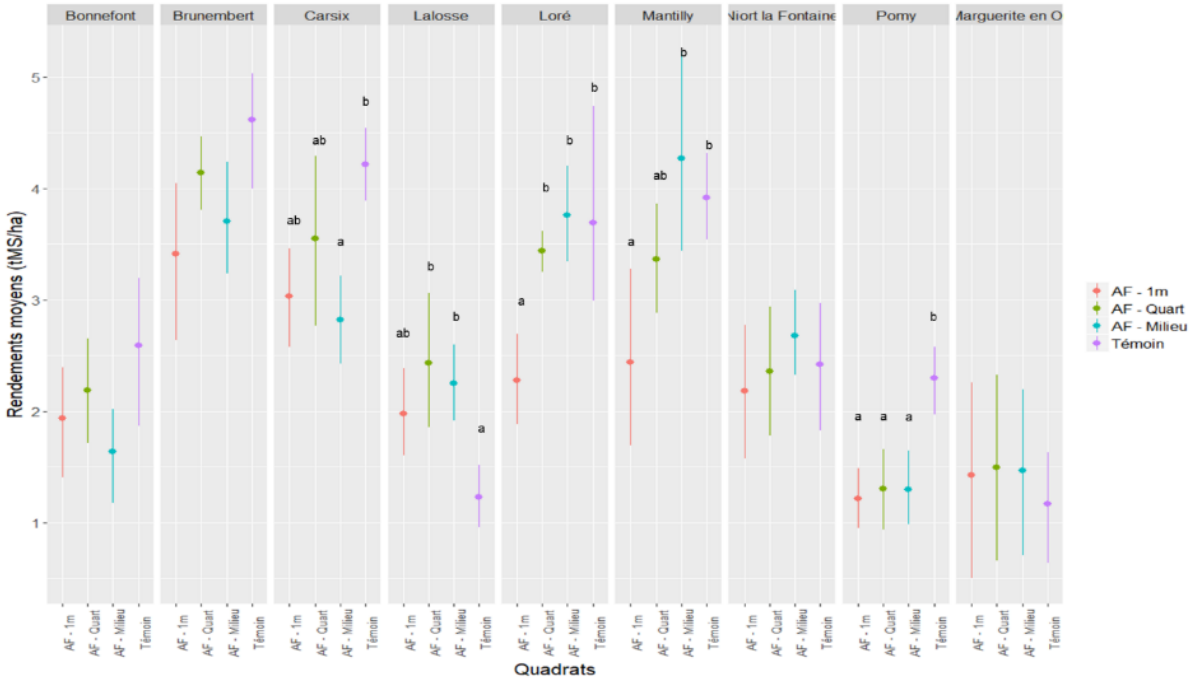

Figure 34 – Rendements moyens obtenus à la P2 par distance à l'arbre agroforestier et en témoin, pour chacun des sites, les deux années confondues (barres d'erreur = erreurs standards).

Sur quatre des sites suivis, aucune différence significative de rendement n'a été observée à la P2 (Bonnefont, Brunembert, Niort la Fontaine, Sainte Marguerite en Ouche).

A Bonnefont et Brunembert, on constate néanmoins une tendance à une réduction de rendement en agroforesterie quelle que soit la distance à l'arbre, en comparaison de la zone témoin.

Sur les autres sites avec des arbres forestiers (Pomy, Lalosse), on observe des résultats contrastés laissant se démarquer à chaque fois les rendements témoin en comparaison des rendements agroforestiers.

- Sur le premier site, Pomy, les rendements du témoin à la P2 sont significativement supérieurs en témoin, en comparaison de l'ensemble des modalités agroforestières (1m, quart, milieu) (Df = 3 ; F value = 6.5 ; p value = 0.001).
- Sur le second site, Lalosse, les rendements obtenus en témoin sont significativement plus bas qu'en agroforesterie (Df = 3 ; F value = 5.3 ; p value = 0.003)

Sur certains sites en pré-vergers, comme Mantilly et Loré, les rendements moyens obtenus à 1m de l'arbre sont significativement inférieurs aux rendements obtenus au quart ou au milieu de l'inter-rang ainsi que ceux du témoin (respectivement : Df = 3 ; F value = 5.3 ; p value = 0.004 / Df = 3 ; F value = 7.169 ; p value = 0.002).

Sur la parcelle de La Vigérale à Theix

Les comparaisons de rendements moyens (Figure 35) laissent apparaître des différences significatives entre les trois modalités présentes (Df = 2 ; F value = 76.268; p-value = < 2e-16), sans effet de la distance (Df = 2 ; F value = 0.960 ; p-value = 0.4).

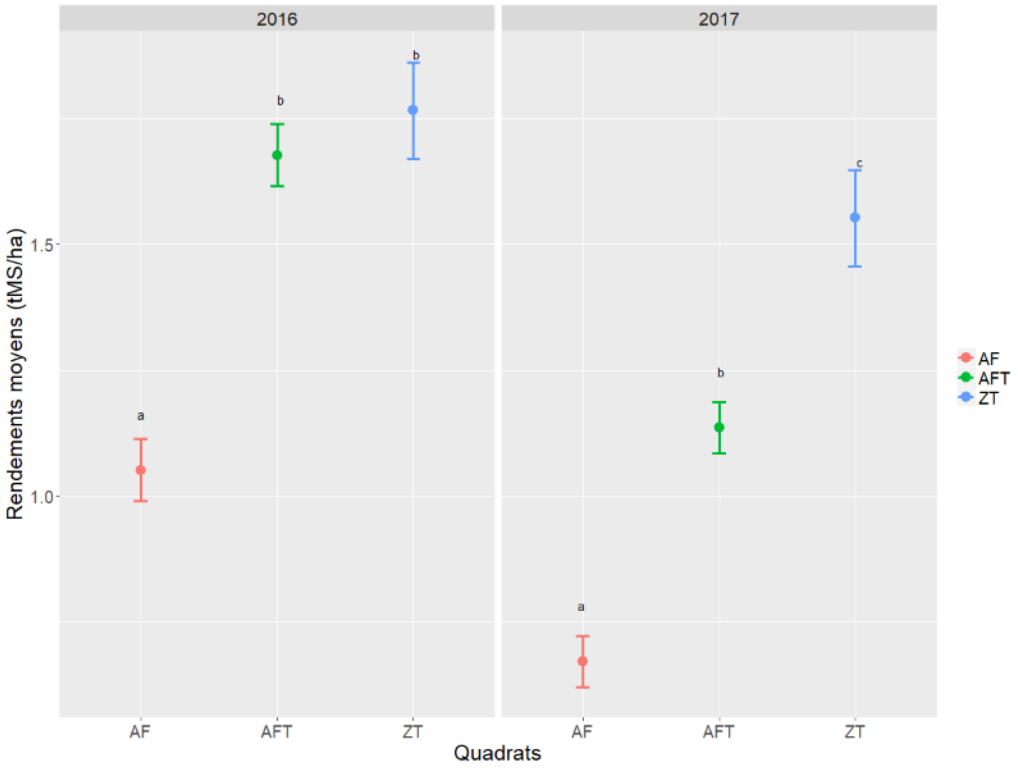

Figure 35 – Rendements moyens obtenus à la P2 dans les différents traitements de la parcelle de La Vigérale à Theix, pour chacune des deux années de suivis (barres d'erreur = erreurs standards).

Quelle que soit l'année considérée, le rendement moyen obtenu pour la modalité AF est inférieur aux rendements moyens obtenus en AFT et ZT : en 2016, AF produit en moyenne 0.7 tMS/ha de moins de AFT et ZT ; en 2017, AF produit en moyenne 0.89 tMS/ha de moins que ZT et 0.47 tMS/ha de moins que AFT.

Le rendement moyen obtenu en AFT n'est pas différent de ZT en 2016. En 2017, une différence significative est mise en évidence avec 0.42 tMS/ha de moins en AFT qu'en ZT, probablement due à la repousse des branches d'arbres têtards, fermant un peu plus le milieu (cf. chapitre 4).

5.1.3.1.2. A l'été (P3)

Pour l'analyse des résultats de la P3, nous n'avons considéré que la hauteur de repousse de l'herbe, car, dans la mesure où la repousse a été globalement très faible, aucun quadra n'a pu être prélevés à la mini-tondeuse, empêchant ainsi toutes mesures de rendements.

Sur les sites sur réseau

L'impact des arbres sur la repousse prairiale varie grandement d'un site à l'autre (Df = 24 ; F-value = 6.395 ; p-value = 3.72e-10) et d'une année à l'autre (Df = 17 ; F-value = 2.345 ; p-value = 0.002).

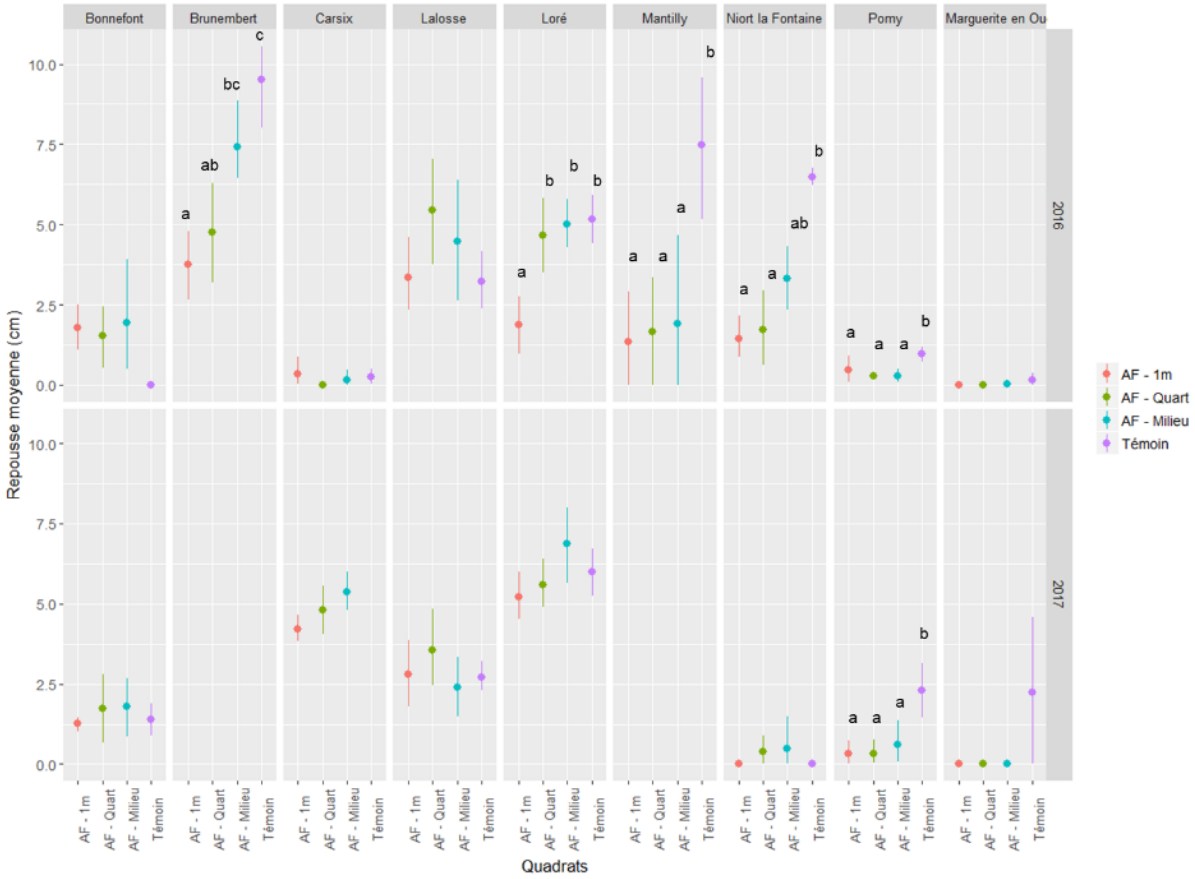

Figure 36 – Hauteur moyenne d'herbe obtenue à la P3 par distance à l'arbre agroforestier et en témoin, pour chacun des sites, les deux années confondues (barres d'erreur = erreurs standards).

Sur de nombreux sites, la repousse d'herbe en agroforesterie n'a pas différé du témoin. Lorsqu'une différence de repousse a été observée, elle était souvent en faveur du témoin, ou des quadras les plus éloignés des arbres.

Sur la parcelle de La Vigérale à Theix

Les comparaisons de repousse moyenne d'herbe laissent apparaître des différences significatives entre les modalités (Df = 2 ; F value = 3.829; p-value = 0.04), sans effet de la distance (Df = 2 ; F value = 0.081 ; p-value = 0.9).

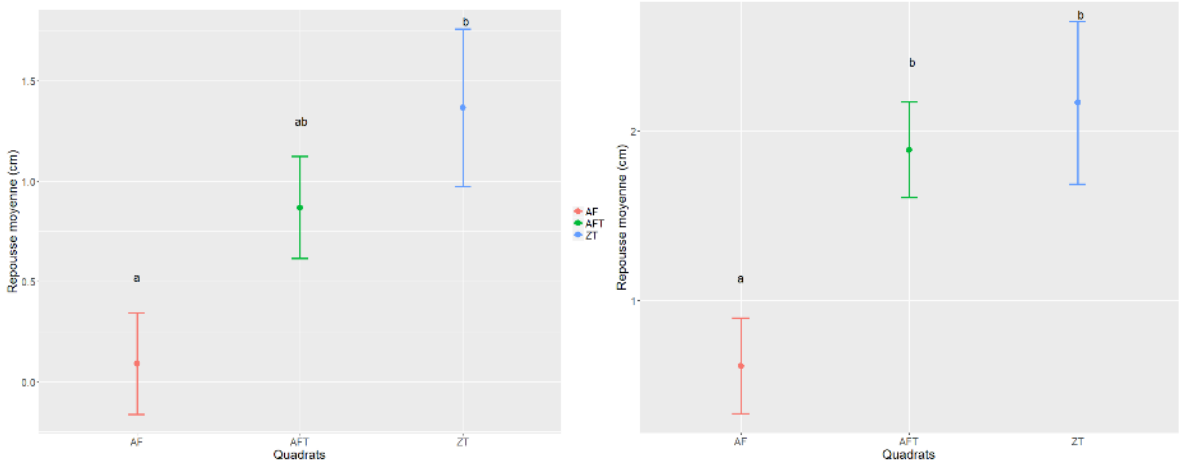

Figure 37 – Hauteur moyenne de repousse (cm) obtenue à la P3 en 2016 (gauche) et 2017 (droite) dans les différents traitements de la parcelle de La Vigérale à Theix, pour chacune des deux années de suivis (barres d'erreur = erreurs standards).

Quelle que soit l'année considérée, la hauteur moyenne de repousse de l'herbe à la P3 en AF est inférieure à celles obtenues en AFT et ZT. Il n'y a aucune différence significative entre les hauteurs moyennes de repousse de l'herbe entre AFT et ZT.

5.1.3.2. Impact des arbres sur la composition botanique et la phénologie des prairies

Dans l'ensemble des sites de l'étude les espèces dominantes étaient représentées par : le Ray-grass anglais (*Lolium perenne*), l'Agrostis commun (*Agrostis capillaris*), la Houlque laineuse (*Holcus lanatus*), le Trèfle blanc (*Trifolium repens*), le Pâturin commun (*Poa trivialis*) et la Houlque molle (*Holcus mollis*).

L'effet de l'agroforesterie sur la composition botanique apparait très variable d'un site à l'autre, aucune tendance générale ne pouvant en être tiré.

5.1.3.2.1. Pour les sites situés en Hauts De France et en Normandie

Berne (2016) met en évidence une légère discrimination des parcelles agroforestières et témoin en fonction de leur composition botanique. La différence apparaît d'autant plus importante avec le quadra situé à 1m au nord de l'arbre. Certaines espèces ont par ailleurs été retrouvées d'avantage sous les arbres (*Vulpia myuros, Achillea millefolium*), d'autres au niveau des interlignes (Plantago major) et d'autres encore dans la parcelle témoin (*Trifolium pratense, Rumex circus*), mais elles ont la particularité de représenter moins de 1% des espèces dominantes.

Sur ces mêmes sites, en se concentrant sur les espèces majoritaires précédemment évoquées, on s'aperçoit qu'en moyenne (Berne, 2016) :

- *Lolium perenne* constitue 26% des espèces dominantes en parcelle agroforestière contre 18% en parcelle témoin, et 32% dans les zones à 1m de l'arbre contre 21% au milieu de l'inter-rang.
- *Agrostis capillaris* représente 13% des espèces dominantes en parcelle agroforestière contre 23% en parcelle témoin.
- *Holcus lanatus* représente 13% des espèces dominantes en parcelle agroforestière contre 4% en parcelle témoin.
- *Trifolium repens* constitue 10% des espèces dominantes en parcelle agroforestière contre 15% en parcelle témoin, et seulement 4% dans les zones à 1m de l'arbre contre 15% au milieu de l'inter-rang.
- *Poa trivialis* constitue 6% des espèces dominantes dans les zones à 1m de l'arbre contre au 9% au milieu de l'inter-rang.
- *Holcus mollis* représente 7% des espèces dominantes en parcelle agroforestière contre 3% en parcelle témoin.

Sur la Figure 38, on peut voir que dans la plupart des sites, le pourcentage moyen de légumineuses diminue à proximité des arbres (1m).

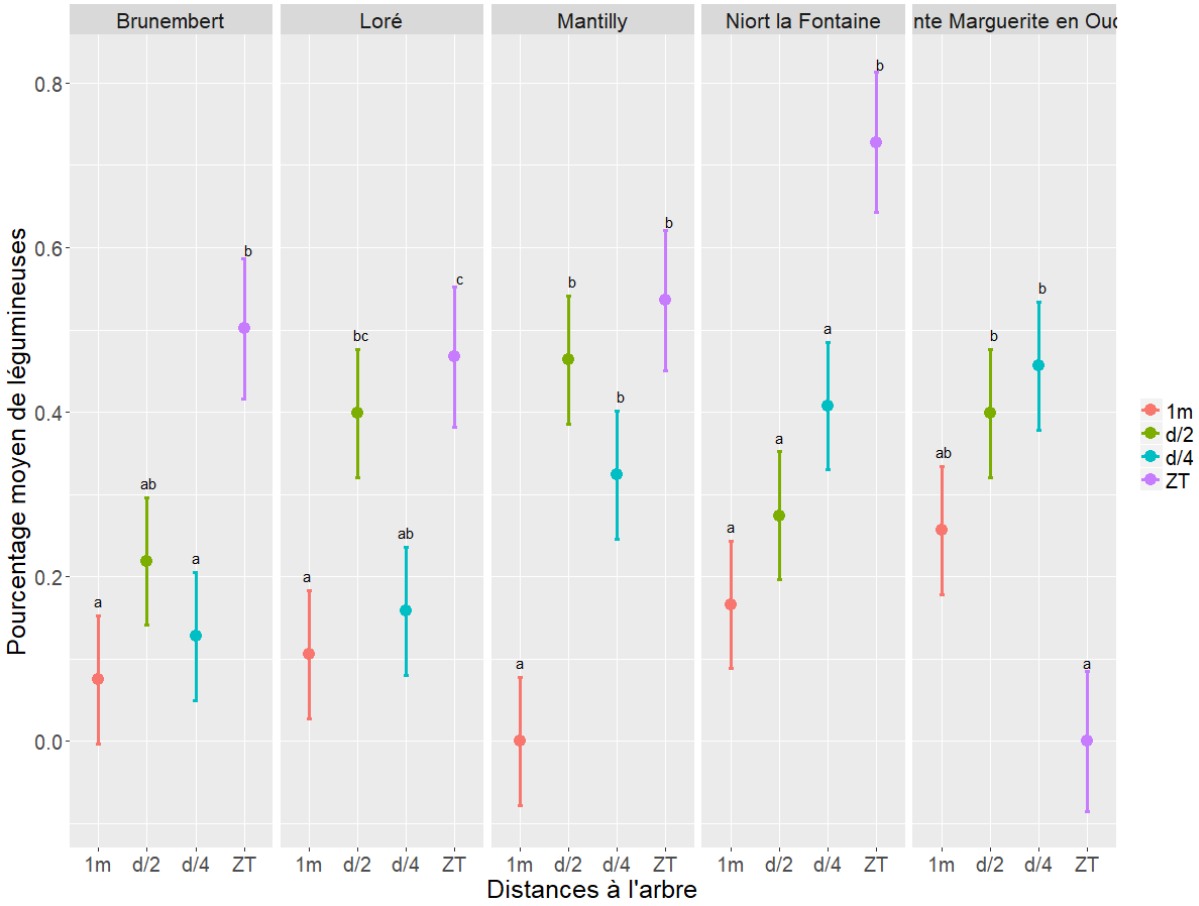

Figure 38 - Pourcentage moyen de légumineuses en fonction de la distance à l'arbre et en comparaison du témoin, sur les sites situés dans les Hauts de France et Normandie, à partir des données relevées en 2016 (barres d'erreur = erreurs standard).

Berne (2016) a également mis en évidence un décalage phénologique significatif pour les prairies agroforestières et témoin sur le site de Sainte Marguerite en Ouche. Le retard phénologique est apparu plus important au nord de l'arbre et fonction de la distance à l'arbre. Sur les autres sites de Normandie et des Hauts de France, seule une tendance sans significativité a été mise en évidence.

5.1.3.2.2. Pour les autres sites : Auvergne et Languedoc Roussillon

Globalement, les compositions botaniques des parcelles agroforestières et témoin de ces différents sites (Bonnefont, Lalosse, Pomy et Theix) ne présentent pas de grandes dissimilarités (Figure 39).

L'analyse graphique tant à confirmer la grande diversité des communautés au sein des modalités agroforestières (Figure 39). Seules les praires du site du Bonnefont semblent tendre vers une dissimilarité avec la zone témoin. L'ACP sur le site de Theix confirme la similarité entre la zone témoin et la zone avec les arbres têtards ainsi que le caractère particulier de la zone avec les arbres en haut jet.

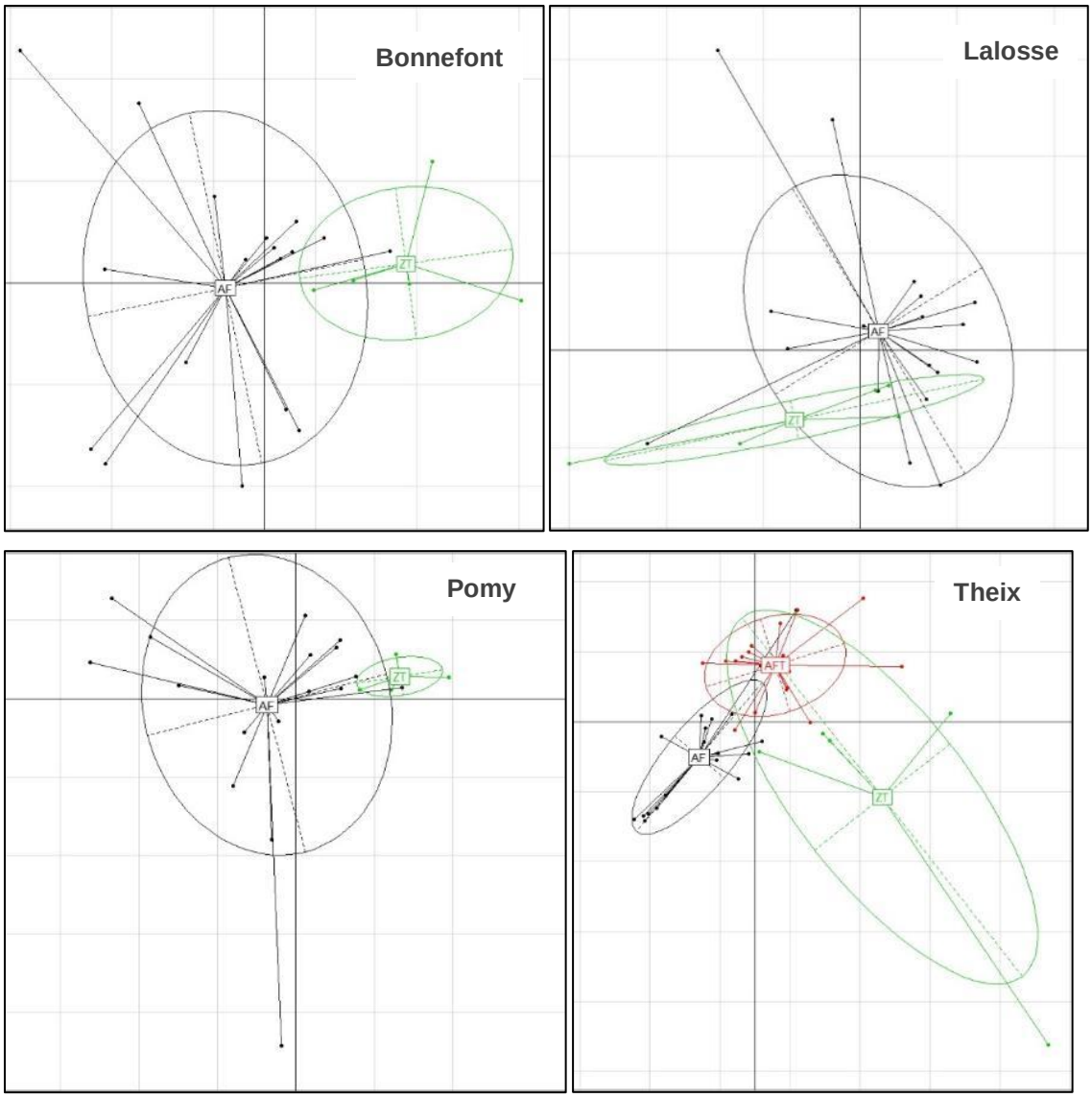

Figure 39 – Plans factoriels formés par les deux premières dimensions des Analyses en Composantes Principales sur le recouvrement des espèces des différents sites. Regroupement des données selon les modalités étudiées (AF : Agroforesterie sous haut-jet ; AFT : Agroforesterie sous arbres têtards ; ZT : Zone témoin). Les détails concernant les variables sont donnés en annexes 1 et 2.

Sur le site de Theix, les compositions floristiques des zones avec les arbres têtards (AFT) et témoin (ZT) se chevauchent, tandis que la composition floristique de la zone avec les arbres de haut jet (AF) semble se distinguer avec des espèces plus rudérales (annexes 1 et 2).

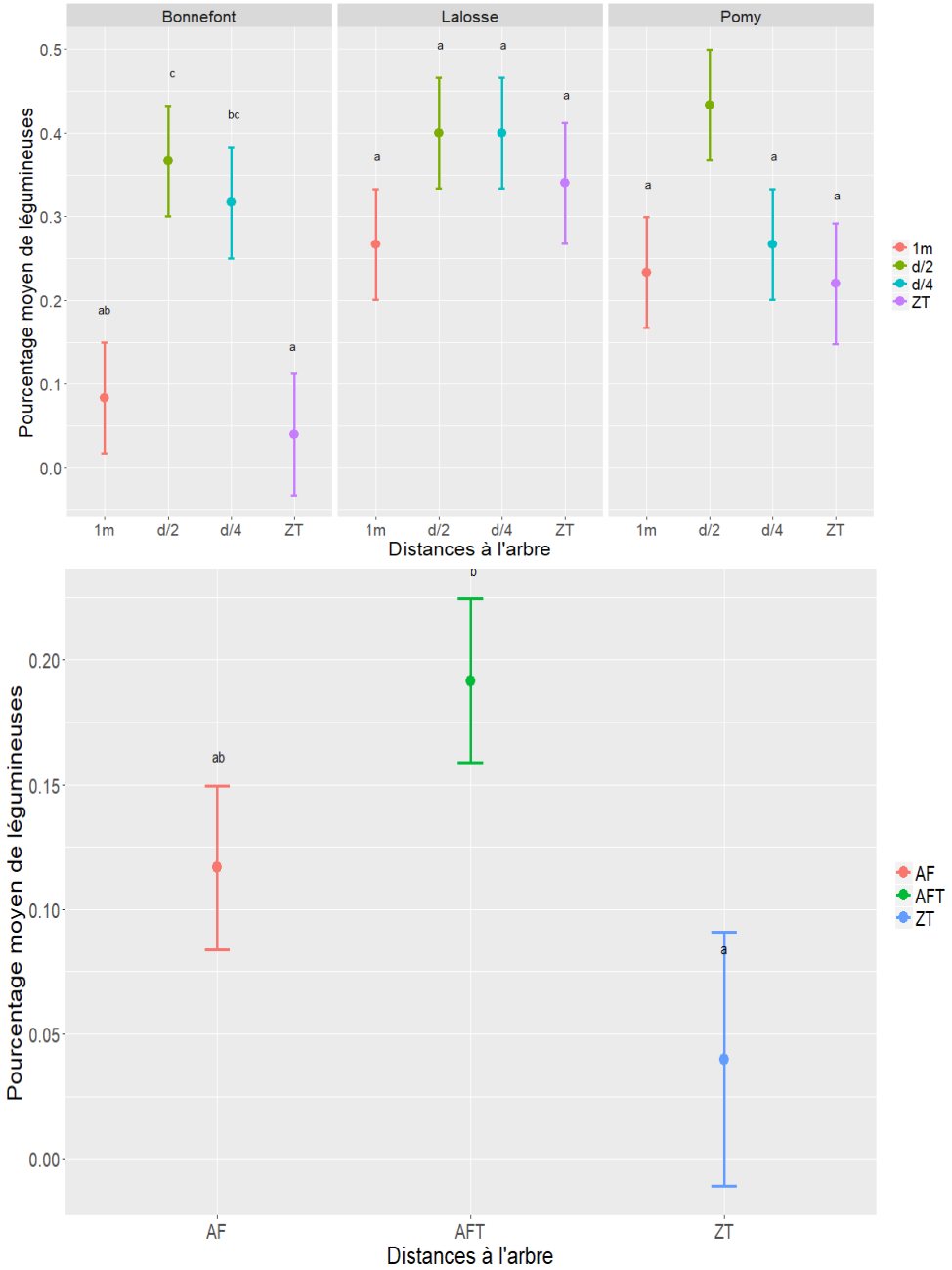

Figure 40 – Pourcentage moyen de légumineuses observé à différentes distances des arbres et en zone témoin, en 2016, sur les différents sites d'Occitanie et d'Auvergne-Rhône-Alpes (dessus) et le site de Theix (dessous) (Barres d'erreur = erreurs standard).

Concernant l'impact de l'arbre sur les familles botaniques présentes, l'ANOVA met en évidence un effet de la distance à l'arbre en interaction avec l'effet des sites (Df = 24 ; F value= 4.726 ; p-value = 6.00e-10). La Figure 40 montre un effet de la distance à l'arbre sur le site de Bonnefont : le pourcentage moyen de légumineuses est significativement inférieur à 1m de l'arbre qu'au quart (p-value = 0.02) ou milieu de l'inter-rang (p-value = 0.0009). Contrairement à ce que l'on aurait pu supposer, sur la partie témoin, on observe un pourcentage moyen de légumineuses similaire à la zone à 1m de l'arbre. Sur les autres sites, aucune différence significative n'a été observée.

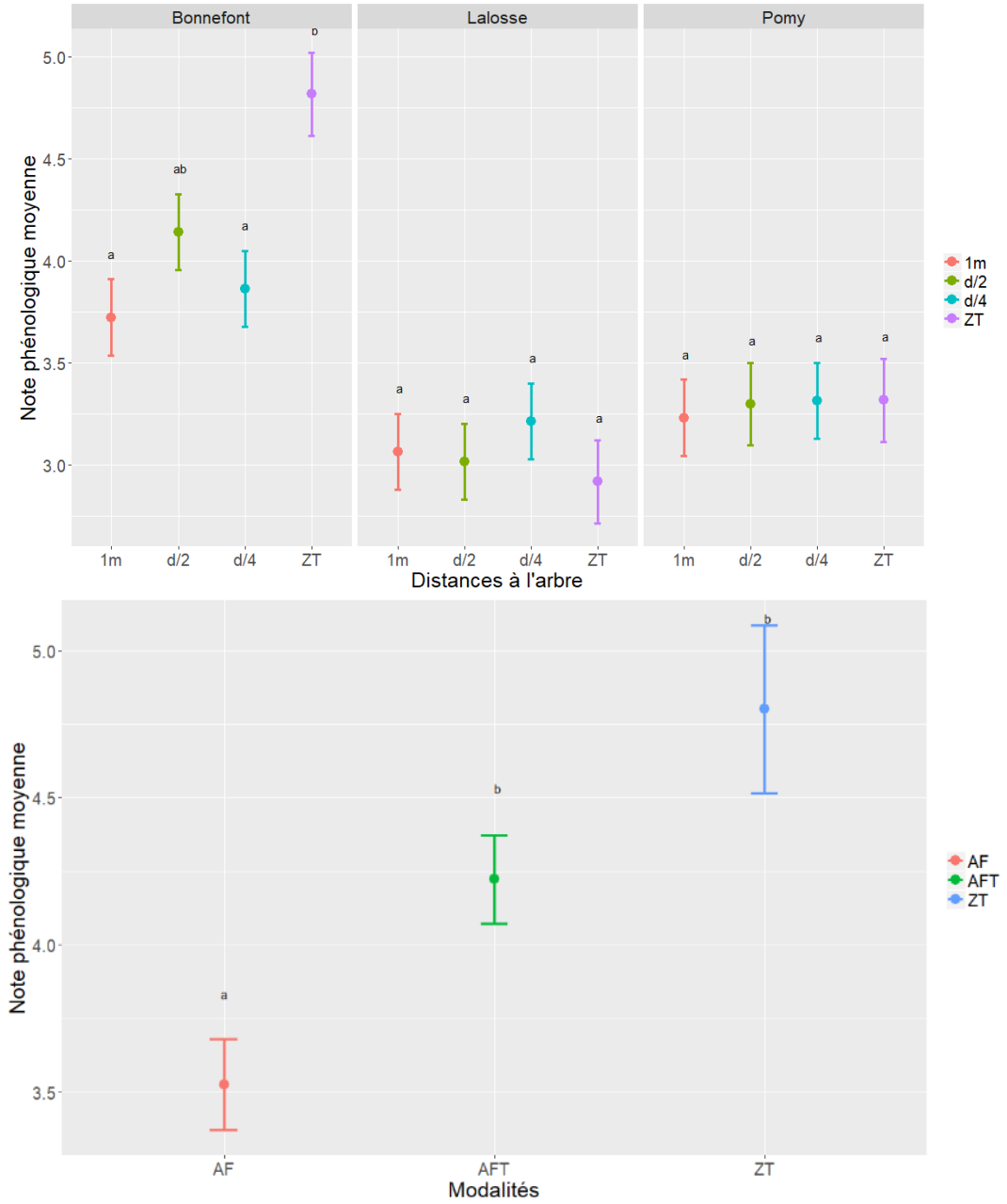

Figure 41 – Notes phénologiques moyennes obtenues à différentes distances des arbres et en zone témoin, en 2016, sur les différents sites d'Occitanie et d'Auvergne-Rhône-Alpes (dessus) et le site de Theix (dessous) (Barres d'erreur = erreurs standard).

Sur le site de Theix, on peut observer un retard phénologique significatif dans la modalité à la canopée la plus fermée, à savoir « Agroforesterie – Haut-jet » (AF) par rapport aux deux autres modalités (p-value = 0.007). Une tendance, non significative semble également se dessiner d'un décalage phénologique entre témoin (ZT) et agroforesterie sous têtards (AFT).

Sur le site de Bonnefont, une différence significative de phénologie est observée entre les herbacées à 1m de l'arbre, au milieu de l'inter-rang en comparaison de la zone témoin.

Pour les sites de Pomy et de Lalosse, aucune différence phénologique n'a été mise en évidence.

5.1.3.3. Qualité de l'herbe

Des analyses de la composition chimique et de la valeur nutritive de l'herbe sont actuellement en cours. Les résultats ne sont pas encore disponibles mais seront présentés dans un rapport complémentaire qui sera disponible d'ici fin 2018 sur le site Internet du projet PARASOL.

5.1.4. Conclusion

L'impact spatialisé des arbres sur les compositions floristiques des prairies, leur phénologie et leur rendement apparaît contrasté en fonction des sites dont les conditions pédoclimatiques, les densités d'arbres, les types d'arbres sont-elles mêmes variées. S'il est difficile d'en tirer des généralités, notre étude permet toutefois d'explorer une diversité de situations dont les résultats nous permettent de tirer des enseignements intéressants sur la manière dont l'agroforesterie doit être appréhender dans la conduite des prairies naturelles permanentes.

En ce qui concerne, les rendements prairiaux obtenus aux printemps (P2) des années 2016 et 2017, bien que les situations soient contrastées d'un site à l'autre, nous avons pu observer que globalement les zones les plus à proximité des arbres (1m) subissaient une diminution de rendement en comparaison de zones plus éloignées ou du témoin sans arbres. Il est probable que cet impact soit dû à une combinaison de facteurs tels que la compétition racinaire et un ombrage trop important. Dans le cas particulier du site de Bonnefont, c'est une activité accrue des rat taupiers à proximité des arbres qui a fortement impacter la production d'herbe. Dans le chapitre 4, traitant du microclimat sur ces sites, nous avions vu qu'à proximité des arbres, le pourcentage d'ouverture de canopée était parfois très réduit, descendant dans la plupart des cas en dessous des 50%. Les seuls sites ne montrant pas de baisse de rendement (significative ou tendancielle) à proximité des arbres sont le site de Lalosse et de Sainte Marguerite en Ouche, pour lesquels l'ouverture de canopée à 1m de l'arbre ne descendait pas en dessous de 50%. En cause principalement, l'architecture des arbres dont la densité de houppier était faible. Par ailleurs, sur les sites implantés avec des arbres forestiers, nous avons pu voir dans le chapitre 4 que l'ouverture de canopée était réduite de manière plus graduelle avec la distance à l'arbre, contrairement aux sites implantés avec des fruitiers, pour lesquels la fermeture de la canopée s'opérait surtout à proximité des arbres. Cela pourrait expliquer les résultats obtenus sur les rendements prairiaux : En pré-verger, la diminution du rendement porte principalement sur les surfaces à 1m des arbres, alors qu'en agroforesterie avec des arbres forestiers, même si un gradient de distance à l'arbre se dégage, c'est l'ensemble des distances agroforestières qui semblent impactées par l'arbre en comparaison du témoin. Au-delà de l'effet de la densité ou de la distance à l'arbre, l'intervention sur le houppier des arbres est apparue comme un levier potentiel, susceptible de limiter la compétition lumineuse entre les arbres et les herbacées.

Des études complémentaires, non présentées dans le présent document, mais menées dans PARASOL, ce sont intéressées à extrapoler le rendement global des parcelles agroforestières à partir des quadras de mesure. Ces extrapolations s'appuient sur un mécanisme d'attribution de rendements à une surface donnée, en l'occurrence un hectare, et à un espacement donné (celui de la plantation réelle).

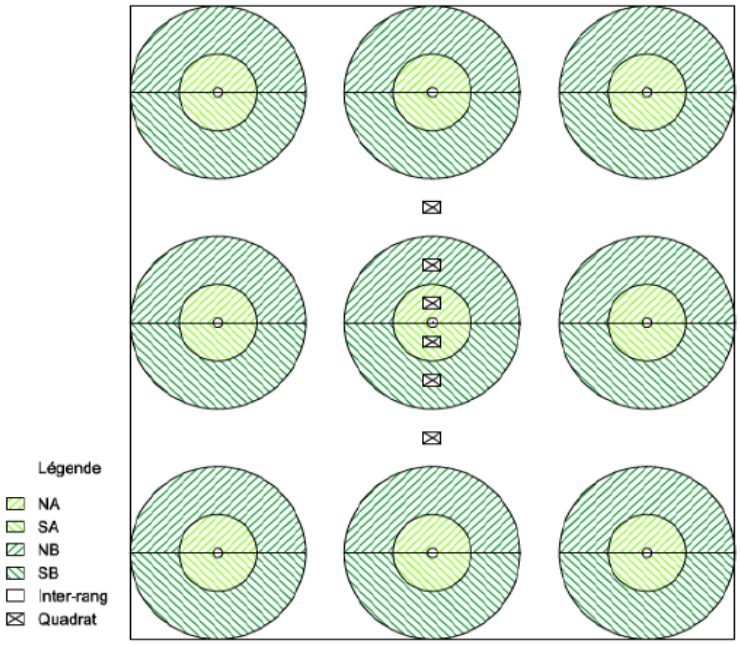

Figure 42 – Schéma pour comprendre l'extrapolation des rendements à l'échelle parcellaire.

Dans la majorité des cas, la baisse de rendement à la P2 observée à proximité de l'arbre n'entraine pas de baisse importante du rendement parcellaire, ces surfaces ne représentant que 2 à 7 % de la surface parcellaire totale. Dans ces scénarios, au printemps, les parcelles agroforestières offrent des rendements prairiaux globaux similaires au témoin, la seule différence résident dans l'hétérogénéité spatiale des rendements. Seuls cas où la productivité parcellaire est impactée, les cas où l'ouverture de canopée est largement inférieure à 50%.

Ces résultats seront détaillés dans les fiches « sites » qui seront publier le site du projet PARASOL d'ici fin 2018.

A l'été, et pour les deux années marquées d'une sécheresse, la production prairiale est apparue soit non impactée par la présence des arbres, soit impactée négativement. Ces résultats semblent donc infirmer l'hypothèse selon laquelle la production prairiale estivale agroforestière serait supérieure à celle des prairies ouvertes (Sibbald, 2006). Ce résultat est toutefois à prendre avec précaution, dans la mesure où il est possible que le protocole de prélèvement ait infligé une pression trop importante aux prairies étudiées limitant fortement la repousse estivale, surtout dans les conditions de sécheresse rencontrées. Tout l'enjeu à l'avenir est d'adapter la conduite de ces prairies agroforestières avec des interventions plus ou moins tardives, de manière à valoriser au maximum le décalage phénologique observé et favoriser une production estivale potentiellement de meilleure qualité.

En ce qui concerne la composition botanique des prairies, tout comme Guevara Escobar et al. (1998), nous n'avons pas démontré de différences, sur l'année entre les prairies arborées ou témoin. Seules quelques espèces herbacées sont apparues favorisées par rapport à d'autres. *Lolium perenne* est davantage présent sous l'arbre que dans l'inter-rang mais on retrouve l'effet exactement opposé chez *Trifolium repens. Lolium perenne* se retrouve dans les environnements doux avec de faibles amplitudes thermiques, environnement facilité par la présence rapproché de l'arbre (1m). Tandis que *Trifolium repens* affectionne la luminosité et la chaleur que lui confère l'absence de compétition dans l'inter-rang des arbres.

5.2. Conclusions et perspectives

Ces études ont permis d'apporter des éléments sur l'impact de la présence d'arbres sur les prairies naturelles permanentes. Nous pouvons voir notamment que l'agroforesterie, en fonction des densités d'arbres et de la manière dont les houppiers sont gérés, est susceptible d'impacter les quantités d'herbe produites, la phénologie de la prairie et sa valeur nutritive. Globalement, la plupart des prairies agroforestières que nous avons suivies, bien qu'ayant montré un décalage phénologique, ont eu des rendements herbacés printaniers et estivaux similaires ou parfois supérieurs au témoin. On note également l'impact spatialisé de l'arbre, plus marqué à proximité qu'au milieu des inter-rangs (ou les interactions sont moins fortes). Cette hétérogénéité est à prendre en compte dans la conduite de ces surfaces.

Malgré tout, au-delà d'une certaine densité d'arbres (par exemple à 150 tiges/ha pour la parcelle de Lamartine), ou lorsque l'envergure de leur houppier limite grandement la lumière reçue par les herbacée (par exemple à moins de 50% d'ouverture de canopée, dans le cas des sites du réseau), l'impact de l'agroforesterie réduit fortement la production prairiale, en plus d'accentué le décalage phénologique.

L'ensemble de ces résultats souligne la diversité des situations et montre qu'en fonction des choix stratégiques de plantation (densité, type d'arbres) ou des choix tactiques (intervention sur les houppiers, éclaircies), une utilisation différentielle des prairies agroforestières doit être raisonner à l'échelle de l'exploitation. En effet, malgré le faible rendement des prairies présentant une forte densité d'arbre, la présence d'arbres dans certaines prairies permettrait d'augmenter la souplesse de la conduite des prairies, dans la mesure où elles ont la capacité d'héberger des animaux avec des besoins plus élevés. Nos résultats montrent aussi l'intérêt d'une utilisation plus tardive de ces surfaces pouvant potentiellement combler le manque de fourrage de qualité dans des périodes de sécheresse.

Figure 43 – Schématisation des principales conclusions concernant l'étude de l'impact de l'agroforesterie sur les prairies permanentes.

5.3. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action

Rapports de stage :

Sabourin G., 2016. *Gestion des ressources fourragère herbacées en agroforesterie intraparcellaire aux échelles du système d'alimentation et parcellaire. Rapport de stage, présenté pour le master FAGE. AGROOF SCOP, AgroParisTech et Université de Lorraine. 32p.*

Berne T., 2016. *Etude de l'impact des dispositifs agroforestiers sur le potentiel de production printanier des prairies en région Ouest et Nord de France. Rapport de stage. IDELE et ESA. 83p.*

Rocher A., 2017. *Les prairies en agroforesterie intraparcellaire : Quelles opportunités pour la production fourragère ? Rapport de stage présenté pour le master EGPM Montagne. AGROOF SCOP et Université Savoie Mont Blanc. 74p.*

Carla Gava, 2016. *Pâturage ovin sur prairies arborées - Quels impacts des arbres sur l'animal et la prairie ? Rapport de stage, année de césure, 2ème année Montpellier SupAgro. INRA Theix et Montpellier SupAgro. 54 pages. Soutien financier du GIS Elevage Demain.*

Talon, Jean-Pierre, *2018*. Impact de la présence d'arbres sur la productivité et la qualité de la ressource prairiale *Rapport de stage. IDELE, INRA de Theix et AGROOF SCOP. 40 pages*

- ✓ Disponibles sur le site Internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

Vidéos :

Présentation des objectifs de la tâche 2 par Éric Pottier – IDELE. Réalisation : Nicolas Girardin et Antoine Marin – AGROOF SCOP.

- ✓ Disponible sur la chaîne vidéo du projet : https://vimeo.com/channels/parasol/162801860

Interventions dans des séminaires, colloques, journées techniques, …

Andueza, D., Guittard, A., Pourrat, J., Bernard, M., Picard, F. 2018. *Effect of tree density on the evolution of phenological stage of agroforestry permanent grasslands. Proocedings of the ISNH congress, Clermont-Ferrand France (accepted)*

Béral, C., Andueza, D., *2017. Journée d'échanges à destination d'éleveurs. PNR Côte d'Opale, Le Wast, 62 Pas-de-Calais, 14 février 2017. Journée technique agroforesterie. Présentation orale.*

- ✓ Disponible sur la chaîne vidéo du projet : https://vimeo.com/channels/parasol/162801860

Béral, C., Pottier E., *2017. Le Pradel, Ardèche, 29-30 mars 2017. Séminaire de formation agroforesterie d'élevage. Présentation orale.*

Béral C., Andueza D., Moreau J.-C., 2018*. Production fourragère herbacée en agroforesterie : résultats. Séminaire de fin du projet ARBELE, 5 juin 2018, Bergerie Nationale, Rambouillet, 4p.*

- ✓ Disponibles sur le site Internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

Béral C., Moreau J.-C., Andueza D., Pottier E., 2018. *Production fourragère herbacée en agroforesterie. Synthèse de résultats. 4pages.*

- ✓ Disponible sur la chaîne vidéo du projet : https://vimeo.com/channels/parasol/162801860

Figure 44 – Photographie David Grandgirard en pleine mesure dendrométrique sur la parcelle de Theix (crédit photo : AGROOF SCOP)

6. BIOMASSE AERIENNE DES ARBRES : Répartition compartimentalisée et évolution dans le temps.

Etude menée dans le cadre de l'action 3 du projet PARASOL. Elle a été réalisée sous la responsabilité de David Grandgirard (UniLasalle).

Auteur : David Grandgirard (UniLasalle)

Contributeurs : Mickaël Bernard (INRA Theix) ; Victor Cuisinez (stagiaire UniLasalle) ; Hugo Lasselin (stagiaire UniLasalle) ; Méric Thellou (stagiaire UniLasalle)

Principaux résultats

- Des modèles constitués et fonctionnels pour les essences agroforestières suivantes : pommier, érable et noyer – une première base de données « frêne ».

- La nécessité d'enrichir la base de données PARASOL constituée de données extérieures (SCA0PEST, PIRAT) pour disposer de jeux plus conséquents, plus robustes et représentatifs de classes d'âge élargies.

- Malgré ces limites, des modèles effectifs qui permettent par exemple de simuler à un instant t, pour des peuplements d'âge compris entre 5 et 30 ans, l'état carboné global ou compartimenté selon usages.

- Un échec concernant la tâche de reconstituer l'évolution dynamique des biomasses arborées du fait de l'inexistence et/ou de l'inaccessibilité des données historiques IRSTEA – INRA.

6.1. Finalité et objectifs

Les objectifs poursuivis sont les suivants :

- Disposer au terme de modèles allométriques spécifiques prédictifs de la biomasse aérienne totale et/ou compartimentée pour permettre (i) d'estimer sur pied la part mobilisable de la biomasse aérienne pour affouragement dans la ration alimentaire des ovins et (ii) pour approcher la quantité totale de carbone stockée au sein du compartiment aérien des arbres des systèmes sylvopastoraux étudiés.
- Approcher a posteriori la dynamique temporelle sur 25-30 ans de mise en place de la biomasse compartimentée aérienne des arbres

6.2. Répartition compartimentalisée de la biomasse aérienne et évolution dans le temps

Le travail concédé au sein de cette tâche est organisé en trois temps : (i) une description morphologique simple dite « dendrométrique » de chacun des individus en place au sein des parcelles retenues, (ii) après échantillonnage statistique au sein des populations en présence, une description compartimentée fine dite « allométrique » d'un nombre restreint d'individus et/ou d'organes de ces individus puis, (iii) à partir des mesures obtenues, un travail de modélisation compartimentée de la biomasse aérienne des arbres sylvopastoraux.

D'autre part, ces travaux sont dès le départ conditionnés par un choix d'échantillonnage, ici, de s'intéresser à 4 essences arborées disponibles au sein du réseau des seules parcelles ovines en disposant d'au moins 2 parcelles pour chaque essence ; notre choix s'est porté sur les essences suivantes : noyer (hybride et commun, indistinctement), érable (plane et sycomore indistinctement), pommier et frêne.

6.2.1. Sites étudiés

Si la majeure partie des données utilisées ici proviennent des parcelles du réseau PARASOL, des données complémentaires issues du suivi dynamique de la plateforme agrisylvicole de Troissereux (N49 28 23, E02 03 53) ont été aussi mobilisées de sorte de disposer d'individus, par espèce, d'âges différents (5-11 ans), permettant ainsi la construction de modèles plus précis et représentatifs de gammes d'âge étendues (5 à 30 ans).

Tableau 9 – Sites et populations parcellaires étudiés au sein de la tâche 3.1 du projet PARASOL

Zones	Sites	Essences		Port type	Densité parcellaire (ha^{-1})	Nb. tot. individus	Age (ans)	Nb. individus échantillonnés	
		Présentes	Etudiées					Dendrométrie	Allométrie
Nord	**CARSIX**	Pommier	POM	*H^T tige taillé*	93	232	21	60	20
	NIORT-la-F.	Poirier, Pommier	POM	*H^T tige taillé*	139	54	16	54	20
	SAINTE-M.	Pommier	POM	*H^T tige taillé*	123	146	32	60	20
	TROISSEREUX (agrisylvicole)	*Forestier mixte*	*NH/NC, ERS/ERP, POM*	*H^T tige*	*65*	*256 281 144*	*10*	*256 281 144*	*10 16 -*
Centre	**LAMARTINE 2.2**	Erable, Merisier	ER(P)	H^T tige	102	19	28	19	3
	THEIX 1.1	Frêne	FRE	H^T tige	103	44	26	44	7
	BONNEFONT	Noyer	NH	H^T tige	83	73	27	72	-
Sud	**LALOSSE**	Frêne, Erable	FRE ERS	H^T tige	76	41 130	14	20 20	- 5
	POMY	Forestier mixte	NH/NC	H^T tige	100	15	25	15	5

POM= pommier ; NH= noyer hybride ; NC= noyer commun ; ERS= érable sycomore ; ERP=érable plane ; FRE= frêne
H^T tige taillé= arbre à port longiligne mais à brin principal régulièrement étêté pour des raisons de productivité sur les branches charpentières et récolte facilitée

6.2.2. Matériels et Méthode

6.2.2.1. Recensement des individus et classification

Au sein des sites sélectionnés, des mesures dendrométriques basiques (DBH= diamètre à 1.30m, HT= hauteur totale, Db= diamètre basal à 0.1m) ont été prises sur tous les individus des parcelles retenues. Sur un nombre plus restreint d'individus, d'autres mesures dendrométriques complémentaires telles le nombre de branches O1 (partant du tronc), la surface projetée des houppiers ainsi qu'une note qualitative de conformation ont été établies. En outre, chaque individu a été géographiquement positionné via GPS puis sous environnement SIG (ArcGIS 10.4).

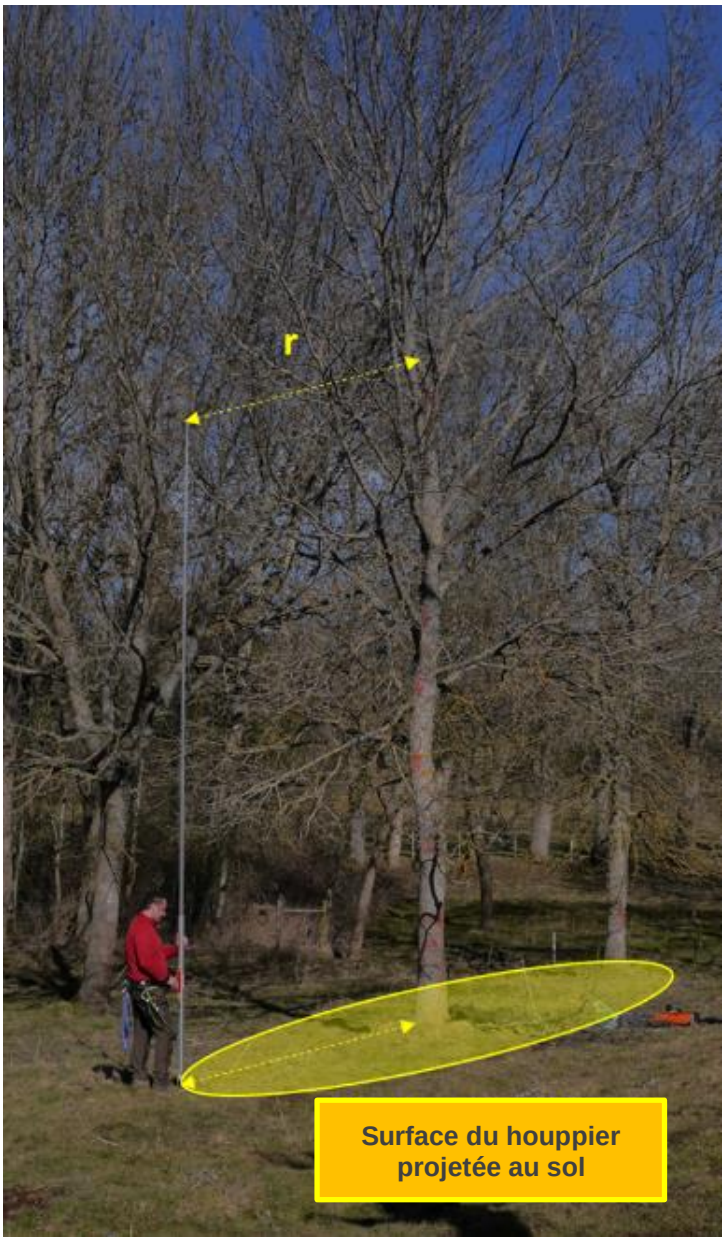

Figure 45 – Schématisation de la surface projetée des houppiers (crédit photo : AGROOF SCOP, modification : D. Grandgirard, UniLasalle)

A partir des données de DBH, de hauteur et de note d'état de conformation, tous les arbres présents sur une parcelle ont été regroupés en classes statistiques par CAH selon un gradient taille/morphologie (classification ascendante hiérarchique en minimisant le ratio variabilité intraclasse/ variabilité interclasse). Ne pouvant procéder au suivi allométrique de chaque individu de chaque classe statistique obtenue, pour des raisons de ressources en temps et financières, un nombre n restreint d'individus par parcelle et essence ont été échantillonnés au sein de chaque classe (CTFT, 1989 In: Picard et al, 2012).

Figure 46 – Prélèvement destructif réalisé sur le site de Troissereux (crédit photo : D. Grandgirard, UniLasalle, 2018)

Puis selon les autorisations délivrées localement ou les ressources financières allouées, des prélèvements destructifs de certains individus (cas de TROISSEREUX) mais surtout de compartiments (branches O1 pour toutes les autres parcelles) sont effectués et des mesures allométriques (tronc, branches O1, O2, O3, feuillage) et complémentaires (densité des bois, densité surfacique du feuillage, SLW, g/cm²) sont concédées.

6.2.2.2. Echantillonnage compartimenté

Issus de la stratification spécifique et locale, pour les n arbres sélectionnés :

- Le tronc a été découpé (virtuellement) en étages superposés de diamètre décroissant en allant vers le haut i.e. des frustums. En mesurant régulièrement le diamètre du tronc il devient alors possible d'en calculer les volumes quasi-exacts et, à partir de densités données, la biomasse quasi-exacte.
- Toutes les branches d'ordre 1 (O1) ont été comptées et leur diamètre basal mesuré ainsi que leur hauteur d'insertion sur le tronc et leur orientation,
- Un échantillon de 6 branches O1 par arbre a été prélevé avec l'accord des propriétaires ; soient 6*15=90 O1 au total par site et/ou essence. Les branches O1 ont été sélectionnées selon des orientations différentes (Nord ou Sud a minima) et provenaient du bas de la couronne (n=2), moyenne couronne (n=2), couronne haute (n=2). Sur ces branches, on a compté le nombre de branches O2, et mesuré leur diamètre basal et leur longueur. Sur les O1 et les O2 nous avons également mesurés les diamètres à 1/3, ½, 2/3, ¾, 4/5 et 9/10 de la longueur de la branche. Puis des pesées fraîches sont effectuées, parfois en séparant les feuilles, fruits et le bois de chaque banche, selon ressources humaines disponibles.

Figure 47 – Illustration d'une branche d'ordre 1 avec la distinction de chacune des branches d'ordre 2 (crédit photo : D. Grandgirard, UniLasalle, 2018)

- S'il existe des branches O3 sur les O2, on procède de manière analogue. On s'est arrêté aux branches dont le diamètre était inférieur à 2 cm ; celles-ci ont été regroupées en un « fagot ».

Pour chaque branche (O1) et sous-branche (O2, O3 puis fagot) prélevée, le nombre de feuilles directement insérées sur ces dernières a été compté. Chaque échantillon constitué a alors été pesé en frais directement sur le terrain. Après transport en glacière et mise au frais (réfrigérateur, 4°C), les feuilles sont rapidement (<5h) lues à l'aide d'un planimètre de sorte d'en connaître la surface (cm²) par échantillon. Les pétioles des feuilles peuvent/doivent être séparés avant mesure et les masses fraiches des folioles et des pétioles à nouveau déterminées mais séparément avant passage au planimètre. Les folioles et pétioles de chaque échantillon foliaire, sont alors séchés 36-48h à 80°C (Martin et al, 2010) puis pesés.

Figure 48 – Illustration de l'échantillonnage des feuilles de chacune des branches de l'arbre (crédit photo : D. Grandgirard, UniLasalle, 2018)

A partir des masses sèches, des surfaces (LAI) des folioles, nous avons calculé pour chaque échantillon foliaire la masse spécifique d'un cm² de feuille ou Specific Leaf Weight, SLW (mg.cm-2).

Remarque : du fait de la disponibilité limitée en ressources humaines (homme-jour et frais de déplacement), et/ou de la difficulté d'obtenir des autorisations identiques de prélèvement partiel de compartiments arborés au sein du réseau, et/ou des distances entre zones géographiques et laboratoire

de rattachement, et/ou des modes de gestion (taille) des arbres des parcelles étudiées, il aura été impossible de mettre en œuvre une méthodologie unique à tous les sites, et d'effectuer exactement les mêmes mesures, avec le même effort d'échantillonnage. Aussi, si les modèles allométriques ont été construits pour chacune des essences retenues, les logigrammes de modélisation n'auront pas toujours été les mêmes et les équations finales obtenues peuvent partiellement différées, comme leur usage, selon situations rencontrées.

6.2.2.1. Modélisation allométrique, logigramme et outils statistiques utilisés

Les équations issues des phases de modélisation, de la même manière que les tarifs de cubage, sont à une variable (V = f(DBH)) ou à deux variables (V = f (DBH ; H)) (Rondeux, 1972). Les variables centrales des modèles allométriques construits sont : le diamètre à hauteur de poitrine (DBH, mm), la longueur (L, cm), la hauteur (H, cm) et les variables finales recherchées sont généralement des volumes (V, cm3), des masses fraiches ou sèches (g ou kg) voire des surfaces (cm²). Certaines modélisations connexes, telles celles des densités du bois (wood density, g/cm3), de la densité surfacique (SLW, g/cm²) ou du nombre de branches O1 sont aussi conduites.

Elles sont alors positionnées au sein d'un logigramme de modélisation (exemple en figure 41) représentatif des cascades de relations inter-variables connus ou supposés, mais surtout d'imbrication des sous-modèles. L'obtention puis la validation progressive des sous-modèles permet finalement d'intégrer au sein d'une feuille de calcul les modèles successifs, puis d'estimer progressivement la biomasse de chaque compartiment (tronc, branches O1, branches O2, … « fagot », feuilles) pour approcher au mieux la biomasse estimée d'un individu, puis d'une station agroforestière.

Si l'on parle généralement d'estimation de la biomasse aérienne, il arrive que des valeurs bibliographiques soient standards ou spécifiques, selon disponibilité, soient mobilisées pour approcher la biomasse totale (y compris souterraine) voire de la transformer en équivalents CO2/carbone.

Les équations linéaires ou pouvant être mises sous forme linéaire par une transformation adéquate (log/log par exemple) ont été privilégiées. Dans le cas de modèle linéaire multiple les variables explicatives retenues devaient être fortement corrélées avec la variable dépendante, mais peu corrélées entre elles ; à cette fin, des analyses de corrélation ont été exécutées préalablement et un tri des variables selon les coefficients de corrélation, de normalité et de significativité ont été conduits pour n'en garder, le cas échéant, que les variables d'intérêt.

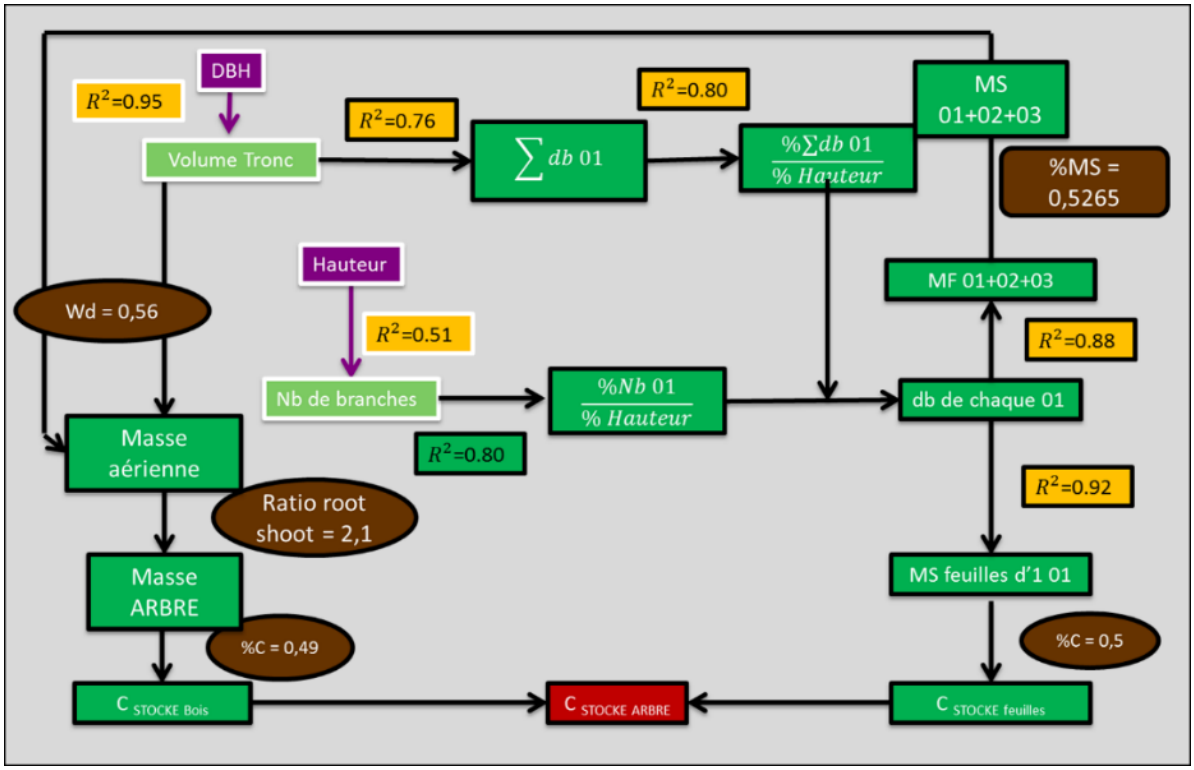

Figure 49 – Exemple du logigramme déployé pour les érables planes et sycomore confondus (Acer sp.)

Pour la validation du modèle, on a régulièrement procédé à la séparation du jeu de données de calibration en deux sous-jeux : un pour l'ajustement du modèle (75% des données disponibles), et le reste pour la validation du modèle (25% restantes). Pour apprécier la qualité des équations, nous avons utilisé les paramètres statistiques suivants : le coefficient de détermination (R^2), l'écart type résiduel (ECTR) et le coefficient de variation résiduelle (CVR) (= écart type résiduel exprimé en % de la moyenne) (Thibaut et al, 1998). La construction, la calibration le test et l'analyse de validité/sensibilité des modèles ont été réalisées sous Xlstat (v.2011.2.06) et JMP 8.0.

6.2.3. Résultats

Pour éviter une confusion dans les productions réalisées, nous nous concentrerons ici sur le modèle allométrique simple constitué pour le cas du frêne ; en effet, le cas du frêne et des modèles constitutifs du logigramme « frênes » étant mobilisés plus tard dans le document lors de la quantification appliquée de la biomasse fourragère arborée (§.10.2.1.), nous avons préféré vous présenter les modèles constitutifs.

Globalement, dans le cadre de l'estimation – des biomasses foliaires disponibles par frêne dont nous connaissons le DBH - de la biomasse bois résiduelle « O1 coupées pour affouragement » individuelles, puis par parcelle en lien avec la densité d'arbres ou les mesures dendrométriques disponibles, nous avons ici recours à 7 modèles allométriques consécutifs et intégrés :

- Equation 1 : afin de passer du **DBH** (mm) au diamètre basal, $\mathbf{Db_{tronc}}$ (à 10cm, mm),
- Equation 2 : afin de passer du $\mathbf{Db_{tronc}}$ (cm) à la somme des circonférences des O1 portées par le tronc **Scirconf** (cm^2),
- Equation 3 : afin de passer du $\mathbf{Db_{tronc}}$ (cm) au nombre de branches O1 **NbO1** (unité) portées par le tronc,
- Equation 4 : afin de passer du diamètre basal $\mathbf{Db_{O1}}$ (cm) d'une O1 moyenne à la longueur de la O1 moyenne, $\mathbf{Lg_{O1}}$ (cm),
- Equation 5 : afin de passer de la longueur de la O1 moyenne, $\mathbf{Lg_{O1}}$ (cm) au poids frais en bois de cette branche moyenne O1, $\mathbf{P_{Frais\ O1}}$ (kg)
- (Equation 7) : au besoin, on peut utiliser la fonction identifiant la densité sèche du bois de frêne, **Wdy** (g/cm^3),
- Equation 6 : enfin, du poids frais en bois d'une branche moyenne O1, $\mathbf{P_{Frais\ O1}}$ (kg) au poids frais de feuilles portées par cette branche O1, $\mathbf{P_{Frais\ Feuilles\ O1}}$ (kg).

Il va de soi qu'à certaines étapes, des valeurs telles la densité du bois, où la densité surfacique des feuilles, ou encore la teneur en eau des feuilles fraiches (34.2%) sont nécessaires pour des conversions des changements d'échelles.

L'ensemble des modèles produits à partir des données obtenues sur les frênes de la Vigérale (mars 2017 et sept. 2017) sont présentés au sein de la Figure 51 de la Figure 52.

6.2.4. Discussion des résultats

Comme pour de très nombreuses situations d'estimation allométrique des volumes ou biomasses de compartiments arborés, certaines relations restent très peu précises ($r^2<0.75$) et nécessiterait (i) soit un effort d'échantillonnage très conséquent, (ii) soit une mesure directe sur chaque arbre, à une date d'estimation donnée de la variable recherchée. C'est ici le cas, comme très souvent, pour l'estimation de la variable « Nombre de branches O1 portées par un tronc, NbO1 » (eq. 3), ou pour la masse fraiche de feuilles portée par une branche de dimension donnée (eq. 6).

Dans le cas de NbO1, cette variable peut être modélisée, certes. Cependant, les différences de gestion, les historiques de taille ou encore les historiques de pression faunistique, en sus de la génétique propre à chaque individu, influencent grandement cette valeur et peuvent rendre parfois, surtout pour des individus d'âge faible (5-20 ans) ou d'arbres en densité très faible, les choses quasi impossibles. C'est d'ailleurs aussi le cas pour des arbres trognes et les rejets qu'il porte. Dans ces cas extrêmes, autant déterminer in situ NbO1. Heureusement, ici, le port Hautes tiges des frênes de la Vigérale et leur âge déjà avancé, 31 ans ont fait que la modélisation restait acceptable. A améliorer certes, mais acceptable.

Une autre limite au travail effectué est le nombre de frênes qui ont pu être étudiés, sur pieds, concernant les circonférences cumulées de leurs O1. En effet, parmi les 19 frênes disponibles à Theix, 7 ont été classés et tirés au sort après exclusions de 5 individus au port et à la conformation anormaux. Pour ces 7 individus, 2 jours sur 5 disponibles, ont été nécessaires pour monter le long du tronc à des hauteurs possibles (<9m du fait des diamètres de tronc limitantes) et en employant des méthodes sécurisées.

Figure 50 – Illustration d'une partie de la manœuvre technique nécessaire à l'obtention des données allométrique (crédit photo : AGROOF SCOP)

Disposer à termes de données complémentaires en plus grand nombre (jusqu'à n= 100), dans le cas de l'équation 2 s'avèrera nécessaire.

D'ailleurs bon nombre des autres modèles produits pour le frêne mériteront un accroissement des données de base et une analyse de la puissance et robustesse prédictive des modèles.

Dans tous les cas, et malgré ces limites connues, les modèles 1 à 6 présentés ici nous ont permis d'approcher au mieux, les biomasses du feuillage comme celles des bois résiduels et de pratiquer des bilans fourragers à l'échelle des parcelles sylvopastorales et une évaluation du potentiel de production de plaquettes issus de modes d'affouragement arboré raisonnés (§.10.2.).

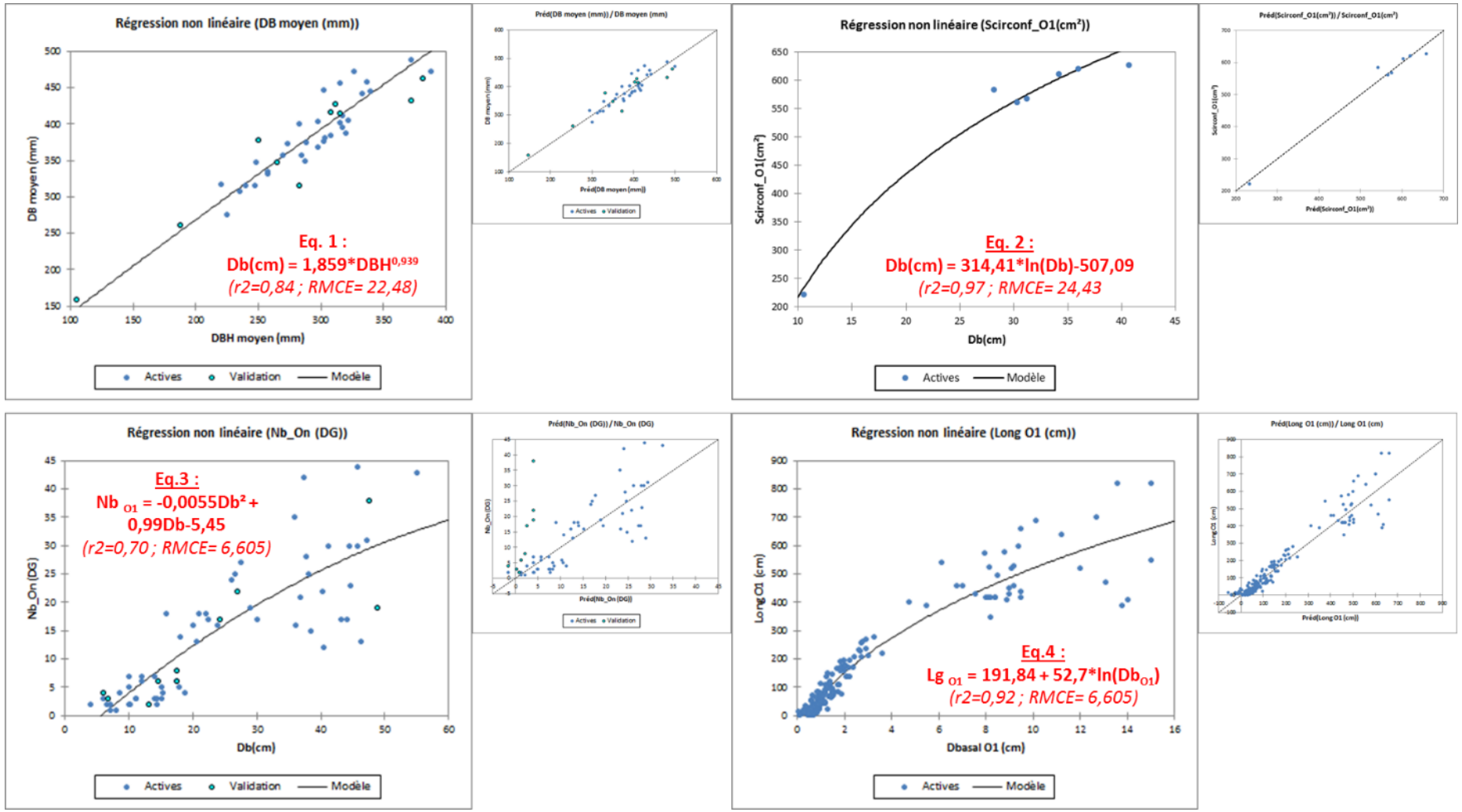

Figure 51 - Modèles allométriques 1 à 4 sollicités dans l'estimation progressive des biomasses foliaire totale et bois plaquette disponibles au sein d'un frêne (Vigérale, 2017)

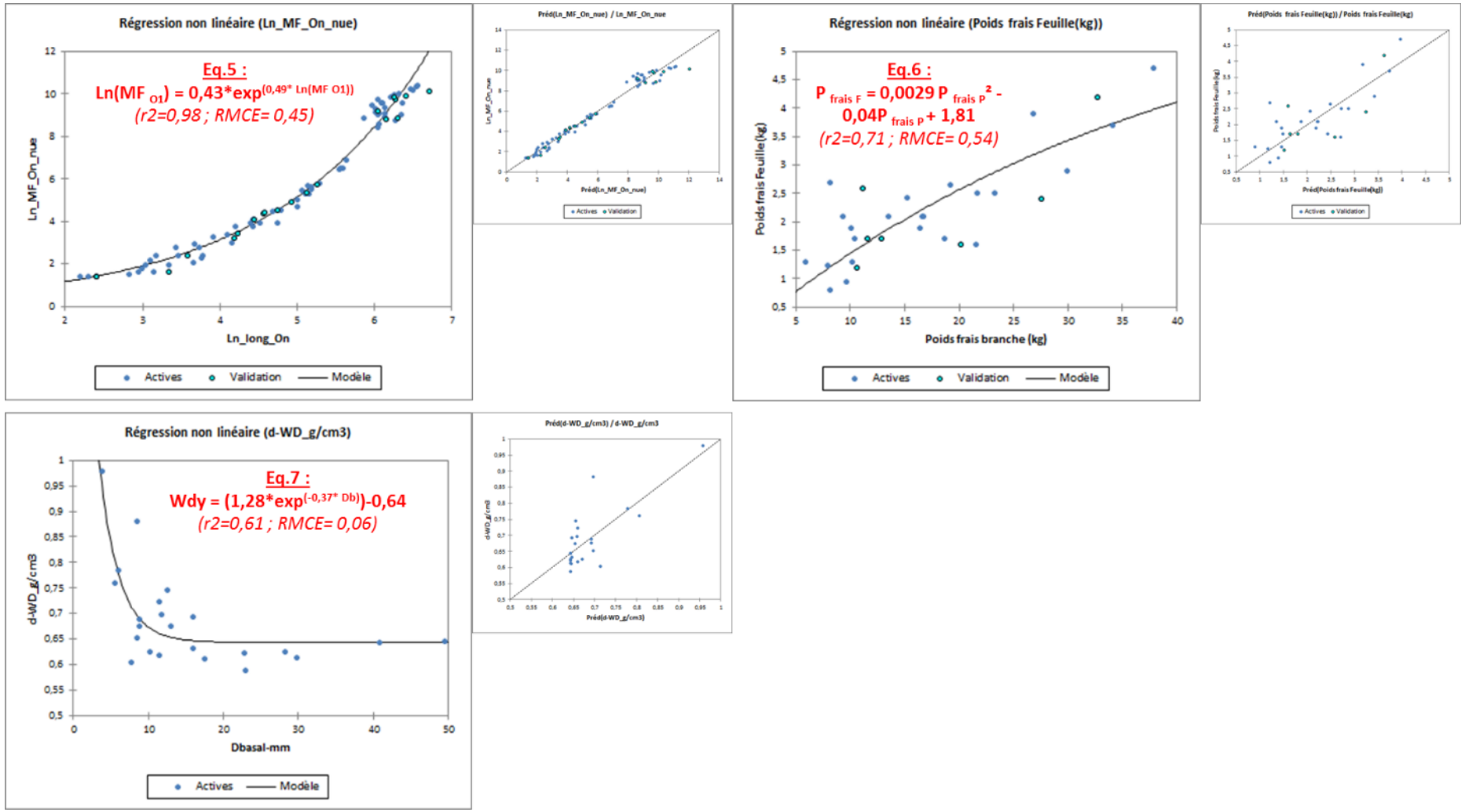

Figure 52 - Modèles allométriques 1 à 4 sollicités dans l'estimation progressive des biomasses foliaire totale et bois plaquette disponibles au sein d'un frêne (Vigérale, 2017)

6.3. Conclusions et perspectives

Le travail relatif à la modélisation allométrique pour l'estimation de la biomasse compartimentée des essences frêne, pommier, noyers et érables a été conduite sur les années 2016 et 2017. Du fait d'un fonctionnement non régionalisé au sein du consortium, les ressources dédiées à la coordination de cette action se sont vues contraintes d'effectuer, en chaque zone géographique, l'intégralité des mesures (hormis le feuillage à Theix ! merci encore). Bien entendu, les impondérables existent et il faut savoir s'adapter. Cependant, de ce fait, une partie non négligeable des ressources financières ont été allouées à des déplacements au sein du réseau et non concentrées au sein de la zone Nord comme initialement prévu.

La réduction de l'effort d'échantillonnage a de fait été reportée sur l'espèce frêne, essence non présente de manière systématique au sein des systèmes sylvopastoraux du réseau PARASOL. Les autres essences, et en particulier l'érable et le noyer ont été complétés par des travaux d'étudiants au sein de la plateforme TROISSEREUX et de la plateforme PIRAT à Restinclières (projets SCA0PEST, Dephy Ecophyto EXPE, 2016). Alors que la base de données pommier a quant à elle, disposant des ressources adaptées en première année au sein de la zone Nord, été complète et robuste dès le départ (Cuisiniez, 2016).

Ainsi améliorées ou robustes dès le départ, les bases de données auront permis de construire des modèles prédictifs, parfois de manière méritant une amélioration pour plus de représentativité et de robustesse. Mais dans tous les cas ils auront permis d'atteindre les objectifs assignés. Comme illustrés dans le cas du frêne.

Elles n'auront cependant pas permis de réaliser une des 2 tâches prévues : approcher a posteriori la dynamique temporelle sur 25-30 ans de mise en place de la biomasse compartimentée aérienne des arbres. En effet, à partir de modèles représentatifs de classes d'âge différentes (5 – 15 – 30 ans), comme c'est le cas pour le pommier, le noyer, le frêne mais pas l'érable, il était initialement prévu d'utiliser les données historiques de DBH ou de hauteur totale HT que l'IRSTEA ou encore le CIRAD avaient constituées.

Cependant nous avons eu la malchance de nous rendre compte que ces données, si souvent décrites comme « disponibles », ne le sont pas en réalité mais qu'elles sont au contraire, soit perdues – soit inexistantes, soit archivées au sein de systèmes informatiques et/ou base de données « privées » (ILEX, IDF) et alors très difficilement atteignables. Comme solution de secours, nous avions proposé en 2017 de carotter certains troncs afin de conduire sur les échantillons prélevés une lecture dendrochronologique et de reconstituer ainsi l'évolution des DBH au cours du temps, DBH qui sont les variables incontournables d'entrée des logigrammes allométriques. Mais force de constater que cela est très difficile sans une expérience certaine en la matière pour disposer de carottes représentatives et informatives. Si certains exploitants nous ont alors proposé de nous vendre des arbres, des troncs, pour y lire l'évolution du DBH, nous ne disposions plus alors des ressources financières ni temporelles suffisantes pour ce faire.

En conclusion de quoi, une limite forte rencontrée réside ici dans l'accès à la donnée historique de croissance des arbres qui, comme les « données sols » est perçu comme un bien privé et peu aisément accessibles. Cela serait à anticiper très précocement et de façon transparente si des travaux complémentaires étaient perçus comme nécessaires.

6.4. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action

Rapports de stage :

Victor Cuisiniez, 2016*. Détermination allométrique des biomasses arborées aériennes de systèmes sylvopastoraux. Rapport de stage MASTER 2, présenté pour le master ASET Agroécologie, Sols, Eau et Territoires. UniLasalle. 61 pages.*

Figure 53 - Brebis consommant un fourrage arboré (crédit : AGROOF SCOP)

7. RESSOURCES FOURRAGERES ARBOREES : Composition, digestibilité et intérêt pour l'alimentation des troupeaux.

Etude menée dans le cadre de l'action 3 du projet PARASOL. Elle a été réalisée sous la responsabilité de Jean-Claude Emile (INRA Ferlus Lusignan) et Mickaël Bernard (INRA UR Herbipole, UMRT Theix).

Auteurs : Jean-Claude Emile (INRA Lusignan) pour la partie 7.1, et Mickaël Bernard (INRA Theix) pour la partie 7.2.

Contributeurs : Sandra Novak (INRA Ferlus Lusignan) ; Stéphanie Mahieu (INRA Ferlus Lusignan) ; Cécile Ginane (INRA UMRH) ; Véronique Deiss (INRA UMRH) ; Camille Béral (AGROOF SCOP)

Principaux résultats

Les compositions biochimiques et digestibilité varient très fortement en fonction des espèces d'arbres considérées et des saisons.

Les feuilles de frênes et de muriers représentent des ressources très intéressantes :

- Leurs valeurs alimentaires sont excellentes, comparables aux meilleures espèces prairiales traditionnelles (prairies, ray-grass…) ou d'avenir (chicorée), et très supérieures aux fourrages récoltés (foin) utilisés comme recours lors d'épisodes de pénuries fourragères estivales.
- Leur conduite en têtard ne nuit pas à leur qualité et permet éventuellement de produire plus de biomasse.
- Les niveaux d'ingestion par les brebis sont élevés : Les quantités ingérées de feuilles sont majorées de 45% par rapport au foin, avec des quantités ingérées de parois inférieures de 25 à 50% par rapport au foin.
- Elle est bien utilisée par l'animal : Des niveaux de matière organique digestible ingérée très élevés, comparables voire supérieurs aux espèces fourragères les plus performantes.

Ces ressources pourraient être utilisés pour les animaux les plus productifs, le niveau de MODI couvrant très largement les besoins d'entretien, dans notre cas, estimés à 23g de MODI/j.

7.1. Finalité et objectifs

Nous évaluons ici l'intérêt des arbres en tant que ressource fourragère pour les élevages, à travers la composition biochimique (énergie, azote, minéraux), la digestibilité et la présence de tanins dans les feuilles.

Sur les parcelles sélectionnées nous conduisons en 2016 deux séries d'études complémentaires :

- La première (conduite par l'Inra Ferlus à Lusignan – 86) pour caractériser la variabilité de la valeur fourragère des arbres au sein des parcelles du réseau (zone géographique, essence et date d'exploitation, mode d'exploitation)
- La seconde (conduite par l'Inra UMRH et Herbipôle à Theix – 63) pour explorer la valeur zootechnique (ingestibilité et digestibilité in vivo) de 2 essences fourragères conduites en têtards, mode d'exploitation favorisant à la fois la production de biomasse et sa valorisation par les ruminants.

7.2. Valeur alimentaire, *in vitro*, des feuilles de ligneux pour les ruminants

7.2.1. Matériels et méthodes

Durant l'étude, 24 traitements expérimentaux « espèce * lieu » ont pu être effectués à partir des 10 exploitations retenues. Ils ont combiné les 3 zones géographiques (3 ou 4 lieux par zone géographiques), 11 espèces d'arbres (érable, frêne, merisier, cormier, noyer hybride, frêne blanc, févier, hêtre, poirier, murier blanc et paulownia) ainsi que 2 modes d'exploitation (conduite en haut jet et conduite en têtards bas ou recépés pour 3 traitements). Les prélèvements ont été réalisés aux 3 saisons où ces ressources pourraient être utilisables par les animaux : l'été (entre le 2 et le 16 aout) et l'automne (entre le 6 et le 12 octobre) pour palier à la faible productivité des prairies mais aussi en fin de printemps (7 au 9 juin) en cas de sécheresse printanière. Tous les prélèvements ont été effectuées en 2016, excepté les paulownias sur le site de Vézénobres (30) prélevés en 2017.

Le Tableau 10 récapitule ces 24 traitements, ayant donné lieu à 180 prélèvements

Tableau 10 – Présentation synthétique des 24 traitements de cette étude

			Lieux de collecte (fermes F1 à F 10)									
			Nord			Centre			Sud			
			F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
		Nb	BRUN	ZOTE	ENQU	BONN	GERV	THEI	MOLA	POMY	MIRA	VEZE
Érable sycomore	*Acer pseudoplatanus*	*6*	X	X	X		X	X		X		
Frêne	*Fraxinus excelsior*	*5*	X	X	X		X	X				
Merisier	*Prunus avium*	*3*					X	X		X		
Cormier	*Sorbus domestica*	*2*	X						X			
Noyer hybride	*Juglans x regia x nigra*	*2*				X			X			
Frêne blanc	*Fraxinus americana*	*1*							X			
Févier	*Gleditsia triacanthos*	*1*								X		
Hêtre	*Fagus sylvatica*	*1*		X								
Poirier	*Pyrus communis*	*1*	X									
Murier blanc	*Morus alba*	*1*									X	
Paulownia	*Paulownia sp*	*1*										X

Les prélèvements ont été effectués de façon à représenter ce que l'animal pourrait avoir à disposition ou consommer au pâturage soit par prise directe, soit après une coupe mécanique (taille de formation ou élagage). Les feuilles (limbes et pétioles) ont été prélevées sur l'ensemble du feuillage en tenant compte des sources de variation potentielle (âge de la feuille, orientation, état sanitaire). Les modalités d'échantillonnage, de conditionnement et d'analyses ont été adaptées des techniques mises en œuvre sur les fourrages classiques.

Figure 54 - Collecte de feuilles de frêne (crédit photo : INRA Lusigan)

Figure 55 - Lyophilisation d'échantillons congelés en préalable au dosage des tanins condensés (crédit photo : INRA Lusigan)

Les 5 principales espèces prélevées : érable sycomore, frêne commun, merisier, noyer hybride et cormier

Les fourrages récoltés ont été séchés à l'étuve (60°C) pour les analyses relatives aux parois, à la matière azotée totale (MAT), à la digestibilité enzymatique et aux minéraux. Pour les analyses de tanins les fourrages ont été congelés dès la récolte puis lyophilisés.

Les analyses chimiques ont été réalisées par les 4 laboratoires concernés (Lusignan – INRA P3F - pour la biochimie des parois, la teneur en MAT et la digestibilité enzymatique, St Gilles – INRA Pegase - pour

la dégradation ruminale, Theix – INRA UMRH – pour la teneur en tanins condensés et Bordeaux – INRA USRAVE – pour les minéraux).

7.2.2. Résultats

7.2.2.1. Les effets de l'espèce et de la date de récolte sur la valeur fourragère des feuilles d'arbres conduits en haut jet

Les premiers résultats en sont présentés ici. Une première communication a été présentée fin juin au congrès « European Grassland Federation » à Cork. Cette étude ne retient que 22 traitements, à savoir les arbres conduits en haut jet et issus du réseau INRA – IRSTEA initial années 80-90. En sont exclus les arbres conduits en têtards ainsi que les muriers et paulownias.

7.2.2.1.1. Composition biochimique et digestibilité.

Pour ces variables, les facteurs de variation pris en compte sont l'espèce végétale (essence) et la saison (date de récolte) ainsi que leur interaction. Les effets de ces 2 facteurs sont largement supérieurs à leur interaction, les espèces se comportant de la même façon quelle que soit la saison.

La teneur en matière sèche (MS) varie de moins de 250 g/kg (noyer en juin) à près de 600 (cormier en octobre) pour une teneur moyenne de 407 g/kg. La teneur en cendres (CDR) varie de moins de 30 g/kg pour le hêtre en juin à plus de 100 g/kg pour le noyer en août et octobre, pour une teneur moyenne de 73 g/kg. La teneur en matières azotées totales (MAT) varie quant à elle d'à peine 70 g/kg pour le cormier en octobre à plus de 200 g pour le févier et le noyer en juin, avec une teneur moyenne de 128 g/kg. Enfin la digestibilité enzymatique (DIGZ) évolue entre moins de 45 % pour le hêtre en août à plus de 75 % pour le noyer en juin, pour une valeur moyenne de 64,5 %.

Les effets de l'espèce, toutes saisons confondues, sont systématiquement significatifs. Les feuilles de cormier sont plus sèches à la récolte que les feuilles de noyer et de frêne. Le hêtre et le poirier sont moins riches en matières minérales que le noyer. La MAT du cormier est plus faible que celle des frênes et érables sycomores. Ce sont les frênes, poiriers et noyers qui présentent la meilleure digestibilité, alors que celle des hêtres est plus faible.

L'effet de la saison est important pour la teneur en MS avec un basculement important entre le printemps d'une part (300 g/kg) et l'été automne d'autre part (420 à 450 g/kg. La teneur en MAT diminue régulièrement au cours de l'année (de près de 160 g/kg en juin à moins de 110 en octobre). La digestibilité constitue en revanche une exception notable à cette tendance. Elle ne varie pas significativement entre les saisons.

		caractéristiques principales			
		MS	CDR	MAT	DIGZ
		g kg -1	*g kg -1*	*g kg -1*	*%*
Erable sycomore	6	381 ac	75 bc	133 b	63,9 bc
Frêne commun	5	351 a	73 bc	148 b	69,9 d
Merisier	3	404 ab	88 cd	126 ab	67,8 cd
Cormier	2	488 b	68 bc	91 a	62,5 bc
Noyer hybride	2	342 a	96 d	156 b	72,8 d
Frêne amérique	1	407 ab	83 cd	132 ab	56,9 cd
Févier	1	362 ab	84 bd	119 ab	68,4 b
Hêtre	1	472 bc	38 a	134 ab	45,6 a
Poirier	1	452 ab	51 ab	114 ab	73,2 d
		***	***	***	***
		407	*73*	*128*	*64,6*

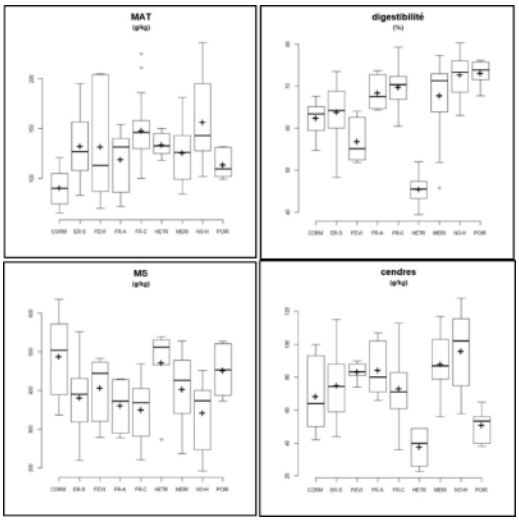

Figure 56 - Effet de l'espèce sur la composition biochimique, la MAT et la digestibilité des feuilles. Tableau de moyennes et diagrammes. (2016 – 3 dates de récolte confondues)

		caractéristiques principales			
		MS	CDR	MAT	DIGZ
		g kg -1	g kg -1	g kg -1	%
juin	22	296 a	61 a	159 c	66,7 a
aout	22	420 b	80 b	130 b	65,7 a
octobre	22	455 c	87 b	108 a	65,6 a
		***	***	***	-
moyenne 9 espèces		*390*	*76*	*131*	*66*

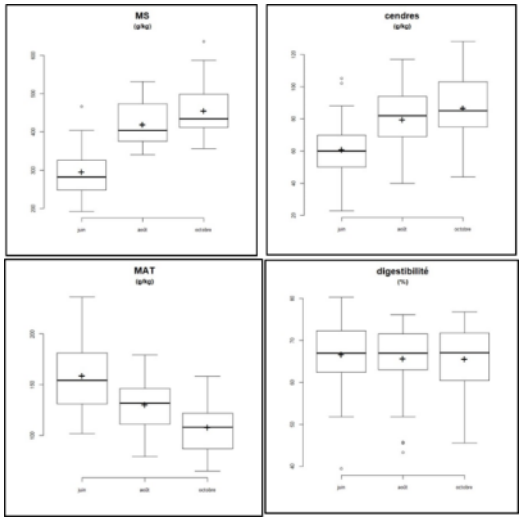

Figure 57 - Effet de la date de récolte sur la composition biochimique, la MAT et la digestibilité des feuilles. Tableau de moyennes et diagrammes. (2016 – toutes espèces confondues)

7.2.2.1.2. Teneur en tanins et en minéraux.

Pour ces variables, seul l'effet de l'espèce végétale (essence) est pris en compte car les analyses ne portent que sur des récoltes du mois d'aout. Cet effet est très significatif pour les tanins, avec les frênes à moins de 10 g/kg et les féviers, cormiers et hêtres à plus de 40 g/kg. Il l'est également pour le calcium (Ca) entre les hêtres et érables (faibles) et le noyer (élevé), pour le magnésium (Mg) entre les féviers et érables (faibles) et les frênes, noyers et merisiers (élevé) ainsi que le zinc (Zn) avec les cormiers, merisiers et frênes (faibles) et les érables, noyers et hêtres (élevés). Cependant, les effets sont faibles (p<0.5) pour les teneurs en phosphore, potassium et cuivre voire inexistants pour le sodium.

		tanins condensés et minéraux										
		TAN	CDR	Ca	Mg	P	K	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg -1	g kg -1	g kg -1	g kg -1	g kg -1	g kg -1	g kg -1	mg kg -1	mg kg -1	mg kg -1	mg kg -1
Erable sycomore	6	24,0 bd	75,1 bc	15,5 a	1,9 a	1,9 a	12,7 ab	0,3 a	7,0 a	77,8 b	170,3 a	27,7 b
Frêne commun	5	1,7 a	73,3 bc	17,4 ab	3,2 bcd	1,8 a	14,6 ab	0,4 a	9,3 a	74,2 b	33,1 b	16,5 a
Merisier	3	24,3 bd	88,2 cd	22,2 ab	4,3 c	1,8 a	16,8 b	0,1 a	7,5 a	90,4 b	32,0 b	15,3 a
Cormier	2	48,0 c	68,4 bc	18,2 ab	2,6 ad	2,3 a	12,7 ab	0,5 a	5,3 a	115,8 ab	23,1 ab	8,1 a
Noyer hybride	2	24,8 bd	95,8 d	28,9 b	4,3 cd	2,1 a	16,8ab	0,1 a	9,4 a	91,9 ab	60,2 ab	31,5 b
Frêne amérique	1	6,0 ab	84,3 cd	28,3 ab	4,1 cd	2,7 a	13,7 ab	0,1 a	8,9 a	84,0 ab	30,7 ab	22,7 ab
Févier	1	44,0 cd	83,3 bd	25,5 ab	1,1 a	2,0 a	10,3 ab	0,2 a	4,5 a	93,2 ab	27,3 ab	18,8 ab
Hêtre	1	54,0 c	37,8 a	8,8 a	1,6 ab	1,4 a	6,8 a	0,4 a	5,8 a	66,1 ab	224,5 ab	37,5 b
Poirier	1	22,5 abc	51,0 ab	11,5 ab	2,4 ac	1,6 a	10,5 ab	0,6 a	5,9 a	209,5 a	35,0 ab	24,0 ab
		***	***	**	***	*	*	-	*	*	**	***
moyenne 9 espèces		***27,7***	***73,0***	***19,6***	***2,8***	***2,0***	***12,8***	***0,3***	***7,1***	***100,3***	***70,7***	***22,5***
écart type 9 espèces		*17,9*	*18,5*	*7,2*	*1,2*	*0,4*	*3,2*	*0,2*	*1,8*	*43,3*	*73,8*	*9,0*

Figure 58 - Effet de l'espèce sur les teneurs en tanins condensés (TAN) et éléments minéraux (aout 2016)

7.2.3. Les effets du mode d'exploitation sur la valeur fourragère

Les arbres du réseau INRA-IRSTEA ont été conduits en haut jet depuis leur installation, de façon à fournir du bois d'œuvre en fin de cycle de croissance. La partie fourragère ne pouvait éventuellement être assurée que par la distribution aux animaux de branchages coupés lors des opérations de taille. Dans le cadre du projet il nous est apparu opportun de nous intéresser à l'effet de la taille (conduite) de l'arbre sur sa valeur fourragère. Cette comparaison a pu être menée à partir de 3 dispositifs.

- Une parcelle de murier blanc implantée il y a une vingtaine d'années au lycée agricole du Pradel à Mirabel (07). Les arbres de la plantation initiale ont été coupés à 0,50 m du sol il y a une dizaine d'années puis maintenus à cette hauteur par le pâturage d'ovins en été et par une taille mécanique hivernale complémentaire tous les 2-3 ans. Une zone a cependant été conservée

en arbres de haut jet. Les prélèvements ont porté sur des arbres conduits en têtards (et recoupés durant l'hiver précédent) ainsi que des témoins haut jet.

- Une parcelle de frêne commun implantée sur le domaine Inra de Theix (63) dans le réseau INRA-IRSTEA. Nous avons pu avoir l'opportunité de couper en têtards à 1 m du sol durant l'hiver 2015-2016 3 de ces arbres de haut jet et de comparer leurs feuillages à celui des arbres conduits en haut jet.
- Une parcelle de paulownias implantés il y a une vingtaine d'année (hors réseau INRA-IRSTEA) dans une exploitation de maraichage à Vézénobres (30). Pour limiter l'ombrage des cultures, certains arbres de la parcelle ont été coupés au ras du sol il y a une dizaine d'années et sont maintenus en recepés. Là aussi la comparaison a porté sur des arbres recépés dans l'hiver par rapport aux témoins haut jet. Sur ce site les prélèvements ont été effectués en 2017.

Dans ces 3 situations, la comparaison a porté, comme pour l'étude présentée plus haut, sur les 3 dates de récoltes (en juin, août et octobre).

Cette étude confirme la variabilité entre les espèces en ce qui concerne leur valeur fourragère. Ces 3 espèces sont des espèces de bonne valeur. Le frêne et le murier blanc présentent des teneurs en MAT et des digestibilités enzymatiques tout à fait intéressantes pour l'alimentation des ruminants, supérieures celles de la plupart des fourrages classiquement disponibles en été et automne. Ces valeurs sont particulièrement élevées pour le murier blanc, confirmant nos observations précédentes. Le paulownia bien que de valeur moindre présente des caractéristiques intéressantes.

Les effets observés avec ces 3 espèces sur la date de récolte sont cohérents avec les données présentées ci-dessus (diminution de la MAT et peu de variation de la digestibilité).

Enfin, il apparait clairement que le mode d'exploitation en têtard ou en recepage ne dégrade pas la valeur de ces fourrages. Dans certaines situations il permet même de disposer d'un fourrage plus riche en MAT, voir plus digestible (cas du paulownia). Ceci ouvre des perspectives intéressantes pour alimenter des ruminants directement à l'arbre, sans avoir à intervenir mécaniquement.

Tableau 11 - Composition biochimique et digestibilité des feuilles de 3 espèces d'arbres selon la date de récolte et le mode d'exploitation

Espèces	Modes	MS			CDR			MAT			DIGZ		
		J	A	O	J	A	O	J	A	O	J	A	O
Frêne commun	Haut jet	23,6	37,8	41,6	6,3	7,4	7,6	19,4	14,2	13,7	72,8	69,5	75,1
Frêne commun	Têtard	25,5	31,8	40,3	5,2	7,0	6,9	17,2	18,7	14,3	65,9	71,3	74,3
Murier blanc	Haut jet	22,5	32,2	34,5	12,2	15,6	16,4	21,9	15,1	16,4	84,6	83,2	82,6
Murier blanc	Têtard	26,8	32,3	37,3	12,3	19,1	19,6	15,3	12,1	11,4	90,1	84,2	82,3
Paulownia	Haut jet	28,3	26,7	31,8	8,0	8,8	8,0	15,2	13,4	12,7	57,7	53,5	57,8
Paulownia	Têtard	20,1	22,8	26,0	10,1	11,2	11,6	19,6	14,9	11,6	69,3	61,6	60,6

Tableau 12 - Composition biochimique, digestibilité et teneur en minéraux des feuilles de 3 espèces d'arbres (projet Parasol) en été (août) selon le mode d'exploitation.

Espèces	Modes	MS	CDR	MAT	DIGZ	TAN	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	P	K	Na	Zn
Frêne commun	Haut jet	34,3	7,1	15,7	72,5	0,2	12,8	10,5	73,8	3,4	18,0	1,6	18,6	0,1	16,4
Frêne commun	Têtard	32,5	6,4	16,7	70,5	0,2	11,4	10,6	73,4	4,0	23,3	2,3	15,2	0,0	22,8
Murier blanc	Haut jet	29,7	14,8	17,8	83,4	0,2	36,0	4,6	56,0	3,4	11,0	2,3	28,3	0,1	20,3
Murier blanc	Têtard	32,1	17,0	13,0	85,5	0,1	66,4	4,3	58,2	3,0	12,7	5,6	28,7	0,1	25,3
Paulownia	Haut jet	28,9	8,3	13,8	56,3	-	19,1	17,2	203,7	2,0	45,6	2,1	20,0	0,1	20,0
Paulownia	Têtard	23,0	11,0	15,4	63,9	-	17,6	25,7	372,0	2,2	52,0	2,9	25,9	0,1	34,5

Tableau 13 - Effets de l'espèce, de la date de récolte et du mode d'exploitation sur la composition biochimique et la digestibilité des feuilles de 3 espèces d'arbres

		MS		CDR		MAT		DIGZ	
Espèce	**Frêne**	33,4	b	6,7	a	16,2	a	71,5	b
	Murier	31,0	b	15,9	c	15,4	a	84,5	c
	Paulownia	26,0	a	9,6	b	14,6	a	60,1	a
Saison	**Juin**	24,5	a	9,0	a	18,1	b	73,4	a
	Août	30,6	b	11,5	a	14,7	a	70,6	a
	Octobre	35,3	c	11,7	a	13,4	a	42,1	a
Mode	**Haut jet**	31,0	a	10,1	a	15,8	a	70,8	a
	Têtard	29,2	a	11,4	a	15,0	a	73,3	a

Figure 59 - Repousses de feuillage, été 2016, sur un frêne conduit en têtard à 1 m à Theix (63) (crédit photo : INRA Lusignan)

Figure 60 - Repousses de feuillage, été 2016, sur des muriers blancs conduits en têtards en 0,5 m à Mirabel (07) (crédit photo : INRA Lusignan)

7.3. Mesure de l'ingestion et de la digestibilité, *in vivo,* de deux espèces d'intérêt pour les ruminants, le frêne et le murier blanc

7.3.1. Matériels et Méthode

Animaux : 18 Texel mâles castrés adultes ont été utilisés pour cette expérimentation. Ils ont été répartis de façon homogène en trois lots en tenant compte de l'âge, du poids vif et de l'état corporel des animaux.

Traitements : 2 essences de feuilles d'arbres étudiées en pure, le frêne et le murier blanc et un fourrage témoin (foin), soit 3 régimes. Le foin provient d'une prairie permanente de 1er cycle récolté en 2017 de l'INRA de Theix. Durant toute la durée de l'essai, les animaux ont été conduits à volonté sur tous les fourrages. Les feuilles ont été proposée aux animaux seules après ébranchage pour maîtriser au mieux les quantités consommées et éviter des biais (consommation des branches jeunes ou de l'écorce) et fausser nos résultats.

Du 7 au 25 septembre 2017, la récolte a été effectuée deux fois par semaine de 150kg de Murier blanc à l'EPL du Pradel (07) et de frêne à l'INRA de Theix (63), près d'1 tonne de feuille récoltée par espèce. Pour ne pas altérer la qualité des fourrages, après récolte, ils ont été transportés, entreposé en chambre froide à 4°C jusqu'à leur distribution aux animaux.

Figure 61 – Tri des feuilles de frênes pour préparer les rations (crédit photo : INRA Theix)

Mesure de l'ingestion et de la digestibilité des fourrages : Mesure des quantités offertes et refusées individuellement durant tout l'essai. La dernière semaine de l'essai, passage des animaux en stalles de digestibilité pour récolter et mesurer individuellement les fèces et l'urine. Pour déterminer précisément la matière sèche ingérée, des matières sèches ont été réalisées quotidiennement durant toute la durée de l'essai sur les offerts et les refus. Afin de déterminer la valeur alimentaire et la digestibilité des différents fourrages, les fourrages offerts, refusés, les fèces et les urines ont été envoyés en analyses. Sur les offerts, les refus et les fèces, les analyses réalisées étaient la MS, MO, MM, MAT, NDF, ADF, ADL et sur les urines seule la MAT a été dosée pour faire un bilan azoté.

Figure 62 – Feuilles de frênes en ration à un bélier (crédit photo : INRA Theix)

7.3.2. Résultats

7.3.2.1. Des valeurs alimentaires intéressantes

D'excellentes valeurs alimentaires, comparables aux meilleures espèces prairiales traditionnelles (prairies, ray-grass…) ou d'avenir (chicorée), et très supérieures aux fourrages récoltés (foin), utilisés comme recours lors d'épisodes de pénuries fourragères estivales.

Tableau 14 – Composition chimique et valeur nutritive des fourrages durant la période de digestibilité

Fourrages expérimentaux	Foin de prairie permanente	Ray Grass anglais*	Chicorée*	Feuilles de Frêne	Feuilles de Murier blanc
Matière sèche (%)	90	20	10	34	34
DMO (%)	54	80	81	63	68
PB (g/kg MS)	91	124	142	147	108
NDF (g/kg MS)	588	505	353	326	202
ADF (g/kg MS)	314	248	208	193	117

**Valeurs de Ray Grass et Chicorée issues d'un autre essai, récolte en vert au stade végétatif*

7.3.2.2. Deux espèces avec des niveaux d'ingestion élevés

Les quantités ingérées de feuilles sont majorées de 45% par rapport au foin, avec une nette évolution entre les deux périodes expérimentales. Les quantités ingérées de parois (paramètre impactant le plus la capacité d'ingestion) sont inférieures de 25 à 50% respectivement pour le Frêne et le Murier blanc par rapport au foin, ce qui laisse à penser que nos animaux n'avaient atteints leur niveau maximal d'ingestion de feuilles. La DMO est relativement faible mais peut en partie être expliqué par le niveau d'ingestion de feuilles.

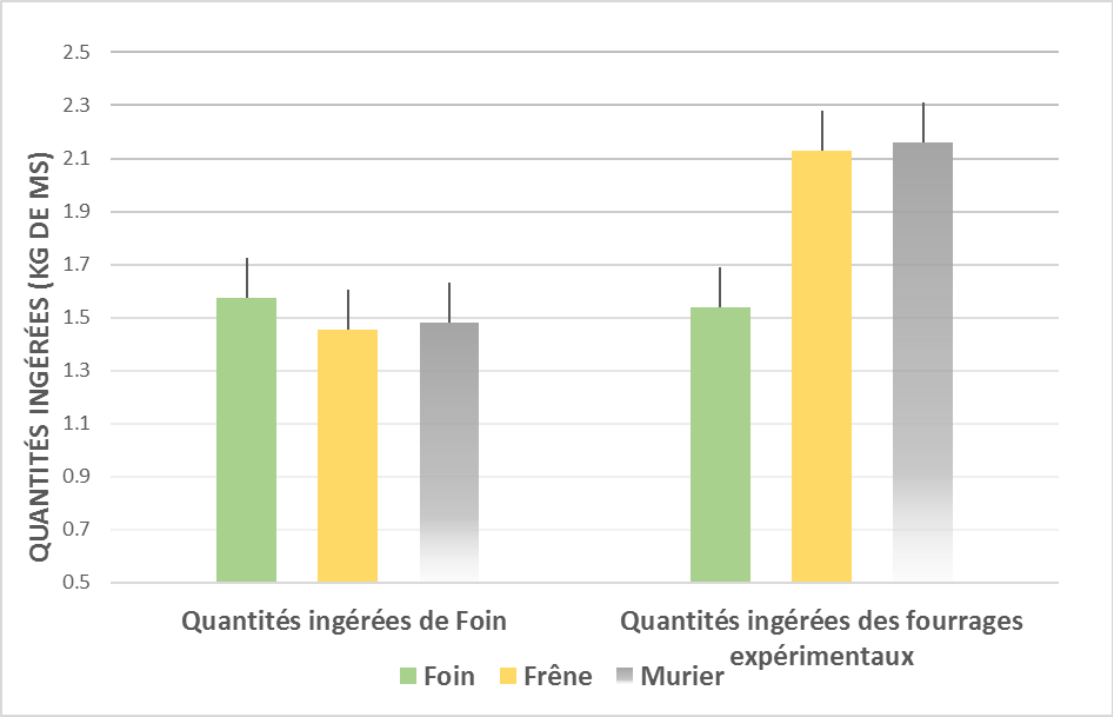

Figure 63 – Evolution de l'ingestion (kg MS) en passant du foin aux fourrages alternatifs

7.3.2.3. Une bonne utilisation par l'animal

Les niveaux de matière organique digestible ingérée pour les feuilles sont très élevés, comparables voire supérieurs aux espèces fourragères les plus performantes (Ray Grass et Chicorée). Pour le modèle animal utilisé, les besoins d'entretien de MODI/kg de Poids Métabolique sont estimés à 23g. Tous les fourrages testés couvrent ces besoins. On peut voir que les feuilles peuvent couvrir des besoins de production (lait, croissance…) très importants, supérieurs de 30 à 40% par rapport au foin. Ceci laisse à penser que ces fourrages devraient être réservés aux animaux les plus productifs (brebis en lactation) du troupeau ou avec une capacité d'ingestion limitée (brebis gestantes).

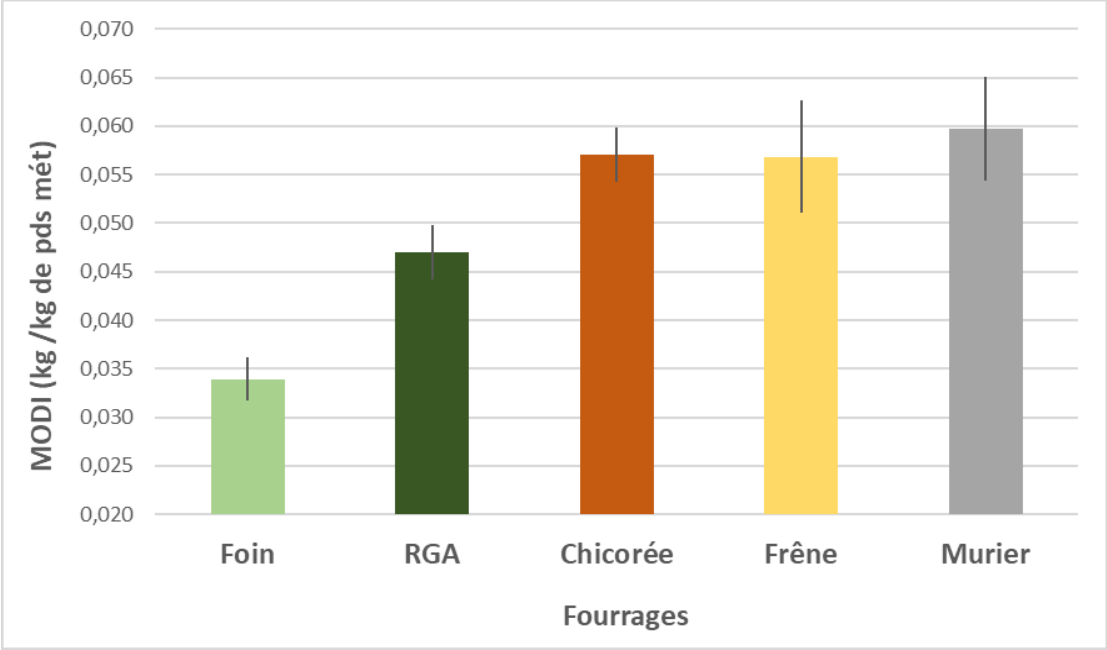

Figure 64 – Matière Organique Digestible Ingérée (kg/kg poids métabolique) des différents fourrages

7.1. Conclusions et perspectives

Ces travaux ont permis de mettre en évidence le potentiel fourrager de différentes espèces d'arbres. Ils mettent aussi en évidence une variabilité importante entre espèce, en fonction de la saison et de l'exploitation, finalement tout comme les espèces prairiales. Contrairement, à la plupart des espèces prairiales, cependant, le potentiel fourrager des feuilles se maintient durant l'été et jusqu'à l'automne. Notre travail mené sur animaux a confirmé le potentiel fourrager du frêne commun et du murier blanc. Il a démontré que les feuilles pouvaient être une alternative crédible de fourrage notamment en période de pénurie mais pas seulement. De plus, ces fourrages, compte-tenu de leur valeur, devront être réservés aux animaux les plus productifs et avec des besoins élevés. En procédant ainsi, en plus des économies de fourrages conservés s'ajouteraient à cela des économies de concentrés qui aiderait à l'autonomie fourragère des exploitations agricoles. Ces travaux restent exploratoires en particulier sur les aspects *in vivo,* ils devront être renforcés pour produire des références fiables, tant sur la valeur alimentaire, les modes d'exploitation que sur leur utilisation par les animaux.

7.2. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action

Revues à comité de lecture

Emile, J.C., Barre, P., Delagarde, R., Niderkorn, V., Novak, S., *2017. Les arbres, une ressource fourragère au pâturage pour des bovins laitiers ? Fourrages 230, 155-160. http://www.afpf-asso.org/index/action/page/id/33/title/Les-articles/article/2128*

- ✓ Disponibles sur le site Internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

Communications à des congrès

Ginane, C., Bernard, M., Deiss, V., Andueza-Urra, J.D., Emile, J.C., Novak, S. *2018. Fodder trees as an alternative resource to feed ruminants: voluntary intake and in vivo digestibility of white mulberry (Morus alba) and common ash (Fraxinus excelsior) leaves in sheep. ISNH.*

Mahieu, S., Emile, J.C., Novak, S. *2018. Mineral composition of ash leaves (Fraxinus Excelsior L.) used as fodder for the ruminants in summer. Euraf congress, Tree fodder: food for thoughts? 28-30 May 2018, Nijmegen, The Netherlands.*

Emile, J.C., Barre, P., Bourgoin, F., Perceau, R., Mahieu, S., Novak, S., *2018. Effect of season and species on the nutritive value of leaves of high stem trees. 27th EGF General Meeting on "Sustainable Meat and Milk Production from Grasslands", 17-21 June 2018, Cork, Ireland, 179-181.*

Emile, J.-C., Novak, S., Mahieu, S., *2018. Les trognes, ressources alimentaires dans les systèmes d'élevage de ruminants ? 2ème colloque européen sur les trognes, Sare, Pays Basque (64).*

- ✓ Disponibles sur le site Internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

Emile, J.C., Delagarde, R., Barre, P., Niderkorn, V., Novak, S., *2017. Evaluation of the feeding value of leaves of woody plants for feeding ruminants in summer. 19th EGF Symposium on "Grassland resources for extensive farming systems in marginal regions: major drivers and future scenarios", Alghero, Sardinia (Italy) Grassland Science in Europe, vol 22, 548-550.*

Emile, J.-C., Chargelègue, F., Bourgoin, F., Perceau, R., Boutant, D., Martineau, A., Novak, S., *2017. Pâturer des arbres fourragers en système bovin laitier ? In: AFPF (Ed.), Journées AFPF, Le pâturage au coeur des systèmes d'élevage de demain, Paris, France, 178-179.*

Emile, J.C., Delagarde, R., Barre, P., Novak, S.*, 2016. Nutritive value and degradability of leaves from temperate woody resources for feeding ruminants in summer. 3rd European Agroforestry Conference. INRA, Montpellier, 23-25 Mai 2016, France, pp. 409-412. https://euraf.isa.utl.pt/files/pub/docs/silvopastoralism_52_emile.pdf*

- ✓ Disponibles sur le site Internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

Novak, S., Liagre, F., Emile, J.C*., 2016. Integrating agroforestry into an innovative mixed crop-dairy system. 3rd European Agroforestry Conference. INRA, Montpellier, 23-25 Mai 2016, France pp. 396-398. https://euraf.isa.utl.pt/files/pub/docs/silvopastoralism_3_novak.pdf*

- ✓ Disponibles sur le site Internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

Interventions dans des séminaires, colloques, journées techniques, …

Emile, J.-C., Novak, S., Mahieu, S. *2018. Valeur alimentaire des feuilles de ligneux pour les ruminants. Séminaire de fin du projet Arbele, 5 juin 2018, Bergerie Nationale, Rambouillet, 4p.*

- ✓ Disponibles sur le site Internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

Emile, J.-C., Novak, S., Mahieu, S. 2018*. Valeur alimentaire des feuilles de ligneux pour les ruminants. Journée Agrosyl-Parasol, 4 avril 2018, Mirepoix (Ariège), CA 09, 2p.*

- ✓ Disponibles sur le site Internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

Bernard, M., Ginane, C., Deiss, V., Emile, J.-C., Novak, S., 2018*. Mesure de l'ingestion et de la digestibilité in vivo de deux espèces d'intérêt pour les ruminants, le frêne et le mûrier blanc. Journée Agrosyl-Parasol, 4 avril 2018, Mirepoix (Ariège), CA 09, 2p.*

- ✓ Disponibles sur le site Internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

Novak, S., *2017. Dispositif agroforestier en système laitier à Lusignan. Journée « croisons nos regards », RMT AgroforesterieS, 7 septembre 2017, Paris. Intervention.*

Emile, J.-C., *2017. Le Pradel, Mirabel, Ardèche, 29-30 mars 2017. Séminaire de formation agroforesterie d'élevage. Présentation orale.*

Emile, J.-C., 2017*. PNR Côte d'Opale, Le Wast, 62 Pas-de-Calais, 14 février 2017. Journée technique agroforesterie. Présentation orale.*

- ✓ Disponibles sur : https://www.youtube.com/watch?v=m7dausg60xw&feature=youtube

Emile, J.-C., *2016. Journée technique de la haie, 8 novembre 2016, CRA Nouvelle-Aquitaine, Boussac (Creuse). Présentation orale.*

Figure 65 - Brebis à l'abri d'un arbre sur la ferme de Lalosse dans l'Aude (crédit photo : AGROOF SCOP)

8. COMPORTEMENT ET BIEN-ETRE : Impacts de la présence d'arbres

Etude menée dans le cadre de l'action 4 du projet PARASOL. Elle a été réalisée sous la responsabilité de Cécile Ginane et Mickaël Bernard (INRA Theix).

Auteur : Cécile Ginane (INRA Theix)

Contributeurs : Dorothée Bizeray-Filoche (UniLasalle), Véronique Deiss (INRA Theix), Camille Béral (AGROOF SCOP), Carla Gava (stagiaire INRA), Pauline Dechavanne (stagiaire INRA), Maxime Jardillier (stagiaire INRA), Alice Elvinger (stagiaire UniLasalle), Camille Payen (stagiaire UniLasalle).

Principaux résultats

- Les brebis recherchent activement la proximité des arbres, avec une proportion du temps passé sous les houppiers et à l'ombre largement supérieure à celle de la surface couverte par les arbres dans les parcelles, y compris en dehors des jours de forte chaleur.

- L'utilisation de l'arbre se fait surtout pour les activités de repos et de rumination, quelle que soit la densité d'arbres.

- Une amélioration de l'état de stress thermique est probablement impliquée dans cette recherche de l'arbre.

- La présence d'arbres peut induire une gêne liée aux insectes, même si elle semble légère compte-tenu de la recherche active du couvert des arbres par les brebis.

8.1. Introduction

Le bien-être animal constitue un enjeu de plus en plus important en élevage, à la demande à la fois des éleveurs, des consommateurs et des citoyens. Les divers règlements adoptés ces dernières années (loi du 10 juillet 1976 (code rural), loi du 16 février 2015 (code civil)) illustrent l'importance croissante de la considération des conditions de vie proposées aux animaux d'élevage. En particulier, la directive 98/58/CE concernant la protection des animaux dans les élevages, spécifie que "les animaux non gardés dans des bâtiments doivent, dans la mesure où cela est nécessaire et possible, être protégés contre les intempéries par des moyens adaptés aux conditions météorologiques de la région. Les abris naturels peuvent être pris en compte (arbres, haies, autres éléments topographiques protecteurs)". La valorisation des ressources fourragères via le pâturage implique donc de considérer les abris qui peuvent être fournis aux animaux. Dans ce contexte, l'arbre est un élément important car en plus de la diversité de bénéfices qu'il peut procurer à l'éleveur et à l'environnement (déjà évoqués), il fournit un abri pour les animaux contre les intempéries. Le bénéfice "bien-être" de l'arbre est d'ailleurs un des principaux éléments cités par les éleveurs en faveur de l'agroforesterie (cf. section 1.).

8.2. Finalité et objectifs

Cette action vise à comprendre comment les peuplements d'arbres impactent le comportement et le bien-être des ovins au pâturage, ainsi que leurs performances zootechniques, notamment dans un contexte de hausse des températures.

Les objectifs de cette tâche sont :

- Déterminer l'impact de la présence d'arbres sur les activités des animaux et sur leur motivation pour utiliser l'arbre comme abri, en nous focalisant volontairement sur la fonction d'abri contre la chaleur et le rayonnement solaire
- Evaluer l'impact des arbres sur le bien-être des ovins, en termes de stress thermique (mesure des fréquences respiratoires, Silanikove 2000), et de gêne liée aux insectes

8.3. Méthodologie générale

Plusieurs sites du réseau (3 dans le Nord-Ouest : « Sainte Marguerite en Ouche », « Melleray la Vallée » et « Carsix » (Eure, Mayenne), 2 en Auvergne : Lamartine, Bonnefont (Puy-de-Dôme, Haute-Loire) et 1 dans le Sud : Lalosse (Aude), ont été suivis en 2016 et 2017 (Tableau 15). Tous les sites ont été soumis à un protocole minimal commun centré sur l'activité et le positionnement des animaux au pâturage (scans d'activité) pour évaluer leur utilisation des arbres et de l'abri qu'ils procurent. La gêne liée aux insectes et le stress thermique ont également été évalués dès que possible sur les différents sites. Ce protocole commun est lié aux contraintes qui s'appliquent chez les éleveurs, notamment la difficulté de contrôler les facteurs animaux et environnementaux (lots d'animaux disponibles, calendrier de pâturage, conditions climatiques), le matériel limité et l'éloignement. En l'occurrence, il a été compliqué de réaliser les mesures sur le site du Sud. Dans ce rapport, nous nous focaliserons donc sur les résultats des sites du Nord et sur celui de Lamartine qui ont été suivis de façon plus approfondie et répétée.

Une charge de mesure plus élevée a été réalisée sur le site de Lamartine car sa qualification de site expérimental a permis un meilleur contrôle des facteurs animaux et environnementaux (taille des lots et des parcelles, stades physiologiques des animaux) ainsi qu'une pression de mesure non envisageable chez les éleveurs. Sur ce site, les deux densités d'arbres (60 (A+) et 150 (A++) arbres/ha) ainsi que la parcelle témoin avec un seul arbre (A0), ont été considérées. Le choix a été fait de faire pâturer chaque parcelle par un lot homogène de 10 brebis (avec leurs agneaux jusqu'au sevrage – fin juin), en pâturage continu du mois de mai jusqu'au moment où la biomasse des parcelles ne permettait plus d'alimenter les brebis (entre août et octobre en 2016 selon le traitement, en septembre en 2017). Sur ce site expérimental, des stations météorologiques ont également été utilisées afin de disposer de données précises et continues de température, d'humidité, de rayonnement solaire et de vitesse du vent tout au long de la saison.

8.4. Activité des brebis au pâturage et positionnement vis-à-vis de l'arbre et de l'ombre

8.4.1. Méthodes

Pour chaque site étudié, les jours d'observation sont présentés dans le Tableau 15. Les périodes ciblées étaient principalement le printemps et l'été.

Tableau 15 – Caractérisation des sites et jours d'observations comportementales

Région	Année	Exploitation	Traitements	Nb jrs obs.	Périodes obs.	Nb ind / trait.
Nord	2016	Melleray La Valley (E1)	2 : arboré - témoin	6	30-31 mai 01-02 juin 28-29 juin	15
		Sainte Marguerite en Ouche (E2)	2 : arboré - témoin	6	02-03 mai 26-27 mai 04-06 juillet	15
		Plet (E3)	2 : arboré - témoin	6	11-12 mai 24-28 mai 05-07 juillet	15
	2017	Melleray La Valley (E1)	2 : arboré - témoin	8	10-11 mai 13-16 juin 11-12 juillet 17-18 août	15
		Sainte Marguerite en Ouche (E2)	2 : arboré - témoin	8	30 mai - 02 juin 21-22 juin 18-19 juillet 22-23 août	15
		Plet (E3)	2 : arboré - témoin	8	31 mai - 01 juin 19-20 juin 17-20 juillet 21-24 août	15
Auvergne	2016	Lamartine	3 : A0 A+ A++	4	27 mai - 06 juin 20-25 juillet	10
		Bonnefont	2 : arboré - témoin	3	21-juin 02-04 nov	15
	2017	Lamartine	3 : A0 A+ A++	8	22-23 mai - 01-08 juin 18-28 juil. - 02-17 août	10
		Bonnefont	2 : arboré - témoin	2	30-31 mai	15
Sud	2016	Lalosse	2 : arboré - témoin	1	02-juin	15

Les mesures réalisées sont :

- Scans d'activité : Réalisés sur certains individus ciblés ou sur la totalité des animaux du lot (selon la taille du lot), sur 3 créneaux de 2 heures ou 2.5h répartis dans la journée (matin, midi et soir : par ex.8h-10h, 13h-15h, 18-20h). Les scans s'effectuaient toutes les 5 min. Un code à 4 lettres permettait de noter la posture de l'animal (debout / couché), son activité (pâturage, repos, rumination, déplacement, interaction sociale, vigilance, etc.), sa position par rapport à l'arbre (au contact de l'arbre, sous le houppier, ou en zone nue), et enfin l'ambiance à l'endroit et au moment de l'observation (s'il est à l'ombre ou au soleil dans le cas des scans ensoleillés, ou si on ne peut pas le déterminer c'est-à-dire si le temps est couvert ou pluvieux) (figure 52).
- Evaluation du temps de pâturage, de rumination et de l'activité générale sur 24h (à Lamartine). En 2016 et 2017, les brebis ont été équipées de colliers Ethosys® et de podomètres qui permettent d'évaluer ces activités en continu (en l'occurrence sur 48h). Ces données sont complémentaires des scans d'activité qui ne sont réalisés que sur une partie de la journée et qui par définition ne permettent pas de "capter" l'activité des animaux en continu. Ces données sont en cours d'analyse et ne seront pas présentées dans ce rapport.

Egalement, pour pouvoir comparer la proportion de temps passé par les animaux à l'ombre ou sous les houppiers, à la surface couverte par les arbres, une évaluation de la surface couverte par les houppiers a été réalisée sur les sites du Nord et de Lamartine. Cela permet de déterminer si le choix de l'animal de se mettre sous les houppiers ou à l'ombre est un choix volontaire et non un positionnement au hasard. Ces proportions de surface à l'ombre ou sous les houppiers apparaîtront sur les figures de résultats.

Figure 66 – Brebis et agneaux à l'abri d'un arbre lors d'une journée ensoleillée (à gauche) et pluvieuse (à droite), lors des scans d'activité de printemps à Lamartine (Puy-de-Dôme) (crédit photo : INRA Theix).

8.4.2. Résultats

8.4.2.1. Activités générales

Concernant les activités des brebis, et notamment les trois principales que sont le pâturage, le repos et la rumination, on constate que les arbres ont globalement peu d'effet sur leurs proportions à l'échelle de la journée dans une région donnée, malgré certaines différences significatives (Figure 67).

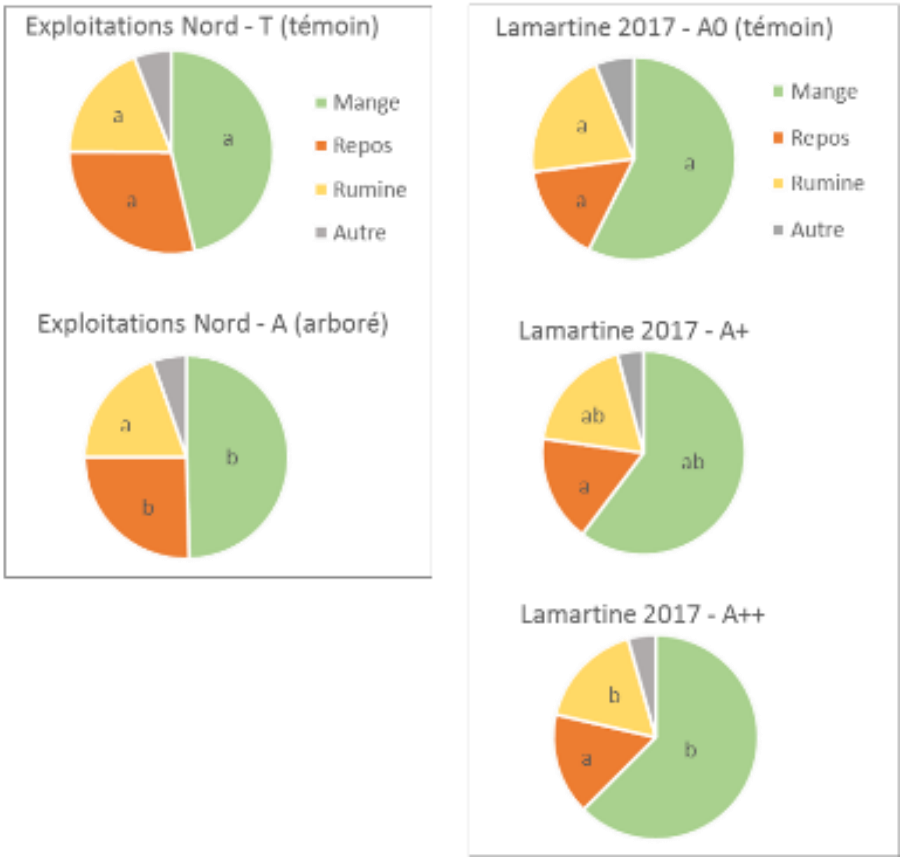

Figure 67 – Proportion des temps moyen passés aux principales activités, dans les exploitations du Nord et sur le site de Lamartine en 2017. Pour un(e) même site/région, des lettres différentes indiquent une différence significative entre traitements pour une même activité (Anova).

A l'échelle des différentes journées, les analyses indiquent des interactions entre traitements et dates souvent significatives, mais ces significativités correspondent à des différences ponctuelles qui ne traduisent pas d'évolution claire des activités entre traitements ou entre dates.

8.4.2.2. Utilisation de l'arbre

La première analyse que l'on peut faire est la proportion de temps passé par les brebis sous les houppiers des arbres. On observe alors que les animaux se positionnent largement sous le couvert des arbres, quels que soient les jours d'observation ou les sites étudiés. A titre d'illustration, sont représentées ci-dessous les résultats des observations sur les exploitations du Nord en 2017. On voit clairement que les proportions de temps passé sous les houppiers (barres claires) sont largement supérieures à la proportion de surface que les houppiers représentent sur la parcelle (barre foncées) (Figure 68).

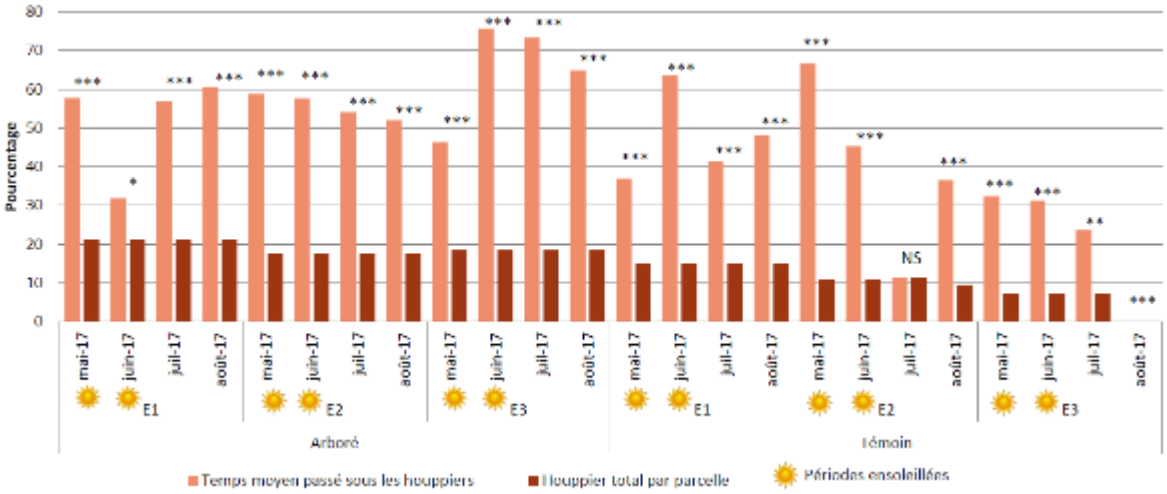

Figure 68 – Temps moyen passé sous les houppiers (%) lors des scans ensoleillés de 2017 par rapport au pourcentage de houppiers total par parcelle en fonction de la période, de l'exploitation (E1/E2/E3 dans le Nord) et du traitement. Les étoiles indiquent une différence significative entre les deux pourcentages (test de Student).

Au-delà de l'utilisation du houppier, il est particulièrement intéressant d'analyser la recherche d'ombre par les animaux. En prenant l'exemple du site de Lamartine sur les deux années d'étude, on constate d'abord que, de façon logique, plus il y a d'arbres sur la parcelle, plus les animaux passent du temps à l'ombre ($p<0.0001$). De plus, on observe qu'il y a une recherche active de l'ombre par les animaux, particulièrement dans le cas des parcelles très peu ou moyennement arborées (A0 et A++) (Figure 69).

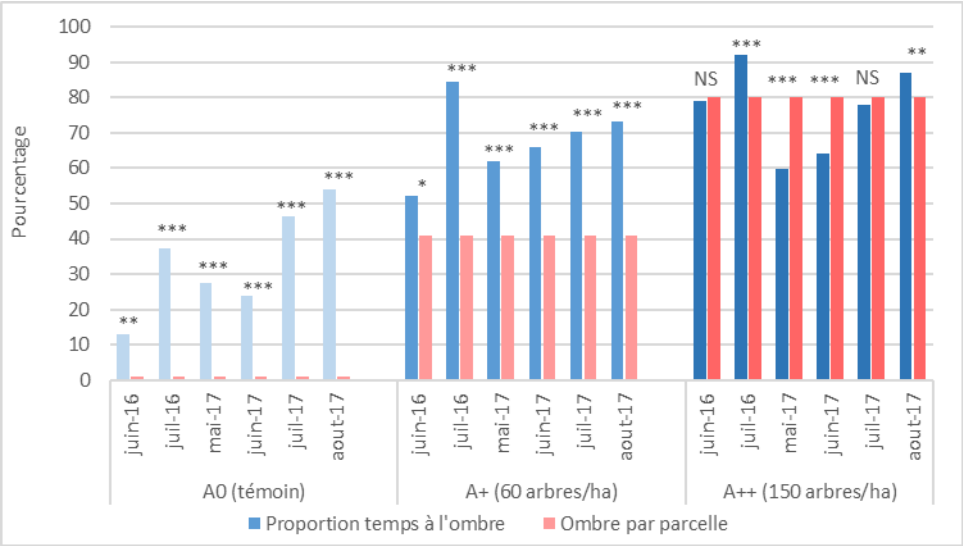

Figure 69 – Temps moyen passé à l'ombre (%) lors des scans ensoleillés de 2016 et 2017 sur le site de Lamartine, par rapport à la surface d'ombre par parcelle, en fonction du traitement (A0, A+, A++) et de la période. Les étoiles indiquent une différence significative entre les deux pourcentages (test de Student).

Sur A++, environ 80% de la surface est couverte par les arbres, ce qui explique que les brebis n'ont pas besoin de rechercher activement l'ombre sur cette parcelle. Il faut noter que sur A0, où un seul arbre était présent, les brebis passent systématiquement plus de temps à l'ombre que si elles se

positionnaient au hasard. Cette recherche active est importante, car les animaux passent jusqu'à 50% de leur temps à l'ombre de l'arbre alors que celui ne représente qu'1% de la surface de la parcelle. Même si l'ombre projetée par l'arbre peut à certains moments de la journée couvrir une surface plus grande, le temps passé à l'ombre reste très important. On peut noter également que ces résultats se retrouvent dans les exploitations du Nord (Figure 70).

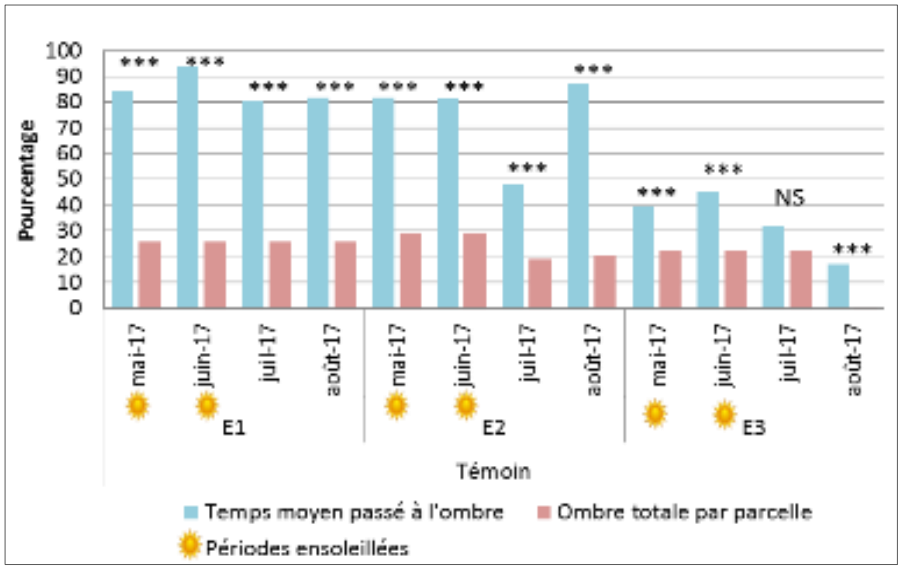

Figure 70 - Temps moyen passé à l'ombre en parcelle témoin (%) lors des scans ensoleillés de 2017 par rapport au pourcentage d'ombre totale par parcelle témoin en fonction de la période, de l'exploitation (E1/E2/E3). Les étoiles indiquent une différence significative entre les deux pourcentages (test de Student)

8.4.2.3. Activités sous les arbres

Si on regarde plus finement ce que font les animaux sous les arbres ou à l'ombre, on constate que la disponibilité des arbres impacte la façon dont les brebis utilisent l'ombre. Chez les brebis ayant peu accès aux arbres et à l'ombre (traitement témoin), le temps passé sous les houppiers ou à l'ombre est plus orienté vers les activités de repos et de rumination et moins orienté vers l'activité de pâturage, que chez les brebis ayant un accès à l'arbre moins limitant (traitement arboré) (Figure 71).

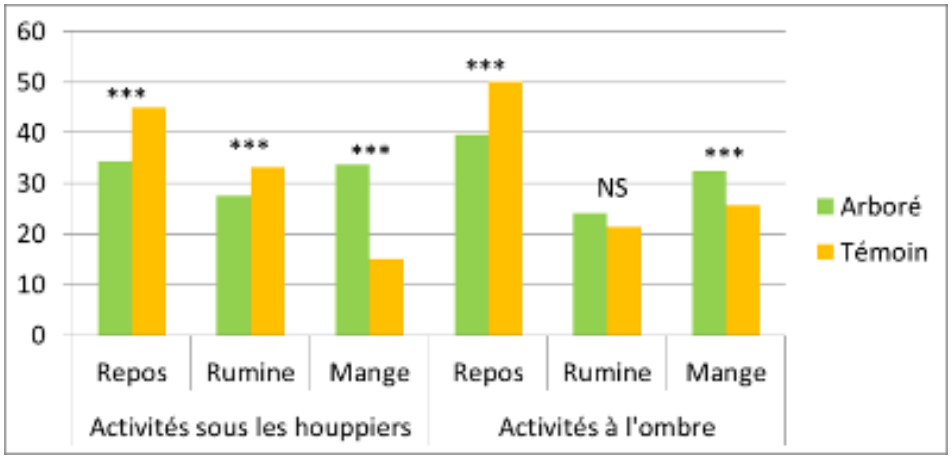

Figure 71 – Proportion du temps (%) consacré à chaque activité sous les houppiers et à l'ombre en fonction du traitement. Les étoiles indiquent une différence significative entre traitements (test de Student)

Ceci apparaît dans les suivis de la région Nord, et se retrouve en Auvergne. Ainsi, si on prend l'exemple d'une journée chaude de l'été 2016 sur le site de Lamartine, on constate une répartition des activités très différente à l'ombre et au soleil (Figure 72). Ainsi, à l'ombre, ce sont les activités de repos et de rumination qui sont majoritaires, même si on observe une augmentation de la part relative de l'activité de pâturage entre A0 et A++, de façon logique avec l'augmentation de la densité d'arbres. Inversement, les activités de repos et de rumination ne représentent qu'une proportion relativement faible du temps passé au soleil, où c'est le pâturage qui reste majoritaire, quel que soit le traitement.

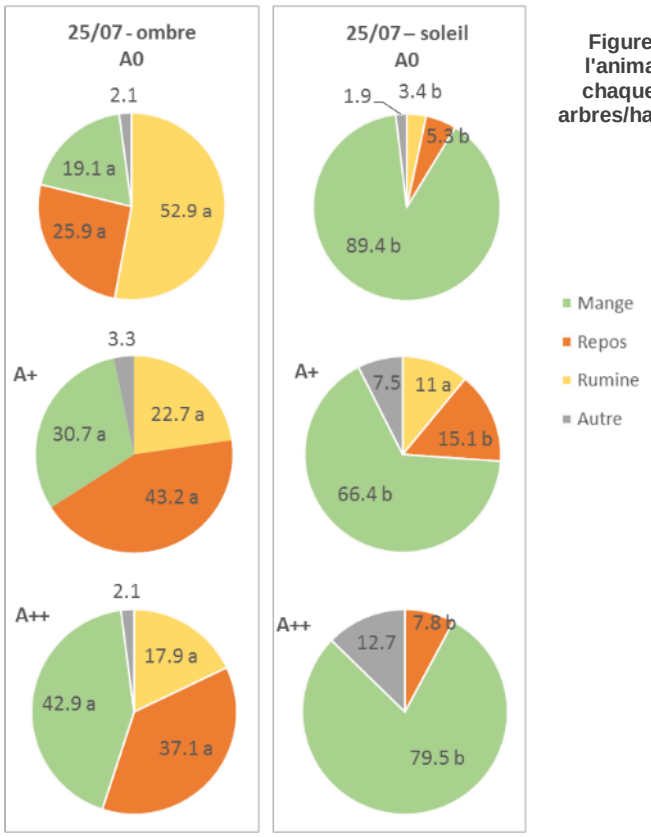

Figure 72 – Exemple de répartition des activités selon que l'animal est à l'ombre ou au soleil (site de Lamartine). Pour chaque traitement (A0 (témoin), A+ (60 arbres/ha), A++ (150 arbres/ha)), les lettres différentes indiquent une différence entre ombre et soleil.

Enfin, pour compléter et confirmer ces éléments, la dernière analyse que nous avons réalisée vise à étudier, pour chaque activité le choix de l'animal de la réaliser à l'ombre ou au soleil. Les résultats des activités de pâturage et de rumination sont présentés sur les Figure 73 et Figure 74, sachant qu'on obtient pour le repos des résultats très proches de la rumination.

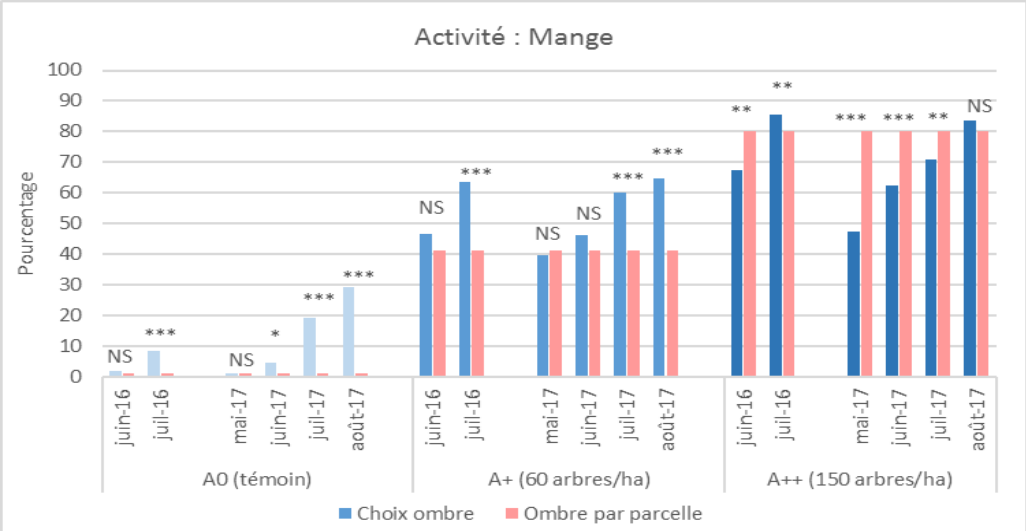

Figure 73 – Préférence pour l'ombre pour l'activité de pâturage, par rapport au pourcentage d'ombre totale par parcelle, selon la densité d'arbres et les jours d'observations en 2016 et 2017 (Site de Lamartine, Auvergne). Les étoiles indiquent une différence significative entre les pourcentages (test de Student).

L'analyse de ces deux figures indique qu'il y a une forte préférence pour l'ombre pour l'activité de rumination, notamment en été, et y compris lorsqu'il n'y a qu'un seul arbre sur la parcelle. Ceci est beaucoup moins marqué pour l'activité de pâturage, notamment pour le traitement A0, pour lequel les préférences sont inférieures à 30% ce qui signifie que les animaux préfèrent le soleil pour pâturer. Cela vient en partie du fait que la végétation prairiale au niveau du seul arbre de la parcelle est peu disponible

(piétinement, déjections). En effet, le traitement A+ nous indique que les brebis peuvent rechercher l'ombre également pour pâturer, notamment en été.

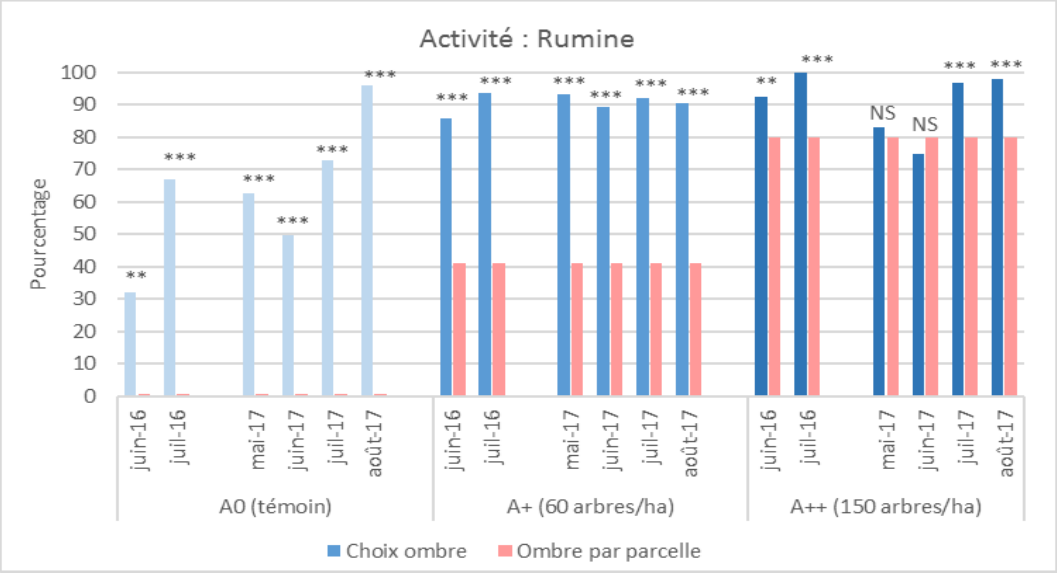

Figure 74 – Préférence pour l'ombre pour l'activité de rumination, par rapport au pourcentage d'ombre totale par parcelle, selon la densité d'arbres et les jours d'observations en 2016 et 2017 (Site de Lamartine, Auvergne). Les étoiles indiquent une différence significative (test de Student).

8.5. Evaluation du stress thermique et de la gêne liée aux insectes

8.5.1. Méthodes

Lors des périodes de scans d'activité, nous avons utilisé le temps entre chaque scan pour réaliser deux mesures complémentaires permettant d'appréhender certains aspects du bien-être des animaux, i.e. avoir une indication du stress thermique subi par les différents individus et évaluer si les animaux sont plus gênés par les insectes aux abords des arbres. Sur un pas de temps de 1min30 à 2 min, nous avons noté le nombre de respirations ou de mouvements de défense vis-à-vis des insectes (mouvements d'oreilles, de dos, de pied ou de queue), en se focalisant sur un individu donné à chaque mesure. Nous précisons que les mesures de fréquence respiratoire n'ont pu être réalisées que sur le site de Lamartine.

8.5.2. Résultats

Pour le site de Lamartine, les résultats montrent que la gêne liée aux insectes a été plus importante sous couvert arboré (p=0.01, Figure 75), quelle que soit l'année et malgré une gêne globalement plus importante en 2017 qu'en 2016 (p=0.0001).

Concernant la fréquence respiratoire, la tendance est inverse, mais quelque peu différente entre années (interaction, p=0.0001), ce qui suggère le besoin de récolter des données supplémentaires pour pouvoir tirer des conclusions claires. Il apparaît néanmoins que le traitement témoin fait toujours partie des traitements où la fréquence respiratoire est la plus élevée, ce qui est cohérent avec le bénéfice potentiel de l'arbre pour réduire le stress thermique.

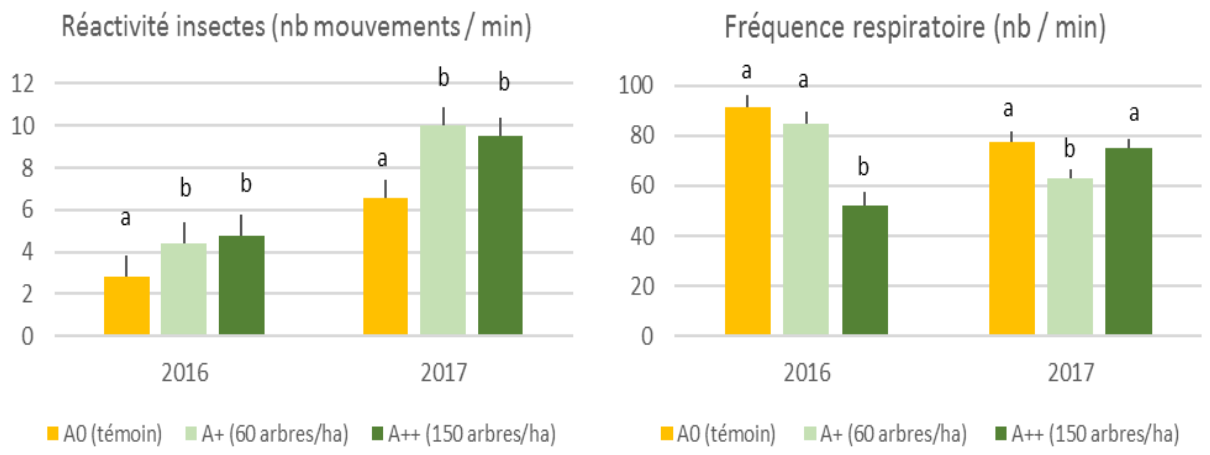

Figure 75 – Réactivité aux insectes et fréquence respiratoire des brebis selon la densité d'arbres en 2016 et 2017 (Site de Lamartine, Auvergne). Les lettres différentes pour une année indiquent une différence significative entre les traitements.

8.6. Conclusion et perspectives

Les suivis réalisés sur les animaux dans le cadre du projet PARASOL montrent que l'arbre est largement utilisé par les brebis. Les résultats sont cohérents entre sites et deux résultats majeurs peuvent être identifiés :

1- Les brebis recherchent activement la proximité des arbres, avec une proportion du temps passé sous les houppiers et à l'ombre largement supérieure à celle de la surface couverte par les arbres dans les parcelles. Ceci est cohérent avec des études précédentes sur bovins indiquant que la motivation pour accéder à l'ombre lors de fortes chaleurs est importante. Par exemple, des vaches préfèrent rester debout sous un abri que couchées en dehors de l'abri même après une contrainte de 12 heures les empêchant de se coucher (Schutz et al. 2008). Nos résultats montrent également que cette recherche de l'ombre est présente sur l'ensemble des jours d'observations, donc y compris en dehors des jours de forte chaleur.

2- L'utilisation de l'arbre se fait surtout pour les activités de repos et de rumination, quelle que soit la densité d'arbres. Certains jours d'été, les brebis peuvent passer presque tout leur temps de rumination à l'ombre même lorsque la parcelle ne contient qu'un seul arbre. Pour l'activité de consommation, la recherche d'ombre est nettement plus faible voire absente dans un certain nombre de cas. Lorsque la densité d'arbre est forte, il peut même y avoir une recherche des zones ensoleillées pour cette activité.

Une amélioration de l'état de stress thermique est probablement impliquée dans cette recherche de l'arbre, au moins pour certains jours de l'année. Des études sur l'impact d'un abri (artificiel ou naturel) au pâturage montrent un effet bénéfique pour l'animal en l'aidant à lutter contre la chaleur et les rayonnements (Van Laer et al. 2014, chez les bovins). Dans le cadre de ce projet, les données de fréquence respiratoire sont encourageantes mais variables entre années et nécessiteront d'être approfondies pour pouvoir les relier plus directement aux comportements des animaux.

L'arbre apparaît associé à une gêne plus importante des brebis liée aux insectes, ce qui est cohérent avec l'environnement supplémentaire qu'il procure à l'entomofaune à l'échelle de la parcelle. Cependant, le poids de cette gêne, dans nos conditions, semble avoir été léger comparé aux bénéfices que l'arbre procure aux ovins.

Enfin, nous nous sommes volontairement focalisés sur l'arbre comme protection vis-à-vis du soleil, donc comme source d'ombre pour les animaux permettant de diminuer le stress thermique. Les quelques occurrences de pluie pendant nos observations suggèrent une utilisation de l'arbre également comme protection contre la pluie, mais des observations focalisées sur cet aspect seront nécessaires pour évaluer cette utilisation.

8.7. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action

Rapports de stage :

***Carla Gava, 2016**. Pâturage ovin sur prairies arborées - Quels impacts des arbres sur l'animal et la prairie ? Rapport de stage, année de césure, 2ème année Montpellier SupAgro. INRA Theix et Montpellier SupAgro. 54 pages. Soutien financier du GIS Elevage Demain.*

***Alice Elvinger, 2016**. Etude du comportement animal en système ovin pâturant des prés arborés. Rapport de stage. UniLasalle - Esitpa. 66 pages.*

***Camille Payen, 2017**. Evaluation du potentiel de l'agroforesterie : Impacts de la présence d'arbres sur le comportement et le bien-être des ovins pâturant des prés-vergers. Rapport de stage. UniLaSalle et ISA Lille. 82 pages.*

***Pauline Dechavanne, 2017.** Quel est l'impact des arbres sur le comportement et le bien-être des ovins au pâturage ? INRA Theix et AgroSup Dijon. 100 pages.*

- ✓ Disponibles sur le site Internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

Vidéos :

Présentation des objectifs de la tâche 4 par Cécile Ginane – INRA. Réalisation : Nicolas Girardin et Antoine Marin – AGROOF SCOP.

- ✓ Disponible sur la chaîne vidéo du projet : https://vimeo.com/channels/parasol/162799925

Diaporamas :

***Ginane Cécile, Deiss Véronique, Bernard Mickaël, Andueza Donato, 2017**. Pâturage ovin sur prairies arborées : quels impacts de l'arbre sur l'animal et la prairie ? Diaporama présenté lors du séminaire de restitution des stages financés par le GIS Elevage Demain. 09/03/2017.*

- ✓ Disponible sur la chaîne vidéo du projet : https://vimeo.com/channels/parasol/

Communication dans des congrès :

***Ginane Cécile, Deiss Véronique, Bernard Mickaël, Payen Camille, Béral Camille, Bizeray-Filoche Dorothée, 2018.** Pâturage sur prairies agroforestières : quels impacts des arbres sur le comportement, le bien-être et les performances des ovins ? Résumé d'une communication orale pour la 24ème édition des 3R (Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants). 05-06/12/2018.*

Figure 76 - Brebis et son agneau à l'ombre d'un arbre sur la ferme de Lalosse dans l'Aude (crédit photo : AGROOF SCOP)

9. PERFORMANCES ET SANTE ANIMALE : Impacts de la présence d'arbres

Etude menée dans le cadre de l'action 4 du projet PARASOL. Elle a été réalisée sous la responsabilité de Mickaël Bernard, Cécile Ginane et Véronique Deiss (INRA Theix).

Auteur : Mickaël Bernard (INRA Theix)

Contributeurs : Carla Gava (stagiaire INRA Theix), Pauline Dechavanne (stagiaire INRA Theix), Emma Beaubier (stagiaire INRA Theix) et Maxime Jardillier (stagiaire INRA Theix) ; personnel de l'UE Herbipôle et de l'UMRH.

Principaux résultats

- Les performances zootechniques des brebis (présentes au printemps et à l'été au pâturage) sont principalement définies par la disponibilité de la ressource herbacée. On note notamment qu'après sevrage, si la reprise de poids est similaire entre les brebis en parcelles arborées ou non arborées, la Note d'Etat Corporel (NEC) augmente plus lentement.

- Les performances des agneaux (principalement présents au printemps au pâturage) ne sont pas impactées par la présence d'arbres, les brebis privilégiant d'abord leur nutrition.

- Aucune différence de parasitisme n'a été mise en évidence.

L'ensemble des résultats de cette étude semblent appuyer une utilisation plus tardive des surfaces arborées. La meilleure qualité de l'herbe pouvant compenser la diminution de rendement.

9.1. Etat de l'art et objectifs

Le sylvopastoralisme peut être une option pour atténuer les changements climatiques, qui impose de nouvelles pratiques pour les animaux (Ruget et al. 2012). Toutefois après le remembrement agricoles des années 60, les agriculteurs bretons se disent réticent à replanter des arbres sans compensation (Colson, Almandoz, Stenger 1996).

Les études faites autour de l'agroforesterie et de l'élevage sont réduites. Elles se cantonnent aux milieux arides, toutefois des études ont été faites en milieu tempéré mais en Nouvelle-Zélande (Dupraz, Auclair, Guitton 1992; Guitton et al. 1993; Hawke 1991), climat peu comparable au climat tempéré français ou européen. La Nouvelle-Zélande présente une agroforesterie fortement développée que l'on pourrait qualifier d'industrielle (Dupraz, Auclair, Guitton 1992). Les résultats néozélandais montrent un impact de l'arbre. L'animal peut s'en servir d'abri, de manière à les protéger des vents et pluies violentes, ainsi que pour favoriser la survie des jeunes et le confort des adultes (Hawke 1991). Néanmoins pour ce qui est des performances de croissance les résultats sont plutôt négatifs.

La croissance des jeunes se fait difficilement en parcelle agroforestière dense (plus de 100 tiges hectare) mais sans conséquence sur les adultes (Hawke 1991). Une expérience a été effectuée au Royaume-Uni, les résultats de performance animale sont variables mais encourageantes (Eason et al. [Sans date]). Cela est à mettre en lien avec la compétition pour les ressources que se donnent la strate herbacée et arborée. La difficulté soulevée par rapport au pâturage est l'évaluation de la quantité de biomasse prairiale disponible, car la production varie suivant les années et les éclaircies (Dupraz, Auclair, Guitton 1992). Cela s'explique en partie par le fait qu'en Nouvelle-Zélande les arbres utilisés en agroforesterie sont des conifères (le Pinus Radiata), la chute des épines limite la pousse de l'herbe et augmente la quantité de rémanents (Dupraz, Auclair, Guitton 1992). Ce phénomène est confirmé par la gestion de la forêt, lors d'un élagage ou éclaircie, cela va entrainer un développement d'herbe. Lorsque la canopée se ferme avec le développement des arbres et que la compétition pour le soleil s'intensifie la prairie au pied des arbres est étouffée (Hawke 1991). Ce qui a pour conclusion que lorsque la densité d'arbres augmente sur la parcelle, la biomasse herbagère diminue, les deux semblent corrélées négativement. Cette densité herbacée moindre obligerait les animaux à pâturer plus longtemps lorsqu'ils sont dans une parcelle arborée (Dupraz, Auclair, Guitton 1992) et disposer de surface prairiale supérieure.

Dans ce système le volet sanitaire est aussi questionné toute comme le comportement et le bien-être des animaux. La santé des animaux est une demande sociale en constante croissance ces dernières années. Lors de suivi d'animaux aux pâturages, il fut démontré que les saisons du printemps et de l'automne étaient plus propices à des contaminations parasitaires (Mounport, Gruner, Reboul [sans date]). Les milieux humides et chauds sont propices à la survie des œufs et donc à la prolifération de larves des parasites gastro-intestinaux au sein du pâturage (Dupraz, Auclair, Guitton 1992). Les prairies arborées via leur microclimat seraient donc un lieu propice à leur développement et leur survie.

Au vu de cet état de l'art et du manque d'études sur les performances et la santé animales en milieu tempéré, l'un des objectifs du projet PARASOL est la caractérisation des performances animales et le suivi de l'état parasitaire des animaux. Ce travail permettra d'obtenir des références sur le sujet.

9.2. Dispositif : le site expérimental principal : Lamartine

Le dispositif utilisé est le même que pour l'étude de comportement (partie 8). Les animaux sont utilisés pour les deux volets de cette expérimentation. Pour disposer de données suffisantes, le choix d'utiliser 30 brebis allaitantes de doubles a été fait pour répondre aux enjeux des performances et du parasitisme compte tenu du fait que c'était le seul site du projet traitant ces questions. Il y a eu un suivi régulier sur 90 animaux aux printemps puis après le sevrage des 30 brebis taries jusqu'à l'automne. Dans ce dispositif, nous avons fait le choix de travailler à surface, chargement et pâturage similaire.

9.2.1. Les règles de pilotage du pâturage

La mise à l'herbe, au printemps et après le tarissement des brebis, a été effectuée en même temps pour tous les lots. Pour la gestion du pâturage, elle a été réalisée de la façon suivante : Les animaux étaient sortis de la parcelle si la hauteur moyenne de l'herbe sur les 200 points était égale ou inférieure

à 5.5 cm. Elles pouvaient revenir dans la parcelle lorsque la hauteur moyenne était égale ou supérieure à 12 cm. Dans notre cas, le second cas de figure n'a pas été rencontré.

9.2.2. Les mesures

Au niveau de la prairie, compte tenu des approches étudiées, nous avons dû mettre en place un suivi complémentaire à celui développé dans la partie 5.3 pour piloter le pâturage.

9.2.2.1. Performance prairiale

9.2.2.1.1. Hauteur d'herbe

La hauteur d'herbe est mesurée grâce à un herbomètre stick (mesure le premier point de contact). Dix lignes de 20 mesures sont effectuées au sein de la parcelle La répartition des lignes est réalisée de telle sorte qu'il y ait un suivi homogène de toute la parcelle. A chaque mesure est précisé où elles sont situées, en zone nue (à distance des arbres) ou sous le houppier des arbres. Ce sont ces mesures qui ont servies au pilotage du pâturage notamment à définir la sortie des animaux des parcelles expérimentales.

9.2.2.1.2. Quantité et qualité de la biomasse disponible

En complément des hauteurs d'herbe, nous avons mesuré la quantité de biomasse disponible pour les animaux dans nos parcelles expérimentales aux trois saisons étudiées (printemps, été, automne). Pour cela en 2016, nous avons réalisé 8 prélèvements en zone nue en A0, et pour A+ et A++, 16 échantillons, 8 en zone nue et 8 en zone houppier à chaque saison. En 2017, 16 échantillons ont été prélevés dans les trois parcelles. Les prélèvements ont été réparti de façon homogène sur la parcelle afin d'obtenir la meilleure représentation possible. Chaque prélèvement représentait la même surface soit 20 cm². Les échantillons, ont été séchés à 60°C pendant 72h et pesés afin de déterminer la biomasse disponible en tMS/ha.

Ensuite, ils ont été broyés, puis envoyés en laboratoire pour une analyse chimique pour déterminer la valeur alimentaire. Les principaux paramètres analysés étaient, la teneur en matière organique, en matière minérale, en parois, en matière azotée.

9.2.2.2. Performance animale

Pour mesurer les performances des animaux, nous avons mis en place deux types de mesures, des pesées des brebis et des agneaux pour caractériser les évolutions de poids vifs et la croissance des agneaux et réalisé des notes d'état corporelle pour observer la dynamique d'évolution des réserves corporelles en particulier les phases de mobilisation ou de reconstitution des réserves.

Ces mesures ont été mises en place durant toute la durée de l'expérimentation mais avec une fréquence variable selon les périodes. Cela lié au fait que les besoins des animaux différés dans le temps, au printemps les brebis et les agneaux avaient des besoins importants, la fréquence de mesure était rapprochée, tous les quinze jours. Puis après le tarissement des brebis, les besoins étant plus faibles et les dynamiques d'évolution du poids et des réserves corporelles plus lentes, la fréquence de mesure a été allongée à trois semaines. Les animaux ont été pesés à l'entrée et à la sortie des parcelles.

9.2.2.3. Suivi parasitaire des brebis et agneaux

Pour suivre l'évolution de la charge parasitaire, nous avons utilisé la méthode des coproscopies selon la technique de Raynaud et al. (1970). Des prélèvements de fèces ont été effectués à chaque pesée. Toutes les brebis et un agneau de chaque fratrie ont été suivis. Les parasites étudiés étaient les strongles, les strongyloïdes, et les coccidies. Notre dispositif a pour objectif de suivre des animaux sensibles à des périodes charnière du développement parasitaire (printemps), ainsi que des animaux sur des pas de temps plus longs (brebis). De plus, dans le cadre de cette expérimentation, nous avons mis en place des indicateurs pour s'assurer la bonne santé des animaux et définis des seuils au-delà desquels nous intervenons via l'utilisation raisonnée d'anthelminthique.

9.3. Résultats

9.3.1. L'évolution quantitative et qualitative de la biomasse

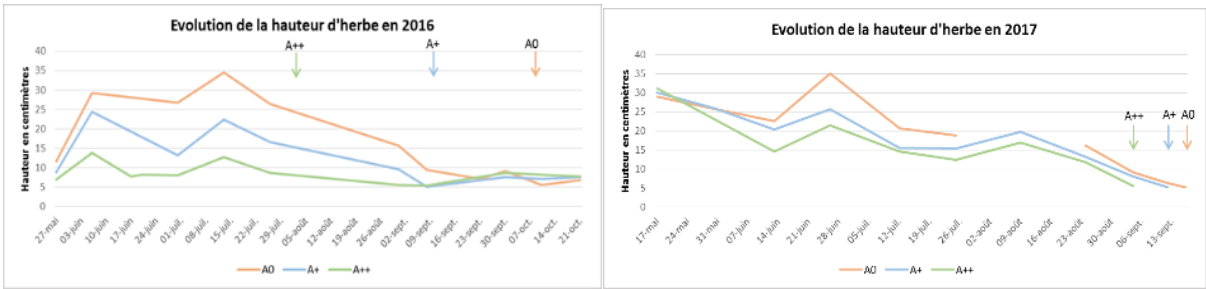

Figure 77 – Evolution des hauteurs d'herbe en 2016 et 2017 sur les trois parcelles du site de Lamartine (Les flèches représentent la sortie définitive des animaux suivant les traitements.)

La mesure des hauteurs d'herbes montre des différences entre traitements sur les deux années. Elle est systématiquement la plus faible en A++ et la plus élevée en A0. Les hauteurs d'herbes diminuent au fur et à mesure du pâturage par les animaux et de façon relativement similaire entre les lots. Au printemps 2017, à la mise à l'herbe des animaux, la hauteur d'herbes était identique entre traitements. Cependant, au bout d'un mois de pâturage une différence d'environ 8 cm s'est créée entre les lots.

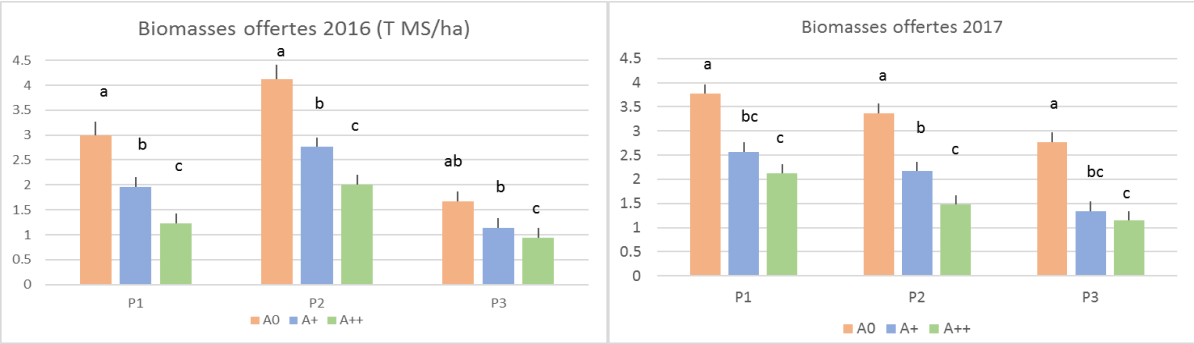

Figure 78 – Rendements obtenus sur les trois parcelles du site de Lamartine en 2016 et 2017

Pour la quantité de biomasse, une différence significative entre les traitements est observée pour les deux années et chaque saison. Plus la prairie est arborée et moins la quantité de biomasse disponible est importante. Sur les deux années, entre A0 et A++ la différence de biomasse varie de 44 à 60 % en faveur d'A0, et de 31 à 48% avec A+ toujours en faveur d'A0.

Tableau 16 - Evolution de la valeur alimentaire de la biomasse herbacée entre 2016 et 2017.

		2016					2017				
		%dcellMS	%DMO	%MAT	%NDF	%ADF	%dcellMS	%DMO	%MAT	%NDF	%ADF
Printemps	AO	62,3	68,9	10,6	57,5	28,9	60,2	67,6	9,3	56,3	28,8
	A+	61,2	68,3	11,5	57,1	29,6	61,7	68,6	10,8	55,6	29,1
	A++	53,9	63,6	11,5	56,3	29,1	58,5	66,6	10,4	58,8	30,6
Eté	AO	45,6	58,4	8,2	59,7	31,1	42,4	56,4	8,5	64,4	33,0
	A+	47,3	59,5	10,9	57,8	29,7	44,9	58,0	11,5	64,0	33,0
	A++	41,0	55,5	10,2	54,4	28,7	44,3	57,6	11,3	62,3	32,5
Automne	AO	38,5	53,9	9,5	63,3	32,6	46,7	59,1	10,4	56,2	27,9
	A+	46,1	58,7	15,7	54,6	26,3	53,1	63,1	14,1	54,0	27,0
	A++	51,5	62,1	13,6	51,2	26,1	50,5	61,5	12,7	55,2	27,7

L'analyse chimique des échantillons d'herbe révèle une qualité différente suivant la saison. La digestibilité totale est la plus importante au printemps, et la plus faible en été. Le pourcentage de matière azotée totale lui augmente du printemps à l'automne.

Les prairies arborées ont un pourcentage de matière azotée totale plus importante que la prairie témoin, sur les deux années. Concernant les parois totales (NDF), les teneurs sont inversées, plus élevée à A0 et plus faible à A+ et A++, en 2016. Cette tendance n'est pas observée en 2017 avec des valeurs équivalentes entre traitements.

9.3.2. Les brebis

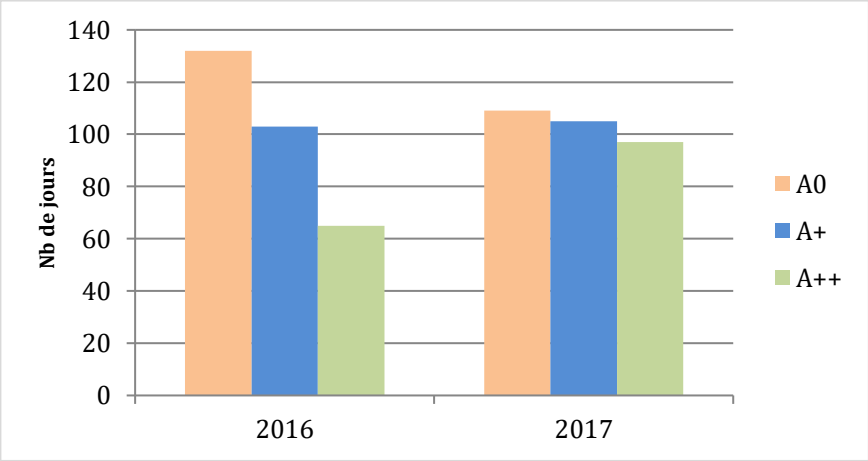

Figure 79 - Jours cumulés de pâturage des brebis entre 2016 et 2017

En 2017, la durée de pâturage des différents traitements fût relativement similaire (autour de la centaine de jours de pâturage). En 2016, la durée de pâturage était à l'inverse très différente entre traitements. Elle était de 132 jours pour A0 contre 65 jours pour A++, A+ étant intermédiaire entre les deux avec 103 jours de pâturage.

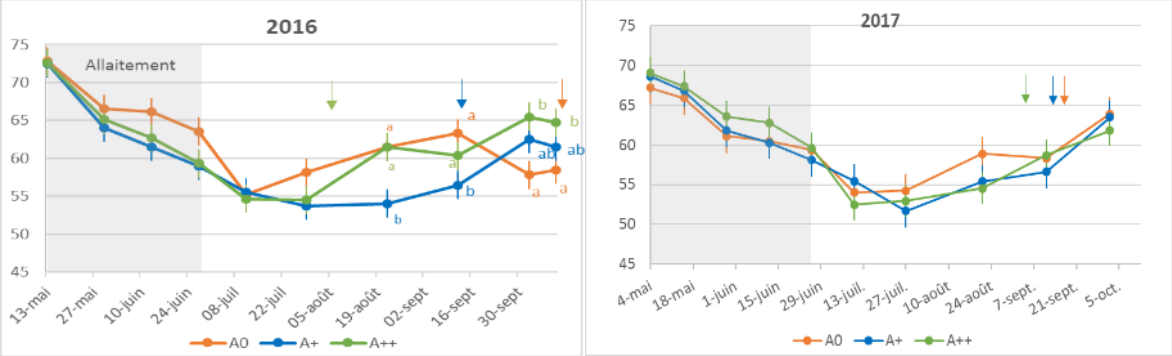

Figure 80 - Evolution du poids des brebis durant l'expérimentation menée entre 2016 et 2017 (En légende des graphiques de performances des brebis se trouve les dates de sortis des animaux.)

Le profil de variation du poids entre les deux années est relativement identique. Une chute du poids lors de la période d'allaitement de plus de 15 kilos de moyenne, puis après le sevrage et la phase de tarissement de quinze jours, les brebis reprennent lentement du poids. En 2017, l'évolution du poids entre traitement est strictement identique. En 2016, les écarts entre traitement sont plus importants après la période de tarissement en particulier entre A0 et A+, A++ étant à ce moment-là sorti du dispositif.

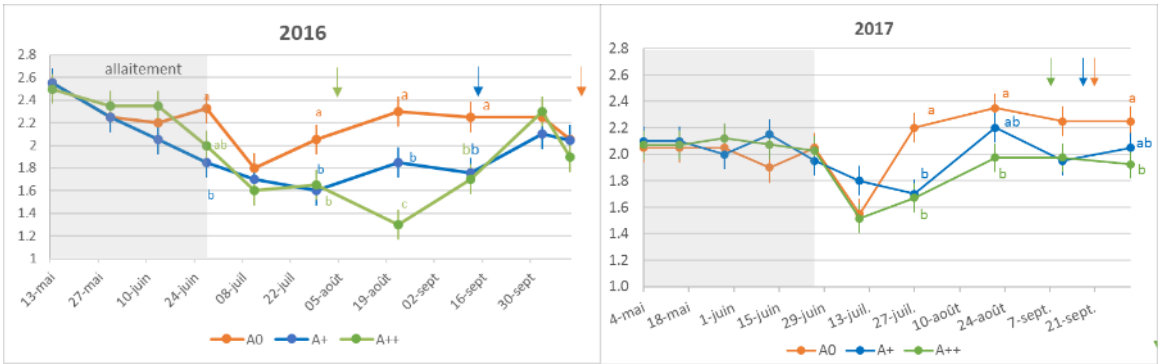

Figure 81 - Evolution de la note d'état corporelle des brebis durant l'expérimentation menée entre 2016 et 2017.

Durant la phase d'allaitement, on peut observer qu'il n'y a pas de différence entre traitement. Cependant, on peut voir qu'en 2016, toutes les brebis ont mobilisé leurs réserves alors qu'en 2017, ce ne fût pas le cas. Ceci est lié en partie au fait qu'en 2017, à la mise en lot l'état corporel était déjà faible et la mobilisation de fait limitée. Après le tarissement, tous les traitements (sauf A++, en 2016) étaient en phase de reconstitution des réserves. Simplement, elle était plus ou moins rapide selon les traitements, ce qui a mis en évidence des différences entre traitements. A0 est toujours le traitement avec la reprise d'état la plus rapide et A++ la plus faible.

9.3.3. Les agneaux

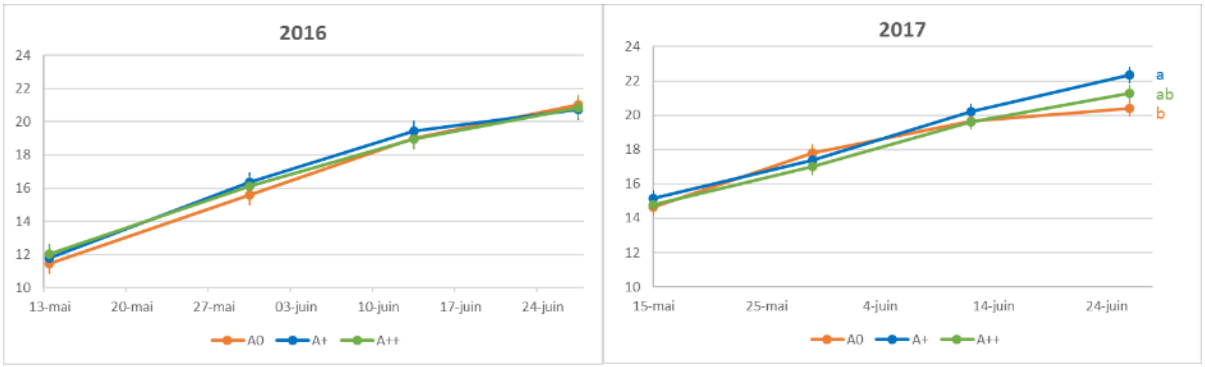

Figure 82 - Evolution du poids des agneaux de la mise à l'herbe jusqu'au sevrage entre 2016 et 2017.

Le profil d'évolution du poids des agneaux est globalement similaire entre traitements sur les deux années. En 2016, les agneaux ont eu un GMQ moyen de 200 gr/jour durant la phase d'allaitement. En 2017, la croissance des agneaux était moindre et avec une différence significative en fin de période entre A+ et A0.

9.3.4. Le suivi du parasitisme

La charge parasitaire est différente entre 2016 et 2017 aussi bien pour les brebis que pour les agneaux. Concernant les agneaux, la charge parasitaire était beaucoup plus importante en 2017 qu'en 2016. Entre ces deux années, les lots les plus chargés parasitairement n'étaient pas les mêmes. En 2016, c'était le lot A0 alors qu'en 2017, c'était le lot A++. Au printemps, les profils parasitaires étaient similaires les deux années. Alors que durant l'été 2017, la charge parasitaire a fortement diminuée, en 2016 elle a augmenté de manière croissante jusqu'à l'automne. Les pics parasitaires observés, début juillet les deux années, sont dus au changement d'alimentation lors du tarissement (paille) qui ont concentrés l'excrétion parasitaire et créés des pics temporaires d'excrétions.

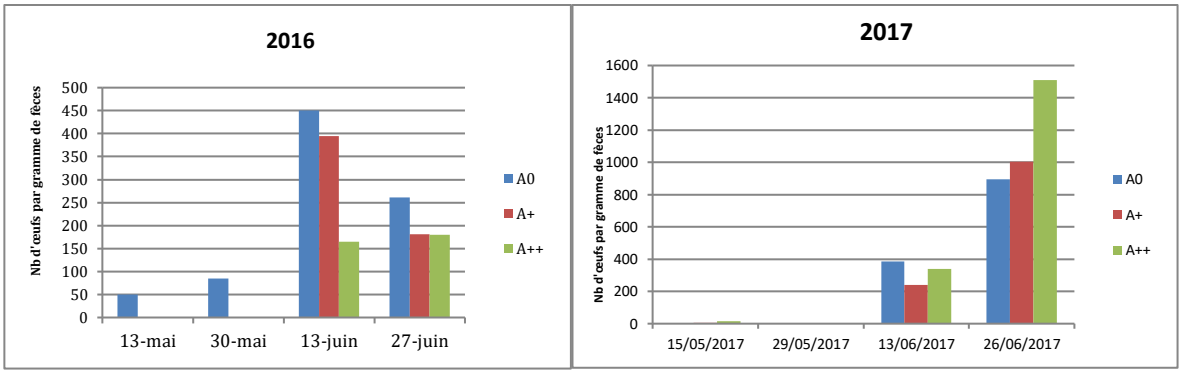

Figure 83 - Evolution de l'excrétion fécale en strongles des agneaux de la mise à l'herbe jusqu'au sevrage entre 2016 et 2017.

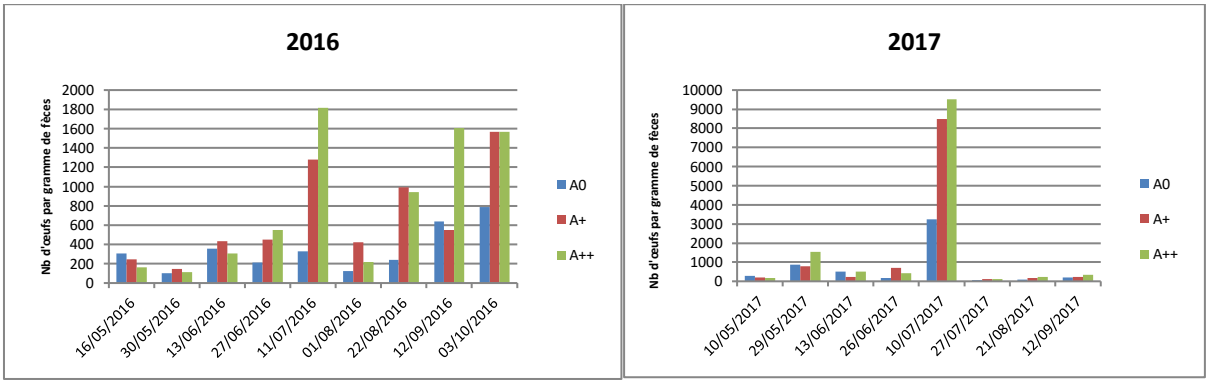

Figure 84 - Evolution de l'excrétion fécale d'œufs de strongles des brebis durant la période pâturage entre 2016 et 2017.

De façon plus globale, les dispositifs arborés ont généralement une charge parasitaire en strongles plus importants. Cependant l'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative entre traitements.

9.4. Discussion des résultats

Les premiers résultats obtenus nous laissent penser qu'un lien étroit existe entre la biomasse herbacée (quantité et qualité) et les performances des brebis. C'est sa disponibilité qui impacte en premier les performances des brebis, les agneaux étant uniquement présents au printemps sont peu impactés. La qualité de la biomasse herbagère montre que les prairies arborées disposeraient d'une herbe plus riche en azote notamment qui contre balancerait en partie ce déficit quantitatif de biomasse.

Nos résultats concordent avec la bibliographie néo-zélandaise. Les résultats montrent que les brebis sont capables de puiser dans leurs ressources en période de forts besoins qui se traduisent par des pertes de poids et d'état corporel global durant la période d'allaitement sans mettre en évidence de différences. Quel que soit le dispositif les brebis privilégient la croissance de leurs agneaux, qui ont une croissance correcte et similaire entre traitements. Après le sevrage, une reprise de poids et d'état est observé pour tous les traitements, seule la NEC a une évolution significativement différente, plus lente en conduite arborée. Ceci est lié à l'alimentation, lors du retour au pâturage des brebis après le tarissement, les dispositifs arborés offrent une quantité de biomasse moindre jusqu'à deux fois moins importante en A++ en comparaison à A0. La comparaison des résultats de l'année 2016 entre dispositifs est à nuancer avec la durée de pâturage qui était très différente entre traitements réduite de moitié pour A++ par rapport à A0, alors qu'en 2017, cet écart était de seulement 12 jours. Cette différence de durée du pâturage pourrait être en partie expliquée par la biomasse disponible à la mise à l'herbe des animaux. Les écarts sont importants en 2016 entre traitements et plus réduits en 2017.

Au niveau du parasitisme, compte tenu de la variabilité interindividuelle et entre années, nous ne pouvons pas conclure de façon certaine pour l'une ou l'autre des conduites. Pour l'heure, n'ayant pas mis en évidence de différence entre traitements, nous pouvons conclure que la présence d'arbres n'affecte pas l'excrétion parasitaire et donc la charge parasitaire en strongles digestifs.

9.5. Conclusion et perspectives

Nos résultats montrent qu'il y a un lien étroit entre performances des animaux et la biomasse herbacée, tant sur sa quantité que sa qualité. Les résultats variables entre année ne nous permettent pas de conclure de façon certaine sur les performances et la charge parasitaire des animaux.

Cependant, ces premiers résultats laissent à penser que la conduite des parcelles arborées devra être adaptée par rapport aux parcelles sans arbres. En 2017, les animaux sont rentrés à hauteur et quantité de biomasse disponible plus proches qu'en 2016, ce qui s'est traduit par peu de différences du nombre de jour de pâturage. Les prairies arborées, ayant un développement phénologique plus lent, devront être exploitées plus tardivement que les autres. Nous n'avons pas fait cela ici afin de faire une comparaison stricte entre traitements.

Notre conduite devra être répétée encore plusieurs années afin de valider nos premières conclusions, ce n'est qu'à la fin que nous pourrons envisager des adaptations de conduites selon la présence ou non d'arbres. De plus, notre dispositif est modeste (pas de répétitions des traitements) et devra être renforcé pour mieux mettre en évidence des différences entre traitements.

9.6. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action

Rapports de stage :

***Carla Gava, 2016**. Pâturage ovin sur prairies arborées - Quels impacts des arbres sur l'animal et la prairie ? Rapport de stage, année de césure, 2ème année Montpellier SupAgro. INRA Theix et Montpellier SupAgro. 54 pages. Soutien financier du GIS Elevage Demain.*

***Pauline Dechavanne, 2017.** Quel est l'impact des arbres sur le comportement et le bien-être des ovins au pâturage ? INRA Theix et AgroSup Dijon. 100 pages.*

- ✓ Disponibles sur le site Internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

10. PERFORMANCES GLOBALES des systèmes d'élevage ovin intégrant l'agroforesterie

Etude menée dans le cadre de l'action 5 du projet PARASOL. Elle a été réalisée sous la responsabilité de David Grandgirard (UniLasalle) et Fabien Liagre (AGROOF SCOP).

Auteurs : Fabien Liagre (AGROOF SCOP) pour les parties 10.3, 10.4 et 10.5, et David Grandgirard pour la partie 10.2 (UniLasalle)

Contributeurs : Jean-Christophe Moreau (IDELE) ; Camille Béral (AGROOF SCOP) ; Mickaël Bernard (INRA UR Herbipole, UMRT Theix) ; Donato Andueza (INRA – UMRH).

Principaux résultats

- La comparaison des situations 2016 et 2017 confirment que le déficit en jours de pâturage est surtout la conséquence de la compétition entre herbage et arbres pour la lumière au printemps, et pour l'eau en été ; 2017 pouvant localement être considérée comme une année de référence climatique.

- La concurrence pour la lumière et l'eau au sein du système sylvopastoral Lamartine a induit un déficit alimentaire de 540 kg eq. MS de feuilles de frênes en A++, de 82 kg eq. MS de feuilles de frênes en A++ et de 0.1 kg eq. MS de feuilles de frênes en A0.

- Une mobilisation raisonnée et durable de la biomasse foliaire des frênes pour combler le déficit estival en fourrage vert nécessite de disposer de 2 à 3 fois plus de surface sylvopastorale à une densité de 60 arbres/ha et jusqu'à 15 fois plus à une densité de 150 arbres/ha.

- Le potentiel de production de plaquettes des rémanents affouragés se situerait autour de 250 kg/ha (A+) à 1000 kg/ha (A++) par année sans compromettre la croissance des populations arborée et leur productivité fourragère.

- La valeur alimentaire de la biomasse foliaire du frêne est encore incomplètement connue ; cependant, les caractéristiques élucidées ici laissent présager d'un potentiel d'utilisation à des fins protéiques plus qu'énergétiques qui pourraient être banalisées tout au long de la période estivale, pour l'entretien et la croissance d'animaux plus exigeants.

10.1. Finalité et objectifs

La finalité de cette étude était d'évaluer les performances globales réelles des systèmes d'élevage étudiés dans le cadre de PARASOL et de proposer des scénarios innovants.

Plusieurs objectifs ont été fixés et seront traités dans les sous parties suivantes :

- Evaluer les performances fourragères réelles et potentielles en se basant sur les résultats obtenus sur les parcelles de l'INRA de Theix.
- Evaluer les performances technico-économiques de scénarios agroforestiers
- Appréhender le bilan carbone de ces systèmes
- Imaginer des néo-systèmes sylvopastoraux et pistes de scénarios à tester.

10.2. Etude des performances fourragères réelles et potentielles : Cas de Lamartine

10.2.1. Objectifs

Dans la présente étude les objectifs étaient :

- D'évaluer le niveau de performance fourragère de la biomasse foliaire arborée au sein des sites expérimentaux suivis (Lamartine et La Vigérale), et des performances possibles des mêmes systèmes dans le cas d'une mobilisation progressive de cette dernière
- D'évaluer la disponibilité de la ressource foliaire arborée pouvant servir d'affouragement, et l'évolution de sa qualité. Ces performances sont à évaluer en dehors de toute utilisation volontaire.

La finalité est de permettre de proposer des scenarios évolutifs de mobilisation de la biomasse foliaire comme source complémentaire d'affouragement.

10.2.2. Matériels et méthodes

La méthodologie retenue fait appel à plusieurs méthodes de travail organisées séquentiellement de sorte de parvenir à l'échelle journalière, pour les années 2016 et 2017 :

- Reconstituer les calendriers exacts des flux d'animaux (âge, sexe, besoins physiologiques) entrant et sortant des parcelles expérimentales présentées au sein du § 3.2.
- Quantifier la valeur fourragère des herbes pâturables au sein de chaque parcelle et son évolution au cours du temps (par grandes périodes annuelles)

Puis, pour chaque parcelle :

- Déterminer la disponibilité totale en énergie (UFL/UFV et protéique (PDIN/PDIE)
- La confronter aux besoins alimentaires totaux des animaux présents sur les parcelles en fonction de leur prise progressive de poids vif comme de changement d'état physiologique.

Globalement, cette partie fait appel à une partie des résultats intermédiaires présentés au sein des chapitres précédents ; les parties §3.2. mais surtout §.7.3. concernant l'ingestion et la digestibilité du frêne et §.9.3.1.sur l'évolution quantitative et qualitative de la biomasse herbagère présente au sein des parcelles.

10.2.2.1. Calendrier de production et zootechnique

Le système d'élevage et les personnels intervenant sur la parcelle Lamartine ont été questionnés de sorte de rassembler un maximum d'informations concernant les pratiques de rationnement et

zootechnique déployées et leurs temporalités, à partir desquelles un calendrier moyen de reproduction et de gestion de l'alimentation du troupeau a été bâti (Figure 85).

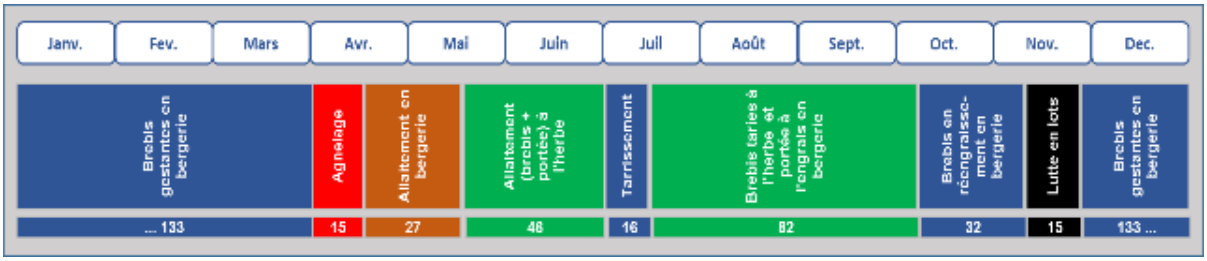

Figure 85 – Calendrier zootechnique et d'élevage standard appliqué à l'ensemble des lots de brebis allaitantes (et à leur portée) puis taries présentes en n2016 et 2017 au sein des parcelles A0, A+ et A++ de Lamartine

Il important de retenir ici que

- Les lots de brebis agnellent régulièrement début avril sur une période de 10 jours, quand les brebis taries rentrent généralement fin septembre en bergerie (selon qualité et disponibilité des pâtures) pour être proposées à la lutte mi-novembre ;
- Les brebis sont toutes multiparts (portées de 2 agneaux/agnelles, approx. 8kg à la naissance) et sont gardées près d'un mois en bergerie après agnelage pour limiter les risques de prédations sur les jeunes ;
- Les jeunes sont donc mis à l'herbe à un âge où ils peuvent d'eux-mêmes commencer à ingérer du fourrage en vert, c'est-à-dire de l'herbe ;
- Après un mois et demi à l'herbe, les lots sont rentrés pour 15 jours pour effectuer le sevrage des agneaux/agnelles (à près de 20 kg de poids vif) et le tarissement des brebis allaitantes ;
- Les brebis, après tarissement, sont remises à l'herbe, seules (sans portée) pour reprendre du poids et seront sortie des parcelles dès lors que la quantité d'herbe présente sur la parcelle est jugée insuffisante, 5cm de hauteur à l'herbomètre stick.

10.2.2.2. Biomasse herbacée disponible

A partir des données ponctuelles de hauteurs d'herbe présentes au sein des parcelles A0, A+ (60 arbres/ha) et A++ (150 arbres/ha) et du cumul des températures moyennes journalières ($T_{base} = 0°C$), nous avons recalculé les quantités de biomasses sèches (t_{MS}/ha) présentes en parcelle. Cela est possible du fait de la relation locale simple obtenue à partir des données de hauteur et de biomasses mesurées progressivement en 2017 et 2016 à Lamartine.

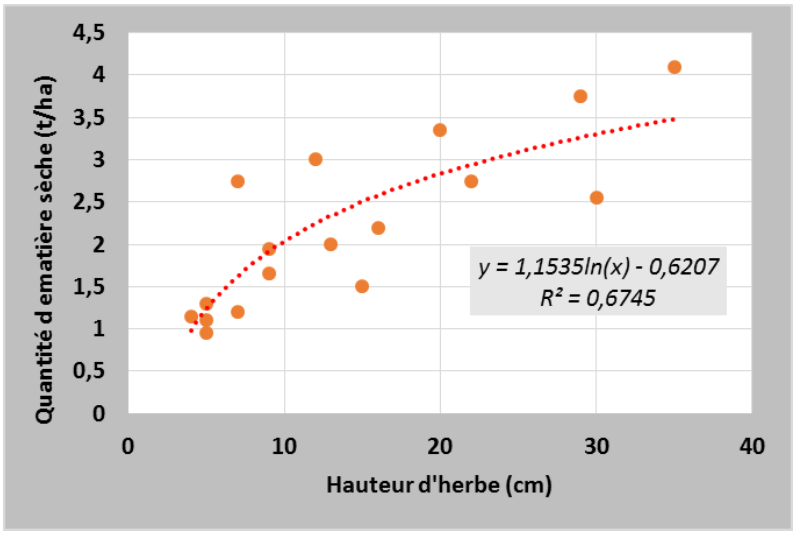

Figure 86 - Evolution de la quantité moyenne de biomasse sèche (tMS/ha) présente au sein de la parcelle Lamartine en fonction de la hauteur d'herbe (herbomètre stick) mesurée en 2016 et 2017.

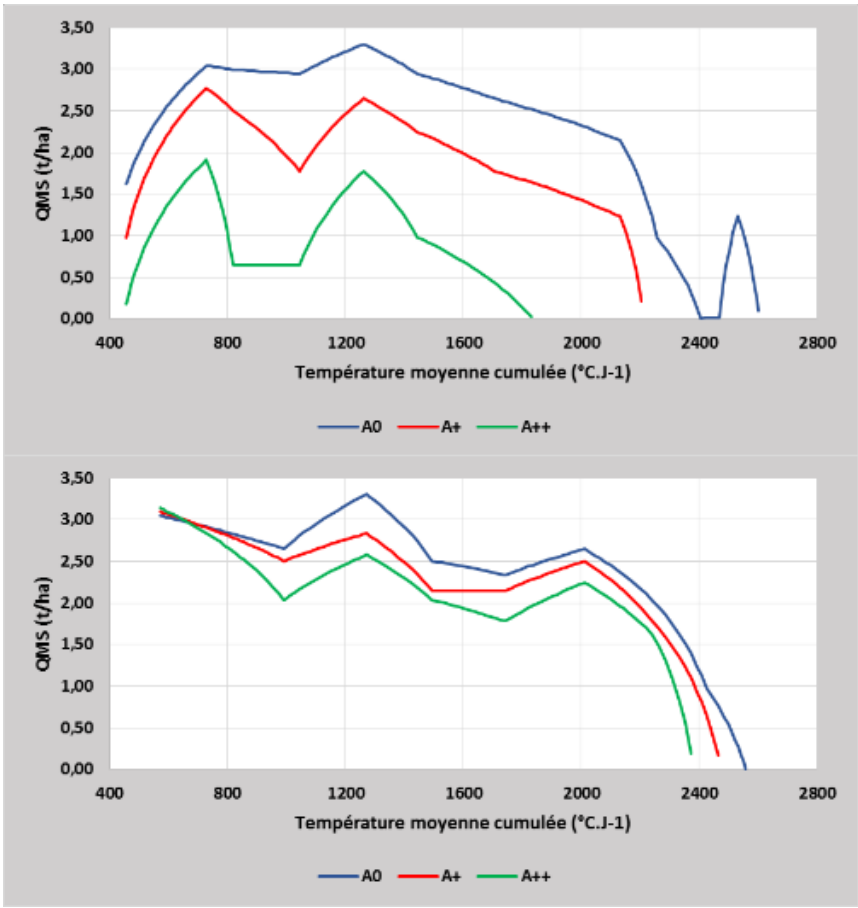

Figure 87 - Evolution de la quantité moyenne de biomasse sèche (t/ha) présente au sein de la parcelle Lamartine en fonction des températures moyennes (base 0°C) cumulées depuis le 1er mars 2016 (haut) et 2017 (bas).

De manière fortement corrélée avec les données de hauteur d'herbe, l'évolution de la quantité totale de biomasse sèche diffère très fortement entre année dans un premier temps, puis entre les parcelles A0, A+ et A++ (Figure 80). L'année 2016, malgré une pluviométrie annuelle cumulée identique à 2017 et proche de 765 mm, a subi un été très sec, sans pluie entre mi-juin (950°C.j-1) et mi-septembre (2300°C.j-1) ; alors que 2017 aura bénéficié sur la même période de pluies régulières pour un cumul de près de 223 mm (Figure 88).

Entre les parcelles expérimentales, la disponibilité en herbe est plus faible en présence d'arbres que sans, et ce d'autant plus que le nombre d'arbres augmente au sein d'une parcelle ; mais ceci n'est vrai, que lorsque la concurrence pour l'eau est élevée et donc sous contraintes hydriques, soit en 2016 uniquement. A l'inverse, sous régime pluviométrique régulier tout au long de l'année (2017) la productivité herbacée est identique entre parcelles, qu'il y ait des arbres ou pas, et que la densité d'arbres soit élevée (150/ha) ou moindre (60/ha).

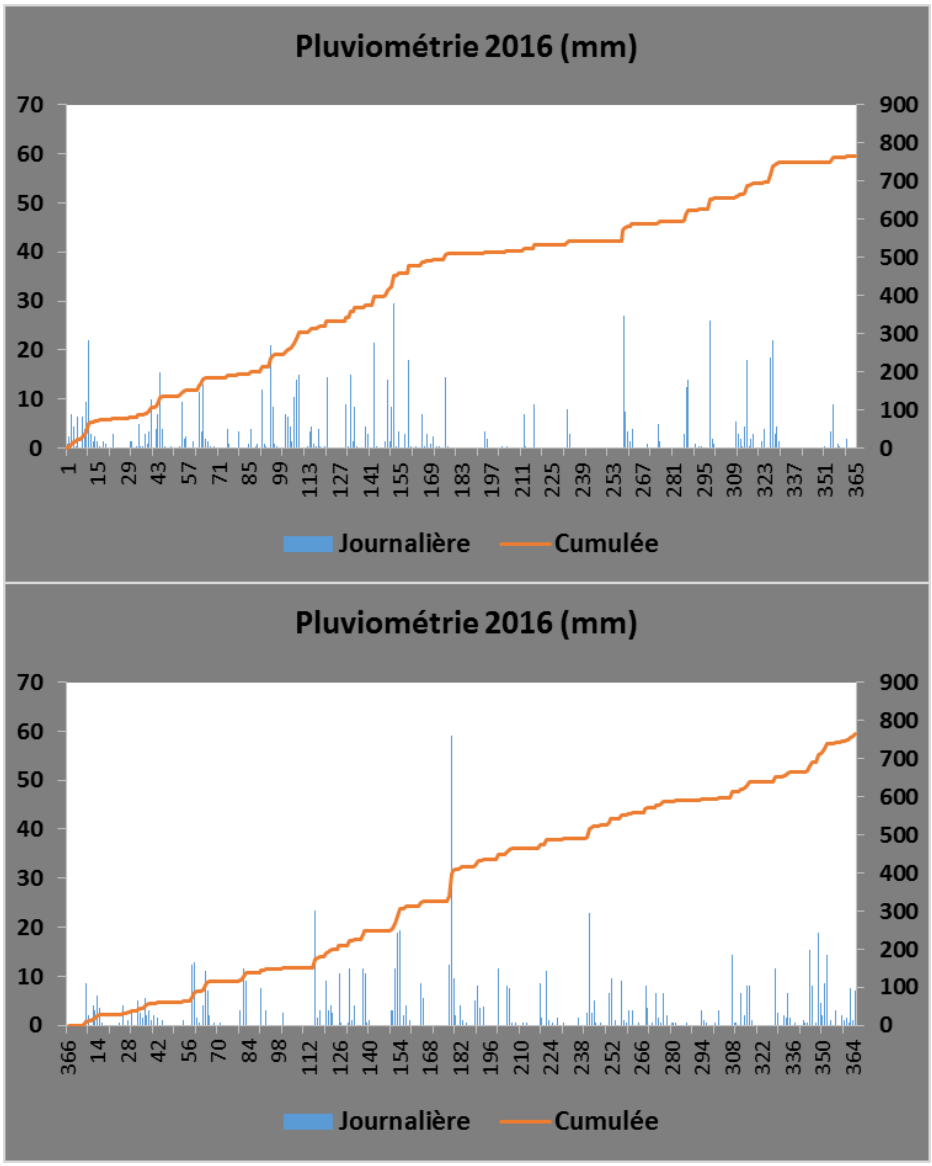

Figure 88 - Evolution de la pluviométrie (mm) journalière et cumulée à Lamartine en 2016 (haut) et 2017 (bas).

Le mode de calcul de la productivité via la relation présentée ci-avant (Figure 86) peut paraître limité. Cependant, elle semble valide du fait que les dates (°C. j-1 cumulés) prédites de disponibilité en herbe nulle de fin de cycle (hormis les 5 cm à laisser à la sortie des brebis) sont quasi identiques de celles réellement observées :

Tableau 17 - Evolution de la valeur alimentaire de la biomasse herbacée entre 2016 et 2017.

	2016		2017	
	Dates de sortie	Dates prédites	Dates de sortie	Dates prédites
A0	20 oct.	15 oct. *(2650°C.j-1)*	12 sept.	21 sept. *(2591°C.j-1)*
A+	15 sept.	13 sept. *(2334°C.j-1)*	18 sept.	17 sept. *(2588°C.j-1)*
A++	6 août	7 août *(1663°C.j-1)*	31 août	3 sept. *(2393°C.j-1)*

10.2.2.3. Evolution de la qualité de l'herbe

A partir des données de digestibilité produites par l'INRA de Theix (§.9.3), en utilisant le logiciel de prédiction de la qualité alimentaire des aliments du bétails (Provalim – INRAtion v.3.3, 2008), et à partir de fiches de base de fourrage en vert de moyenne montagne (printemps, fin de printemps et été), nous avons estimés la qualité alimentaire de chacun des herbages, par période dans l'année, par année et par type de parcelle (A0, A+ et A++). La qualité de ces fourrages verts est décrite au sein du Tableau 18 ; il ne reprend ici que les éléments clefs des calculs de rations à venir.

Tableau 18 - Evolution de la valeur alimentaire prédite des fourrages verts herbacés.

(TxMS = taux de matière sèche (%), UFL= unité fourrage laitier ; UFV= unité fourrage viande ; PDIN= Protéines Digestibles dans l'intestin grêle permises par l'azote ; PDIE= Protéines Digestibles dans l'intestin grêle (PDI) permises par l'énergie ; UE= unité d'encombrement du fourrage relatif aux M= mouton (UEM), L=lait (UEL), B=bovin (UEB)

	2016									2017									BASE INRA		
	PRINTEMPS			ÉTÉ			AUTOMNE			PRINTEMPS			ÉTÉ			AUTOMNE			PTPS	ÉTÉ	AUTON
	A0	A+	A++	A0	A+	A++	A0	A+	A++	A0	A+	A++	A0	A+	A++	A0	A+	A++			
TxMS (%)	14	14	14	20.4	20.4	20.4	21.7	21.7	21.7	14	14	14	20.4	20.4	20.4	21.7	21.7	21.7	14	20,4	21,7
UFL	0,82	0,81	0,74	0,68	0,69	0,64	0,60	0,68	0,72	0,80	0,82	0,78	0,64	0,67	0,66	0,68	0,74	0,71	1,04	0,79	0,67
UFV	0,76	0,75	0,66	0,58	0,60	0,54	0,50	0,582	0,64	0,74	0,75	0,71	0,55	0,58	0,57	0,59	0,65	0,62	1,01	0,71	0,8
PDIN (g)	67	72	72	52	68	64	60	99	85	58	68	65	53	72	71	65	89	80	132	70	58
PDIE (g)	75	76	72	65	71	66	63	80	79	71	75	73	63	71	70	70	80	76	106	77	67
UEM	1,22	1,21	1,31	1,58	1,43	1,57	1,66	1,27	1,27	1,29	1,22	1,28	1,63	1,44	1,46	1,46	1,23	1,31	0,83	1,2	1,39
UEL	1,09	1,08	1,12	1,20	1,15	1,20	1,22	1,11	1,10	1,11	1,09	1,11	1,21	1,16	1,16	1,16	1,09	1,12	0,92	1,08	1,14
UEB	1,16	1,15	1,22	1,39	1,29	1,38	1,43	1,19	1,19	1,21	1,16	1,12	1,42	1,30	1,31	1,31	1,17	1,22	0,87	1,14	1,27

Comme précédemment exposé, la qualité énergétique du fourrage vert « herbe » décroît logiquement en fin de saison et est au plus bas à la période P3 (Automne) quand la qualité protéique (PDIN) tend à s'accroître du fait d'une moindre dilution de l'azote dans la matière sèche. Quoiqu'il en soit, la valeur alimentaire de printemps (<21 juin) est la meilleure observée et suffit, parallèlement aux quantités disponibles à cette époque, de satisfaire pleinement tant les besoins d'entretien et de lactation des brebis allaitantes que par la suite ceux des agneaux et agnelles mis à l'herbe et intégrant progressivement une part d'herbe croissante dans leur ration quotidienne (à partir de 4 semaines d'âge en théorie) jusqu'au tarissement en bergerie. Si elle décroît par la suite, en été (<21 sept.) les informations collectées auprès des bergers et agents scientifiques de Lamartine concernant la constitution de la ration, ne permette de dire qu'elle reste cependant suffisante à couvrir les besoins en entretien des brebis taries ainsi que les besoins relatifs à la reprise de poids vif pour préparer la future lutte ; en effet, aucun complément autre que minéral n'est apporté aux brebis sur les parcelles et ce jusqu'à leur sortie des parcelles.

10.2.2.4. Quantification des besoins énergétiques et protéiques des lots

A partir des mesures ponctuelles de poids vif des brebis comme des portées (§.9.3), ici considérée chacune comme composée d'un agneau et d'une agnelle, nous avons (i) modélisé l'évolution du poids vif moyen de chaque type d'animaux puis (ii) calculé l'évolution du gain journalier moyen des portées (Figure 89).

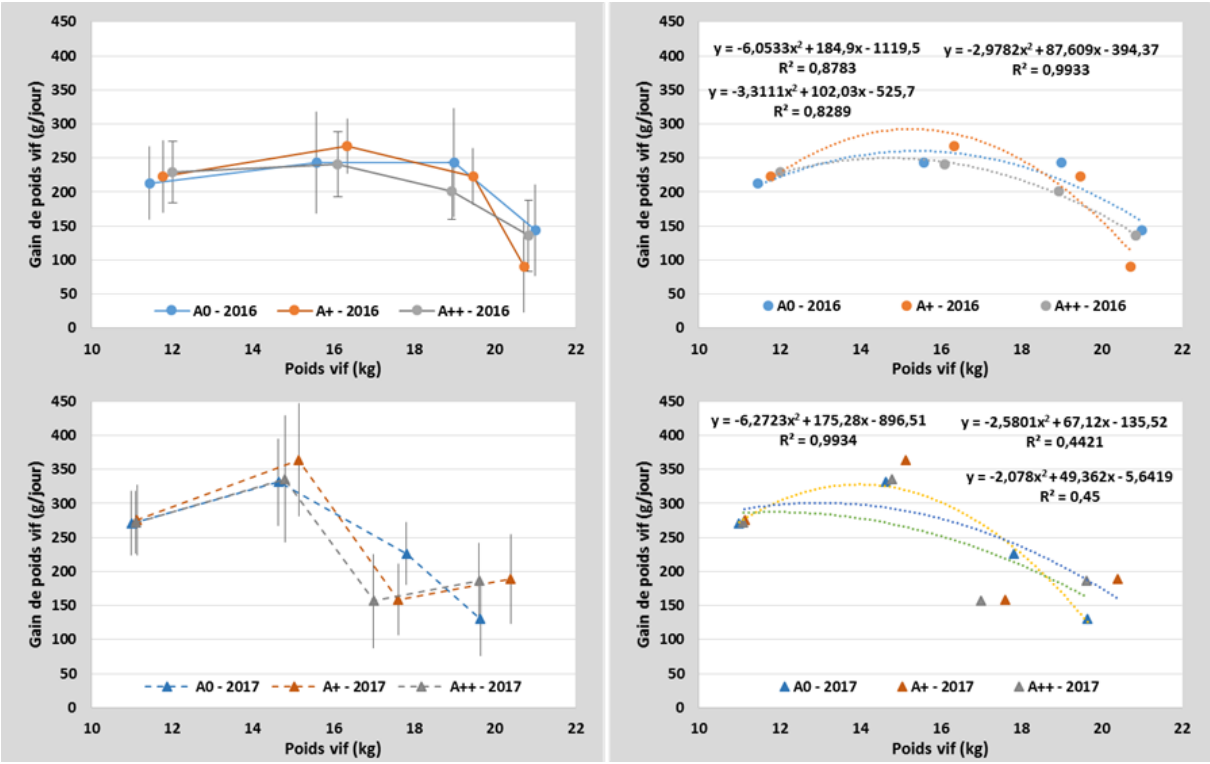

Figure 89 - Evolution (gauche) et modélisation (droite) du gain de poids vif en fonction du poids vif sur les agneaux/agnelles à Lamartine en 2016 (haut) et 2017 (bas).

Les valeurs moyennes de gain journalier, considéré comme identique entre agneaux et agnelles, sont alors mobilisés conformément aux équations de Hassoun et Bocquier (2010) pour déterminer les besoins énergétiques et protéiques des portées. Parallèlement, les besoins énergétiques (UFL) et protéiques (PDI) d'entretien, de lactation des brebis lors de la lactation puis d'entretien et de reconstitution des réserves lorsque taries, sur les 2 seules périodes de mise à l'herbe (allaitement à l'herbe – mai-juin/46 jours) et (brebis taries seules à l'herbe – juillet-septembre/82 jours). Une fois le tout calculé, les besoins globaux en énergie (UFL) et protéiques (PDI) comme la capacité maximale d'ingestion (CI_{max}) des brebis ont été calculées (Figure 90).

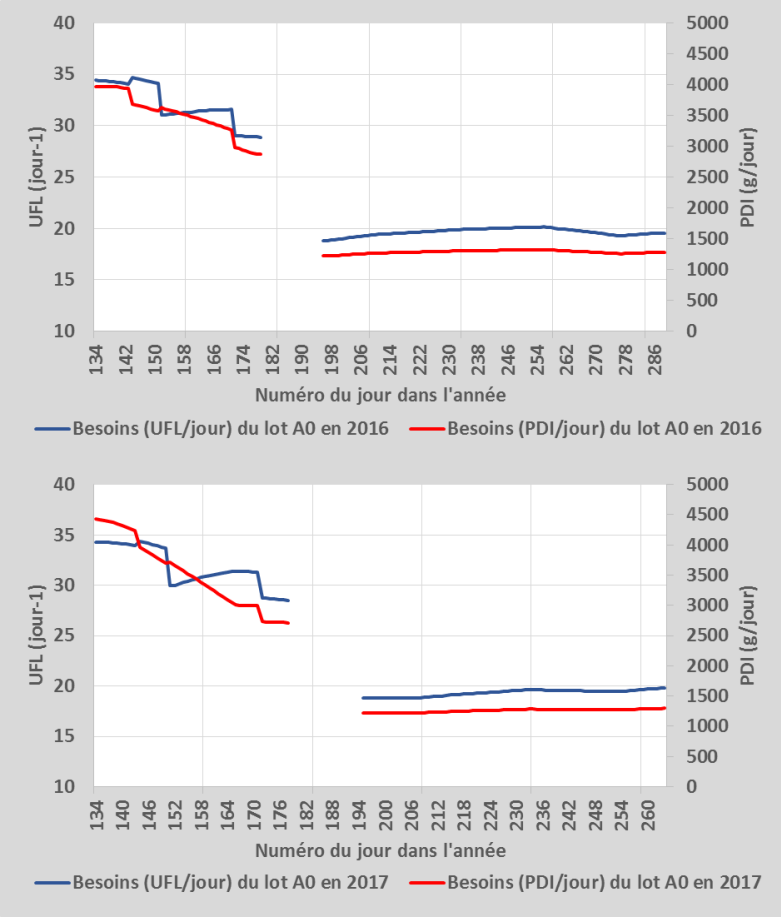

Figure 90 - Evolution des besoins énergétiques (UFL) et protéiques (PDI) du lot A0 à Lamartine en 2016 (haut) et 2017 (bas).

L'évolution des besoins protéiques (en bleu) reflète plusieurs phases : des besoins relativement constants au départ, pour la lactation mais qui sont aussi accompagnés d'une chute progressive des besoins d'entretien des brebis du fait qu'elles puisent dans leurs réserves pour assouvir les besoins de la lactation (de 70 kg à 55kg approx.). Puis vers le 150ème jour, les agneaux et agnelles atteignent 15 kg et commencent à ingérer de l'herbe dans leur ration sans être encore sevrés : les besoins totaux augmentent et cela, même si les besoins énergétiques de lactation diminuent en parallèle. Enfin, après sevrage et retour des brebis taries à l'herbe, il n'y a plus que les besoins d'entretien (corrélés au poids vif) et de ré-engraissement à un rythme moyen observé de 100 g/jour pour tous les lots et années à quantifier.

Quant à l'évolution des besoins protéiques, si elle apparaît plus continue, c'est que contrairement à celle des besoins énergétiques, elle ne dépend pas d'autant d'équations fonction de l'âge et/ou du stade physiologique de la portée.

10.2.2.5. Calculs des disponibilités énergétique et protéique

A partir des données journalières de biomasse sèche exploitable au sein des parcelles multipliées par la valeur journalière alimentaire de ces prairies au printemps (jusqu'au 21 juin), en été (jusqu'au 21 août) et à l'automne (à partir du 21 août), la disponibilité en énergie et en protéines exprimée en nombre de jours disponibles pour un affouragement couvrant les besoins alimentaires du lot est calculée pour chaque jour (Figure 91). Il permet ainsi de confronter besoins et offre journaliers et de gérer au mieux les risques de sous-disponibilité ponctuels, les rentrées prématurées en bergerie et/ou les apports de compléments fourragers ou protéiques au pré si cela est pratiqué au sein du système.

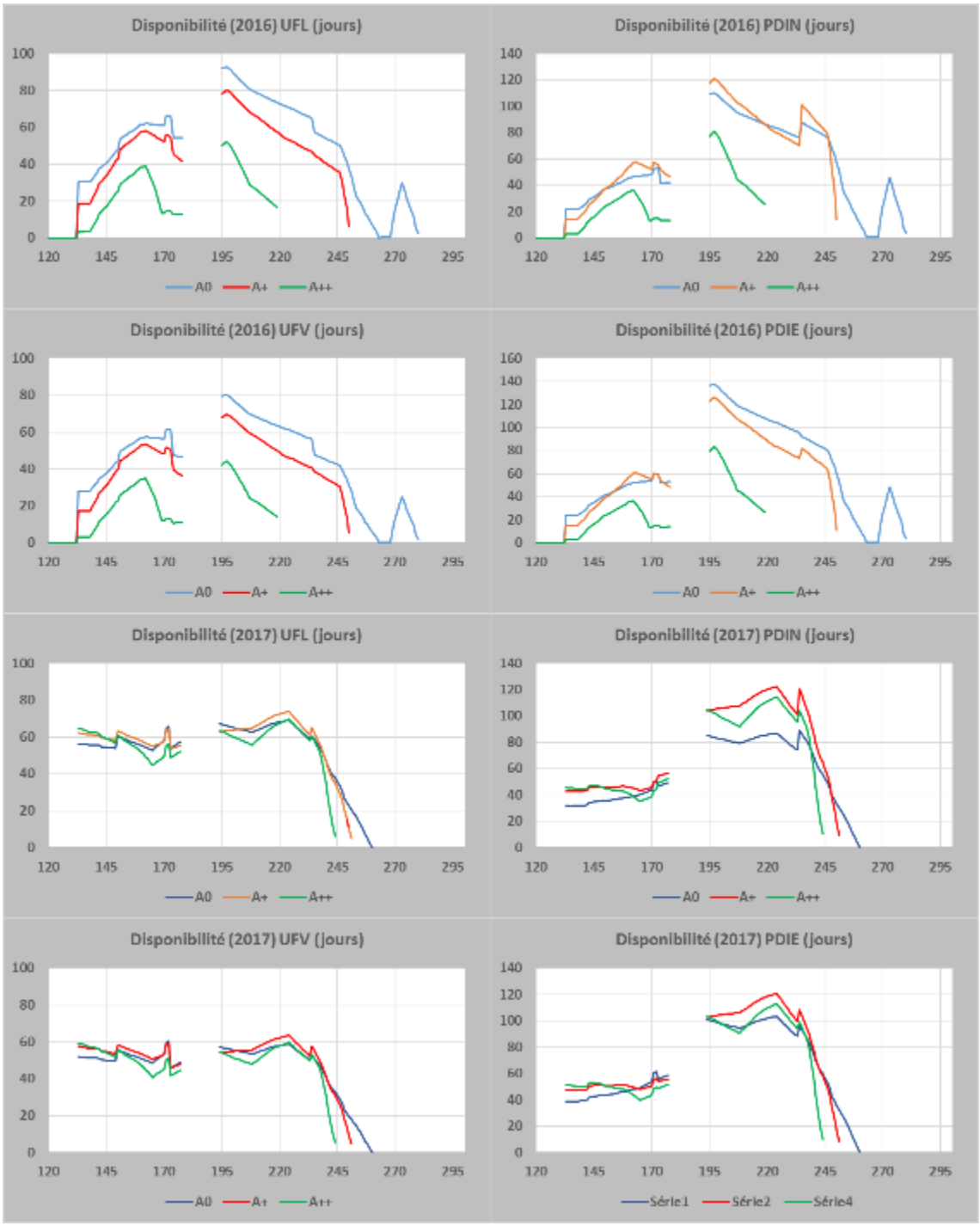

Figure 91 - Evolution du nombre journalier de jours d'affouragement disponibles lorsqu'exprimés en UFL, UFV, PDIN et PDIE sur chacune des parcelles A0, A+ e t A++ du site de Lamartine en 2016 (haut) et 2017 (bas).

L'évolution de la disponibilité énergétique et protéique en 2017, pour une année à pluviométrie représentative (765 mm) au sein de chacune des parcelles, du fait d'une biomasse exploitable très similaire entre parcelles démontre bien la justesse de la décision du retrait des lots vers mi-septembre, à une date quasi identique entre parcelles, alors que la disponibilité énergétique et protéique était devenue quasi nulle. Cette année 2017 peut, du fait de sa pluviométrie et de son régime thermique être considérée comme une année favorable localement, quel que soit le mode de gestion agroforestière (A0 / A+ / A++) appliqué.

Dès lors, l'analyse de la disponibilité énergétique (comme protéique) en 2016 révèle :

- Que la mise en place 2016 de la biomasse fourragère au sein des parcelles a pris un certain retard dès avril, retard imputable – d'une part à des températures gélives plus présentes sur

février et début mars 2016 (résultats non montrés) et – à des températures moyennes moins élevées de près de 2-4°C en 2017 entre mars et mai, qui ensemble auraient retardé la reprise de croissance de l'herbe au pré ;

- Que la croissance 2016 est plus tardive et bénéficie des pluies et chaleurs de juin et juillet, au moment du sevrage en bergerie, pour une production accrue de biomasse ;
- Mais que cette croissance tardive est de moins en moins profitable en A+, puis en A++ du fait d'une concurrence forte avec les arbres et d'un été (juillet-Août) sec.

Aussi, mis à part le déficit fourrager initial imputable aux conditions de croissance défavorables en 2016 et non aux arbres (voir 2017), il est ici probant qu'un stress hydrique marqué aux périodes les plus chaudes (juillet-août) induit un déficit marqué à très marqué en disponibilité fourragère et ce d'autant que la densité d'arbres à l'hectare et de fait, la concurrence pour la lumière est forte.

La tendance actuelle allant vers des climats plus marqués proposant (i) un cumul des pluies réduit et/ou (ii) des températures estivales plus élevées et/ou (iii) une pluviométrie moins régulière sur l'année devrait accroître la fréquence de retour des années type 2016. Cela rendrait plus fréquent les déficits en jours disponibles de pâturage et de fait, accroîtrait la nécessité de recourir à des fourrages de substitution (foins…) et à des compléments alimentaires lors du stade « brebis taries » coïncidant avec cette période de sécheresse et de déficit de la disponibilité fourragère.

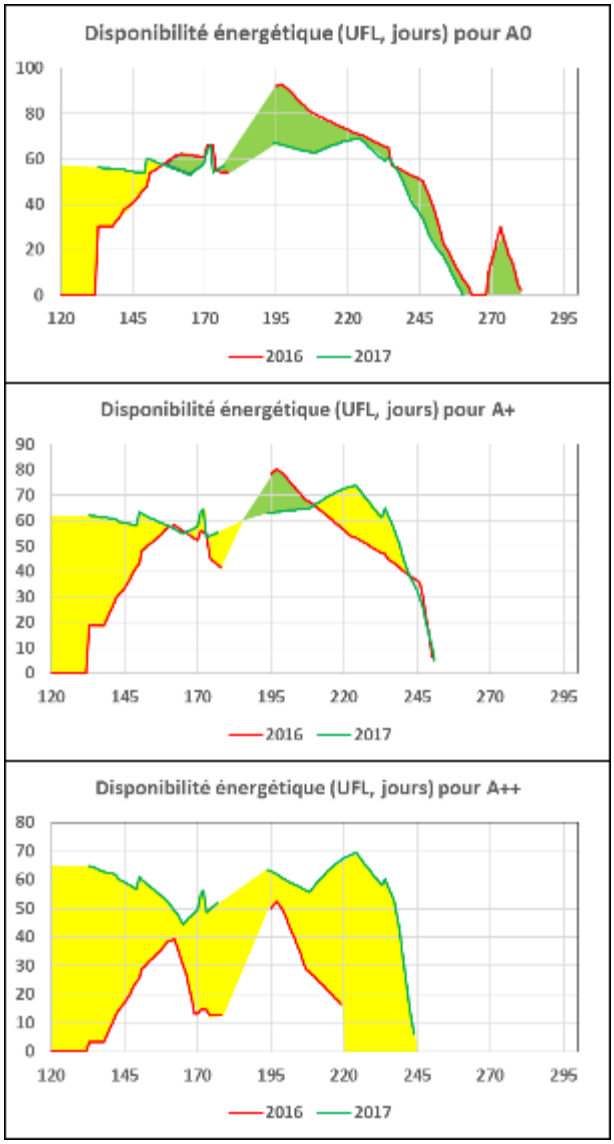

Figure 92 – Comparaison 2016 vs. 2017 de la disponibilité journalière énergétique (en jours d'UFV disponibles) pour chacune des parcelles A0, A+ e t A++ du site de Lamartine.

A partir des résultats précédents, l'importance de réfléchir et diversifier l'offre fourragère apparaît alors cruciale, et ce d'autant que la densité arborée présente au sein des pâtures augmente, pour des raisons de bien-être animal, de productivité énergétique voire de diversification du revenu agricole.

Nous allons dans la partie suivante, à partir des résultats préliminaires exposés ci-avant et de données complémentaires proposer une utilisation réfléchie et quantifiée des biomasses foliaires arborées, ici du frêne, essence étudiée pour la modélisation allométrique de la biomasse compartimentée des arbres agroforestiers sur les parcelles de Lamartine et La Vigérale (§.6. p58).

10.2.3. Résultats

10.2.3.1. Valeur alimentaire des feuilles de frêne

Au sein du §.7.3.2. analysant la digestibilité, l'appétence pour et l'ingestion (MODI) de feuilles de frêne et de murier, certaines caractéristiques alimentaires de ces biomasses nous ont permis d'approcher la valeur alimentaire générale des feuilles de frêne. Pour cela, à partir du logiciel Prevalim d'INRAtion, et en prenant comme aliment de référence (de base) une chicorée, nous avons par itération/comparaison et consultation auprès des nutritionnistes du consortium PARASOL recherché à déterminer cette valeur alimentaire dite « approchée ». Ce travail est partiellement valide du fait qu'entre membres du consortium nous sommes parvenus à un premier consensus. Cependant il appellerait dans un futur proche à évaluer plus précisément la valeur alimentaire de cette biomasse foliaire et de son évolution le long de la vie du feuillage, et ce, en mobilisant plus encore de méthodologie destinée à ce faire.

La valeur alimentaire approchée de la biomasse foliaire de frêne, toutes dates confondues (voir §.7.2.2. et §.3.2.), est la suivante :

Tableau 19 - Evolution de la valeur alimentaire prédite des fourrages verts herbacés.

(principale caractéristiques de la valeur alimentaire : TxMS = taux de matière sèche (%), UFL= unité fourrage laitier ; UFV= unité fourrage viande ; PDIN= Protéines Digestibles dans l'intestin grêle permises par l'azote ; PDIE= Protéines Digestibles dans l'intestin grêle (PDI) permises par l'énergie ; UE= unité d'encombrement du fourrage relatif aux M= mouton (UEM), L=lait (UEL), B=bovin (UEB) ; dMO= digestibilité de la matière organique ; MAT= matière azotée totale ; Pabs= Phosphore absorbable ; CAabs= calcium absorbable)

Code Base INRA	Tx MS	U FL	U FV	PD IN	PD IE	UE M	U EL	U EB	dM O	M AT	CB/ADF/ NDF	PD IA	dE	dr	EE/M GR	N DF	A D F	Pa bs	CAa bs
GV0 040	34. 0	0. 95	0. 90	10 0	10 2	0.8 8	0. 92	0. 90	75. 1	15 0	142	44	71 .8	84 .5	25	43 4	19 3	11. 2	4.2

Les caractéristiques de la valeur alimentaire approchée des feuilles de frêne sont alors utilisées pour évaluer les quantités de biomasse de feuilles nécessaires à la satisfaction d'un éventuel déficit énergétique et/ou protéique.

10.2.3.2. Estimation des déficits énergétiques et protéiques journaliers

A partir de la figure 78, et en considérant que 2017 est une année standard pour laquelle, la productivité d'herbe a été suffisante sur chaque sous-parcelle pour permettre l'accueil de lots de brebis taries et de les alimenter. Et ceci, tout en acceptant que A++ est moins productive et nécessite une sortie moyenne du lot de brebis début septembre, par rapport à A+. Cette dernière présente une productivité intermédiaire et nécessite une sortie une sortie des brebis mi-septembre quand A0 est la plus productive et nécessite une sortie des brebis à la dernière décade de septembre. Aussi, nous avons pris le parti de quantifier les différences de besoins énergétiques (UFL) et protéiques (PDI) entre les parcelles en faisant la différence entre les besoins assouvis des lots de brebis taries de 2016 et celle de 2017, en respectant bien les traitements agroforestiers :

Exemple : pour A+, pour chaque journée, et concernant l'énergie (UFL)

$$D(UFL)_{2016-2017}^{A+} = [Besoins(UFL)_{2016}^{A+} - Besoins(UFL)_{2017}^{A+}] \text{ avec D = ??}$$

On aurait pu vouloir que les dates de sortie des brebis soient indépendantes du type de parcelle et du système agroforestier (densité d'arbres) et ainsi calculer les différences pour A+ ou A++ en se référant

aux valeurs 2017 du traitement A0 ; c'est-à-dire en considérant que les lots de n'importe quelle parcelle (agroforestière ou pas) devrait sortir à la date la plus tardive observée, ce qui représenterait un potentiel d'économie en foins et autres compléments alimentaires non négligeable. Or cela voudrait dire qu'en présence d'arbres, alors que la productivité sous ces arbres est réduite plus précocement et/ou en intensité, on continuerait de solliciter le peu d'herbe restant (les 5cm d'herbe nécessaire à sa survie hivernale et à sa bonne repousse en année n+1) et surtout que toute l'alimentation complémentaire proviendrait des seuls arbres ou des arbres en addition d'un fourrage apporté au pré.

Or, ce système de complémentation au champ n'est pas le système en présence à Lamartine, et, la possibilité de nourrir les brebis en reprise de poids avant la lutte avec les seules biomasses foliaires n'est pas à ce stade assurée d'un point de vue sanitaire et alimentaire (à tester in vivo). Dès lors, nous avons rejeté cette construction d'hypothèses de travail et chercher plus raisonnablement à estimer comment satisfaire les besoins quotidiens des lots de brebis taries à l'herbe sans modifier les dates de sortie spécifique de chaque parcelle agroforestière de Lamartine et sans mettre en péril le potentiel productif en année n+1 des parcelles.

Tel qu'indiqué ci-avant, le déficit énergétique et protéique de 2016 (année sèche) par rapport à 2017 (année normale) a été calculé pour chacune des parcelles (Tableau 20 et Figure 93).

Considérées comme des journées déficitaires dès lors qu'une des valeurs D(UFL) ou D(PDI) est positive, et nulle dans les autres cas, la somme des déficits journaliers ont permis de déterminer le déficit total sur la période optimale « brebis tarie à l'herbe », puis en divisant ces déficits par les valeurs spécifiques des feuilles de frêne (Tableau 18) nous avons estimé la quantité totale de matière sèche de feuilles qu'il aurait fallu mettre à disposition des brebis en 2016 sur la période « Brebis taries à l'herbe » pour a priori, d'un point de vue purement énergétique et/ou protéique leur permettre de s'y alimenter sans privation :

Tableau 20 - Evolution de la valeur alimentaire prédite des fourrages verts herbacés.
(Principale caractéristiques de la valeur alimentaire)

	A0			A+			A++		
Unités	**UFL**	**PDIN g**	**PDIE g**	**UFL**	**PDIN g**	**PDIE g**	**UFL**	**PDIN g**	**PDIE g**
Déficit total	0,05	3,97	3,97	77,89	5083,97	5083,97	512,33	33298,70	33298,70
Valeur spécifique (par kg/MS)	0.95	100	102	0.95	100	102	0.95	100	102
Quantité foliaire totale (kg)	0,055	0,040	0,039	81,992	50,840	49,843	539,300	332,987	326,458

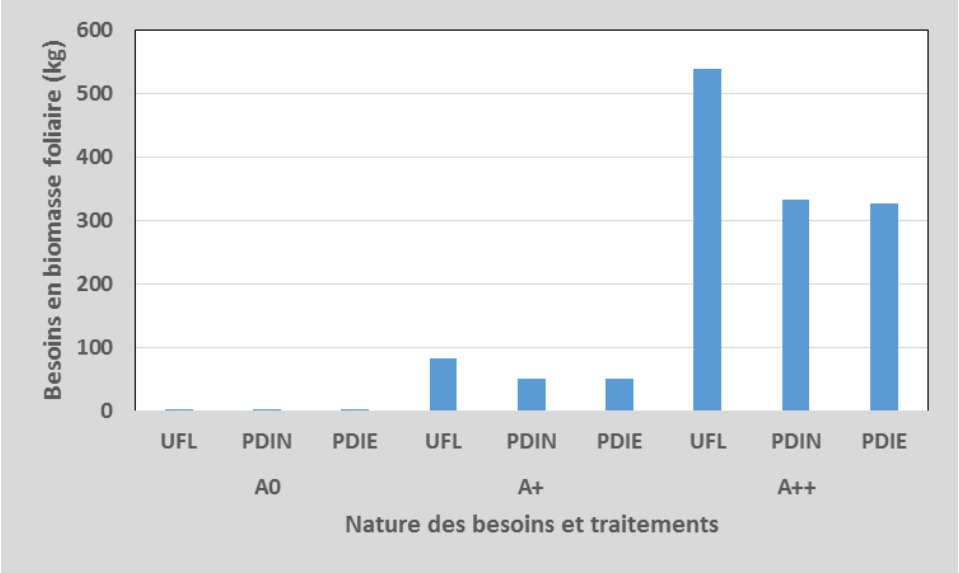

Figure 93 – Evolution du nombre journalier de jours d'affouragement disponibles lorsqu'exprimés en UFL, UFV, PDIN et PDIE sur chacune des parcelles A0, A+ e t A++ du site de Lamartine en 2016 (haut) et 2017 (bas).

Globalement, à partir d'un suivi sur deux années, au sein de parcelles agroforestières à densités différentes et d'une parcelle témoin, et pour des chargements identiques entre parcelles (1.8UGB/ha),

on s'aperçoit qu'en zone de semi-montagne la disponibilité hydrique annuelle même si déficitaire en été peut permettre de satisfaire du fait d'une pousse d'herbe précoce importante les besoins du troupeau. Cependant, en présence d'arbres au sein des parcelles la concurrence interspécifique entre herbage et arbres implique une sortie avancée des brebis en 2016 par rapport à 2017 et plus précoce encore à densité d'arbres élevée (A++ = 150 arbres/ha) contre une densité moyenne (A+ = 60 arbres/ha).

D'autre part on observe que le déficit énergétique et protéique des parcelles agroforestières à densité moyenne reste faible et potentiellement compensable par le recours au feuillage arboré (82 Kg de matière sèche foliaire nécessaires, soient quelques 241 kilogrammes de feuilles fraiches) présent sur la parcelle. A l'inverse, en situation de densité élevée, A++, 539 kilogrammes de matière sèche foliaire soient 1586 kilogrammes de matière fraîche seraient nécessaires pour maintenir le troupeau en place et ce jusqu'à la date optimale de sortie de parcelle, située début septembre.

10.2.3.3. Caractéristiques arborées d'un système sylvopastoral optimisé

Les biomasses fraiches estimées qu'il faudrait apporter aux brebis taries lors de la période de fin d'été sont un point de départ pour évaluer de la faisabilité d'un système sylvopastoral qui reposerait en partie sur un affouragement arboré.

Ces biomasses foliaires, obtenues à partir des relations allométriques construites pour l'espèce frêne (voir §.6.2) proviennent progressivement de la biomasse totale des branches d'ordre 1 (O1, reliées au tronc) qu'il faudrait prélever, puis, à partir du nombre exact ou prédits de branches O1 présents sur les individus frênes de la Vigérale, une estimation du nombre de branches au total provenant d'un nombre d'arbres à mobiliser annuellement (en fonction d'un niveau jugé tolérable de prélèvement de branches O1, ainsi que d'une fréquence de retour) peuvent être envisagés. C'est ce que nous avons conduit ici (Figure 94).

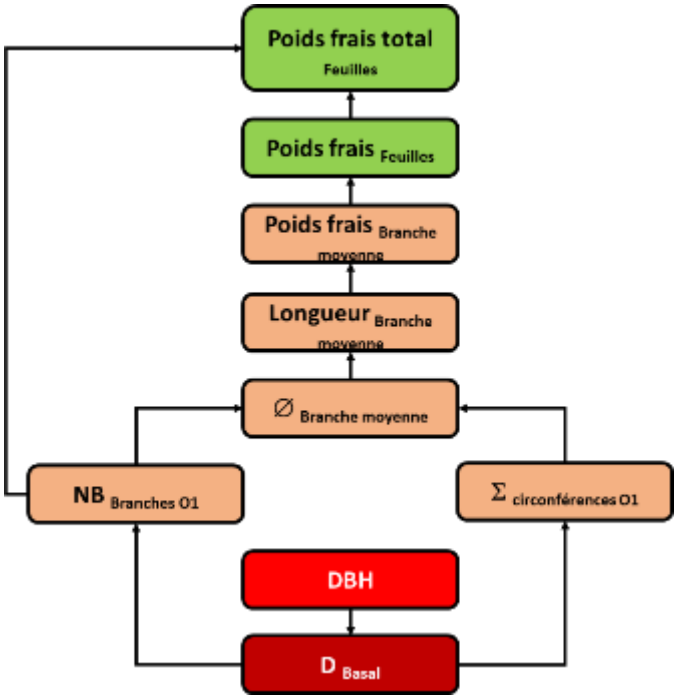

Figure 94 – Logigramme allométrique « frêne » emprunté pour parvenir à la recomposition à partir du diamètre à hauteur de poitrine du tronc (DBH, cm) de la surface foliaire totale exprimée en poids frais.

Tout d'abord, notons que les relations allométriques issues de la parcelle de la Vigérale (et d'un individu complémentaire de la parcelle de Troissereux) sont construites pour des individus d'âge quasi unique (30 ans approximativement et 13 ans pour l'individu de Troissereux). Ce qui veut dire que les modèles ne pourront être utilisés à terme pour des simulations sur des populations de classes d'âge différentes. Ensuite, du fait de l'impossibilité d'effectuer des mesures destructives, les mesures allométriques se sont faites directement sur les arbres ; cela induisant de nombreuses règles de mise en sécurité qui restreignent les mouvements au seul tronc et les prélèvements à quelques branches d'ordre O1 (partant du tronc), en général trois branches O1 par arbre mesuré en allométrie. Enfin, l'ensemble des opérations est très chronophage, ce qui a limité notre capacité d'échantillonnage. Les relations obtenues pour le

frêne sont donc principalement utiles à des fins d'estimation sur la Vigérale (et Troissereux ?) mais devront être renforcées ultérieurement pour satisfaire à une utilisation plus fréquente, facilitée en d'autres contextes.

Pour parvenir à estimer la disponibilité foliaire sur les parcelles A0, A+ et A++ de Lamartine, alors que la surface de ces dernières est, respectivement, de 0.77, 0.72 et 0.81 ha et que la densité d'arbres y est respectivement de 1, 60 et 150 arbres/ha, il nous faut considérer que les frênes de la Vigérale (100 arbres/ha) s'y trouve et donc réattribuer les arbres et leurs caractéristiques dendrométriques et allométriques à cette parcelle. Cela est certes discutable, du fait de conditions pédoclimatiques et de gestion potentiellement différentes qui pourraient du fait de densités différentes impacter leur morphologie actuelle. Ne connaissant ni les sols, ni les impacts de densités croissantes sur la croissance des individus pour le frêne, nous ne nous hasarderons pas à modifier de manière complexe la croissance des arbres.

Aussi, en l'absence de toutes autres données, nous avons considéré que la croissance individuelle connue et donc la morphologie individuelle connue (DBH) des arbres, celle à 100 arbres/ha, est réduite de 25% à 150 arbres/ha et est accrue de 25% à 50 arbres/hectare. Cela étant à vérifier par ailleurs.

A partir des modèles allométriques concernant le frêne (§.6.2.), et en suivant la logique mathématique exposées au sein du logigramme allométrique (figure 80), nous avons recalculé à partir du seul DBH (diamètre à hauteur de poitrine du tronc, cm) l'ensemble des caractéristiques morphologiques de chacun des 19 frênes haute-tige et avons estimé la biomasse sèche de feuilles (kg/arbre) et la biomasse fraiche de bois localisée au sein des branches reliées au tronc (O1) présentes au sein de leur couronne.

A titre indicatif, pour un arbre moyen (Vigérale, 2017, d=100 arbres/ha, n=19), au sein du Tableau 21 sont présentées les caractéristiques moyennes prédites par chacun des modèles allométriques sollicités, et dans l'ordre de sollicitation.

Tableau 21 – Caractéristiques morphologiques prédites moyenne des frênes de la Vigérale à partir du logigramme allométrique (n=19).

	Dbasal (mm)	Scriconf (cm²)	Nb O1	Circonf O1 moy (cm²)	Diam moy (cm)	L O1 moyenne (cm)	Pfrais O1 moyenne (kg)	Pfrais Feuilles O1 moyenne (kg)	Pfrais tot des O1 moyennes (kg)
Moyenne	411,452	659,761	35,441	18,789	5,981	403,191	4,665	1,096	162,016
Ecart type	43,825	34,405	4,358	1,426	0,454	14,890	0,772	0,068	4,979
Valeur minimale	303,913	566,357	24,746	16,624	5,291	379,165	3,558	0,998	153,028
Valeur maximale	487,541	714,954	43,008	22,887	7,285	443,352	7,000	1,301	173,226

A partir de la population de frêne (n=19, d=100 arbres/ha), nous avons reconstitué par tirage au sort au sein de cette population connue, 3 populations probabilistiques de 48 arbres, 78 arbres et 120 arbres implantés au sein d'une parcelle de 0.80 ha. Ceci correspond respectivement à des systèmes sylvopastoraux à 60, 100 et 150 arbres par hectare ; ce qui correspond aux situations A+ et A++ ainsi qu'à une situation intermédiaire dénommée ici A100, correspondant à la population réelle de la Vigérale, telle que :

A+ = 60 arbres/ha > A100 = 100 arbres/ha > A++ = 150 arbres/ha

Pour les populations A+ et A++, les DBH réellement observés des arbres retenus dans les populations probabilistiques ont été alors respectivement accru et réduit de 25%. Les modèles allométriques étant intégrés, ce changement se répercute tout au long de l'estimation et vient modifier (pour rappel, sans vérification in situ possible) les sorties estimées de la biomasse sèche de feuilles (kg/arbre) et de la biomasse fraiche de bois localisée au sein des branches reliées au tronc (O1) présentes au sein de leur couronne.

Nous avons alors simulé conjointement – le prélèvement d'un nombre de branches O1 par arbre variable : de 1à 10 branches par an et – un délai de retour de taille sur un arbre donné allant de « tous les 2 ans » à « tous les 6 ans », et bien entendu pour les 3 situations imaginées (A+, A100, A++). A la vue du nombre de combinaisons que cela induit, vis-à-vis des 2 variables « feuilles » et « bois O1 transformable en plaquette », nous avons préféré construire des abaques

Ils sont présentés Figure 95.

Au sein des abaques « F – Feuillages », nous avons reporté en rouge les besoins en biomasse sèche maximum calculés (UFL) pour A+ (82 kg) alors que nous ne pouvons reporter les besoins pour la situation A++ (539 kg) du fait de productivité estimées trop faible au sein de 0.8ha, quelle que soit la densité d'arbres.

- **A+** : pour une surface sylvopastorale de 0.8ha, à 60 arbres/ha, il nous faudrait prélever 10 branches O1, et ce tous les 2 ans, pour parvenir à disposer des 82 kg de feuillage sec nécessaire. Or de telles pratiques mettraient en péril la survie et la bonne croissance des individus menés en haute-tige et conduiraient à terme à la mort des individus.

  A l'inverse, à partir des pratiques connues de tailles en feuilles pour affouragement, prélever tous les 3 à 5 ans un maximum de 4 à 6 branches O1 (symbolisé sur les abaques par un cercle jaune permettrait au mieux, sur les 0.8ha de disposer de 15 à 20 kg de feuilles sèches, soit 20% des besoins. De fait disposer non pas de 0.8 ha arborés mais plutôt de 4 ha de prairie sylvopastorale implantée à 60 arbres/ha (mais à cheptel constant) permettrait cette autonomie sans risques pour la survie du peuplement arboré.

- **A++** : là aussi, l'abaque F indique que pour une surface sylvopastorale de 0.8ha, à 150 arbres/ha, il est impossible de trouver annuellement les quantités de feuilles sèches nécessaires à l'autonomie alimentaire du troupeau ovin (549kg). Même les besoins de référence d'A++ (82kg) ne pourraient être assouvis qu'en prélevant 7-9 branches tous les 3-4 ans, ou, 5 branches tous les 2 ans, ce qui restent une pression de taille très forte et à risque.

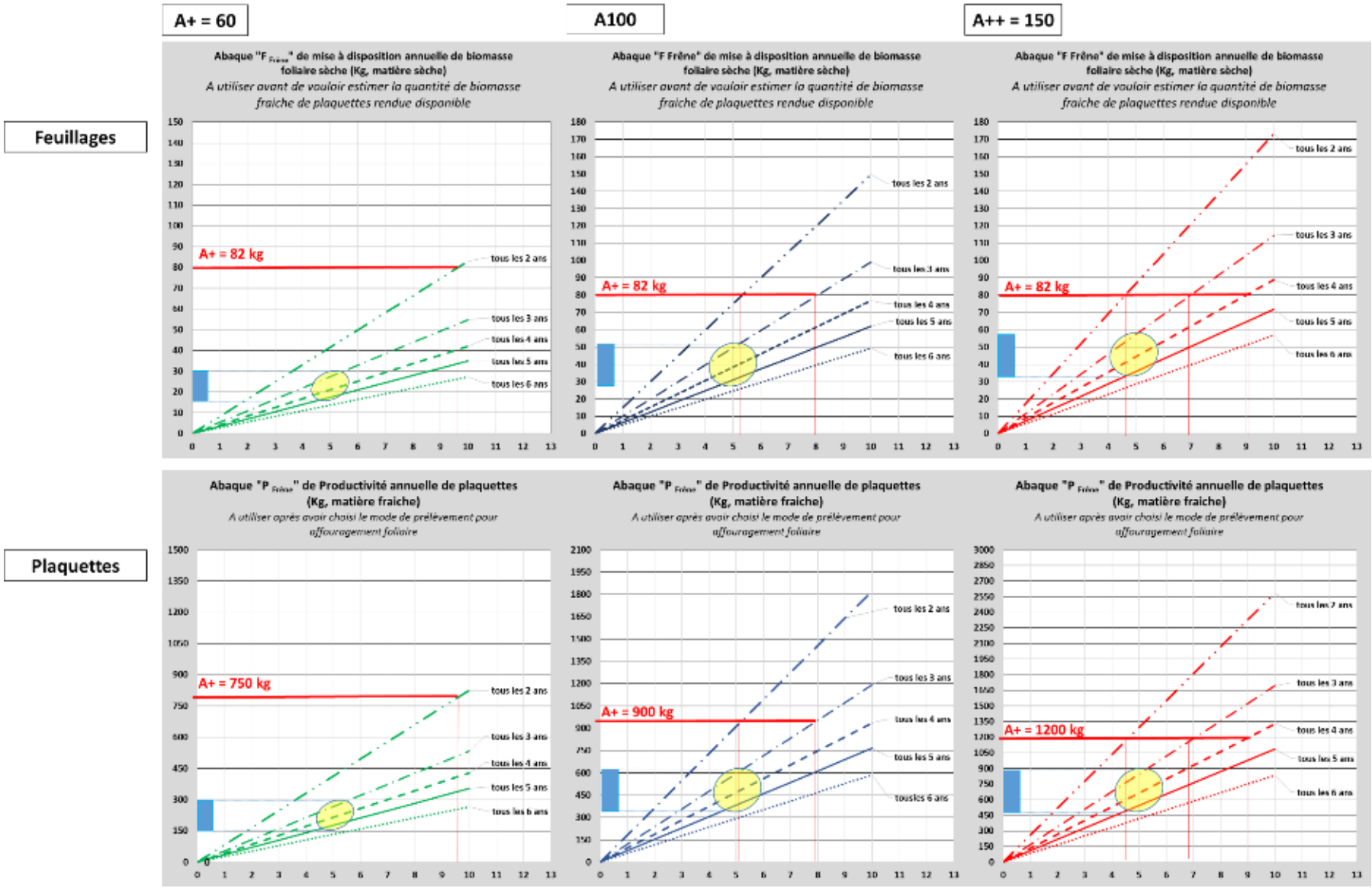

Figure 95 – Abaques d'estimation de la disponibilité feuilles (F, kg sec) et de la productivité plaquettes (P, kg frais) pour des situations à 60 (A+), 100 (A100) et 150 (A++) arbres/ha et selon un mode d'exploitation « Nombre de branches prélevées – x & fréquence de retour de taille d'affouragement – y' »

Ici aussi, prélever tous les 3 à 5 ans un maximum de 4 à 6 branches O1 (symbolisé sur les abaques par un cercle jaune) permettrait au mieux, sur les 0.8ha de disposer de 35 à 55 kg de feuilles sèches, soit la moitié des besoins A+. De fait disposer non pas de 0.8 ha arborés mais plutôt de 1.5-2 ha de prairie sylvopastorale implantée à 160 arbres/ha (mais à cheptel constant) permettrait cette autonomie sans risques pour la survie du peuplement arboré.

Concernant les besoins A++ cette fois-ci (539kg/an), il faudrait alors disposer de 33-45 ha de surface sylvopastorale de type A+, ou 14-22 ha de surface sylvopastorale de type A100, ou 12.5-19 ha de surface sylvopastorale de type A++ pour y répondre et ce, sans mettre en danger les frênes présents au cours du temps.

Concernant maintenant la production de plaquettes (biomasse fraîche) à partir des bois O1 non consommés par les brebis (en considérant que seules les feuilles sont ingérées, pas les menus branchage ou l'écorce…) nous avons estimé :

- Pratiques à risques : une production potentielle de plaquettes de l'ordre de 750, 950 et 1200 kg/an respectivement pour A+, A100 et A++, mais de manière certainement non durable ;
- Pratiques conservatoires : une production réaliste de plaquettes de l'ordre de 150-300, 350-600 et 450-900 kg/an respectivement pour A+, A100 et A++, mais de manière cette fois raisonnée, durable.

10.2.4. Conclusions

Lors de ce travail d'agrégation des résultats issus des actions préalables de PARASOL, un enseignement global a été tiré ; il s'agit même plus, d'une condition sine qua none pour la bonne conduite des bilans fourragers et de productivité réalisée ici : Rien n'est possible sans la mise à disposition, donc la construction standardisée préalable, de calendriers annuels précis des évolutions zootechniques, des performances de chacun des animaux suivis, des modes de logement comme de rationnement. Mais encore, rien n'est possible sans que production herbagère et quantification des biomasses arborées ne soient réalisées respectivement le plus fréquemment et le plus finement possible. Nous profitons de cette remarque générale, pour remercier ici, chacun de ceux qui auront contribué à la construction et à l'échange des jeux de données nécessaires à ces fins.

10.2.4.1. Compétition interspécifique

Le suivi, puis la modélisation journalière, de la disponibilité herbagère parallèlement aux conditions climatiques rencontrées, confirme que la compétition interspécifique entre les herbacées et les arbres au sein de systèmes sylvopastoraux est différente selon l'époque de l'année, mais aussi selon le type d'année climatique rencontrée. Ainsi, 2016, année atypique du fait d'une pousse d'herbe retardée mais très forte au printemps aura permis de constituer un stock fourrager très important, riche, qui a permis une alimentation optimale des brebis allaitantes et de leurs portées en fin de printemps. A l'inverse, 2017, année plus chaude et moins pluvieuse entre mars et juin apparaît moins productive. Cependant, en été, au moment où les brebis taries sont remises à l'herbe, un stress hydrique continu sur 2 mois en 2016 aura eu raison très rapidement de ce stock fourrager et obligé un retour en bergerie prématuré des brebis en août, alors qu'elles n'y sont retournées qu'en septembre en 2017. En effet, des pluies régulières, y compris d'été et une pluviométrie annuelle moyenne ont fait de 2017 une année de référence, sans contrainte hydrique inhabituelle, facilitant d'autant la comparaison entre une année thermiquement stressante (2016) à une année de référence (2017).

Forts de ce constat, à Lamartine et La Vigérale (63), nous pouvons considérer les autres résultats comme représentatifs et d'intérêt.

> *En compléments, des suivis de l'humidité du sol et la constitution de bilan hydriques locaux auraient permis de confirmer cela.*

La mesure régulière à l'herbomètre stick sur les deux années 2016 et 2017 et à une fréquence régulière aura été un avantage certain, permettant une quantification au plus juste des stocks fourragers en présence. Mais plus important encore, il aura permis de modéliser l'évolution assez précise des stocks fourragers des parcelles et de confirmer la nécessité de sortie des animaux des pâtures en fonction de ces derniers. Les sorties 2016 auront bel et bien été conditionnées par la disponibilité fourragère, disponibilité, qui du fait d'une compétition forte pour l'eau à cette époque entre arbres et herbages, a été exacerbée en situation A++, appelant à un retour en bergerie anticipé de 40 jours par rapport à la

situation A+, et de 70 jours par rapport au témoin A0. En 2017, les dates de retour en bergerie ont été quasi identiques, à 15 jours près, quel que soit la densité d'arbres considérée !

Si la présence d'arbres (à forte densité) est un atout sur bien des plans, elle occasionne cependant, en situation climatique limitante, des modifications importantes des modes de conduites du troupeau et des pratiques alimentaires potentiellement plus compliquées, coûteuses.

En complément, le suivi des doses et compositions des rations quotidiennes apportées (au pré ou en bergerie) serait un élément d'importance pour une éventuelle analyse coûts-avantages de systèmes sylvopastoraux à densité d'arbres variable.

10.2.4.2. Déficits fourrager et scenarii d'exploitation de la biomasse foliaire arborée

La construction et l'organisation des données « besoins alimentaires » des troupeaux et « disponibilité fourragère » pour chacune des situations, en opposant 2016 à 2017, année de référence climatique, aura permis d'identifier les journées déficitaires et de quantifier les besoins de complémentation par la biomasse foliaire arborée. Selon la densité d'arbres des parcelles, le déficit alimentaire permettant de maintenir les troupeaux au pré jusqu'aux dates 2017, était acceptable pour A+ (60 arbres/ha) mais multiplié par 6-7 dès lors que la densité d'arbres passait à 150 arbres par hectare. Il va de soi qu'en ces conditions, plus aucun stock ni pousse nouvelle d'herbe n'était possible, précipitant la sortie des animaux.

Face à cela, nous avons choisi de quantifier selon des scenarios de taille d'arbres variés (fréquence de retour de taille sur un arbre versus nombre de branches prélevées) et pour une gamme réaliste d'arbres (50, 100 et 150 arbres/ha) les quantités exploitables de manière raisonnée en feuillages pour affouragement, et indirectement, la production résiduelle de plaquettes. Quelle que soit la densité d'arbres, il est, pour une année comme 2016 illusoire de compter sur le feuillage de frêne pour satisfaire les besoins alimentaires du troupeau. Ce dernier ne parvenant, à un régime raisonné, à satisfaire tout au plus que 20% des besoins en situation A+ et pas plus de 8% en situation A++ (à surface arborée et chargement ovin constants). De fait, pour y parvenir, toujours en conditions raisonnée d'exploitation, il faudrait multiplier par 4 la surface arborée A+ et par 15 celle A++ afin de disposer d'une biomasse foliaire suffisante. A la vue de ces coefficients multiplicateurs, il est clair ici, pour le cas de Lamartine-La Vigérale, que des densités d'arbres comprises entre 30 et 60 arbres/ha seraient plus favorables à la pousse d'herbe et à la fenaison le cas échéant, en proposant une disponibilité fourragère arborée de près de 15-20% des besoins estivaux en cas de sécheresse, donc potentiellement suffisante pour éviter la rentrée en bergerie et les coûts associés.

En complément, il apparaît ici nécessaire de statuer sur la valeur alimentaire des feuilles de frênes, celle-ci n'ayant été que partiellement obtenue ici ; en outre, l'étude des effets sur la croissance et l'état sanitaire des ovins d'un rationnement unique de fourrages issus de feuillages serait à entreprendre.

10.2.4.3. Productivité complémentaire de plaquettes

En complément du recours au feuillage arboré, nous avons aussi estimé la quantité de bois qui, après ingestion des feuilles, serait laissée sur la parcelle et possiblement valorisable sous forme de plaquettes. Cette quantification est issue de modèles allométriques développés à partir de la population de frênes locaux ; elle souffre donc du fait que cette population est restreinte, uni-site et que les ressources disponibles étaient trop limitées aux vues du nombre de site, d'espèces considérées au sein du réseau PARASOL. Quoiqu'il en soit, cette productivité plaquette est non négligeable puisque pouvant représenter annuellement près de 250 à 1050 kg/ha selon la densité d'arbres en présence. Si cette dernière à l'hectare reste limitée, la présence de 25 ha de pâture arborés pourrait permettre, en conduite haute-tige, de produire quelque 6 à 25 tonnes de plaquettes fraîches annuellement, valorisables en atelier d'élevage (paillage) ou en BRF voire énergie.

Ici, il semble d'intérêt d'évaluer les potentiels de productivité foliaire et plaquettes de systèmes sylvopastoraux conduits non pas en haute-tige, mais par recépage régulier (TCR, trogne, émondes…). Les références qu'ils permettraient pourraient alors aussi concerner le potentiel de production d'herbe et la capacité des systèmes à être résilients.

10.3. Performances technico-économiques et environnementales

10.3.1. Objectifs

L'objectif est ici d'évaluer les performances technico-économiques du fait (i) de l'accroissement hypothétique de l'autonomie fourragère qui conduirait à une réduction des achats d'aliments du bétail (concentrés) voire à une réduction des coûts de complémentation, (ii) d'une possible valorisation à terme de la biomasse arborée produite sur la parcelle (trois valorisations économiques seront envisagées: bois d'œuvre, bois énergie, bois litière), et (iii) des potentiels gains de productivité conséquence d'un état sanitaire et/ou physiologique amélioré des animaux pâturant

10.3.2. Matériels et méthodes

10.3.2.1. Echelles considérées et sites retenus

Une des difficultés du projet a été de bénéficier de parcelles expérimentales types, avec témoins forestiers et agricoles de référence. Avec la visite des parcelles expérimentales du réseau IRSTEA, nous nous sommes rendu compte que très peu de parcelles répondaient à nos exigences.

L'étude des performances des sites existants ne peut se faire qu'à l'échelle de la parcelle, objet de l'aménagement agroforestier.

Pour cette première étude, nous nous sommes donc restreints à 2 sites situés dans le Massif Central et appartenant à l'INRA de Theix :

- Parcelle de La Vigérale : 3 cas : 2 densités (50 et 100 arbres/ha) + une modalité frêne têtard.
- Parcelle de Lamartine : 3 densités d'arbre (50/100/200 arbres/ha) + un témoin agricole

10.3.2.2. Indicateurs utilisés

Un des axes principaux a été d'évaluer les coûts par rapport aux services et productions rendus par les arbres. En d'autres termes, installer 100 arbres par ha compense-t-il en production et services rendus, la perte possible de la production prairiale et les surcoûts représentés ?

Dans les calculs de ration, si le paramètre principal a été le rendement en MS d'une parcelle agroforestière, l'aspect nutritionnel et la digestibilité ont également été pris en compte.

10.3.3. Résultats

10.3.3.1. Impact du schéma d'aménagement sur la productivité globale

Pour chaque parcelle, nous avons simulé la chronologie de rendement en se basant sur les résultats obtenus sur les parcelles de Lamartine et de la Vigérale (situées dans le Puy de Dôme, en climat montagnard). Nous les avons insérés dans le modèle LER-SAFE afin d'estimer l'évolution de la production herbacée, compte tenu de la densité d'arbres présents. Nous avons ensuite simulé le cas d'un peuplement avec arbres têtards. Deux densités ont été retenues pour la comparaison : 100 et 50 arbres/ha.

Comment fonctionne LER-SAFE ? Ce modèle réalisé conjointement par l'INRA UMR SYSTEM et AGROOF lors du projet européen SAFE (2001-2005) permet de générer des chronologies de rendement de la culture intercalaire (ou prairie) en fonction du degré d'interaction entre l'arbre et la culture, représenté par le critère du Land Equivalent Ratio (LER).

Le calcul du LER est égal à la somme des ratios Productivité Arbres Agroforestiers / Arbres forestiers et Production Culture Intercalaire / Production Culture sans Arbre.

Dans LER-SAFE, le rapport « Arbre » est fourni à dire d'experts ou de mesures sur le terrain. On génère alors, pour un LER donné, l'ensemble des productions annuelles de la culture.

Dans PARASOL, on a repris les données de terrain mesurées à mi-parcours (arbres de 25 ans environ pour une coupe finale prévue à 50 ans). On a pu ainsi contraindre le niveau de LER pour arriver à représenter fidèlement la situation des parcelles étudiées. Sur les sites existants, compte tenu de la production de la prairie en agroforesterie et de la croissance des arbres, le LER varie entre 1.3 et 1.35, ce qui est assez courant dans ce type d'aménagement. Cela signifie que la prairie agroforestière produit 30 à 35% de biomasse (bois + fourrage) de plus que dans une situation d'assolement où on sépare arbres et cultures.

4 aménagements avec frênes purs ont été étudiés :

- Un aménagement à 100 tiges / ha (« 100 frênes ») : situation où on privilégie l'arbre. Nous sommes en densité forestière. Il est possible d'avoir une prairie mais qui va rapidement être impactée par le développement des arbres. Cependant, on a un décalage phénologique qui peut être intéressant pendant une période donnée.
- Un aménagement à 50 tiges / ha (« 50 frênes ») : Nous sommes en densité agroforestière, où le potentiel prairie s'exprime davantage. On produit globalement moins de biomasse arbre (bois et feuille), mais on a une productivité individuelle plus intéressante (arbre mieux exposé et peu de compétition intraspécifique).
- Un aménagement à 100 arbres têtards (« 100 frênes têtards ») : Ici, on intervient tous les 2 ans sur les arbres pour produire fourrage et bois déchiqueté. La production intervient surtout quand les arbres deviennent matures (après 15 ans). A chaque coupe, on améliore les apports de lumière pour la prairie ce qui relance sa productivité. Les interventions peuvent s'échelonner sur deux ans : on étête 50% des arbres la première année et 50 % la seconde.
- Un aménagement à 50 arbres têtards (« 50 frênes têtards ») : Idem que précédemment, mais l'impact lumière est plus conséquent. Les niveaux de rendement sont plus importants.

Dans chacun des cas, on a évalué la production de fourrage prairie, la production de bois d'œuvre mais aussi de fourrage feuilles et de plaquettes, issues des mesures réalisées sur le terrain.

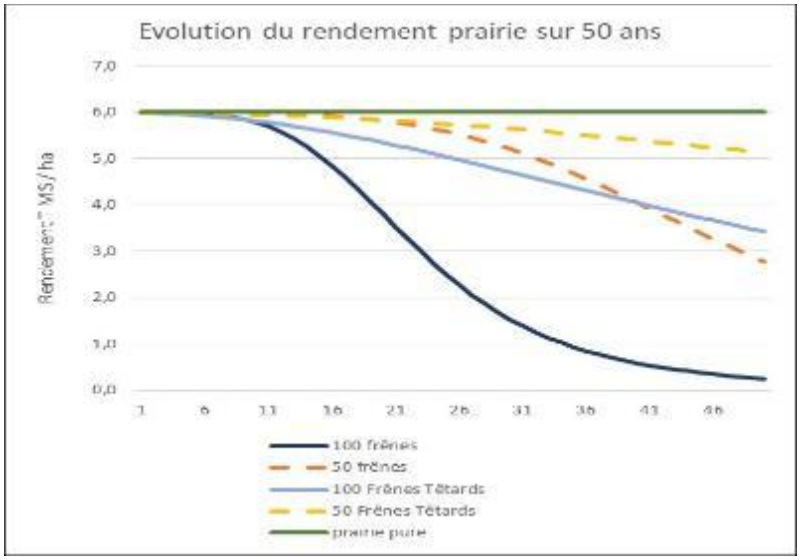

Figure 96 – Evolution des rendements en Tonnes de MS / ha des 4 scénarios sur 50 ans.

Sans surprise, et dans la lignée des résultats mesurés sur les sites de PARASOL, l'impact d'un peuplement de 100 arbres/ha est très important après un premier tiers de la rotation « arbres ».

En agroforesterie, tant que les arbres sont en croissance en hauteur (essentiellement pendant les 15 à 20 premières années), l'impact sur le rendement reste limité. Les houppiers des arbres ne sont pas encore très larges, et arbres et cultures cohabitent assez facilement.

Sans intervention technique ou sélection variétale spécifique, une prairie à faible densité à 50 arbres/ha est préférable pour maintenir une productivité jusqu'à la coupe des arbres. L'effet microclimatique ne compense pas l'effet dépressif des arbres à forte densité. Néanmoins, ce résultat parcellaire est à replacer dans son contexte exploitation :

- La différence phénologique de la prairie (stade plus tardif, dessèchement décalé dans l'été) peut inciter à maintenir des parcelles à fortes densités sur l'exploitation pour prévenir des accidents climatiques ou gérer au mieux l'alimentation d'été. Notamment dans les régions soumises à plus fort aléas climatiques (Méditerranée par ex).
- En cas d'événement climatique exceptionnel, une prairie à forte densité peut s'avérer utile pour gérer le bien-être des animaux.
- Enfin, une parcelle à forte densité peut se gérer. A partir d'un certain stade, on peut décider d'intervenir sur les arbres pour réduire la densité. Avec une production de biomasse qui peut être ponctuellement intéressante, tout comme le fourrage qui sera récolté à cette occasion. On joue ici sur un tableau assurance qu'offre moins un système à plus faible densité.

L'intervention sur les houppiers permet de produire une ressource fourragère feuille mais aussi de réduire la compétition arbres/prairie. A 50 tiges/ha, l'exploitation en mode têtard permet de maintenir un rendement prairie très élevé jusqu'à la coupe des arbres (Figure 98). A 100 tiges/ha, on maintient un bon niveau de production sur les 2 tiers de la rotation arbres et on limite l'impact les années suivantes : la baisse de rendement est plus douce (Figure 97). Néanmoins, dans la deuxième partie de la vie des arbres, on diminue de 25 % la production prairie contre seulement 6 % avec 50 arbres têtards/ha (en comparaison avec le témoin prairie sans arbre).

Nous avons simulé la production complémentaire de feuilles en termes de MS / ha complémentaire à la prairie. L'objectif était de voir dans quelle mesure l'effet dépressif des arbres pouvait être compensé par la productivité feuille, sans tenir compte ici de la valeur fourragère réelle et de la qualité du fourrage, vue précédemment.

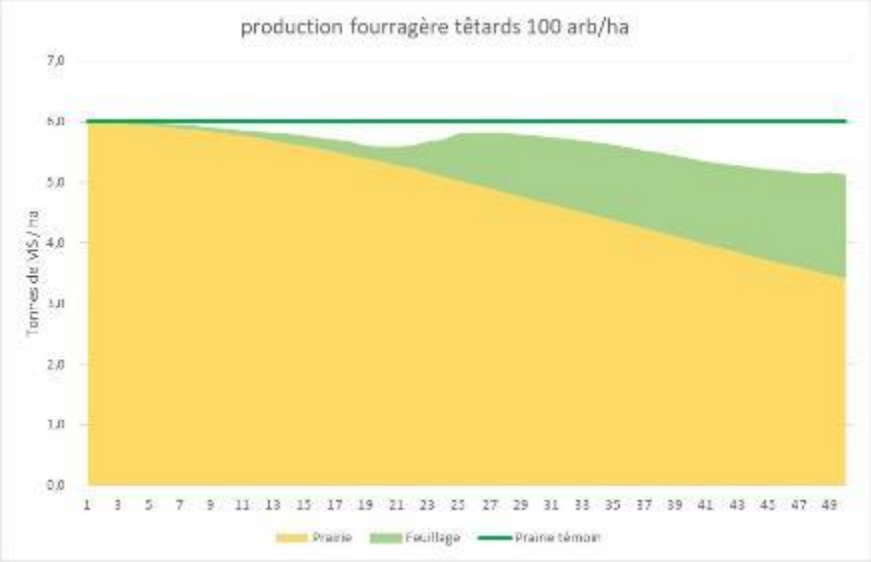

Figure 97 – Comparaison de la production fourragère annuelle d'une parcelle à 100 arbres par ha (Tonnes de MS / ha feuilles + prairie), entre un peuplement simplement élagué et un autre étêté.

Avec un aménagement de 100 arbres têtards par ha, la production de fourrage feuille commence à devenir conséquente à partir de la vingtième année. On débute la formation des têtards dès la cinquième année et les arbres vont être formés pendant une dizaine d'années avant d'avoir une production intéressante.

Avec une densité de 100 arbres / ha, les arbres se font également concurrence entre eux et la production raméale s'en trouve également impactée. Il y a peu de données sur ces interactions intraspécifiques. On considère généralement qu'à 30 à 50 arbres/ha, on se trouve en situation de croissance libre pour les arbres. LERSAFE a été paramétré sur ces niveaux de densité avec les partenaires européens du projet SAFE (que ce soit pour le noyer, le merisier, le peuplier ou le frêne).

La production de feuilles est donc moindre à l'échelle de l'individu mais reste intéressante à l'échelle de la parcelle compte tenu du nombre d'arbres. Dans le dernier tiers de la rotation, cette production représente entre 1 et 2 tonnes de MS/ha. En volume, cette production ne suffit pas à compenser la perte de rendement prairie mais reste intéressante d'un point de vue qualitatif et gestion (production

d'été à une période de faible production prairiale). Dans la réalité, l'éleveur pourrait opter pour réduire la densité des arbres, par une éclaircie judicieuse, pour relancer la production à mi-rotation.

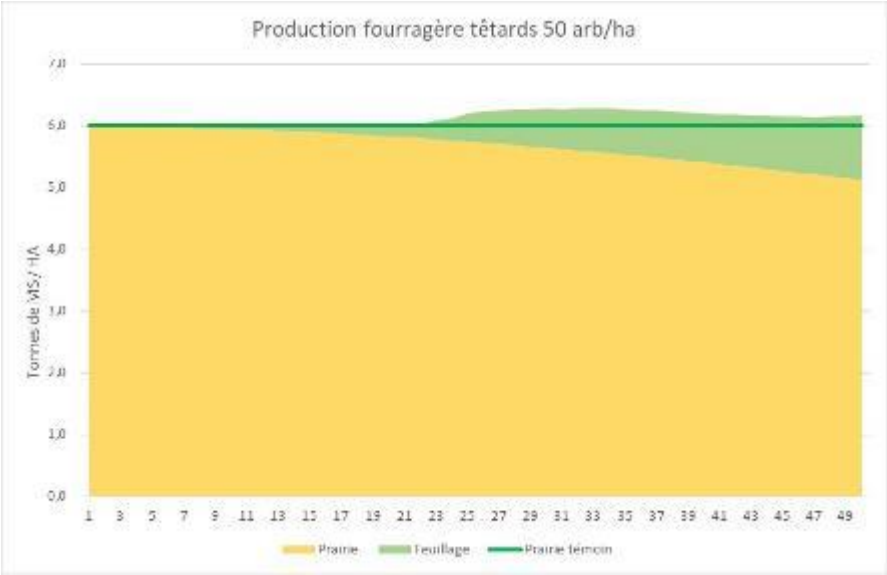

Figure 98 – Comparaison de la production fourragère annuelle d'une parcelle à 50 arbres par ha (Tonnes de MS / ha feuilles + prairie), entre un peuplement simplement élagué et un autre étêté.

Avec 50 arbres/ha, la productivité par arbre est plus importante. Dans notre scénario, nous avons considéré qu'un arbre dans ces conditions peut produire environ 20 % de plus qu'à 100 arbres/ha. Cette hypothèse est prudente sachant que dans la réalité, certaines parcelles expérimentales on a montré des résultats jusqu'à 3 fois plus importants en agroforesterie qu'en boisement forestier (Gavaland *et al.*, 2005).

Sachant que l'impact sur la production prairie est assez faible, cette production supplémentaire permet à l'aménagement agroforestier de produire davantage de MS à partir du milieu de la rotation.

A l'échelle d'une exploitation, on peut donc imaginer une mosaïque d'aménagements à pâturer selon les périodes, entre prairie pure et prairies arborées à différentes densités. Chaque aménagement aura ses objectifs selon la saison et le climat de l'année, éventuellement selon le type d'animal (lactation, repos, agneaux). Une majorité de parcelles à faible densité sera favorisée pour maintenir une ressource au moins équivalente à la situation d'origine (voir propositions d'aménagement dans le paragraphe 10.4). L'inconvénient de plantation à faible densité est la quasi-impossibilité de pratiquer une éclaircie sélective. Il est vraisemblable que la qualité en bois d'œuvre sera de moins bonne qualité.

10.3.3.2. Production de plaquettes pour substitution partielle de la paille

Dans un système agroforestier, notamment à base d'arbres têtards, la production de plaquettes est un élément à prendre en compte. Sur le terrain, les agriculteurs étêtant les frênes valorisent souvent les refus (branches de trop gros diamètre), en bois déchiqueté, soit pour leurs besoins énergétiques, soit pour couvrir une partie de leurs besoins de paillage.

Lorsqu'on cherche à remplacer la paille par des copeaux de bois, le seuil de rentabilité tourne autour de 90 € la tonne de paille. A partir de ce prix, la production locale de plaquettes est intéressante pour l'agriculteur. En effet, le coût de production de la plaquette représente environ 80 € la tonne (Liagre, 2018). Ce qui correspond souvent au prix de la paille en été, en zone de montagne ou en Méditerranée.

Pour rappel (source CUMA) :

- 1 m3 = 250 kg de paille.
- 4 m3 = 1 tonne de paille.
- Consommation : 10 à 12 tonnes de paille pour 100 brebis – uniquement paillage litière. Ex 46 T pour 400 brebis.

Si l'on souhaite remplacer 30 % de paille, cela demande donc l'équivalent de 14 T de copeaux soit 48 m3 par an pour 30 % des besoins. Pour 60 % des besoins, ce chiffre est doublé et représente 96 m3.

Dans nos scénarios, nous avons calculé la production de copeaux à partir des résultats obtenus sur le terrain dans le projet PARASOL. En comparant les 2 densités, 50 et 100 arbres par ha, avec des arbres menés en têtard.

Nous avons calculé la quantité produite pour 15 ha d'agroforesterie, dans 3 situations : 15 ha à 50 arbre/ha, 15ha à 100 arbre/ha et une situation mixte où on panache les 2 systèmes en donnant la priorité aux faibles densités (10 ha à 50 et 5 ha à 100 arbre/ha).

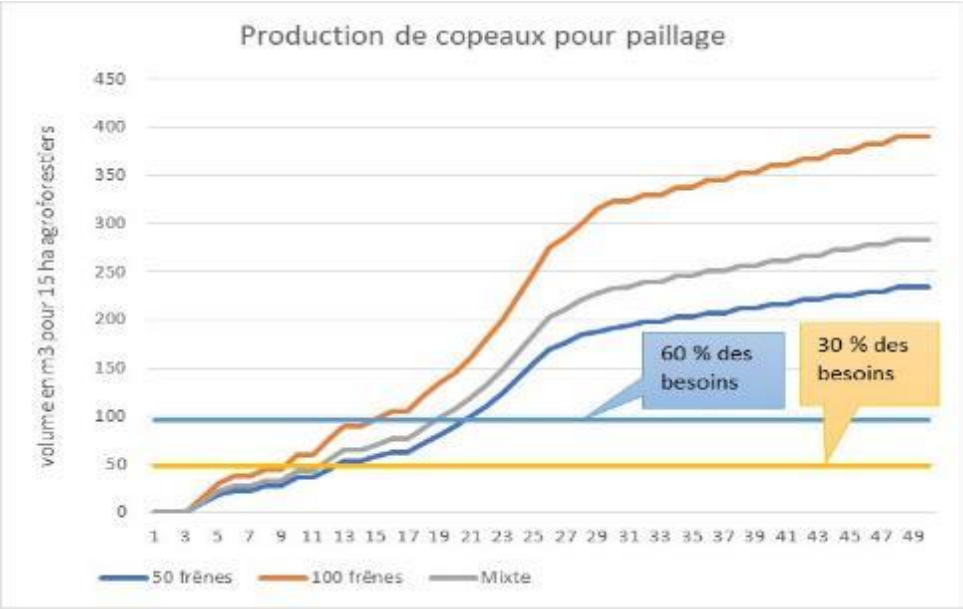

Figure 99 – Comparaison de la production de plaquettes issues du broyage des refus dans 3 scénarios de 15 ha avec différentes densités en fonction du nombre d'années après plantation.

En plantant les 15 hectares la même année, on arrive à subvenir à 30 % des besoins entre l'année 9 (densité 100) et 13 (densité 50). La différence entre les deux scénarios est donc faible. Pour parvenir à 60 % des besoins, il faut attendre 20 ans à faible densité contre 15 ans à plus forte densité.

Dans ces calculs purement théoriques, on ne tient pas compte de la réalité des exploitations d'élevage qui ont souvent des haies adultes à exploiter le temps d'arriver à une production satisfaisante dans les nouvelles plantations. Un linéaire de 1,5 km pourrait suffire pour subvenir aux besoins le temps que les plantations intraparcellaires prennent le relais.

Ce qui est notable dans chacun des scénarios, c'est l'augmentation rapide de la productivité des arbres à partir de la deuxième moitié de la rotation. Cela correspond à la prise de volume des houppiers, induisant du même coup un début de compétition pour l'ensoleillement décrites précédemment. Selon le schéma de plantation, une quinzaine d'hectares permet ainsi une production de 200 à 400 m3 par an. Si l'on soustrait 100 m3 pour la litière, l'excédent est donc de 100 à 300 m3.

Plusieurs scénarios sont possibles : participer aux besoins énergétiques des bâtiments, ou revente à l'extérieur. Généralement les exploitations d'élevage ont des besoins énergétiques entre 75 et 125 m3 selon leur position géographique et le dimensionnement des installations (laiterie, fromagerie, bergerie, maison). Le scénario mixte permet donc une autonomie en termes de paillage litière et besoins énergétiques. Le scénario à forte densité, permet une revente à l'extérieur de près de 200 m3, soit une recette entre 3 000 et 4 000 € par an. Cette vente permet l'achat du fourrage déficitaire de ce scénario (estimée à 5 tonnes de foin / an dans la deuxième partie de la rotation ; ce qui représente un achat externe de 500 à 1000 euros par an selon la date d'achat et le contexte climatique) et compense une partie du coût de déchiquetage des plaquettes compris entre 5 et 10 € par tonne (projet ARBELE).

Dans tous les cas, la valorisation de la biomasse en plaquettes pourrait compenser le temps passé à l'exploitation des houppiers, ce qui en fait une économie intéressante si l'on devait calculer une marge brute liée à l'exploitation des branches pour l'alimentation. Le coût de l'alimentation feuilles devient alors inférieur à celui d'un foin conventionnel.

10.4. Etude du bilan carbone : Etude du cas de la parcelle de Lamartine

10.4.1. Objectif

Appréhender le bilan carbone des parcelles agroforestières sur prairie permanente.

10.4.2. Méthode

Le bilan carbone de la parcelle de Lamartine a été calculée sous 2 aspects : la séquestration carbone additionnelle dans le sol, avec des résultats provenant essentiellement du projet AGRIPSOL, et le bilan carbone de substitution lié à la production d'une biomasse biosourcée (bois d'œuvre, bois plaquette et litière). Aucun calcul n'a été fait sur les bilans carbone liés aux animaux ou à la productivité de la prairie.

10.4.1. Résultats

Bois énergie

Le CO_2 émis par la combustion du bois est faiblement émetteur d'un point de vue bilan carbone du fait de la séquestration naturelle de l'arbre pour sa croissance. L'utilisation de la plaquette comme biomasse énergie permet de remplacer des énergies fossiles et diminuent les émissions de carbone.

En termes de correspondance, l'utilisation de 4 m3 (on parle de MAP : Mètre cube Apparent Plaquettes) de bois-énergie (1 tonne de MS de plaquettes environ) permet d'économiser 1 tep (Tonne équivalent Pétrole).

Dans l'exemple précédent, on avait 3 scénarios avec 3 densités d'arbres différentes à l'échelle des 15 ha. Le tableau suivant reprend la production mobilisable et les tonnes de CO_2 évitées. On compte 3 tCO_2 évitées en milieu résidentiel pour 2 tep bois énergie (Béral *et al.*, 2015).

Tableau 22 - Comparaison des tCO_2 évitées sur 15 ha d'agroforesterie et sur 50 ans, grâce à la valorisation du bois déchiqueté, dans 3 scénarios différents selon les densités de peuplements d'arbres.

Scénario sur 15 ha sur 50 ans	Densité 50	Densité 100	Mixte
Nombre d'arbres	750	1500	1000
Production MAP totale sur 50 ans	6633	10998	8007
Production MAP hors litière 30%	4233	8598	5607
tCO_2 évitées TOTAL	2494	4134	3010
tCO_2 évitées total hors litière 30%	1591	3232	2108

Avec une densité de 100 arbres/ha, on évite plus de 4.2 tCO_2 par ha et par an en moyenne sur 50 ans (litière déduite à hauteur des 30 % de paille remplacés). Il est logiquement deux fois moindre pour 50 arbres à l'hectare (2.1 tCO_2/ha/an).

Bois matériaux

Le bois d'œuvre se substitue à d'autres matériaux plus coûteux en énergie (béton, acier, produits de synthèse). Le bois d'œuvre qui sera produit en agroforesterie est susceptible d'être valorisé localement (scierie locale, auto-construction).

Comme pour le bois énergie, son utilisation peut permettre de diminuer les émissions de CO_2. Ainsi, à performances égales, 1m3 de bois fait ainsi économiser environ 0,8 tonne de CO_2 en construction (sources FCBA).

Si l'on reprend la simulation précédente, en estimant la production de bois d'œuvre, on peut en déduire les économies d'émission de CO_2. On ne prend pas en compte la possible valorisation de la tête des

troncs (étêtée régulièrement) et valorisable en marqueterie car ne remplaçant pas un matériau non ligneux. La production prend en compte l'effet densité sur le volume produit (à faible densité, on observe des diamètres de tronc plus importants à âge égal).

Tableau 23 - Comparaison des tCO2 évitées sur 15 ha d'agroforesterie et sur 50 ans grâce à la valorisation du bois d'œuvre, dans 3 scénarios différents selon les densités de peuplements d'arbres.

Scénario sur 15 ha sur 50 ans	Densité 50	Densité 100	Mixte
Nombre d'arbres	750	1500	1000
Production Bois Œuvre m3/15ha	33	60	42
tCO_2 évitées TOTAL	26.4	48	33.6

En moyenne, une parcelle à 100 arbres têtards par hectare permet d'éviter 3.2 tCO_2/ha, soit 64 kg de CO_2/ha/an (1.8 tCO_2/ha pour 50 arbres têtards soit 35 kg de CO_2/ha/an).

10.4.2. Conclusion

Dans le projet AGRIPSOL, le carbone séquestré par les arbres a été évalué à environ 1tC/ha/an (Cardinael, 2016). Si on l'on ajoute le carbone de substitution, un système agroforestier de 15 ha compense l'intégralité des émissions carbones d'une exploitation d'élevage (sur la base de 15kg équivalent CO_2 par kg de viande ovine) (IDELE, 2014).

10.5. Néo-systèmes sylvopastoraux et pistes de scénarios à tester

10.5.1. Objectif

La caractérisation de la valeur des ressources fourragères arborées calculée dans la tâche 3 nous permet d'envisager des scénarios agroforestiers innovants où les peuplements d'arbres permettent de produire une ressource fourragère aérienne et d'améliorer les performances animales. On propose ici des scénarios d'aménagement originaux à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation pour favoriser la production herbe et arbre, et améliorer le comportement animal. L'arbre prend ici une valeur agronomique avant toute considération forestière.

Figure 100 - L'aménagement de Theix (à gauche) ou le projet de Gert de Ridder dans l'Aude (à droite) (crédit photo : AGROOF SCOP
Les aménagements ont en commun d'avoir été conçu essentiellement dans une vision très forestière. Les projets ont été plantés à des densités assez élevées, sans aménagement à orientation fourragère ou de production de litière : on visait en premier lieu une production de bois d'œuvre et les animaux entretenaient l'espace à moindre frais. La recherche du bien-être animal via l'ombrage des arbres était toutefois un objectif pour le projet de Gert de Ridder.

10.5.2. Matériels et méthodes

A Lusignan, des scénarios ont été coconstruits avec les éleveurs, des techniciens et les partenaires du projet pour imaginer des aménagements particuliers, permettant de créer une exploitation plus résiliente aux effets du changement climatique. De son côté, AGROOF a accompagné des éleveurs porteurs de projets dans le cadre de formations et à l'aide des résultats de PARASOL, des scénarios ont également été imaginés avec ces partenaires.

10.5.2.1. Le projet OASYS – INRA Lusignan

A Lusignan, pendant la durée du projet PARASOL, 9 nouvelles parcelles agroforestières ont été mises en place.

- 3 parcelles ont donné lieu à des essais variétaux : une parcelle de frênes Vauchiron, une collection d'ormes résistants en collaboration avec l'ISRTEA et une collection de saules.
- Un bois a été éclairci pour permettre le repos des génisses et vaches taries.
- Un bosquet a été planté en 2017 avec des fruitiers (pommiers) et des arbres fourragers fruits (différents types de chênes). 5 types de protection sont testés.
- Une parcelle a été mise en place dans une démarche participative (cf. ci-après).
- 3 parcelles ont été plantées avec des lianes (vigne, kiwi, houblon, chèvrefeuille…). Ces lianes sont soit plantées en mode table fourragère, directement accessibles aux animaux pâturant, ou en mode pergola, en appui sur des structures pérennes ou sur des arbres haute tige.

Figure 101 - Dans la parcelle M7, un bosquet a été installé. Des protections de types ursus avec piquets bas ou haut, avec gaine métallique ou de type cactus (bas ou haut) sont testés (crédit photo : AGROOF SCOP)
Le thème de la protection est un enjeu majeur pour ce type d'aménagement localisé. Le coût est élevé mais l'assurance est de 100% contre les dégâts des animaux.

Figure 102 - Vue sur les pergolas de vignes du projet de Lusignan (crédit photo : AGROOF SCOP)
Les pergolas sont protégées par un fil électrique, suffisamment haut pour que les vaches puissent entretenir le pied des vignes, sans atteindre les vignes elles-mêmes, qui seront pâturées dans 2 ou 3 ans.

Zoom sur la parcelle collaborative.

La parcelle agroforestière G14 (3 ha) a été conçue de manière collaborative avec des agriculteurs, des chercheurs, des ingénieurs d'instituts techniques dont l'IDELE, et des conseillers, au sein d'un système laitier innovant développé par l'INRA. Deux réunions de concertations ont eu lieu en 2014.

Les arbres, plantés en février 2015 et en mars 2018, ont pour vocation à être pâturés par le troupeau laitier, sous forme de têtards (mûrier blanc, aulne de Corse) ou de taillis (saule marsault, orme champêtre, robinier, aulne blanc ainsi que les lianes récemment plantées). Des arbres de haut jet (poirier, févier, cormier) ont été plantés en mélange avec ces têtards et taillis, afin de diversifier les productions. Les lianes ont été plantées 3 ans après les arbres pour que ces derniers servent de tuteurs. L'objectif du pâturage direct vise à limiter les coûts d'étêtage mécanique des arbres. Le but du jeu est alors de bien protéger les arbres et de calculer la période et le temps de mise à disposition des arbres pour ne pas entraver leur croissance et pénaliser leur développement futur.

T1	M			P			M			M			M			F			A			A			A			A
	s	s	s	o	o	o	r	r	r	b	b	b	s	o	r	b	s	s	s	o	o	o	r	r	r	b	b	b
	s	s	s	o	o	o	r	r	r	b	b	b	s	o	r	b	s	s	s	o	o	o	r	r	r	b	b	b
	M			M			M			M			M			A			A			A			A			A
		tables fourragères									tables fourragères								tables fourragères									
		tables fourragères									tables fourragères								tables fourragères									
	M			M			M			C			M			A			A			P			A			A

Figure 103 - Les arbres en rouge sont des hauts jets, les verts seront menés en têtard. Entre les lignes, l'INRA a planté des arbres et arbustes qui seront recépés au ras du sol et qui seront pâturés directement. Des lianes complètent le dispositif, plantées près des arbres, sur le grillage de la parcelle ou directement en mode intercalaire.

L'organisation spatiale des arbres a été étudiée avec des bandes de 2 à 10 m de large comportant des lignes simples, doubles ou triples. La protection des jeunes arbres contre le bétail est assurée selon huit modalités : des lignes électriques simples ou doubles, du ruban électrifié, du grillage métallique ou plastique, des répulsifs olfactifs, de la rubalise ou encore l'absence de bétail pendant les 5 premières années d'installation.

Figure 104 - Vue de la parcelle G14 de l'INRA de Lusignan avec les lignes d'arbres et les plantations récentes de lianes au centre. Le bloc est protégé de fil électrique, et sera ouvert pour une durée courte aux animaux, avec une fréquence à déterminer entre l'été et l'automne (crédit photo : AGROOF SCOP)

Les objectifs de recherche sont d'étudier la faisabilité du pâturage direct, l'adaptation des arbres à ces traitements qui peuvent être traumatisant, et d'évaluer la productivité globale du système ainsi que ses performances zootechniques.

10.5.2.2. Quels projets pour demain ?

Trois sessions de formation avec des éleveurs et des techniciens (notamment via le réseau sur le thème du « Pâturage Tournant Dynamique ») ont été organisées par AGROOF, dans 3 régions distinctes (Lorraine, Pays Basques et Centre Val de Loire). A partir des aménagements de Lusignan et des perspectives offertes par le projet PARASOL, nous avons imaginé avec les éleveurs des exploitations agroforestières, visant une meilleure résilience vis-à-vis du changement climatique et offrant des performances zootechniques améliorées (plus de production fourragère, notamment grâce à la production aérienne des arbres, une meilleure qualité de prairie et des animaux souffrant moins de stress thermique.

Les sessions se sont déroulées sur un même principe :

- Présentation des principes généraux de l'agroforesterie (cohabitation arbre/culture/animal avec phénomène de compétition et facilitation) ;
- Présentation des résultats de PARASOL (impact des arbres sur la productivité herbacée, les performances animales et la production de biomasse arbre).

- Réflexion sur les projets des exploitants et des modalités possibles de comparaison en termes d'innovation technique.

Une approche parcelle a permis d'évaluer les scénarios selon la densité d'arbres, et une approche exploitation a permis de prendre en compte les aléas bioclimatiques et les pratiques de gestion des éleveurs : l'idée étant de tester différentes formes d'aménagement correspondant à des saisons spécifiques et des climats changeants.

L'hypothèse principale réside dans le fait qu'on aura un effet dépressif des arbres avec le temps sur la prairie, avec une perte de rendement progressif. Lorsque les arbres seront exploités (pâturage direct ou étêtage), on tient compte du fait de la variation d'ensoleillement et donc de rendement tel qu'observé dans les sites expérimentaux réels.

Cependant, on tient compte de la possibilité de produire une ressource fourragère grâce aux houppiers des arbres devient une base de l'aménagement. Comme nous l'avons vu, à ce stade de nos connaissances, il est difficile de prédire avec exactitude quel serait l'itinéraire technique le plus adapté pour imaginer une production stable et suffisante provenant des feuillages. Les scénarios retenus sont :

- Une production fourragère arborée directement prélevée par les animaux, à 2 dates différentes (été et automne). Les arbres sont menés sous forme de têtards de moins d'un mètre de hauteur et le prélèvement se ferait tous les ans, car le prélèvement par les animaux serait partiel (la moitié du feuillage). Une variante serait de réaliser un plessage (action de plier les tiges à l'horizontale pour permettre une production verticale de branches tout le long du tronc). Des arbustes fourragers peuvent compléter la ration en plantes intercalées entre les arbres.
- Une production fourragère par étêtage mécanique des arbres pour deux dates (été et automne), avec des prélèvements d'arbres échelonnés. Pour les frênes, la production se ferait tous les 2 ans. Sur la parcelle, cela revient à exploiter qu'un arbre sur deux chaque année. Les arbres sont menés en têtard à 2 m de hauteur. Il n'y a pas de production intercalaire sauf en démarrage de parcelle, car ensuite, une fois les arbres ayant atteint un âge adulte, on supprime les protections.
- Des tables de productions peuvent compléter les aménagements. On peut imaginer des bandes d'arbres et arbustes recépés à 30 cm de hauteur tous les ans pour produire une ressource accessible aux animaux. Néanmoins, cette solution présente le désavantage de substituer une surface prairie par une surface fourragère pure, peu associée à une ressource herbacée. L'avantage est l'aspect pérenne du dispositif et faiblement demandeur en intrants, avec une ressource disponible en été / automne. On peut toutefois imaginer des systèmes de ce type, un peu plus hauts et de faible largeur, délimitant des espaces de pâturage pour les ruminants (prairies permanentes ou temporaires).
- Enfin des taillis linéaires peuvent également être imaginés pour travailler à la fois sur une ressource biomasse plaquettes et une ressource fourragère pâturée après récolte. Ce fourrage peut être coupé et disposé au sol, ou déchiqueté et ensilé tel quel.

Source: Sophie Vandermeulen

Source: Agforward

Source: willowbrookorganic.co.uk

Figure 105 - Les 3 méthodes de valorisation du fourrage arboré : par prélèvement direct, par récolte des rameaux pour distribution directe à la prairie ou à l'auge, ou par broyage et ensilage direct (une variante serait un stockage par séchage préalable, voire sous forme de granulé).

Figure 106 - Trois aménagements type visant une production de fourrage feuilles et de plaquettes.
Le premier exemple est un taillis linéaire, qui produit la biomasse plaquette la plus importante. Il peut être associé à une culture céréalière pour un meilleur contrôle de la production (sans risque de dégradation animales). Un pâturage direct est envisageable sous condition d'une protection électrique. Dans le deuxième cas, on associe taillis et arbres de haut jet. L'objectif ici est de favoriser un climat favorable à la prairie ou aux animaux (avec une densité de 30 à 40 arbres de haut jet par hectare). Entre les arbres, on installe un taillis exploité pour son fourrage et ses plaquettes. L'intervention mécanique est plus difficile que dans le cas précédent. Il faut prévoir des distances d'au moins 20 m entre les arbres de haut jet. Enfin dans le troisième cas, on crée un système comme à la Vigérale, mais on intervient chaque année, en alternance sur les arbres (fréquence d'intervention entre 2 et 5 ans selon les essences plantées et leur vigueur). En espaçant les interventions, on favorise la production de branche de plus gros diamètre et donc la production de plaquettes. Dans ce dernier exemple, la prairie ou la culture souffre moins de la compétition que dans les 2 autres cas.

Figure 107 - Les protections ont largement évolué depuis une dizaine d'années (crédit photo : AGROOF SCOP)
La généralisation de l'utilisation du fil électrique permet d'imaginer des protections efficaces et adaptées au pâturage des animaux. Les lignes d'arbres peuvent être entourées de fil en continu (à droite) ou croisée (à gauche). Le croisement des fils permet un pâturage au ras des arbres de manière plus optimale.

Figure 108 - Le plessage est une méthode ancienne de clôture vivante (crédit photo : AGROOF SCOP)
Cette technique consiste à sectionner partiellement les tiges verticales d'une haie et de les plier, les tresser avec les branches voisines, soit en biais, soit à l'horizontale, sur plusieurs niveaux. Les années suivant le plessage, les branches repartent à la verticale le long de la tige plessée. Un plessage moderne consisterait à planter des arbres fourragers tous les 2 à 3 m et de les plesser 3 à 5 ans après la plantation. Cette palissade naturelle permet de produire une biomasse fourragère accessible directement aux animaux ou exploitable en bois déchiqueté (photo de droite).

10.6. Pour plus d'informations : les délivrables de cette action

Pour l'heure aucun délivrable n'est disponible.

Un rapport complémentaire sera réalisé sur les détails de cette étude et sera disponible à l'automne 2018 sur le site internet du projet : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

Figure 109 - Nicolas Girardin (AGROOF) en tournage pour illustrer le protocole de la tâche 4 (crédit photo : AGROOF SCOP)

11. VALORISATION DU PROJET

Travail mené dans le cadre de la tâche 6 du projet PARASOL. Elle a été réalisée sous la responsabilité de Nicolas Girardin (AGROOF SCOP).

Auteurs : Nicolas Girardin (AGROOF SCOP) ; Camille Béral (AGROOF SCOP)

Contributeurs : Hélène LeGallic (AGROOF SCOP) et tous les partenaires du projet PARASOL, avec l'appui de Philippe Majot (PNR des Caps et Marais d'Opale) et Medhi Bounab (Chambre d'Agriculture de l'Ariège), pour l'organisation de journées d'échanges

11.1. Objectif de l'action

La valorisation du projet s'est bâtie autour de 3 questions clés :

- Comment intéresser des groupes de personnes composés d'éleveurs, de chercheurs et d'enseignants – aux sujets traités par PARASOL, et comment transmettre l'information ?
- Comment faire de cette information des outils de sensibilisation et de réflexion qui servent une pédagogie ?
- Comment faire pour que ces informations puissent continuer de diffuser une fois les financements du projet arrivés à terme ?

Les actions entreprises pour répondre à ces trois problématiques questionnent les démarches dites « participatives » d'une part et l'apport potentiel des technologies de l'information d'autre part.

11.2. Logo et charte graphique

L'identité graphique du projet élaborée aux premiers mois s'est construit autour des idées de protection / rayonnement / arbre et animal. Les traits de couleurs obliques et le choix des couleurs évoquent l'idée du rayonnement. L'apposition des couleurs font ressortir les éléments principaux : l'arbre et l'animal. L'ombre de l'arbre évoque l'effet protection.

Les couleurs sortent du cadre : l'étude des microclimats de systèmes agroforestiers en lien avec l'élevage offre un cadre d'étude très vaste. PARASOL n'entend pas tout étudier. PARASOL s'insère à l'intérieur d'un cadre précis, compris dans une problématique plus vaste.

Déclinaisons supports / couleurs en PRINT et WEB : Diaporama, Dossier, Bandeaux, Logo simple couleur et noir & blanc.

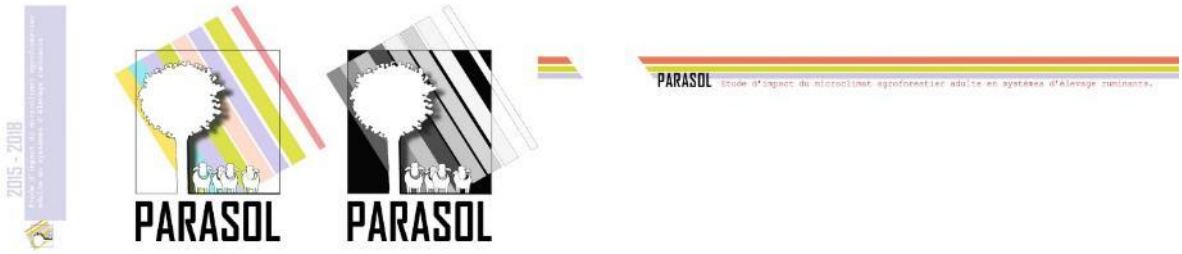

Figure 110 – Aperçus des différents éléments de charte graphique du projet PARASOL

11.3. Site Internet

Le site internet est la vitrine du projet. Il permet à un vaste public de s'informer ou de découvrir le projet dans toutes ses actions. Il permet de centraliser et diffuser tous les livrables : http://www.parasol.projet-agroforesterie.net/

L'originalité de ce site est sa construction. Il a été pensé sur une interface vidéo, adapté au smartphone. Cette contrainte imposée nous a conduit à orienter nos choix vers l'efficacité et l'épuration des contenus et de la navigation.

- Home centrale : le projet raconté dans sa durée par l'ensemble des acteurs pour les 6 tâches du projet.
- Home Bas : un menu qui renvoie directement sur l'ensemble du contenu par thématique : Dossier / PROJET / RAPPORTS / LIVRABLES / PUBLICATIONS / VIDEOS
- Home Haut : un menu qui renvoi sur les pages intérieures du site : Le projet / les partenaires / Enjeux et hypothèses / Objectifs et Actions / Résultats / Photos / Tutoriels vidéo / Connexions.

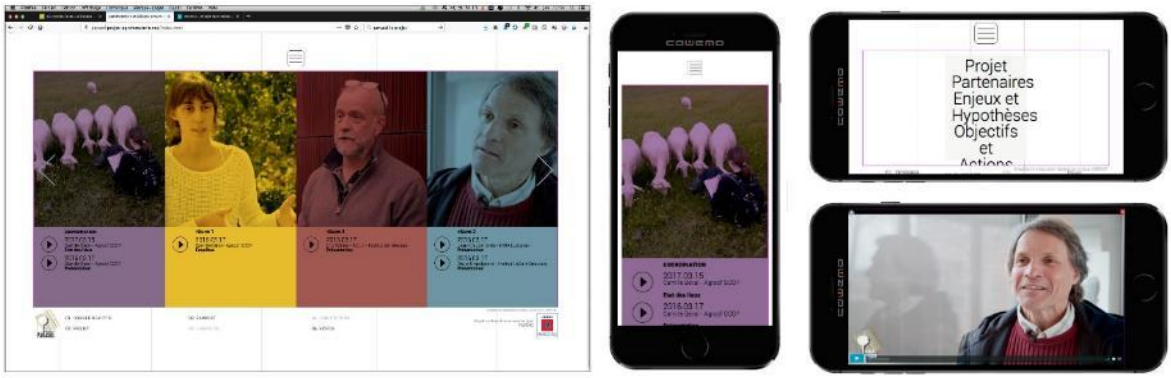

Figure 111 – Aperçus du site internet du projet depuis un ordinateur (gauche) et un smartphone (droite)

11.4. Supports pédagogiques

L'ensemble des chercheurs sont impliqués directement dans cette tâche et co-réalisent les documents.

11.4.1. L'idée : la dimension pédagogique d'un protocole

Le protocole expérimental reste un objet emblématique du travail de recherche. Il contribue à l'avancée des connaissances et à leur transmission et joue un rôle moteur dans la construction du sens et la créativité scientifique. Pourtant, le protocole est rarement considéré comme objet d'apprentissage. C'est la question à laquelle nous nous sommes attardés collectivement dans le projet.

Dans PARASOL, une partie des protocoles sont retranscrits au sein d'un document dématérialisé à 3 niveaux de lecture.

- Le premier, consiste en la description technique du protocole dans sa forme « classique » : « matériels et méthodes ».
- Le second, sous forme de vidéo, interroge la lecture du protocole au regard de la question scientifique et des hypothèses de travail. *Comment passe-t-on de la question scientifique aux hypothèses et aux protocoles, et quel compromis face aux contraintes techniques, matérielles et économiques ?*
- Le troisième niveau de lecture interroge les pistes d'amélioration et leurs conditions de mise en place.

11.4.2. Du document interactif et de l'utilisation de la vidéo

Le document interactif (e-book / PDF interactif) a ceci de pratique et qu'il est diffusable facilement. Il permet aussi de faire des ponts vers d'autres ressources qui viennent compléter et mettre en lien les différentes connaissances acquises. La vidéo quant à elle permet d'entendre ce qui serait laborieux à écrire. Elle permet de comprendre ce qui serait difficile à transcrire (les limites et le cadre d'application et de mise en place sur le terrain.). Elle amène la dimension terrain et humaine à la pensée théorique scientifique. A noter que dans un cadre de recherche participative, l'effort de pédagogie autour des protocoles et les tentatives de détournement d'outils technologiques pour faciliter la compréhension et la diffusion des protocoles apparaît comme un point important. PARASOL dans cette action entend y contribuer.

11.4.3. De la création d'une grille de réalisation

Elle s'est bâtie sur deux axes :

- Axe I/ rendre compte du chemin de pensée allant de la *question* au *protocole* (expliciter les choix, appréhender les limites et les compromis, la notion de « résultat » et ses interprétations, un ensemble de questions posées par le protocole en lui-même).

- Axe II/ rendre compte de manière synthétique de la mise en place technique et de l'analyse.

Dès 2016, une grille de réalisation pour chaque protocole a été conçue pour accompagner cette démarche collective. Les partenaires sont mis à contributions pour capter des étapes clés de leurs protocoles (son, photos, vidéo) et transmettre ces documents à la coordination.

Après discussions entre chercheurs et réalisateurs un planning et une écriture finale du document sont établis et 3 types d'accompagnements ont été identifiés :

1/ le projet de recherche dans sa durée.

Il s'agit principalement d'interviews des principaux responsables de tâches, réalisés pendant ou à l'issus des comités de pilotage. Ces vidéos ont pour but de communiquer sur le projet mais surtout de faire état de son déroulement. La dimension pédagogique réside ici dans la narration du travail au quotidien dans un projet de recherche, du rapport obligé entre le papier à la réalité, et des ajustements qui s'en suivent.

Ces vidéos sont diffusées sur la chaîne YouTube/VIMEO dédiée au projet et constituent la première interface vidéo du site internet : https://vimeo.com/channels/parasol

2/ : les protocoles « simples »

Les chercheurs sont ici sollicités pour apporter la quasi-totalité de la matière : écrits / photos / vidéos. Des interviews à portée générale sur le protocole ont été tournées pour chaque responsable de tâche (5 interviews – Protocole 1 : Productivité et composition floristique sous les arbres / Protocole 2 : caractérisation d'un microclimat / Protocole 3 : mesure de la digestibilité « in vivo » et « in vitro » / protocole 5 : L'échantillonnage de feuilles).

3/ : les protocoles « compliqués »

Deux protocoles ont été identifiés : le protocole « d'allométrie » et le protocole « d'étude du comportement animal ». Pour ces protocoles, nous avons mis à disposition d'une équipe de réalisation d'AGROOF, au service des chercheurs impliqués sur ces tâches. Le protocole « comportement » a été tourné en juin 2017. Le protocole « allométrie » a été tourné en mars 2018.

11.4.4. Les délivrables et leur diffusion

Nombre de projets de recherche donne lieu à des livrables de qualités qui pourraient servir de nombreux secteurs de la recherche et/ou de l'enseignement et ce, pendant plusieurs années. Ces données sont cependant souvent « perdues », car non référencées ou seulement diffusées sur des sites internet devenus obsolètes une fois le financement du projet arrivé à terme.

L'idée est de faire de ses ressources des documents consultables et téléchargeables dans la durée en jouant sur un meilleur référencement au sein d'un site internet dédié. La SCOP AGROOF dans le cadre de ses actions autour de la recherche participative travaille depuis plusieurs mois à cette jonction entre projets au sein d'une interface proche d'une bibliothèque virtuelle, regroupant un ensemble de ressources multiformats issues de projets de recherche en agroécologie, utilisables sous licence Creative Commons N°3.

Concrètement, la valise « pédagogique » est un outil informatique en ligne permettant aux internautes d'accéder par requêtes à une base de données de ressources multiformats issues de projets de recherche à financement publique. Plusieurs possibilités l'accompagnent :

- La possibilité pour les enseignants d'avoir accès à une connaissance directement issue de ces projets, tout en leur laissant la liberté de la forme de son utilisation.
- La possibilité de diffuser largement les résultats d'un projet, même après la fin de son financement.
- La possibilité de recouper et d'échanger des informations avec d'autres projets sur financement public, et de les rendre accessibles au plus grand nombre.

La bibliothèque sera effective au courant de l'année 2019- en lien avec le site internet du projet. Les vidéos sont disponibles sur le site du projet : http://parasol.projet-agroforesterie.net , sur la chaine VIMEO dédiée : https://vimeo.com/channels/parasol, et sur YOUTUBE par le biais d'une playlist consacrée au projet :

https://www.youtube.com/watch?v=v-n8CC3D7XI&list=PL90QJ8N9TL4AMXkscatbPVMpefE-EDrn-&index=1

Les documents pédagogiques sur les protocoles seront disponibles au 15/09/2018 et disponibles en libre téléchargement sur le site internet du projet et ultérieurement au sein de la bibliothèque de ressources.

11.5. Journées d'échanges

11.5.1. Journée d'échanges avec les éleveurs en lien avec le PNR Caps et Marais d'Opale

Le 25 février 2017 à Le Wast dans le Pas de Calais, le projet PARASOL a coorganisé avec le PNR des Caps et Marais d'Opale une journée d'échanges à destination des éleveurs de la région.

Cette journée d'échanges fût l'occasion de partager les objectifs, l'approche, les premiers résultats et les réflexions du projet.

- La matinée fut consacrée à des exposés des partenaires suivis d'échanges avec l'assemblée.
- L'après-midi était consacré à deux visites de fermes intégrant l'agroforesterie dans leurs fermes (M. Fouble et M. Leduc).

Les exposés de la matinée ont été enregistrés et sont disponibles avec les diaporamas sur la plateforme ci-dessous : https://vimeo.com/channels/parasol

11.5.2. Journée d'échanges avec les éleveurs d'Ariège organisée en partenariat avec le projet AGROSYL et CASDAR ARBELE

Le 4 avril 2018 à Mirepoix dans l'Ariège, le projet AGROSYL, coordonné par la Chambre d'Agriculture de l'Ariège, a organisé en partenariat avec les projets PARASOL et CASDAR ARBELE une journée d'échanges à destination des éleveurs de la région.

L'objectif était de lancer le projet AGROSYL, portant sur le sylvopastoralisme et l'agroforesterie, tout en s'appuyant sur les expériences déjà menées dans le cadre des projets ARBELE et PARASOL.

Des vidéos réalisées lors de ces journées sont disponibles aux liens ci-dessous :

https://www.youtube.com/watch?v=jN31YIpaH7U&index=1&list=PLE0eJZr0Bwoe0067xnsfoNZW-WOxxnkH2

https://www.youtube.com/watch?v=dSZKu7uqePs&list=PLE0eJZr0BwocXUPmagOU71gzIod7JQOk5&index=1

11.5.3. Journée d'échanges au Lycée du Pradel à Aubenas en partenariat avec le CASDAR ARBELE

Une autre journée d'échanges fût organisée en lien avec le projet CASDAR ARBELE, le 29 mars 2017 au Lycée Agricole du Pradel en Ardèche. Cette journée fut l'occasion d'échanger avec des professionnels de l'enseignement agricole et de discuter de nos protocoles et premiers résultats.

12. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES GENERALES

L'agroforesterie intraparcellaire en système d'élevage ovin possède un potentiel intéressant dans le cadre de l'adaptation de ces systèmes au changement climatique. A travers l'étude des interactions entre arbres / prairie / animaux, à l'échelle de la France métropolitaine, le projet PARASOL amène les premières références sur ce potentiel. Notre parti pris fût de se baser sur des parcelles agroforestières matures, issus du réseau INRA-IRSTEA. Ces projets avaient initialement été implantés il y a une vingtaine d'années sans logique d'intégration à l'échelle d'une l'exploitation. Il s'agissait d'un réseau de parcelles expérimentales à l'approche sylvicole. Notre choix a été motivé par notre objectif d'observer des interactions significatives entre les arbres, la prairie et les animaux, et en tirer des pistes de gestion. A notre connaissance aucun autre réseau de parcelles matures n'existait à travers la France.

Nos résultats montrent que les arbres sont en mesure de tamponner les excès climatiques, en diminuant la hausse des températures aux périodes les plus chaudes des journées estivales et en augmentant l'humidité relative. Ceci tendrait à expliquer le bien-être des animaux via la réduction du stress thermique, qui sur plusieurs parcelles à travers la France ont montré un comportement de recherche active de l'ombrage pour leur activité de rumination et de repos, malgré des réactivités aux insectes plus élevées en agroforesterie. Cela laisse supposer que le bénéfice lié à l'ombrage des arbres est plus important que la nuisance créée par l'activité accrue des insectes. Par ailleurs, les prairies agroforestières ne changent pas fondamentalement de composition botanique par rapport à des prairies témoin, mais subissent un retard phénologique d'autant plus important que la densité des arbres est élevée. De ce fait, malgré une baisse de productivité parfois importante à partir d'une certaine densité (environ 100 arbres/ha), ces surfaces semblent exprimer leur potentiel plus tardivement en saison, avec des plantes de meilleure valeur alimentaire. Cela s'expliquerait principalement par le décalage de phénologie, les plantes étant alors moins riches en lignocellulose. Par ailleurs, en cas de compétition trop importante entre les arbres et plantes prairiales, l'étêtage des arbres est apparu comme un levier d'intérêt pour l'éleveur lui permettant de limiter la compétition lumineuse et d'engager des productions secondaires comme le fourrage arboré, ou le bois déchiqueté à destination des litières animales ou du bois de chauffage, etc. Cette perspective technique est d'autant plus intéressante que les feuilles d'arbres se sont avérées d'excellentes ressources alimentaires. En été, lorsque le fourrage herbacé peut venir à manquer, la ressource foliaire des arbres offre des valeurs alimentaires a minima comparables aux meilleures espèces prairiale (ray grass) ou d'avenir (chicorée) et largement supérieures aux fourrages récoltés (foin). Le mûrier et le frêne sont les essences les plus intéressantes avec des niveaux d'ingestion et d'utilisation par les brebis élevés et majorés par rapport au foin. En parallèle, nos travaux ne permettent pas encore de conclure quant à l'impact de l'agroforesterie sur les performances zootechniques et sanitaires des animaux : les résultats de 2016 et 2017 offrant des conclusions parfois différentes. Si aucune différence ne peut clairement être mise en évidence, en 2016 (années sèche) il semblerait quand même que la reprise de poids des brebis après sevrage soit plus difficile dans les parcelles les plus densément arborées, en raison d'une faible disponibilité de l'herbe à cette période, ce qui a alors imposé une conduite spécifique de ces parcelles.

L'ensemble de ces résultats soulignent le potentiel intéressant des surfaces agroforestières à une période tardive, pouvant répondre aux besoins d'animaux à forte demande, à condition que les pratiques de conduite d'élevage et de mise au pâturage soient adaptées. Aux périodes estivales, l'herbe est de meilleure qualité et les faibles rendements pourraient être compensés par l'apport de ressources fourragères arborées, elles aussi d'une qualité très intéressante pour les animaux. Ces références ouvrent les premières réflexions sur des pratiques adaptées à l'agroforesterie, et mériterait d'être poursuivies. Tout d'abord, l'influence importante des années climatiques, soulignant l'importance de suivis pluriannuels. Ensuite, en jouant sur des modes de conduite spécifiques à des surfaces agroforestières plus ou moins densément arborées (date de mise au pâturage, sélection variétale, etc.) des résultats complémentaires pourraient obtenus, en tirant parti des spécificités des surfaces agroforestières.

En complément de ces interactions à l'échelle parcellaire, nous avons initié une étude prospective des performances des systèmes d'élevage intégrant l'agroforesterie. Notre réseau de parcelles ne permettait pas une étude fine à cette échelle, mais nous avons posé les bases d'études plus poussées à venir. Nos résultats mettent en avant la nécessité de penser les aménagements agroforestiers à l'échelle des exploitations en prenant en compte leurs besoins/contraintes, et en appréhendant les évolutions climatiques à venir. En effet, en raisonnant sur les surfaces nécessaires à des objectifs de production précis (quantité de fourrage arboré, calendrier de pâturage), l'agroforesterie a le potentiel

d'aider l'éleveur à piloter la disponibilité en quantité et qualité du fourrage, favoriser le bien-être des animaux et renforcer l'indépendance de son exploitation. Les bons compromis autour des choix de densités, d'entretien des arbres, et de répartition sur le parcellaire restent à trouver au cas par cas et nécessitent des études complémentaires à ce qui a été initié dans PARASOL. Il est également important de souligner que si le potentiel des surfaces agroforestières est intéressant, en situations climatiques limitantes, elles peuvent aussi nécessiter des modes de conduite spécifiques qu'il est important de préciser en termes de coût pour l'éleveur. Aujourd'hui, de jeunes systèmes agroforestiers pensés à l'échelle de l'exploitation existent et intègrent déjà une diversité d'aménagements agroforestiers destinés à répondre à des besoins et enjeux particuliers (production de bois litière, production fourragère arborée estivale, etc.). Le projet de l'INRA de Lusignan (OASYS) en est le parfait exemple, mais de nombreux éleveurs se sont également lancés dans ces réflexions et ces plantations. A l'avenir il sera intéressant que de nouvelles initiatives de recherche se penchent plus spécifiquement sur les performances des systèmes agroforestiers à l'échelle des exploitations. La prise en compte des spécificités propres à chacune, de leurs évolutions dans le temps face aux contraintes climatiques et économiques posera la question de la démarche de recherche, dont l'approche participative pourrait être une solution.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANDUEZA, D., GUITTARD, A., POURRAT, J., BERNARD, M., PICARD, F. 2018. Effect of tree density on the evolution of phenological stage of agroforestry permanent grasslands. Procedings of the ISNH congress, Clermont-Ferrand France (accepted)

AOAC 1990. Official methods of analysis, 15th edn. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists.

AUFRÈRE, J., DEMARQUILLY, C. 1989. Predicting organic matter digestibility of forage by two pepsin-cellulase methods. Proceedings of the 16th international grassland congress, Nice, France Vol. 2, pp. 877-878.

AUFRERE, J., BAUMONT, R., DELABY, L., PECCATTE, J. R., ANDRIEU, J., ANDRIEU, J. P., DULPHY, J. P. 2007. Laboratory prediction of forage digestibility by the pepsin-cellulase method. The renewed equations. Productions Animales, 20, 129-136.

BAILLY M-L., BROCHET A., DHOMME R., 2018. Mécanisation et exploitation des arbres agroforestiers, livrable produit par la FNCUMA du projet ARBELE financé par la mission DAR Ministère Agriculture.

BENAVIDES R, DOUGLAS GR & OSORO K. 2009. Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. Agroforest Syst. 76:327-350.

BERAL C., CHEVALLIER T., CARDINAEL R., CHENU C., LIAGRE F., GIRARDIN N., CLUZEAU D., HOEFFNER K., 2015. Rapport final AGRIPSOL. ADEME. 47 p.

BERNE T., 2016. Etude de l'impact des dispositifs agroforestiers sur le potentiel de production printanier des prairies en région Ouest et Nord de France. Rapport de stage. IDELE et ESA. 83 p.

BONNIER G, DE LAYENS. 1986. Flore complète portative de la France, de la Suisse et de la Belgique. Belin, Paris. 432p.

BORRELL, T., DUPRAZ, C. AND LIAGRE, F., 2005. Economics of silvoarable systems using the LER approach. Unpublished report. Montpellier, France: Institut National de la Recherche Agronomique. 37 pp.

CARDINAEL R., 2015. Stockage de carbone et dynamique des matières organiques des sols en agroforesterie sous climat méditerranéen et tempéré. Thèse de Doctorat de l'Université Paris-Saclay, 266 p.

COLSON F., ALMANDOZ I., STENGER A., 1996. La participation des agriculteurs à l'amélioration du paysage : résultat d'une enquête auprès d'agriculteurs en Loire-Atlantique. Courrier de l'environnement de l'INRA. Août 1996. N° 28, pp. 19-26.

DEREGIBUS VA, SANCHEZ RA, CASAL JJ. 1983. Effects of Light Quality on Tiller Production in Lolium spp. Plant. Physiol. 72:900-902.

DEVKOTA NR, KEMP P, HODGSON J, VALENTINE I, JAYA IKD. 2008. Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. Agroforestery Systemes. 76:363-374.

DUPRAZ C., AUCLAIR D. et GUITTON J.-L., 1992. Vingt ans de recherche agroforestière en Nouvelle-Zélande : Quels enseignements pour l'Europe ? 1ère partie : L'agroforesterie néo-zélandaise. Revue Forestière Française. Juin 1992. Vol. XLIV, pp. 523-538.

DUPRAZ C. LIAGRE F., 2008. Agroforesterie : des arbres et des cultures. France Agricole, Paris. 420p.

DUPRAZ ET AL., 2015. Rapport final projet européen SAFE, European Research contract QLK5-CT-2001-00560; 254 p.

EASON W.R., LAVENDER R., CLEMENTS R.O., DULLER C., GILL E., HISLOP M., [sans date]. Silvopastoral agroforestry in upland and lowland UK grassland: Tree growth and animal performance. pp2.

GAVALAND A., BURNEL L., 2005. Croissance et biomasse aérienne de noyers noirs en parcelle agroforestière ; Rapport du WP3 + annexes, Projet européen SAFE, 5 p.

GUEVARA-ESCOBAR A., KEMP P.D., HODGSON J., MACKAY A.D., EDWARDS W.R.N., 1997. Case study of a mature Populus deltoides–pasture system in a hill environment. Proceedings of the New Zealand Grassland Association. 59:179-185.

GUEVARA-ESCOBAR A., EDWARDS W.R.N., MORTON R.H., KEMP P.D., MACKAY A.D., 1998. Tree water use and rainfall partitioning in a mature poplar–pasture system. Tree Physiology. 20:97-106.

GUITTON J.-L., DUPRAZ C., DE MONTARD F.-X. et RAPEY H., 1993. Vingt ans de recherche agroforestière en Nouvelle-Zélande : Quels enseignements pour l'Europe ? 2ème partie : les pratiques agroforestières néo-zélandaises sont-elles transposables en France ? Revue Forestière Française. 1993. Vol. XLV, n° 1.

FINOCCHIARO R., VAN KAAM J.B.C.H.M., PORTOLANO B., MISZTAL I., 2005. Effect of Heat Stress on Production of Mediterranean Dairy Sheep. Journal of Dairy Science Vol. 88:1855-1864. 10p.

HAWKE M.F., 1991. Pasture production and animal performance under pine agroforestry in New Zealand. Forest Ecology and Management. Novembre 1991. Vol. 45, n° 1-4, pp. 109-118. DOI 10.1016/0378-1127(91)90210-

IDELE ET INTERVEB, 2014. Vademecum filiere Ovine, Sept 2014, 24 p.

INSTITUT NATIONAL POUR LA RECHERCHE AGRONOMIQUE & INSTITUT TECHNIQUE DES CEREALES ET DES FOURRAGES. 1975. Clé de détermination de quelques graminées au stade herbacé. Association de Coordination Technique Agricole, Paris. 2p.

JEANGROS B, AMAUDRUZ M. 2005. Dix ans d'observations sur la phénologie des prairies permanentes en Suisse romande. Revue Suisse Agricole. 37(5):201-209.

JOHNSON, H. D., A. C. RAGSDALE, I. L. BERRY, M. D. SHANKLIN, 1962. Effect of various temperature humidity combinations on milk production of Holstein cattle. Missouri Agric. Exp. Sta. Res. Bull. 791:1–39. Univ. of Missouri, Columbia, MO.

KALLENBACH RL, KERLEY MS, BISHOP-HURLEY GJ. 2006. Cumulative forage production, forage quality and livestock performance froman annual ryegrass and cereal rye mixture in a Pine–Walnut Silvopasture. Agroforestry Systems 66:43-53.

KAINKWA RMR, STIGTER CJ. 2000. Measuring wind gradients in agroforestry systems by shaded piche evaporimeters - I. Validation of the square-root dependence on wind speed. Int. Agrophysics. 14:279-289.

LECONTE D. Clé de détermination des principales graminées prairiales. Groupement National Interprofessionnel des semences et plants. 4p.

LIAGRE F., 2018. Les Haies Rurales, Ed. France Agricole, 2nde édition, 310 p.

LIN CH, MCGRAW RL, GEORGE MF, GARRETT HE. 1999. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. Agroforestry Systems. 44:109-119.

LIMBOURG P. Clé de détermination des principales graminées prairiales au stade végétatif. Fourrages Mieux. 5p.

LOWE, T. E., C. J. COOK, J. R. INGRAM, P. J. HARRIS. 2001. Impact of climate on thermal rhythm in pastoral sheep. Physiol. Behav. 74:659–664.

MARCUVITZ S & TURKINGTON R. 2000. Differential effects of light quality, provided by different grass neighbours, on the growth and morphology of Trifolium repens L. (white clover). Oecologia. 125:293-300.

METEOFRANCE, 2018. Bilans climatiques. http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/bilans-climatiques/bilan-2018.

MONTEITH J.L., ONG C.K., CORLETT J., 1991. Microclimatic interactions in agroforestry systems. Forest Ecology and Management. 45:31-44.

MOUNPORT D, GRUNER L et REBOUL G, 1990. Dynamique de l'infestation par des strongles gastro-intestinaux de garrigues pâturées par des ovins en région méditerranéenne. pp. 9.

MOUSTAKAS A, KUNIN E, CAMERON C, SANKARAN M. 2013. Facilitation or competition? Tree effects on grass biomass across a precipitation gradient. PLoS ONE 8(2).

MOORE, K. J., MOSER, L. E., VOGEL, K. P., WALLER, S. S., JOHNSON, B. E., PEDERSEN. J. F. 1991. Describing and Quantifying Growth Stages of Perennial Forage Grasses. Agron. J. 83:1073-1077. doi:10.2134/agronj1991.00021962008300060027x

PALMA JHN, OLIVEIRA TS, CROUS-DURAN J, PAULO JA. 2016. Using Yield-SAFE model to assess hypothetical eucalyptus silvopastoral systems in Portugal in 3rd European Agroforestry Conference Book of Abstracts. Gosme M et al. (eds.). European Agroforestry Federation, Montpellier, p:348-351.

PERI P.L., LUCAS R.J., MOOT D.J., 2007. Dry matter production, morphology and nutritive value of Dactylis glomerata growing under different light regimes. Agroforest Syst 70:63-79.

RAMEAU JC, MANSION D, DUME G, GAUBERVILLE G, BARDAT J, BRUNO E, KELLER R. 2008. Flore forestière française, guide écologique illustré. Institut pour le Développement Forestier, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Direction de la forêt et des affaires rurales, AgroParisTech-ENGREF & Inventaire forestier national (eds.), Paris. 2434p.

RAYNAUD J.-P., WILLIAM G. et BRUNAULT G., 1970. Etude de l'efficacité d'une technique de coproscopie quantitative pour le diagnostic de routine et le contrôle des infestations parasitaires des bovins, ovins, équins et porcins. Annales de Parasitologie Humaine et Comparée. 1970. Vol. 45, n° 3, pp. 321-342. DOI 10.1051/parasite/1970453321.

ROTH PL, MITCHELL RJ. 1982. Effect of selected cover crops on the growth of black walnut in Black Walnut for the Future. North Central Forest Experiment Station. p110-113.

RUGET F, CLASTRE P, SOUVERAIN F, LACROIX B, LORGEOU J, 2012. Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. II. Exemples de quelques systèmes d'élevage. 2012. pp. 10.

SIBBALD A. 2006. Silvopastural Agroforestry a Land Use for the Future. Scottish Forestry. 60(1).

SILANIKOVE N., 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. Livestock Production Science. 67: 1-18. 18p.

SILVA-PANDO FL, GONZALEZ-HERMANDEZ MP, ROZADOS-LORENZO MJ. 2002. Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain. Agroforestry Systems 56:231-211.

SRIKANDAKUMAR, A., E. H. JOHNSON, O. MAHGOUB. 2003. Effect of heat stress on respiratory rate, rectal temperature, and blood chemistry inOmani and Australian Merino sheep. Small Rumin. Res. 49:193–198.

STIGTER CJ, MOHAMMED AE, NASR AL-AMIN NK, ONYEWOTU LOZ, OTENG'I SBB, KAINKWA RMR. 2002. Agroforestry solutions to soma African wind problems. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 90:1101-1114.

SCHUTZ K.E., COX N.R., MATTHEWS L.R., 2008. How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. Applied Animal Behaviour Science. 114: 307-318.

STREETER D, HART-DAVIS C, HARDCASTLE A, COLE F, HARPER L. 2011. Guide Delachaux des fleurs de France et d'Europe. Delachaux et Niestlé, Paris. 706p.

THOM E.C., 1959. The Discomfort Index. Weatherwise, 12:2, 57-61.

VAN LAER E., MOONS H.P., SONCK B., TUYTTENS F.A.M., 2014. Importance of outdoor shelter for cattle in temperate climates . Livestock Science. 159: 87-101.

VAN SOEST, P.J., ROBERTSON J.B., LEWIS B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science, 74, 3583–3597

WEST J. W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. Journal of Dairy Science. 86, 2131–2144.

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableaux [i]

Tableau 1 – Parcelles composant le réseau employé dans le cadre du projet PARASOL (OV = Ovin Viande ; OL = Ovin Lait ; BL = Bovin Lait ; PP = Prairie Permanente) 21

Tableau 2 - Surfaces des parcelles et proportions couvertes par les houppiers 24

Tableau 3 – Pourcentage d'ouverture de canopée moyen en fonction des modalités sur les sites suivis dans le cadre de PARASOL (sd = écart type) 29

Tableau 4 – Températures estivales moyennes en 2016 à différentes périodes de la journée sur l'ensemble des sites équipés de sondes Voltcraft © (crédit : AGROOF SCOP).....32

Tableau 5 – Somme du nombre de jours pour lesquels la valeur du THI dépasse 72 (seuil de stress thermique). 34

Tableau 6 – Principales caractéristiques des parcelles étudiées dans le cadre de la tâche 2 du projet PARASOL 45

Tableau 7 - Coefficients de Braun Blanquet et ses traductions [Braun-Blanquet et al., 1952 ; Baudière & Serve, 1975].....48

Tableau 8 – Echelles de notation des stades de développement phénologique pour les graminées, légumineuses et dicotylédones (Source : Jeangros et Arnaudruz, 2005).....48

Tableau 9 – Sites et populations parcellaires étudiés au sein de la tâche 3.1 du projet PARASOL.....62

Tableau 10 – Présentation synthétique des 24 traitements de cette étude 73

Tableau 11 - Composition biochimique et digestibilité des feuilles de 3 espèces d'arbres selon la date de récolte et le mode d'exploitation 77

Tableau 12 - Composition biochimique, digestibilité et teneur en minéraux des feuilles de 3 espèces d'arbres (projet Parasol) en été (août) selon le mode d'exploitation.....77

Tableau 13 - Effets de l'espèce, de la date de récolte et du mode d'exploitation sur la composition biochimique et la digestibilité des feuilles de 3 espèces d'arbres.....78

Tableau 14 – Composition chimique et valeur nutritive des fourrages durant la période de digestibilité 80

Tableau 15 – Caractérisation des sites et jours d'observations comportementales 86

Tableau 16 - Evolution de la valeur alimentaire de la biomasse herbacée entre 2016 et 2017.....97

Tableau 17 - Evolution de la valeur alimentaire de la biomasse herbacée entre 2016 et 2017.....106

Tableau 18 - Evolution de la valeur alimentaire prédite des fourrages verts herbacés. 107

Tableau 19 - Evolution de la valeur alimentaire prédite des fourrages verts herbacés. 112

Tableau 20 - Evolution de la valeur alimentaire prédite des fourrages verts herbacés. 113

Tableau 21 – Caractéristiques morphologiques prédites moyenne des frênes de la Vigérale à partir du logigramme allométrique (n=19).....115

Tableau 22 - Comparaison des tCO_2 évitées sur 15 ha d'agroforesterie et sur 50 ans, grâce à la valorisation du bois déchiqueté, dans 3 scénarios différents selon les densités de peuplements d'arbres. 125

Tableau 23 - Comparaison des tCO2 évitées sur 15 ha d'agroforesterie et sur 50 ans grâce à la valorisation du bois d'œuvre, dans 3 scénarios différents selon les densités de peuplements d'arbres. 126

Figures[i]

Figure 1- Diagramme des différentes tâches du projet PARASOL – la tâche 6 sur la « communication » ainsi que l'étude complémentaire sur le microclimat ne sont pas représentées. 12

Figure 2 – Merisiers de la parcelle de Lamartine à Saint Genès Champanelle, Puy de Dôme (crédit photo : AGROOF SCOP).....13

Figure 3- Carte des localisations des entretiens réalisés dans le cadre de l'étude 14

Figure 4 - brebis Texel sous un pré-verger de pommiers haute-tige en Normandie (crédit photo : M. THIERY) 15

Figure 5 – Nombre d'occurrences des principales motivations des agriculteurs pratiquant le pré-verger (Thiery, 2015). 16

Figure 6 – Photographies de deux parcelles dans le Pas de Calais (Gauche) et dans l'Aude (Droite) (crédit photo : AGROOF SCOP).....18

Figure 7 - Réseau de sites collaborant dans le cadre du projet PARASOL (© Google Earth).....20

Figure 8 – Photographie d'une parcelle de Lamartine à l'INRA de Theix, Saint Genès Champanelle, Puy de Dôme (crédit photo : AGROOF SCOP) 23

Figure 9 – Vue aérienne du site de Lamartine (Saint Genès Champanelle, Puy de Dôme) ; en rouge la parcelle de merisiers et d'érables à 60 tiges/ha, en vert la parcelle de merisiers à 150 tiges/ha, en bleu la parcelle témoin adjacente (crédit photo : Google Earth).....24

Figure 10 – Enregistreurs température/humidité Voltcraft © placés sous son abri (crédit photo : AGROOF SCOP) 25

Figure 11 – Exemple de deux photos hémisphériques réalisées sur la parcelle de La Vigérale à l'INRA de Theix, avant (deux photos de gauche) et après (deux photos de droite) traitement sous CANEYE ©INRA (crédit photo : AGROOF SCOP). 27

Figure 12 – Schéma pour comprendre l'extrapolation des rendements à l'échelle parcellaire. 28

Figure 13 – Photos hémisphériques traitées sur le site de Loré, avec, de gauche à droite (1m de l'arbre, d/4 et d/2) (crédit : AGROOF SCOP) 30

Figure 14 – Températures journalières moyennes par saison, sur deux années, sur le site de Bonnefont (rouge = AF -1m ; vert = AF - d/2 ; bleu = Témoin) 30

Figure 15 – Humidité relative moyenne par saison, sur deux années, sur le site de Bonnefont (rouge = AF -1m ; vert = AF - d/2 ; bleu = Témoin) 31

Figure 16 – THI journalier calculé sur le site de Bonnefont en 2016 sur une partie de la période estivale : 20 juin au 17 juillet 2016 (pointillés verts = stress léger ; pointillés bleus = stress modéré ; pointillés rouges = stress marqué) 33

Figure 17 – THI journalier calculé sur le site de Bonnefont en 2017 sur toute la période estivale (pointillés verts = stress léger ; pointillés bleus = stress modéré ; pointillés rouges = stress marqué) 33

Figure 18 - Brebis pâturant sur une prairie agroforestière dans l'Aude à Pomy (crédit photo : G. Sabourin).....36

Figure 19 - Données de température moyenne (temp) et pluviométrie mensuel (pluvio) des années 2016 (a) et 2017 (b) issues de la station météorologique de Saint-Genès Champanelle.....39

Figure 20 - Proportion de graminées, légumineuses et diverses présentes dans la prairie permanente sous différentes densités d'arbres (A0 sans arbre ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha) 40

Figure 21 - Evolution du rendement des prairies au cours du premier cycle de végétation en 2016 (a) et 2017 (b) en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).....40

Figure 22 - Evolution du rendement des prairies au cours du deuxième cycle de végétation en 2017 en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha) 40

Figure 23 - Evolution de la note de stade phénologique des prairies au cours du premier cycle de végétation en 2016 (a) et 2017 (b) en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).....41

Figure 24 - Evolution de la note du stade phénologique des prairies au cours du deuxième cycle de végétation en 2017 en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).....41

Figure 25 - Evolution de la teneur en matières azotées totales (MAT) au cours du premier cycle de végétation en 2016 (a) et 2017 (b) en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbre ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).....42

Figure 26 - Evolution de la teneur en matières azotées totales (MAT) des prairies au cours du deuxième cycle de végétation en 2017 en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha). 42

Figure 27 - Evolution de la teneur en parois cellulaires totales (NDF) au cours du premier cycle de végétation en 2016 (a) et en 2017 (b) en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbre ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).....43

Figure 28 - Evolution de la digestibilité cellulase (dcellms) au cours au cours du premier cycle de végétation en 2016 (a) et en 2017 (b) en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbre ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).....43

Figure 29 - Evolution de la teneur en parois cellulaires (NDF) des prairies au cours du deuxième cycle de végétation en 2017 en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha). 43

Figure 30 - Evolution de la digestibilité cellulase (dcellms) des prairies au cours du deuxième cycle de végétation en 2017 en présence d'arbres en densité différente (A0 sans arbres ; A+ 60 pieds/ha ; A++ 150 pieds/ha).....43

Figure 31 – Photographies de mises en défens en parcelle agroforestière (crédit photo : Thibaut Berne) 46

Figure 32 – Photographies de mises en défens en parcelle témoin (crédit photo : Thibaut Berne).....46

Figure 33 – Schéma d'une mise en défens en parcelle agroforestière.....47

Figure 34 – Rendements moyens obtenus à la P2 par distance à l'arbre agroforestier et en témoin, pour chacun des sites, les deux années confondues (barres d'erreur = erreurs standards). 49

Figure 35 – Rendements moyens obtenus à la P2 dans les différents traitements de la parcelle de La Vigérale à Theix, pour chacune des deux années de suivis (barres d'erreur = erreurs standards). 50

Figure 36 – Hauteur moyenne d'herbe obtenue à la P3 par distance à l'arbre agroforestier et en témoin, pour chacun des sites, les deux années confondues (barres d'erreur = erreurs standards). 51

Figure 37 – Hauteur moyenne de repousse (cm) obtenue à la P3 en 2016 (gauche) et 2017 (droite) dans les différents traitements de la parcelle de La Vigérale à Theix, pour chacune des deux années de suivis (barres d'erreur = erreurs standards). 52

Figure 38 - Pourcentage moyen de légumineuses en fonction de la distance à l'arbre et en comparaison du témoin, sur les sites situés dans les Hauts de France et Normandie, à partir des données relevées en 2016 (barres d'erreur = erreurs standard). 53

Figure 39 – Plans factoriels formés par les deux premières dimensions des Analyses en Composantes Principales sur le recouvrement des espèces des différents sites. Regroupement des données selon les modalités étudiées (AF : Agroforesterie sous haut-jet ; AFT : Agroforesterie sous arbres têtards ; ZT : Zone témoin). Les détails concernant les variables sont donnés en annexes 1 et 2. 54

Figure 40 – Pourcentage moyen de légumineuses observé à différentes distances des arbres et en zone témoin, en 2016, sur les différents sites d'Occitanie et d'Auvergne-Rhône-Alpes (dessus) et le site de Theix (dessous) (Barres d'erreur = erreurs standard). 55

Figure 41 – Notes phénologiques moyennes obtenues à différentes distances des arbres et en zone témoin, en 2016, sur les différents sites d'Occitanie et d'Auvergne-Rhône-Alpes (dessus) et le site de Theix (dessous) (Barres d'erreur = erreurs standard). 56

Figure 42 – Schéma pour comprendre l'extrapolation des rendements à l'échelle parcellaire. 57

Figure 43 – Schématisation des principales conclusions concernant l'étude de l'impact de l'agroforesterie sur les prairies permanentes.....59

Figure 44 – Photographie David Grandgirard en pleine mesure dendrométrique sur la parcelle de Theix (crédit photo : AGROOF SCOP).....61

Figure 45 – Schématisation de la surface terrière (crédit photo : AGROOF SCOP, modification : D. Grandgirard, UniLasalle) 63

Figure 46 – Prélèvement destructif réalisé sur le site de Troissereux (crédit photo : D. Grandgirard, UniLasalle, 2018) 64

Figure 47 – Illustration d'une branche d'ordre 1 avec la distinction de chacune des branches d'ordre 2 (crédit photo : D. Grandgirard, UniLasalle, 2018) 65

Figure 48 – Illustration de l'échantillonnage des feuilles de chacune des branches de l'arbre (crédit photo : D. Grandgirard, UniLasalle, 2018) 65

Figure 49 – Exemple du logigramme déployé pour les érables planes et sycomore confondus (Acer sp.) 66

Figure 50 – Illustration d'une partie de la manœuvre technique nécessaire à l'obtention des données allométrique (crédit photo : AGROOF SCOP) 68

Figure 51 - Modèles allométriques 1 à 4 sollicités dans l'estimation progressive des biomasses foliaire totale et bois plaquette disponibles au sein d'un frêne (Vigérale, 2017).....69

Figure 52 - Modèles allométriques 1 à 4 sollicités dans l'estimation progressive des biomasses foliaire totale et bois plaquette disponibles au sein d'un frêne (Vigérale, 2017).....70

Figure 53 - Brebis consommant un fourrage arboré (crédit : AGROOF SCOP) 72

Figure 54 - Collecte de feuilles de frêne (crédit photo : INRA Lusigan).....74

Figure 55 - Lyophilisation d'échantillons congelés en préalable au dosage des tanins condensés (crédit photo : INRA Lusigan) 74

Figure 56 - Effet de l'espèce sur la composition biochimique, la MAT et la digestibilité des feuilles. Tableau de moyennes et diagrammes. (2016 – 3 dates de récolte confondues) 75

Figure 57 - Effet de la date de récolte sur la composition biochimique, la MAT et la digestibilité des feuilles. Tableau de moyennes et diagrammes. (2016 – toutes espèces confondues) 76

Figure 58 - Effet de l'espèce sur les teneurs en tanins condensés (TAN) et éléments minéraux (aout 2016) 76

Figure 59 - Repousses de feuillage, été 2016, sur un frêne conduit en têtard à 1 m à Theix (63) (crédit photo : INRA Lusignan) 78

Figure 60 - Repousses de feuillage, été 2016, sur des muriers blancs conduits en têtards en 0,5 m à Mirabel (07) (crédit photo : INRA Lusignan) 78

Figure 61 – Tri des feuilles de frênes pour préparer les rations (crédit photo : INRA Theix) 79

Figure 62 – Feuilles de frênes en ration à un bélier (crédit photo : INRA Theix) 80

Figure 63 – Evolution de l'ingestion (kg MS) en passant du foin aux fourrages alternatifs.....81

Figure 64 – Matière Organique Digestible Ingérée (kg/kg poids métabolique) des différents fourrages 81

Figure 65 - Brebis à l'abri d'un arbre sur la ferme de Lalosse dans l'Aude (crédit photo : AGROOF SCOP) 84

Figure 66 – Brebis et agneaux à l'abri d'un arbre lors d'une journée ensoleillée (à gauche) et pluvieuse (à droite), lors des scans d'activité de printemps à Lamartine (Puy-de-Dôme) (crédit photo : INRA Theix). 87

Figure 67 – Proportion des temps moyen passés aux principales activités, dans les exploitations du Nord et sur le site de Lamartine en 2017. Pour un(e) même site/région, des lettres différentes indiquent une différence significative entre traitements pour une même activité (Anova). 87

Figure 68 – Temps moyen passé sous les houppiers (%) lors des scans ensoleillés de 2017 par rapport au pourcentage de houppiers total par parcelle en fonction de la période, de l'exploitation (E1/E2/E3 dans le Nord) et du traitement. Les étoiles indiquent une différence significative entre les deux pourcentages (test de Student). 88

Figure 69 – Temps moyen passé à l'ombre (%) lors des scans ensoleillés de 2016 et 2017 sur le site de Lamartine, par rapport à la surface d'ombre par parcelle, en fonction du traitement (A0, A+, A++) et de la période. Les étoiles indiquent une différence significative entre les deux pourcentages (test de Student). 88

Figure 70 - Temps moyen passé à l'ombre en parcelle témoin (%) lors des scans ensoleillés de 2017 par rapport au pourcentage d'ombre totale par parcelle témoin en fonction de la période, de l'exploitation (E1/E2/E3). Les étoiles indiquent une différence significative entre les deux pourcentages (test de Student) 89

Figure 71 – Proportion du temps (%) consacré à chaque activité sous les houppiers et à l'ombre en fonction du traitement. Les étoiles indiquent une différence significative entre traitements (test de Student) 89

Figure 72 – Exemple de répartition des activités selon que l'animal est à l'ombre ou au soleil (site de Lamartine). Pour chaque traitement (A0 (témoin), A+ (60 arbres/ha), A++ (150 arbres/ha)), les lettres différentes indiquent une différence entre ombre et soleil. 90

Figure 73 – Préférence pour l'ombre pour l'activité de pâturage, par rapport au pourcentage d'ombre totale par parcelle, selon la densité d'arbres et les jours d'observations en 2016 et 2017 (Site de Lamartine, Auvergne). Les étoiles indiquent une différence significative entre les pourcentages (test de Student). 90

Figure 74 – Préférence pour l'ombre pour l'activité de rumination, par rapport au pourcentage d'ombre totale par parcelle, selon la densité d'arbres et les jours d'observations en 2016 et 2017 (Site de Lamartine, Auvergne). Les étoiles indiquent une différence significative (test de Student). 91

Figure 75 – Réactivité aux insectes et fréquence respiratoire des brebis selon la densité d'arbres en 2016 et 2017 (Site de Lamartine, Auvergne). Les lettres différentes pour une année indiquent une différence significative entre les traitements. 92

Figure 76 - Brebis et son agneau à l'ombre d'un arbre sur la ferme de Lalosse dans l'Aude (crédit photo : AGROOF SCOP) 94

Figure 77 – Evolution des hauteurs d'herbe en 2016 et 2017 sur les trois parcelles du site de Lamartine (Les flèches représentent la sortie définitive des animaux suivant les traitements.) 97

Figure 78 – Rendements obtenus sur les trois parcelles du site de Lamartine en 2016 et 2017 97

Figure 79 - Jours cumulés de pâturage des brebis entre 2016 et 2017 98

Figure 80 - Evolution du poids des brebis durant l'expérimentation menée entre 2016 et 2017 (En légende des graphiques de performances des brebis se trouve les dates de sortis des animaux.) 98

Figure 81 - Evolution de la note d'état corporelle des brebis durant l'expérimentation menée entre 2016 et 2017. 99

Figure 82 - Evolution du poids des agneaux de la mise à l'herbe jusqu'au sevrage entre 2016 et 2017. 99

Figure 83 - Evolution de l'excrétion fécale en strongles des agneaux de la mise à l'herbe jusqu'au sevrage entre 2016 et 2017.....100

Figure 84 - Evolution de l'excrétion fécale d'œufs de strongles des brebis durant la période pâturage entre 2016 et 2017. 100

Figure 85 – Calendrier zootechnique et d'élevage standard appliqué à l'ensemble des lots de brebis allaitantes (et à leur portée) puis taries présentes en n2016 et 2017 au sein des parcelles A0, A+ et A++ de Lamartine 104

Figure 86 - Evolution de la quantité moyenne de biomasse sèche (tMS/ha) présente au sein de la parcelle Lamartine en fonction de la hauteur d'herbe (herbomètre stick) mesurée en 2016 et 2017. 104

Figure 87 - Evolution de la quantité moyenne de biomasse sèche (t/ha) présente au sein de la parcelle Lamartine en fonction des températures moyennes (base 0°C) cumulées depuis le 1er mars 2016 (haut) et 2017 (bas). 105

Figure 88 - Evolution de la pluviométrie (mm) journalière et cumulée à Lamartine en 2016 (haut) et 2017 (bas). 106

Figure 89 - Evolution (gauche) et modélisation (droite) du gain de poids vif en fonction du poids vif sur les agneaux/agnelles à Lamartine en 2016 (haut) et 2017 (bas).....108

Figure 90 - Evolution des besoins énergétiques (UFL) et protéiques (PDI) du lot A0 à Lamartine en 2016 (haut) et 2017 (bas). 109

Figure 91 - Evolution du nombre journalier de jours d'affouragement disponibles lorsqu'exprimés en UFL, UFV, PDIN et PDIE sur chacune des parcelles A0, A+ e t A++ du site de Lamartine en 2016 (haut) et 2017 (bas). 110

Figure 92 – Comparaison 2016 vs. 2017 de la disponibilité journalière énergétique (en jours d'UFV disponibles) pour chacune des parcelles A0, A+ e t A++ du site de Lamartine. 111

Figure 93 – Evolution du nombre journalier de jours d'affouragement disponibles lorsqu'exprimés en UFL, UFV, PDIN et PDIE sur chacune des parcelles A0, A+ e t A++ du site de Lamartine en 2016 (haut) et 2017 (bas). 113

Figure 94 – Logigramme allométrique « frêne » emprunté pour parvenir à la recomposition à partir du diamètre à hauteur de poitrine du tronc (DBH, cm) de la surface foliaire totale exprimée en poids frais. 114

Figure 95 – Abaques d'estimation de la disponibilité feuilles (F, kg sec) et de la productivité plaquettes (P, kg frais) pour des situations à 60 (A+), 100 (A100) et 150 (A++) arbres/ha et selon un mode d'exploitation « Nombre de branches prélevées – x & fréquence de retour de taille d'affouragement – y' ».....117

Figure 96 – Evolution des rendements en Tonnes de MS / ha des 4 scénarios sur 50 ans. 121

Figure 97 – Comparaison de la production fourragère annuelle d'une parcelle à 100 arbres par ha (Tonnes de MS / ha feuilles + prairie), entre un peuplement simplement élagué et un autre étêté. ...122

Figure 98 – Comparaison de la production fourragère annuelle d'une parcelle à 50 arbres par ha (Tonnes de MS / ha feuilles + prairie), entre un peuplement simplement élagué et un autre étêté. ...123

Figure 99 – Comparaison de la production de plaquettes issues du broyage des refus dans 3 scénarios de 15 ha avec différentes densités en fonction du nombre d'années après plantation. 124

Figure 100 - L'aménagement de Theix (à gauche) ou le projet de Gert de Ridder dans l'Aude (à droite) (crédit photo : AGROOF SCOP.....126

Figure 101 - Dans la parcelle M7, un bosquet a été installé. Des protections de types ursus avec piquets bas ou haut, avec gaine métallique ou de type cactus (bas ou haut) sont testés (crédit photo : AGROOF SCOP) 127

Figure 102 - Vue sur les pergolas de vignes du projet de Lusignan (crédit photo : AGROOF SCOP) 128

Figure 103 - Les arbres en rouge sont des hauts jets, les verts seront menés en têtard. Entre les lignes, l'INRA a planté des arbres et arbustes qui seront recépés au ras du sol et qui seront pâturés directement. Des lianes complètent le dispositif, plantées près des arbres, sur le grillage de la parcelle ou directement en mode intercalaire. 128

Figure 104 - Vue de la parcelle G14 de l'INRA de Lusignan avec les lignes d'arbres et les plantations récentes de lianes au centre. Le bloc est protégé de fil électrique, et sera ouvert pour une durée courte aux animaux, avec une fréquence à déterminer entre l'été et l'automne (crédit photo : AGROOF SCOP) 129

Figure 105 - Les 3 méthodes de valorisation du fourrage arboré : par prélèvement direct, par récolte des rameaux pour distribution directe à la prairie ou à l'auge, ou par broyage et ensilage direct (une variante serait un stockage par séchage préalable, voire sous forme de granulé). 130

Figure 106 - Trois aménagements type visant une production de fourrage feuilles et de plaquettes. 131

Figure 107 - Les protections ont largement évolué depuis une dizaine d'années (crédit photo : AGROOF SCOP) 131

Figure 108 - Le plessage est une méthode ancienne de clôture vivante (crédit photo : AGROOF SCOP) 132

Figure 109 - Nicolas Girardin (AGROOF) en tournage pour illustrer le protocole de la tâche 4 (crédit photo : AGROOF SCOP).....133

Figure 110 – Aperçus des différents éléments de charte graphique du projet PARASOL.....134

Figure 111 – Aperçus du site internet du projet depuis un ordinateur (gauche) et un smartphone (droite) 135

Figure 112 – Projection des variables pour le site de Bonnefont.....153

Figure 113 – Projection des variables pour le site de Lalosse.....154

Figure 114 – Projection des variables pour le site de Pomy.....154

Figure 115 – Projection des variables pour le site de Theix 155

SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
ADF	Acid Detergent Fiber
ADL	Teneur en lignine
AF	Agroforesterie
AFPIA	Association pour la Formation Professionnelle dans les Industries de l'Ameublement
AFT	Agroforesterie - Tétards
BRF	Bois Raméal Fragmenté
CDR	Teneur en Cendres
Db	Diamètre basal
DBH	Diamètre à 1m30
dcellms	Digestibilité cellulase
DIGZ	Digestibilité Enzymatique
GMQ	Gain Moyen Quotidien
HR	Humidité Relative
HT	Haute Totale
IDELE	Institut de l'élevage
INRA	Institut National de Recherche Agronomique
IRSTEA	Institut national de Recherche en Sciences et Technologie pour l'Environnement et l'Agriculture
LAI	Leaf Area Index
MAT	Matières Azotées Totales
MODI	Quantité de matière organique digestible ingérée
MM	Matières Minérales
MO	Matières Organiques
MS	Matières Sèches
NDF	Neutral Detergent Fiber
NEC	Note d'Etat Corporel
O1	Branches d'Ordre 1
O2	Branches d'Ordre 2
O3	Branches d'Ordre 3
PDIE	Protéines Digestibles dans l'intestin grêle permises par l'énergie
PDIN	Protéines Digestibles dans l'intestin grêle permises par l'azote
PIRAT	Programme de Recherche Intégrée à Restinclières
PNR	Parc Naturel Régional
SCOP	Société Coopérative et Participative
SIG	Système d'Information Géographique
UE	Unité d'encombrement ; M= mouton (UEM), L=lait (UEL), B=bovin (UEB)
UFL	Unité Fourrage Laitier
UFV	Unité Fourrage Viande
T	Température
TCR	Taillis Courte Rotation
TAN	Teneur en Tanins Condensés
THI	Temperature Humidity Index
tMS	Tonne de Matière Sèche
TxMS	Taux de Matière Sèche
ZT	Zone Témoin

ANNEXES

Annexe 1 – Variables employées dans les ACP sur les compositions botanique des sites de Pomy, Lalosse, Bonnefont et Theix

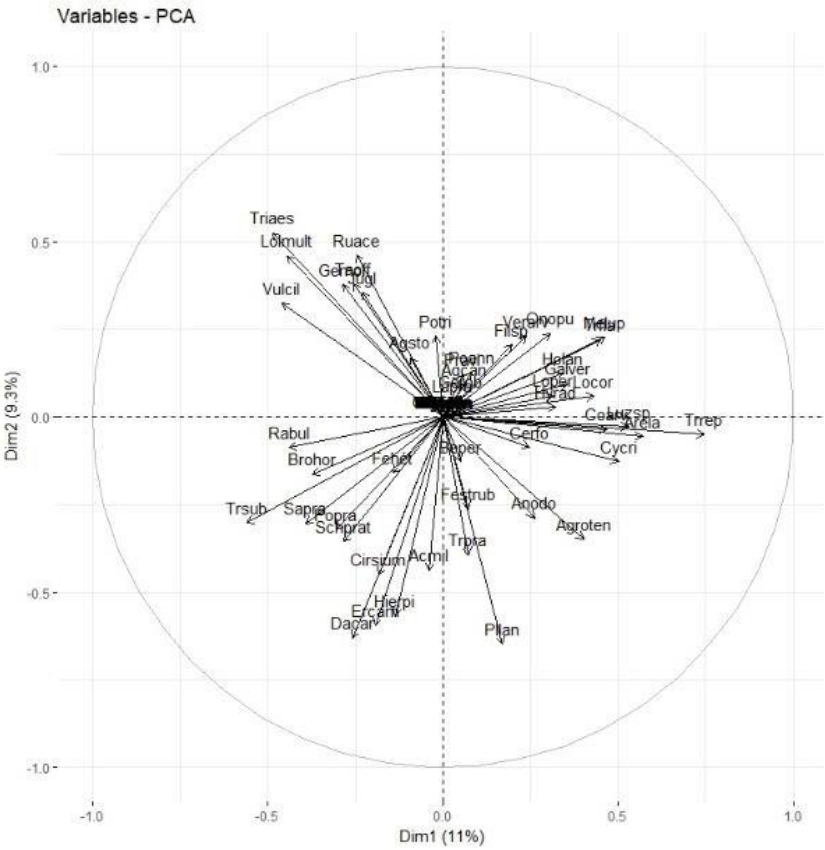

Figure 112 – Projection des variables pour le site de Bonnefont

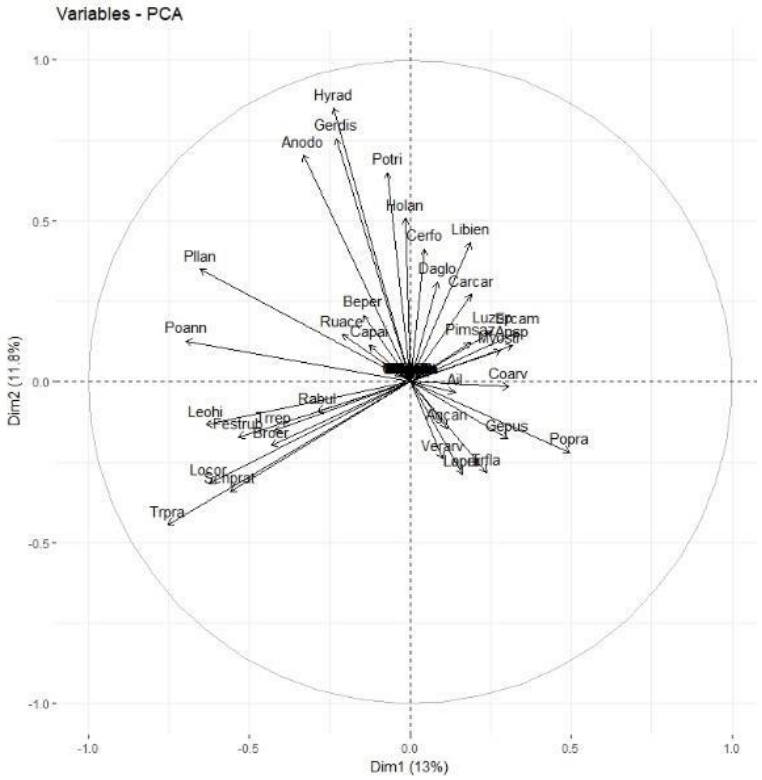

Figure 113 – Projection des variables pour le site de Lalosse

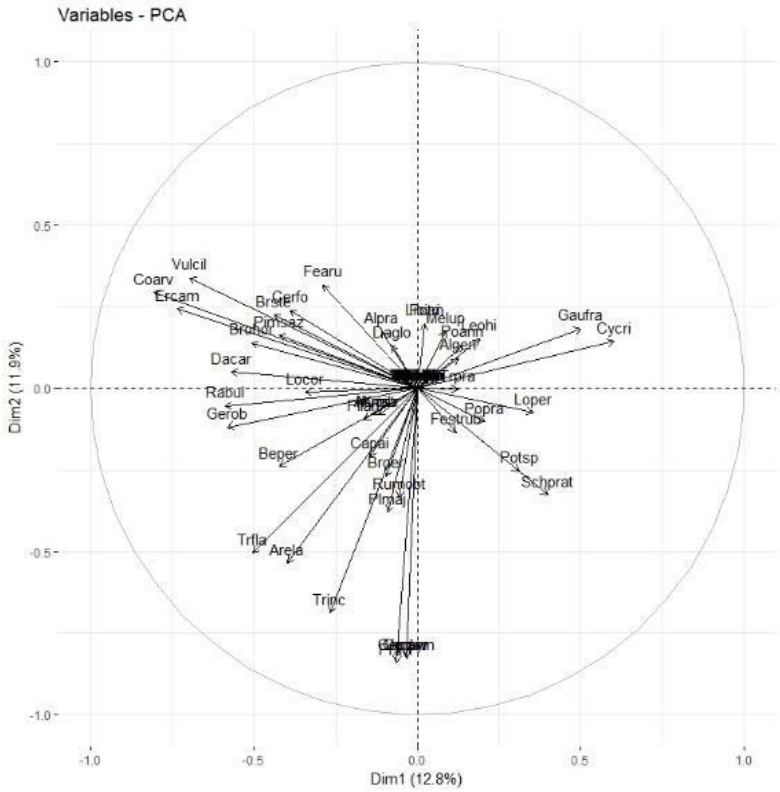

Figure 114 – Projection des variables pour le site de Pomy

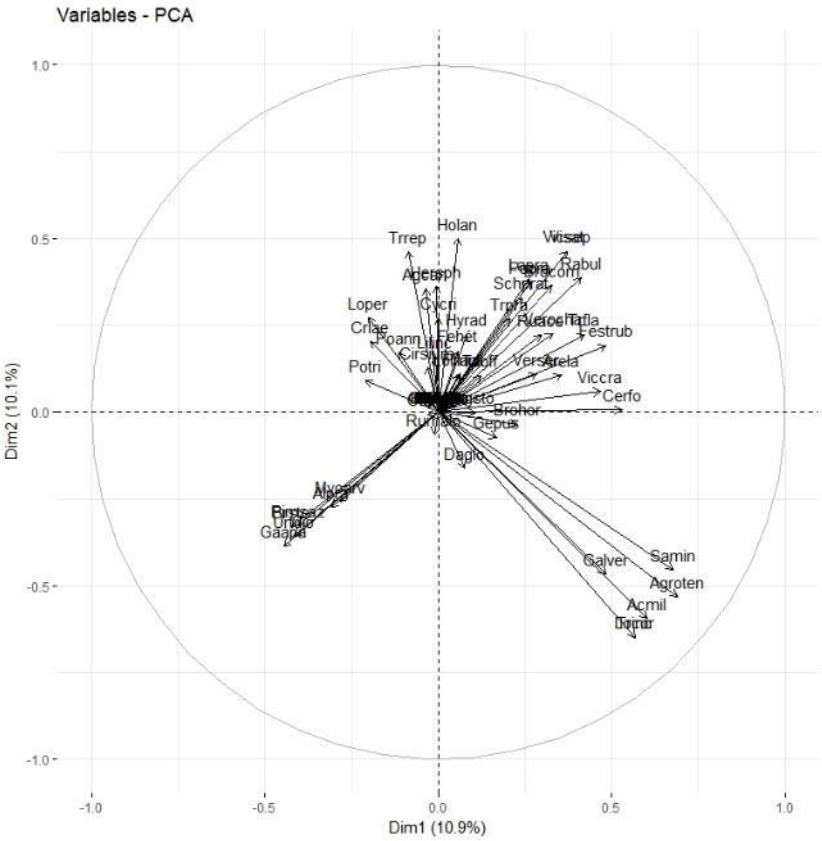

Figure 115 – Projection des variables pour le site de Theix

Annexe 2 – Tableau des acronymes de noms d'espèces employés dans le cadre des ACP botaniques

Achillea_millefolium	Acmil
Agrostis_canina	Agcan
Agrostis_capillaris	Agcap
Agrostis_tenui	Agroten
Agrostis_stolonifera	Agsto
Allium_sp	Ail
Alopecurus_geniculatus	Algen
Alopecurus_pratensis	Alpra
Anthoxanthum_odoratum	Anodo
Anthriscus_sp	Ansp
Arrhenantherum_elatius	Arela
Bellis_perennis	Beper
Bromus_mollis	Brmol
Bromus_commutatus	Brocom
Bromopsis_erecta	Broer

Bromus_hordeaceus	Brohor
Bromus_sterilis	Brste
Carex_sp	Capai
Carum_carvis	Carcar
Cephalanthera_damasonium	Cepdam
Cerastium_fontanum	Cerfo
Cirsium_sp	Cirsium
Convolvulus_arvensis	Coarv
Cruciata_laevipes	Crlae
Cynosorus_cristatus	Cycri
Daucus_carota	Dacar
Dactylis_glomerata	Daglo
Eryngium_campestre	Ercam
Festuca_arundinacea	Fearu
Festuca_hétérophyla	Fehét
Festuca_ovina	Feovi
Festuca_pratensis	Fepra
Festuca_rubra	Festrub
Filago_sp	Filsp
Gallium_aparine	Gaapa
Gallium_verum	Galver
Gaudinia_fragilis	Gaufra
Geranium_molle	Gemol
Geranium_pusillum	Gepus
Geranium_dissectum	Gerdis
Geranium_robertianum	Gerob
Heracleum_sphondylium	Hersph
Hieracium_pilosella	Hierpi
Holcus_lanatus	Holan
Hypochaeris_radicata	Hyrad
Juglans_sp	Jugl
Knautia_sp	Knau
Lathyrus_pratensis	Lapra
Leontodon_hispidus	Leohi
Linum_bienne	Libien
Liliaceae_inc	Lilinc
Lotus_corniculatus	Locor
Lolium_multiflorum	Lolmult
Lolium_perenne	Loper
Luzula_sp	Luzsp
Medicago_lupulina	Melup

Mentha_suaveolens	Mesua
Myosotis_arvensis	Myoarv
Myosotis_stricta	Myostr
Ononis_pusilla	Onopu
Orchis_pyramidalis	Orcpyr
Pastinaca_sativa_subsp._urens	Pasat
Pimpinella_saxifraga	Pimsaz
Plantago_lanceolata	Pllan
Plantago_major	Plmaj
Poa_annua	Poann
Poa_pratensis	Popra
Poa_trivialis	Potri
Potentilla_sp	Potsp
Prunus_avium	Pravi
Ranonculus_bulbosus	Rabul
Rumex_acetosella	Ruace
Rumex_des_alpes	Rumalp
Rumex_obtusifolius	Rumobt
Sanguisorba_minor	Samin
Salvia_pratensis	Sapra
Schedonorus_pratensis	Schprat
Sherardia_arvensis	Sharv
Tarraxacum_officinale	Taoff
Trisetum_flavescens	Trfla
Triticum_aestivum	Triaes
Trifolium_incarnatum	Trinc
Trifolium_pratens	Trpra
Trifolium_repens	Trrep
Trifolium_subterraneum	Trsub
Urtica_dioica	Urtdio
Veronica_arvensis	Verarv
Veronica_chamaedrys	Verocha
Veronica_serpyllifolia	Verser
Vicia_cracca	Viccra
Vicia_sepia	Vicsep
Vicia_sativa	Visat
Vulpia_ciliata	Vulcil

EXPERTISES

PARASOL : AGROFORESTERIE EN SYSTEME D'ELEVAGE OVIN

Résumé Porté par un partenariat de spécialistes de l'élevage, des prairies et de l'agroforesterie (AGROOF SCOP, INRA, IDELE, UniLasalle), le projet s'est penché sur les intérêts de l'agroforesterie intraparcellaire dans les systèmes d'élevage ovin, notamment dans le cadre de leur adaptation au changement climatique. En étudiant les interactions arbre/herbe/animal et les productions arborées sur 13 parcelles d'une vingtaine d'années à travers la France métropolitaine, et en particulier le site expérimental de Lamartine (INRA de Theix, Puy de Dôme), le projet a permis d'acquérir de premières références pour la conception et le pilotage de systèmes d'élevage agroforestier.

Nos résultats soulignent le potentiel des surfaces agroforestières à une période tardive, pour répondre aux besoins d'animaux à forte demande, à condition que les pratiques de conduite d'élevage et de mise au pâturage soit adaptées. Aux périodes estivales, l'herbe est de meilleure qualité en parcelles agroforestières et les plus faibles rendements herbacés pourraient être compensés par l'apport de ressources fourragères arborées, elles aussi, d'une qualité intéressante pour les animaux. Les densités, le choix des essences et les interventions sur houppiers sont identifiés comme des leviers incontournables pour piloter ces interactions et s'approcher des conditions optimales propres à chaque contexte.

A l'échelle des exploitations, les surfaces agroforestières semblent pourvoir augmenter la résilience des systèmes d'élevage. Des études complémentaires sont nécessaires pour mieux appréhender comment ces surfaces agroforestières peuvent s'intégrer dans les exploitations et à quel coût pour l'éleveur les pratiques peuvent être adaptées.

L'agroforesterie représente une solution intéressante face aux enjeux d'adaptation aux changements climatiques.
En fonction de l'intensité de plantation, les surfaces agroforestières peuvent être utilisées à la période estivale, et répondre aux besoins d'animaux à forte demande, à condition que les pratiques de conduite d'élevage soient adaptées.

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION

www.ademe.fr