

GAVA Carla

Promotion 2014

Rapport de stage – année de césure tutorée

Pâturage ovin sur prairies arborées -
Quels impacts des arbres sur l'animal et la prairie ?



Stage réalisé du 04/07/2016 au 31/12/2016.

Maître de stage INRA : Cécile GINANE, chargée de recherche et animatrice adjointe de l'équipe « Comportement Animal, Robustesse et Approche Intégrée du Bien-être » de l'UMR1213 Herbivores.

Tuteur pédagogique SupAgro : Magali JOUVEN, enseignante-chercheuse dans l'UMR Systèmes d'Elevage Méditerranéens et Tropicaux (SELMET), département Milieu, Productions, Ressources et Systèmes (MPRS).

Sommaire :

Remerciements :	5
I. Présentation de l'organisme de stage	6
1. Les structures d'accueil	6
2. Les équipes associées au projet	6
3. Contexte	7
II. Objectifs et hypothèses de travail	9
1. Objectifs	9
2. Méthodes	9
i. Parcelles et animaux	9
ii. Mesures et prélèvements	10
<i>Comportement des brebis sur les différentes parcelles : bilan d'activité</i>	10
<i>Mesures zootechniques : poids et état corporel</i>	12
<i>Réponse des brebis à la chaleur</i>	12
<i>Réactivité des brebis aux insectes</i>	13
<i>Evaluation de l'infestation parasitaire : coproscopies</i>	13
<i>Mesures de hauteurs d'herbe offerte</i>	13
<i>Evaluation des biomasses disponible et potentielle</i>	14
<i>Biodiversité de l'entomofaune</i>	15
<i>Les relevés climatiques</i>	15
iii. Analyses statistiques	17
3. Résultats	17
i. Le comportement – analyse des bilans d'activité	17
ii. Données zootechniques	27
iii. Biomasse disponible	29
iv. Composition botanique et stade phénologique	30
4. Discussion	33
i. Utilisation de l'arbre par les brebis	33
ii. Performances	34
5. Limites du projet	35
III. Perspectives d'avenir et applications	36
1. Suite du projet Parasol	36
2. Futures applications	36
Table des figures :	39
Liste des tableaux :	40

ANNEXES :	41
Résumé :	54
Summary:	54

Remerciements :

Je tiens tout d'abord à remercier mon maître de stage Cécile GINANE, pour sa gentillesse, ainsi que sa patience et son aide tout au long du projet Parasol.

Je tiens également à remercier Véronique DEISS, pour son soutien tout au long du stage, ainsi que pour son aide et toutes les discussions que l'on a pu avoir.

Je remercie aussi Donato ANDUEZA pour son aide dans le travail sur la biomasse principalement, ainsi que Mickaël BERNARD pour le temps qu'il a consacré à répondre à mes questions.

Je remercie l'ensemble de l'équipe Caraïbe pour son accueil chaleureux et Isabelle VEISSIER, directrice de l'UMRH, pour m'avoir accueillie pendant mon stage. Je remercie aussi Frederic ANGLARD, Fabienne PICARD, membres de l'équipe Dinamic, pour leur aide. Je remercie Bernard MALLET, André GUITTARD, Denis ROUX, membres d'Herbipole, et toutes les personnes qui ont assuré une aide technique tout au long du stage.

Je remercie le GIS Elevages Demain pour avoir financé mon stage.

Aussi, je remercie mon référent école, Magali JOUVEN, pour ses conseils.

Enfin, je remercie mes proches qui m'ont soutenue durant toute cette période.

Ce rapport de stage correspond au premier stage de césure tutorée (stage réalisé de juillet à décembre). Il est réalisé dans le but de découvrir l'univers de la recherche. Ce choix a été motivé par une grande volonté de travailler dans le milieu de l'élevage (plus particulièrement l'élevage des ruminants), avec comme objectif scolaire de faire la spécialité Systèmes d'Élevage à Montpellier SupAgro. Plus précisément, ce choix a été motivé par les enjeux de durabilité de la filière, qui sont essentiels à la période actuelle.

I. Présentation de l'organisme de stage

1. Les structures d'accueil

Le stage se déroule au centre INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) Auvergne-Rhône-Alpes de Theix, commune de Saint-Genès-Champanelle (63122). L'INRA est un institut dont les principales thématiques d'action sont entre autres l'agriculture durable, l'alimentation et la santé, les enjeux alimentaires actuels, la gestion des milieux naturels. Le Centre Auvergne-Rhône-Alpes (ARA), qui constitue le 3^{ème} des 17 Centres de recherches de l'INRA, développe notamment des recherches sur l'élevage et les territoires, la biologie intégrative, la nutrition préventive et l'écologie des systèmes aquatiques.

Ce stage se déroule au sein de l'équipe Caraïbe (Comportement Animal, Robustesse et Approche Intégrée du Bien-être), sur une durée de six mois, qui correspond au stage de 2^{ème} année ainsi qu'à un stage de césure.

La mission est financée par le GIS (Groupement d'Intérêt Scientifique) *Elevages Demain*. Le GIS a pour but de promouvoir des systèmes de production animales à haute performance, et qui s'inscrivent dans la durabilité de la filière, sur les aspects à la fois économique, environnemental, social et éthique.

Enfin, le stage s'inscrit dans le cadre du projet de recherche Parasol, financé par l'Ademe (appel à projet REACTIFF "Recherche sur l'atténuation du changement climatique par l'agriculture et la forêt"), qui s'intéresse à l'étude du microclimat agroforestier adulte en systèmes d'élevage ovin. Il s'agit d'un projet d'une durée de trois ans, qui vise à évaluer le potentiel d'adaptation de systèmes agroforestiers matures au changement climatique. Le stage se focalise plus particulièrement sur l'expérimentation conduite à Theix au pâturage.

2. Les équipes associées au projet

Ce stage est encadré par quatre personnes, toutes travaillant au centre INRA de Theix :

- Cécile GINANE est chargée de recherche et animatrice adjointe de l'équipe Caraïbe de l'UMR1213 Herbivores. Elle est docteur en Biologie des organismes et Éthologie et titulaire de l'Habilitation à diriger des recherches. Elle travaille sur le comportement alimentaire des petits ruminants, et plus particulièrement sur les mécanismes d'apprentissage alimentaire et d'adaptation à des ressources alimentaires diversifiées.
- Véronique DEISS est chargée de recherche dans l'équipe Caraïbe de l'UMR1213. Elle est docteur en biologie du comportement. Ses travaux portent sur l'impact des conditions d'élevage sur la perception par l'animal de son environnement par et sur l'amélioration du bien-être.
- Donato ANDUEZA est ingénieur d'études dans l'équipe Dinamic (Digestion, Nutrition, Alimentation et Microbes) de l'UMR 1213. Il est docteur ingénieur agronome. Ses travaux portent sur la valeur alimentaire des ressources fourragères complexes et notamment des prairies permanentes.

- Mickaël BERNARD est technicien de recherches au sein de l'UE1414 Herbipôle. Il est chargé d'expérimentation sur le troupeau ovin allaitant et spécialiste en production ovine. Il est diplômé ingénieur et a mené des essais sur l'incorporation de plantes riches en composés secondaires dans des mélanges fourragers chez le mouton.

Le stage est également suivi par l'IDELE (Institut de l'Elevage) et AGROOF.

L'IDELE est un organisme de recherche-développement, qui vise à améliorer les performances des élevages et de leurs filières en apportant des solutions techniques aux élevages d'herbivores ainsi qu'aux autres acteurs de la filière. Les domaines d'action sont multiples : génétique, bien-être animal, environnement, économie des exploitations...

AGROOF est un bureau d'étude et une société coopérative et participative spécialisée en agroforesterie. Il vise à promouvoir les parcelles agroforestières (association d'arbres avec des cultures ou de l'élevage) auprès des agriculteurs et des collectivités. Les champs d'action d'AGROOF concernent l'agroforesterie et divers domaines, tels que l'eau, les grandes cultures, l'élevage, la biodiversité, le maraîchage ou encore les sols. AGROOF est le coordinateur du projet Parasol.

3. Contexte

La mission du stage a pour thème le « pâturage ovin sur prairies arborées : quels impacts des arbres sur l'animal et la prairie ? ».

Dans les années 1920 à 1950, l'agrosylvopastoralisme a peu à peu disparu notamment à cause du développement de la céréaliculture dans certaines zones qui étaient jusqu'alors exploitées par les ruminants. Dans la même période, l'élevage ovin est devenu de plus en plus intensif (Lachaux et al., 1988). Les arbres ont pendant longtemps été considérés comme des obstacles qui interféraient avec une production à grande échelle, ainsi qu'avec la mécanisation de l'agriculture. Aujourd'hui, les exploitations d'élevage sont fragilisées d'un point de vue économique car les sécheresses sont devenues régulières, fragilisant l'autonomie fourragère (et de manière générale l'autonomie alimentaire). La volatilité du prix des matières premières, ainsi que la hausse du prix des intrants sont aussi des éléments fragilisants pour les exploitations. Dans ce contexte, le sylvopastoralisme, qui consiste à faire pâturer les animaux en forêt exploitée ou sur parcours arborés pour les faire bénéficier des ressources fourragères des arbres et arbustes, constituerait un mode de gestion durable, qui permettrait de concilier les objectifs forestiers et pastoraux. Les agriculteurs pourraient ainsi diversifier leurs ressources financières, en utilisant les produits de l'arbre, en plus des produits issus de leurs activités d'élevage. Ainsi, l'arbre peut avoir un rôle économique important s'il est utilisé en tant que bois d'œuvre, bois de chauffage, fourrage, ou encore pour ses fruits.

Au pâturage, les arbres peuvent procurer divers bénéfices pour l'animal. Ils fournissent un abri aux ruminants. Ces abris naturels offrent une protection contre les radiations solaires en été, et contre le vent, les précipitations et autres intempéries en hiver. La végétation permet de diminuer la vitesse du vent et crée des zones où les précipitations sont moins importantes. Cela dépend évidemment de la hauteur, de la porosité et de la densité de la végétation, et aussi de l'espèce. Dans le futur, en milieu tempéré, le nombre d'épisodes chauds augmentera probablement, il est donc essentiel de prendre en compte cette fonction. Ainsi, les arbres permettent de diminuer le stress thermique et la dépense énergétique des animaux. Un couvert arboré peut avoir des effets positifs sur la fertilité des brebis qui serait diminuée en cas de stress thermique (en ayant des conséquences sur l'ovulation, l'œstrus, la fécondité et la

survie de l'embryon ; Bird et al. 1992). Les agneaux peuvent également être affectés par les arbres : le taux de mortalité diminue quand la parcelle est arborée (Bird et al., 1984). Egalement, les arbres peuvent fournir de la nourriture aux animaux via leur feuillage. Les arbres modifient aussi la strate herbacée, qui constitue la première ressource alimentaire du troupeau au pâturage. En effet, l'ombre créée par les arbres peut améliorer la qualité de l'herbe de la prairie en ralentissant le vieillissement du couvert, facteur important pour l'animal. Malgré ces fonctions intéressantes et non négligeables pour les animaux, les arbres pourraient constituer un obstacle pour l'éleveur. En effet, nous pouvons supposer que son travail est affecté par la présence des arbres : peut-être qu'il est plus difficile de rassembler les animaux dans un contexte arboré (et par conséquent, le travail est plus contraignant).

En ce qui concerne la prairie, l'arbre, de par sa fonction de « couverture », permet de la préserver pendant la saison estivale, et il la préserve du gel la nuit pendant l'hiver. Il permet aussi d'intercepter la pluie. Ces éléments permettent d'augmenter potentiellement la durée d'utilisation du pâturage, et donc l'autonomie fourragère de l'éleveur ; ceci est non négligeable d'un point de vue économique. Dans la littérature, beaucoup d'exemples ont été traités dans des régions tropicales, arides, semi-arides, subhumides... Les cas étudiés sont principalement dans des pays d'Amérique du Sud ou encore en Nouvelle-Zélande ou aux Etats-Unis. Notamment, dans les régions subhumides, il a été démontré que les arbres entraînent une évapotranspiration réduite, en comparaison avec des prairies ouvertes non arborées. Ceci est le principal facteur d'augmentation de la biomasse de la prairie (qui pousse donc sous les arbres). Dans ces régions, la durée de la saison sèche (relativement conséquente), la densité des arbres et les caractéristiques du sol permettent d'expliquer ces résultats. Néanmoins, la concurrence entre les arbres et la prairie pour l'accès à la lumière, l'eau et les nutriments peut aussi impacter négativement l'arbre (Mead, 2009), notamment lorsqu'il est jeune, et la prairie. En effet, le principal frein à un passage à un système agroforestier est la diminution attendue de la production herbacée, avec la crainte pour l'éleveur de ne pas réussir à nourrir ses animaux avec les ressources de la parcelle. Un des intérêts du projet Parasol est de permettre de réunir des données quantitatives à ce sujet, car à l'heure actuelle, peu d'études ont concerné des milieux tempérés avec des arbres adultes (âgés de 20 à 30 ans dans notre cas).

Du point de vue environnemental, l'arbre peut procurer de multiples bénéfices. Il constitue un habitat pour la faune et la flore ; il participe donc à la conservation de la biodiversité (Jose, 2009). Il contribue à la constitution d'un microclimat sur les parcelles et permet donc d'atténuer les variations de température et par conséquent les effets du changement climatique. Egalement, il permet de fixer les nutriments grâce aux racines, et il contribue à la diminution de l'acidification du sol.

Les arbres permettent aussi de limiter l'érosion du sol, et ils ont une action de régulation de l'évapotranspiration du couvert. Les arbres ont aussi une fonction de stockage du carbone atmosphérique. La mise en place des pratiques d'agroforesterie permet d'en augmenter la quantité séquestrée (en comparaison avec la monoculture). La capacité à stocker le carbone dépend de divers facteurs comme le type de système, l'essence, l'âge de l'arbre (plus il est important, et plus la capacité à stocker le carbone augmente), la localisation géographique, les facteurs environnementaux ou encore la gestion des terres qui est pratiquée. La quantité de carbone du sol varie beaucoup selon la région ; par exemple, en milieu tempéré, les systèmes agroforestiers ont une plus faible séquestration du carbone que ceux en milieux tropicaux.

Il apparaît également que chez les arbres dont les racines sont profondes, la compétition avec l'herbe de la prairie soit moindre. Aussi, un enracinement profond permet la remontée des

éléments minéraux lessivés (tels que l'azote). Le recyclage des feuilles tombées de l'arbre permet aussi de reconstituer la matière organique du sol.

Cet enracinement profond permet une meilleure aération du sol, ainsi que l'installation de microfaunes et de microflores, nécessaires au bon fonctionnement du sol. Ceci constitue aussi une barrière physique aux éléments polluants.

II. Objectifs et hypothèses de travail

1. Objectifs

Le projet Parasol s'étend sur une période de 3 ans (2 ans d'expérimentation). Les objectifs sont d'identifier et de quantifier les impacts et bénéfices potentiels d'arbres adultes en prairies pâturées par des ovins, à travers différents critères :

- Les performances, le comportement, le bien-être et la santé des ovins ;
- La productivité et la qualité de la ressource prairiale ;
- La biodiversité animale (insectes) et végétale à l'échelle de la parcelle.
- Les conditions microclimatiques

Ces éléments nous permettront de mettre en évidence des stratégies d'atténuation et d'adaptation au changement climatique, de façon à valoriser l'agroforesterie et à l'intégrer aux systèmes d'élevage.

L'intérêt de cette expérimentation (et du projet Parasol en général) est que les systèmes agroforestiers adultes (de 20 à 30 ans dans notre cas) en milieu tempéré et sur élevage de ruminants ont été très peu étudiés.

Remarque : il semble plus pertinent pour notre étude de s'intéresser à des systèmes agroforestiers adultes, car dans le cas de parcelles jeunes, les interactions entre l'arbre et la prairie sont moins significatives.

2. Méthodes

i. Parcelles et animaux

Le dispositif sur lequel nous travaillons se situe en Auvergne, à Theix (Puy-de-Dôme, 45.72°N, 3.018°E, altitude 860m), sur le site de "Lamartine" qui comporte trois parcelles de 8000 m² destinées au projet, caractérisées par des densités d'arbres adultes (merisiers et érables) différentes :

- **A0** : témoin nu, avec seulement un arbre sur la parcelle pour satisfaire les recommandations éthiques en offrant la possibilité aux animaux de disposer d'un abri contre les conditions climatiques ;
- **A+** : 60 arbres/ha ;
- **A++** : 150 arbres/ha.



Figure 1. De gauche à droite, les parcelles A0, A+ et A++ (Lamartine, Theix ; source personnelle)

Pour cette étude, les animaux étudiés au pâturage sont des brebis de race Romane (anciennement INRA 401), accompagnées de leurs agneaux en début de saison de pâturage (portées doubles, pendant 6 semaines environ après la mise à l'herbe). Les brebis restent sur les parcelles, en pâturage continu, pendant toute la saison de pâturage. La race Romane est une race relativement récente créée dans les années 70 pour améliorer la productivité du troupeau ovin français. Ces ovins sont issus du croisement d'animaux Romanov (race prolifique) et Berrichon du Cher (race bouchère). La race Romane est productive (prolificité élevée), la production peut facilement être dessaisonnée, donc elle peut produire toute l'année. Egalement, la race s'adapte à de multiples milieux d'élevage. Pour l'expérimentation, nous avons utilisé 30 brebis (10 sur chaque parcelle).

ii. Mesures et prélèvements

Pour permettre d'évaluer l'impact des arbres sur la prairie et les ovins, plusieurs mesures et observations ont été réalisées, pour chacune des parcelles et/ou pour tous les animaux individuellement :

- Comportement des brebis au pâturage (bilan d'activité)
- Mesures zootechniques (poids et état corporel)
- Réponse des brebis à la chaleur (fréquence respiratoire)
- Réactivité des brebis aux insectes (mouvements de tête, pieds, etc.)
- Mesures d'infestation parasitaire (coproscopies)
- Mesures de hauteurs d'herbe
- Biomasses potentielle et disponible de la parcelle
- Biodiversité végétale et animale (entomofaune)
- Relevés climatiques (température, humidité, radiation, vitesse du vent)
- Superficie couverte par les arbres (analyse d'images par ImageJ et QGIS)








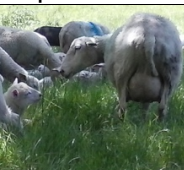
Comportement des brebis sur les différentes parcelles : bilan d'activité

Une de nos hypothèses est que la présence d'arbres impacte les activités des brebis, notamment en période estivale ; ainsi par exemple, les brebis qui n'ont à leur disposition qu'un seul arbre n'ont pas la possibilité de réaliser tous leurs comportements à l'ombre. On peut alors s'attendre à ce que les repas soient plutôt pris tôt le matin et tard le soir, lorsque la température est moins importante. Chez les brebis qui se trouvent sur des parcelles arborées, cette activité pourrait être plus indépendante de l'horaire : la présence d'ombre leur permettrait de ne pas souffrir de la chaleur lorsqu'elles souhaitent se nourrir.

Pour comparer les activités des brebis des différents traitements, des « scans d'activité » ont été réalisés. Sur trois créneaux de deux heures (de 8h30 à 10h30, de 13 à 15h et de 18h30 à 20h30 au printemps ; de 8 à 10 heures, de 13 à 15 heures et de 18 à 20 heures en été), et toutes les 5 minutes, l'activité et la position de chaque brebis ont été notées, en utilisant les codes définis ci-après (Tableaux 1 et 2). Nous avons réalisé deux journées d'observation au printemps (27/05 et 06/06) et deux journées en été (20/07 et 25/07).

Sur chaque feuille de scan sont notés le lieu d'observation, la parcelle, la météo, la date et le nom de l'observateur.

Tableau 1. Codes de notification des activités et signification (photos : sources personnelles)

Code activité	Signification	Photo correspondante
C-Re	Couché, au repos	
C-Ru	Couché, rumine	
D-Re	Debout, au repos	
D-Ru	Debout, rumine	
D-M	Debout, mange	
D-B	Debout, boit	Pas de photo
D-Sel	Debout, lèche la pierre à sel	Pas de photo
D-D	Debout, en déplacement	
D-V	Débout, état de vigilance	
D-Au	Debout, autre activité (ex : se gratte, se frotte...)	Pas de photo
D-Sag	Debout, activité sociale avec un agneau	
D-Sbr+	Debout, activité sociale positive avec une brebis	Pas de photo
D-Sbr-	Debout, activité sociale négative avec une brebis	Pas de photo



D-Ar	Debout, contre l'arbre ou très proche	
D-C	Debout, chôme	

Tableau 2. Codes de notification des positions

Codes position (à deux lettres)		Signification
Lettre 1	A	Au contact de l'arbre
	H	Sous le houppier
	N	Dans zone nue (sans arbre au-dessus de l'animal)
	AE	Tout près d'un arbre / haie extérieur(e) à la parcelle
	HE	Sous houppier d'un arbre extérieur à la parcelle
Lettre 2	O	A l'ombre
	S	Au soleil
	c	Quand pas de soleil, temps couvert
	OE	A l'ombre d'un arbre extérieur

Egalement, pour évaluer la durée et les périodes d'alimentation sur 24h, les brebis ont été équipées de colliers Ethosys®. Il s'agit d'un dispositif qui enregistre automatiquement l'activité de pâture, et plus spécifiquement les mouvements et la position de la tête (haute/basse). Cet équipement constitue un bon complément aux scans réalisés sur le terrain car les mesures réalisées pendant la période diurne ne représentent pas l'ensemble de l'activité des brebis. Ces enregistrements ont été effectués sur 48h au printemps et en été.

Mesures zootechniques : poids et état corporel

L'arbre ayant une influence potentielle sur la qualité et la quantité de l'herbe, qui peut alors se répercuter sur la croissance et l'état des animaux, des mesures de poids vif et de NEC (Note d'Etat Corporel) ont donc été réalisées régulièrement. Toutes les 2 semaines en période d'allaitement, puis toutes les 3 semaines jusqu'à la fin de l'expérimentation, les brebis et leurs agneaux ont été pesés grâce à une balance électronique mobile qui permettait de peser les animaux directement sur les parcelles. L'état corporel des brebis a également été évalué pendant la pesée, lorsque chaque animal se trouvait sur la balance. L'observateur évaluait cette note d'état en palpant la région lombaire. L'échelle s'étend de 0 à 5 (0 pour un animal émacié et sur le point de mourir ; 5 pour un animal très gras).

Réponse des brebis à la chaleur

Les arbres procurent aux animaux un abri contre la chaleur. Les brebis se trouvant sur la parcelle non arborée devraient donc être plus affectées par la chaleur, en période estivale,

que celles pâturent sur les parcelles arborées (nous supposons que ceci est particulièrement vrai pour les brebis de la parcelle A++). Pour vérifier cela, nous avons fait des relevés de fréquence respiratoire. Les mouvements respiratoires ont été comptés à l'aide d'un compteur manuel, pendant une durée s'étalant entre 1min30 et 1min45 (nous avons choisi cette référence pour avoir des données significatives et ainsi pouvoir comparer les brebis entre elles). Ces observations ont été réalisées lorsque les brebis étaient couchées, pour s'affranchir d'un effet de l'activité physique et car ces mouvements sont difficilement détectables lorsqu'elles sont en mouvement.

Réactivité des brebis aux insectes

Nous avons émis l'hypothèse que la proportion d'insectes varie avec la densité d'arbres. Plus précisément, nous supposons que les arbres, en diversifiant l'écosystème prairial et en offrant des refuges et des points d'attraction pour les insectes, favoriseraient une diversité de l'entomofaune. De ce fait, les animaux pâturent sous les arbres pourraient être plus gênés par les insectes (volants essentiellement) que ceux pâturent une parcelle nue. Nous avons donc compté le nombre de mouvements des pieds, tête (ou oreilles), queue et dos, également sur une durée de 1min30 à 1min45.

Durant la saison estivale, ces mesures de réaction à la chaleur et de réactivité aux insectes ont été réalisées 7 fois, de fin mai à fin juillet, à intervalles réguliers.

Evaluation de l'infestation parasitaire : coproscopies

L'effet de l'arbre sur le parasitisme gastro-intestinal des ovins (par les nématodes notamment) est mal connu. Deux hypothèses apparaissent dans la littérature : certains écrits nous informent du fait que la présence d'arbres favoriserait la survie des larves sur le couvert (Jackson et al. 1986), car ils permettent la résistance au gel et le maintien d'une humidité au sol favorable à leur survie. Mais d'autres ouvrages affirment que la présence de composés secondaires dans les feuilles, par ingestion ou par dégradation, pourrait réduire le niveau d'infestation de l'animal au pâturage (Hoste et Torres-Acosta 2011).

Afin d'analyser l'effet de la présence des arbres sur les parasites gastro-intestinaux des ovins, des coproscopies ont été réalisées en suivant la méthode de Mac Master (Raynaud 1970). Cette méthode permet un comptage rapide des œufs de strongles dans les fèces pour en déduire un niveau d'infestation. Les prélèvements de fèces ont été réalisés en même temps que les pesées, sur les brebis et un de leurs agneaux.

Mesures de hauteurs d'herbe offerte

Nous supposons que la densité d'arbres impacte la croissance de l'herbe de la prairie, mais avec un effet probablement relatif à la densité d'arbres.

Nous avons donc régulièrement mesuré les hauteurs d'herbe, en utilisant un mètre stick, pour évaluer l'impact de la présence et de la densité d'arbres sur ce facteur. Il s'agit de relever 250

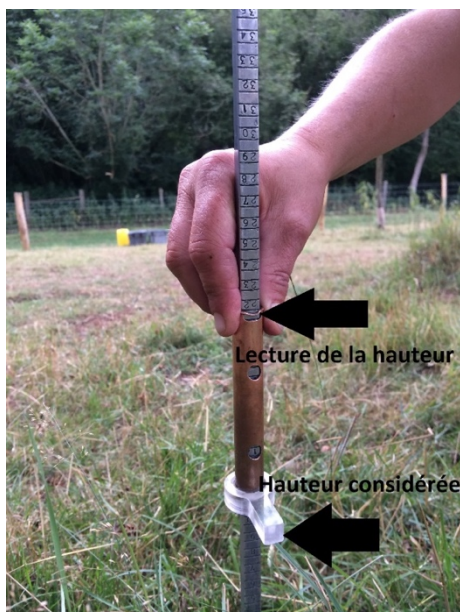


Figure 2. Herbomètre stick (source personnelle)

points sur chaque parcelle, le long de 10 transects parallèles répartis sur la parcelle, de façon à estimer une hauteur moyenne et un écart-type.

Nous avons procédé de la manière suivante : tous les trois pas environ, la hauteur a été mesurée. Cette hauteur correspond au premier élément végétal que la barre de mesure du stick rencontre. Pour chaque mesure réalisée, nous avons pris soin de noter si nous étions situés dans une zone nue ou sous un houppier.

Ces mesures ont été faites avant chaque période d'observation et une fois / semaine en été pour surveiller la diminution de biomasse et déterminer la date de sortie des animaux si besoin (seuil moyen de 5,5 cm).

Evaluation des biomasses disponible et potentielle

En ce qui concerne l'impact de l'arbre sur la prairie, deux hypothèses divergent : la prairie pourrait être en compétition avec l'arbre pour les ressources du sol (nutriments, eau). Mais dans le même temps, l'arbre permettrait d'améliorer les conditions climatiques et météorologiques, en créant un microclimat au sein de la parcelle. En effet, il permet de limiter l'évapotranspiration du couvert et il tempère les températures extrêmes. Ce microclimat modifie les paramètres suivants : lumière, eau, vent, température, flux de carbone, d'azote et de macronutriments.

L'arbre, en protégeant la prairie de la chaleur du soleil, pourrait favoriser une herbe de meilleure qualité. Mais dans le même temps, le facteur lumière pourrait être limitant, ce qui empêcherait une pousse optimale de l'herbe. L'objectif est de quantifier le rapport coût/bénéfice entre biomasse et qualité de l'herbe.

Pour cela, des prélèvements de biomasse disponible (dans les zones pâturées par les animaux) ont été réalisés aux deux périodes d'observation (fin mai et fin juillet) en tondant des bandes de 2m x 10cm (soit la largeur de la mini-tondeuse) à une hauteur de 2 cm (hauteur du sabot de la mini-tondeuse). Sur la parcelle A0, 8 prélèvements ont été faits, de façon à représenter l'ensemble de la zone. Sur les parcelles A+ et A++, nous avons fait 16 prélèvements : 8 en zone nue et 8 sous les arbres. Puis nous avons placé nos 40 échantillons à l'étuve pendant une durée de trois jours à 60°C (une température plus haute risquerait de dénaturer les échantillons et de fausser les analyses). Ensuite, nous avons broyé les échantillons, puis nous les avons analysés par la méthode de spectrophotométrie dans le proche infrarouge (SPIR). Il s'agit de préparer deux coupelles par échantillon, que nous avons passés à la SPIR. Nous obtenons différentes données (dMO, NDF, ADF, MAT, ...).

En complément, des mesures de biomasse potentielle ont été réalisées : nous avons qualifié l'évolution de celle-ci, et la qualité des fourrages a été mesurée au cours du 1^{er} cycle de végétation. Dans chacune des trois parcelles ont été mises en place trois zones en défends, non accessibles aux animaux, pour évaluer la dynamique de végétation (biomasse, proportion de graminées et de légumineuses, stade phénologique), indépendamment de la présence des ovins. Nous pouvons ainsi évaluer la biomasse potentielle en mesurant la croissance, ainsi

que la qualité nutritive de l'herbe, notamment à l'ombre, sous les arbres. Deux méthodes sont utilisées :

- Tout d'abord, nous avons suivi le protocole général mis en place dans les autres exploitations impliquées dans le projet : dans chacune des zones en défends de chacune des trois parcelles, six quadrats de 0.54 m² ont été définis. A 800 degrés jours (DJ, ce qui correspond au mois de mai à Theix), nous avons réalisé la 1^{ère} coupe. La deuxième coupe a été réalisée à 1200 DJ. Puis, les suivantes ont été réalisées tous les 40 jours. Cette méthode correspond à l'exploitation de la prairie dans des conditions intensives.
- Nous avons également souhaité simuler une utilisation plus traditionnelle de la prairie. Dans les zones en défends, nous avons choisi de raser des bandes de 1mx10cm (soit la largeur de la mini-tondeuse) pour évaluer la dynamique de la végétation naturelle (nous ne rasons jamais deux fois au même endroit). Ce procédé a été réalisé tous les 15 jours et correspondait au 1^{er} cycle de végétation. Cette démarche a été aussi suivie pour le deuxième cycle de végétation en simulant une coupe à 1200 DJ. Le but est de caractériser la croissance pendant la saison.

Grâce à ces procédés, nous pouvons évaluer l'évolution de la qualité du fourrage, de la biomasse ainsi que de la dynamique de repousse postérieure. Ainsi, nous pouvons prendre en compte ces éléments lors de la conduite des ruminants.

Ces échantillons doivent également permettre de caractériser la diversité floristique des parcelles et l'évolution du stade phénologique. Ils ont été placés au congélateur afin de pouvoir réaliser le tri botanique puis seront mis à l'étuve de façon à évaluer le taux de matière sèche, puis broyés pour pouvoir analyser leur valeur nutritive (digestibilité cellulase, teneur en azote totale, teneur en fibres).

Biodiversité de l'entomofaune

Pour aller plus loin dans l'analyse de l'impact des arbres sur la biodiversité, nous avons souhaité compléter les données végétales par une évaluation de la diversité des insectes (abeilles sauvages notamment), afin d'évaluer l'effet de la densité d'arbres sur ce facteur. Pour cela, nous avons placé trois bols de trois couleurs différentes (blanc, bleu et jaune) dans une zone délimitée par un filet, de façon à ce que les brebis n'altèrent pas le dispositif. Nous les avons remplis d'eau et de liquide vaisselle. Après 3 jours, nous avons récupéré les bols et leur contenu, à savoir les insectes, que nous avons placés dans de l'alcool. Ces échantillons seront analysés par un spécialiste à la fin des deux années d'expérimentation.

Les relevés climatiques

Sur chacune des parcelles ont été placées des stations météorologiques (à l'abri des animaux et des aléas climatiques). Les facteurs évalués par les stations sont notamment la température, l'humidité, le rayonnement et la vitesse du vent. La moyenne de chacun des facteurs est réalisée toutes les 15 minutes et les valeurs sont récupérées toutes les trois semaines. Ainsi, il est possible de connaître les conditions microclimatiques des parcelles de façon précise.

Analyses d'images par ImageJ et QGIS

L'objectif de cette analyse était de pouvoir évaluer la proportion de surface de chaque parcelle couverte par les 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. Nous avons d'abord recalculé les surfaces de chaque parcelle en retraçant leurs contours grâce à des GPS et également en utilisant le logiciel ImageJ qui se base sur des images satellites. Ensuite, nous avons évalué la surface occupée par les houppiers grâce à ImageJ. Cependant, les images satellites les plus récentes datant de 2013, nous avons souhaité déterminer un coefficient de croissance, en comparant les données de 2013 à celles du terrain actuellement. Pour cela, nous avons mesuré les rayons de certains houppiers définis à l'avance sur A0, A+ et A++, de manière à évaluer la surface occupée actuellement par l'ensemble des houppiers sur chacune des parcelles. Le critère pour choisir ces houppiers était que l'on devait arriver à voir distinctement leur contour sur les images satellites. La mise en relation des données de 2013 et 2016 est présentée sur la figure 4. Les données se positionnant bien autour de la droite de régression « $y=x$ », nous avons choisi de négliger la croissance des arbres entre 2013 et 2016 sur les trois parcelles à l'étude.

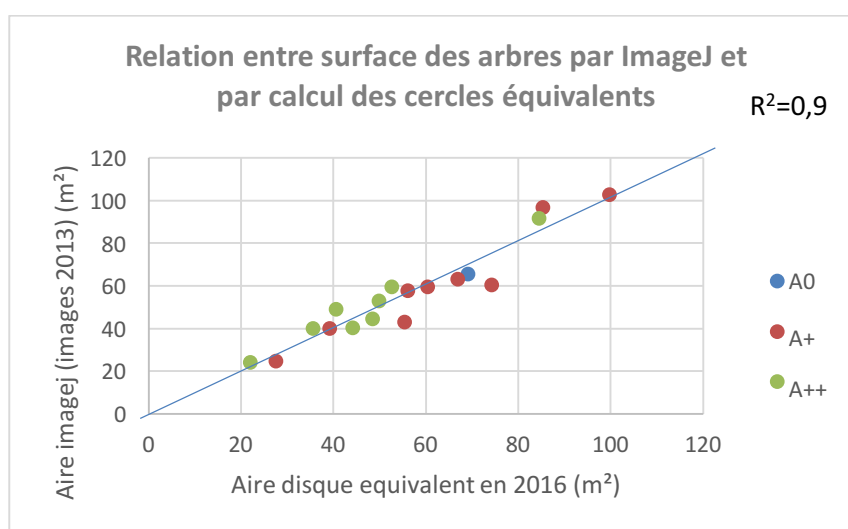


Figure 3. Relation entre surfaces des arbres (par ImageJ, images aériennes de 2013) et surfaces cercles équivalents (2016)

Par conséquent, les surfaces obtenues des parcelles et des houppiers avec les méthodes GPS et ImageJ sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3. Surfaces des parcelles et proportions couvertes par les houppiers

Lot	Somme aire Houppier (m²)	Aire parcelle (m²) - imagej	Aire parcelle (m²) - GPS+QGIS	% couvert imagej	% couvert GPS+QGIS
A0	60	7835	7700	0.8	0.8
A+	3318	8288	8237	40.0	40.3
A++	6796	8751	8098	77.7	83.9

Les surfaces relevées par ImageJ et par la méthode GPS+QGIS diffèrent : le tracé par ImageJ est approximatif, donc la mesure par GPS semble plus cohérente. Pour évaluer la surface couverte par les houppiers, nous retiendrons donc les données « % couvert GPS+QGIS ». Nous pouvons ainsi retenir que la surface couverte par les arbres est approximativement de 0.8%, 40% et 84% pour les traitements A0, A+ et A++, respectivement.

iii. Analyses statistiques

Pour la majorité des analyses, nous avons utilisé le logiciel SAS (Statistical Analysis System) Enterprise Guide 5.1. Nous avons effectué des ANOVA en utilisant la procédure « Mixed Models » et en considérant l'animal comme facteur aléatoire et la date comme facteur répété. Les facteurs testés étaient le traitement (A0, A+, A++), la date hiérarchisée dans la saison (« date(saison) ») et leur interaction. Nous avons également utilisé le test de Wilcoxon apparié (grâce au logiciel XLstat), pour certaines analyses spécifiques, qui concernaient également des données ne satisfaisant pas les conditions d'une analyse paramétrique.

Parmi l'ensemble des mesures et prélèvements effectués durant la saison de pâturage 2016 et décrites précédemment, tous n'ont pas pu être analysés dans le cadre de ce stage. Nous nous sommes focalisés sur les données comportementales (analyse des bilans d'activité), les données zootechniques et quelques données de végétation (biomasses).

Les données comportementales issues des bilans d'activité sont celles qui ont été analysées le plus finement. Les relevés fournissaient trois informations : 1) l'activité de l'animal (e.g. rumine, mange, se repose, animal debout, couché, etc.), 2) le positionnement par rapport à l'arbre (en zone nue, sous le houppier, au contact de l'arbre), et 3) le positionnement par rapport à l'ombre (pour les scans ensoleillés, cela renseignait sur le positionnement de l'animal à l'ombre ou au soleil). Pour ce stage, nous avons analysé les données relatives à l'activité et au positionnement par rapport à l'ombre car c'est un des intérêts majeurs de l'arbre. Nous avons fait cinq analyses selon le type d'information utilisé :

- Analyse 1 : analyse des activités, indépendamment du positionnement
- Analyse 2 : analyse du positionnement, indépendamment de l'activité
- Analyses 3a, 3b, 3c : analyse des activités selon le positionnement, analyse du positionnement pour chaque activité

3. Résultats

L'objectif de l'expérimentation était de maintenir les brebis sur les parcelles pendant la saison de pâturage (de mai à novembre), sans complémentation. L'année 2016 ayant été très sèche, nous n'avons pas pu satisfaire cet objectif. Nous avons considéré la hauteur d'herbe moyenne de la parcelle comme indicateur de sortie des animaux avec un seuil à 5.5 cm communément utilisé. Ce seuil nous a conduit à sortir les brebis du traitement A++ le 5 août, celles du traitement A+ le 12 septembre et celles du traitement A0 le 11 octobre.

Les brebis étaient entrées sur le dispositif le 13 mai avec leurs agneaux (nés vers la mi-avril) et le sevrage a eu lieu le 27 juin (voir le planning complet en Annexe A).

i. Le comportement – analyse des bilans d'activité

Les analyses statistiques ont été réalisées seulement sur la journée, donc sur les 6 heures d'observation, et non sur des créneaux particuliers (matin, midi ou soir). Les observations ont été faites sur deux journées par saison. Les caractéristiques météorologiques de ces journées sont présentées en Annexe G.

Analyse 1 : activités

La première analyse statistique réalisée est donc une analyse des scans de comportement, sans prendre en compte la position de l'animal. Nous avons choisi de ne considérer que les cinq comportements les plus fréquents dans notre analyse : « Couché-Rumine : C-Ru », « Couché-Repos : C-Re », « Debout-Rumine : D-Ru », « Debout-Repos : D-Re » et « Debout-Mange : D-M ». L'analyse statistique a été réalisée sur les proportions de temps consacré à ces activités sur la journée, c'est-à-dire que nous effectués le calcul « nombre de scans de l'activité X sur la journée / (6*12) » (car il y a 6 heures * 12 scans/heure sur une journée d'observation).

Les questions posées étaient : « Comment la présence des arbres impacte-t-elle la proportion de temps passé à une activité donnée ? Et ce temps est-il différent selon la saison ? »

Les résultats des ANOVAs pour chaque comportement (chaque variable) sont présentés dans le tableau 4 et la répartition des activités des brebis par traitement et date sont présentées dans la figure 5.

Tableau 4. Résultats des statistiques réalisées sur l'analyse 1

Activités	Facteur traitement		Facteur date(saison)		Interaction traitement*date(saison)	
	Valeur F	Pr > F	Valeur F	Pr > F	Valeur F	Pr > F
C-Ru	6.72	0.0045	9.75	<.0001	11.2	<.0001
C-Re	16.99	<.0001	44.39	<.0001	7.54	<.0001
D-Ru	30.75	<.0001	95.06	<.0001	35.22	<.0001
D-Re	5.41	0.0075	26.5	<.0001	3.22	0.0065
D-M	2.35	0.1101	5.08	0.0029	41.3	<.0001

Le tableau 4 montre que l'interaction entre le traitement et la date est toujours fortement significatif, indiquant que l'effet traitement est différent entre dates et/ou que l'effet date est différent selon le traitement. Globalement, ces significativités correspondent à des différences ponctuelles qui ne traduisent cependant pas d'évolution claire des activités entre traitements ou entre dates. Si l'on s'intéresse à la journée d'été la plus chaude (le 20 juillet) par exemple, on remarque que les proportions de temps passées à chaque activité sont proches quelle que soit la densité d'arbres sur les parcelles.

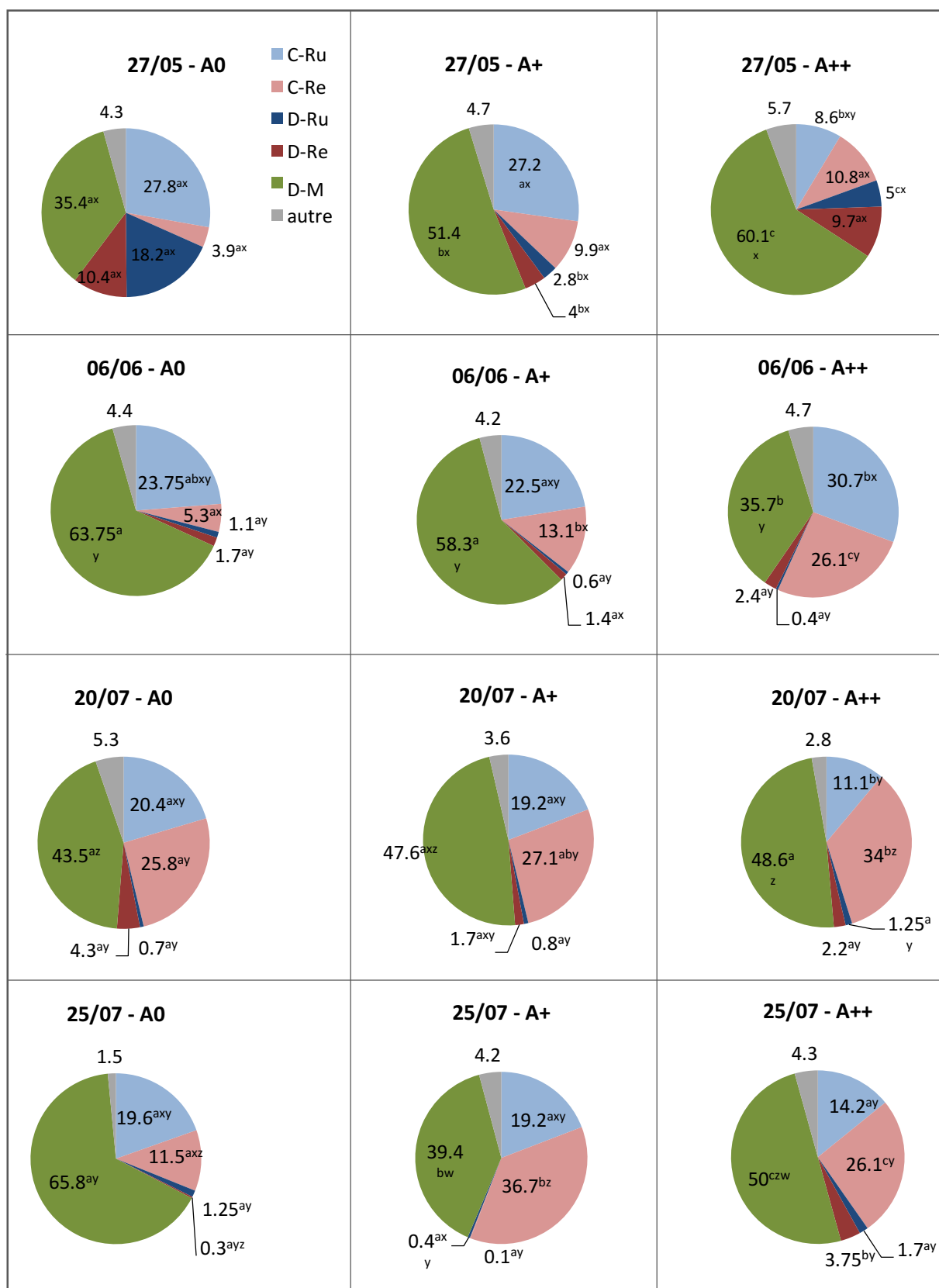


Figure 4. Répartition des activités par date et par lot - Les lettres en exposant signalent les différences de significativité entre valeurs. Les lettres w, x, y et z signalent la significativité entre les différentes dates au sein d'un même lot (par colonne), et les lettres a, b et c signalent la significativité entre traitements sur un même jour (par ligne).

Analyse 2 : positionnement à l'ombre et au soleil

Pour cette deuxième analyse, nous nous sommes intéressés au positionnement des brebis vis-à-vis de l'ombre « O » et du soleil « S ». Les questions posées étaient « Comment la présence d'arbres influence-t-elle la proportion de temps passé à l'ombre ? », et « Est-ce différent selon la saison ? »

Pour cela, nous avons caractérisé les scans selon qu'ils étaient ensoleillés (animal identifié à l'ombre ou au soleil) ou non ensoleillés (temps couvert). Nous avons ensuite analysé la proportion du temps passé à l'ombre vs. au soleil de deux façons différentes : (a) sur l'ensemble des scans (figure 6) et (b) sur les scans ensoleillés seulement (figure 7).

Les résultats des ANOVAs pour chaque positionnement sont présentés dans le tableau 5 et la répartition du positionnement des brebis par traitement et date sont présentées dans les figures 6 et 7.

NB : la journée du 27/05 est à considérer avec précaution concernant les analyses 2 et 3 car nous avons précisé l'éthogramme suite à cette première journée d'observation ; les codes de position étaient donc moins précis.

Tableau 5. Résultats des statistiques réalisées sur l'analyse 2

		Traitement		Date(saison)		Traitement*date(saison)	
		Valeur F	Pr > F	Valeur F	Pr > F	Valeur F	Pr > F
Scans totaux	Prop. Ombre	265.65	<.0001	99.74	<.0001	9.20	<.0001
	Prop. Soleil	317.62	<.0001	124.01	<.0001	37.73	<.0001
	Prop. Complément	61.67	<.0001	449.07	<.0001	42.07	<.0001
Scans ensoleillés	Prop. Ombre	351.26	<.0001	90.23	<.0001	34.13	<.0001
	Prop. Soleil	351.26	<.0001	90.23	<.0001	34.13	<.0001

Comme pour la 1^{ère} analyse, nous constatons une interaction Traitement * Date fortement significative quelle que soit la proportion étudiée.

Concernant l'analyse sur les scans totaux, nous observons que la proportion de temps passée au soleil diminue lorsque l'on passe de A0, à A+ à A++, tandis que celle passée à l'ombre augmente, de façon logique avec l'augmentation de la densité d'arbres entre A0 et A++ (figure 6). La proportion de scans caractérisés comme « complément » dépend, quant à elle, des conditions météorologiques de la journée.

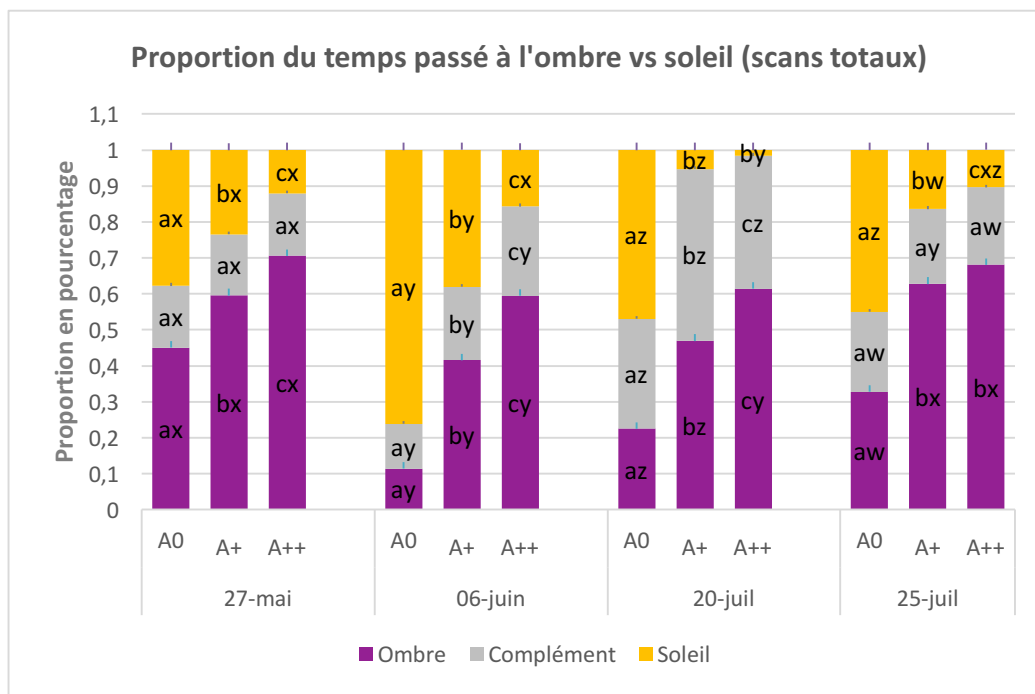


Figure 5. Proportion de temps passé à l'ombre et au soleil sur la totalité des scans - Les lettres en exposant signalent les différences de significativité entre valeurs. « w, x, y, z » signalent la significativité entre dates, « a, b, c » signalent la significativité entre traitements.

Nous pouvons également observer une augmentation du temps passé à l'ombre entre le 06/06 et 25/07, de façon particulièrement marquée pour les traitements A0 et A+.

Concernant l'analyse sur les scans ensoleillés seulement, on retrouve les résultats précédents (figure 7). Pour aller plus loin, nous avons, grâce à un test de Wilcoxon apparié, comparé les proportions de temps passé à l'ombre et au soleil avec la surface estimée couverte par les houppiers sur chacune des parcelles, soit 0,8, 40 et 84% respectivement pour les traitements A0, A+ et A++, de façon à estimer une recherche active de l'ombre par les brebis. Les astérisques et les « NS » au-dessus des colonnes signalent la significativité ou non de ces comparaisons. Les résultats indiquent que les brebis des traitements A0 et A+ passent plus de temps à l'ombre que la surface effectivement couverte par les arbres, quelle que soit la date. Les brebis du traitement A0 passent ainsi jusqu'à 42% de leur temps (sur les plages horaires observées) à l'ombre alors que la surface sous l'arbre n'était estimée qu'à moins de 1%. Pour le traitement A++ très ombragé, le même comportement est observé lors de la journée la plus chaude, c'est-à-dire le 20 juillet où elles passent 97% du temps d'observation à l'ombre des arbres.

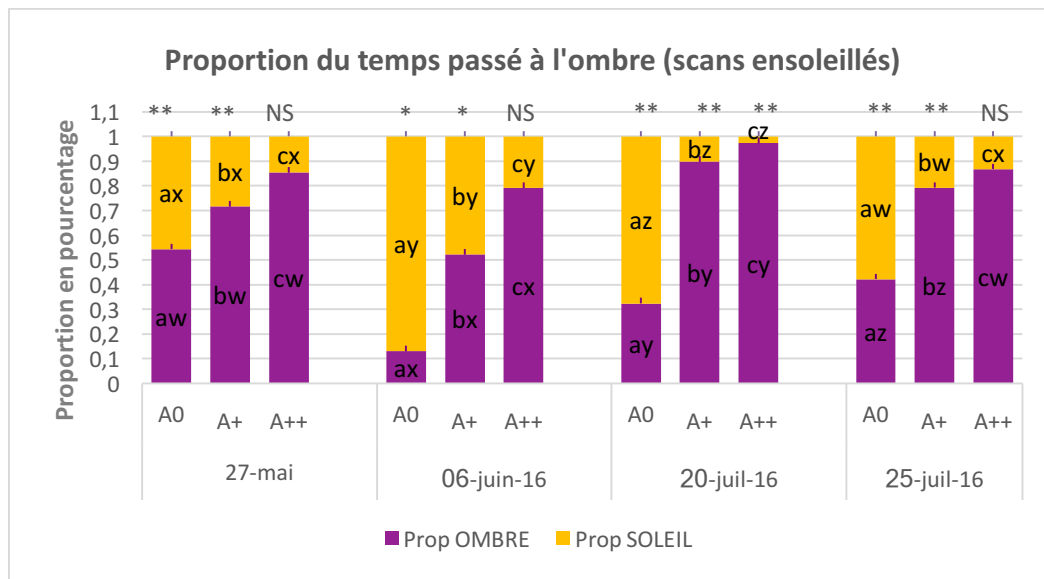


Figure 6. Proportion de temps passé à l'ombre et au soleil (réalisés seulement sur les scans ensoleillés) - Les lettres en exposant signalent les différences de significativité entre valeurs. « w, x, y, z » signalent la significativité entre dates, « a, b, c » signalent la significativité entre traitements.

Analyse 3 : activités à l'ombre et au soleil

Enfin, nous avons réalisé une troisième analyse qui met en relation les activités avec la position à l'ombre ou au soleil ; elle a été divisée en trois sous-analyses.

- **Analyse 3a** : proportion de temps passé à chaque activité, à l'ombre ou au soleil

Nous avons souhaité évaluer la proportion de temps passé à chaque activité, à l'ombre ou au soleil. Nos questions étaient « Comment la présence d'arbres affecte-t-elle la proportion de temps passé à une activité donnée à l'ombre ou au soleil ? », et « Y a-t-il une différence selon la saison ? »

Nous avons d'abord analysé chacune des cinq activités utilisées dans la 1^{ère} analyse, à l'ombre puis au soleil. Cependant, quasiment aucun des résidus n'étaient normaux malgré des essais de transformation de variable. Nous avons donc fait le choix de regrouper les variables « debout » et « couché » relatives à la rumination d'une part et au repos d'autre part, et en conservant la variable D-M. Cela a dû s'accompagner d'une transformation angulaire des variables (arcsinus) mais a permis d'homogénéiser les résidus. Les variables testées étaient donc :

- RuO (rumine, à l'ombre)
- RuS (rumine, au soleil)
- ReO (au repos, à l'ombre)
- ReS (au repos, au soleil)
- D-MO (debout en train de manger, à l'ombre)
- D-MS (debout en train de manger, au soleil)

Nous avons calculé la proportion de chaque activité à l'ombre ou au soleil sur les 6 heures d'observation (soit 6*12 scans). Par exemple, pour calculer les proportions de D-MO pour chaque animal, nous avons effectué le calcul : « nombre de scans D-M à l'ombre pendant la journée / (6*12) ».

Les résultats des ANOVAs pour chaque variable sont présentés dans le tableau 6 et le détail des proportions selon le traitement et la date sont présentées dans la figure 8.

Tableau 6. Résultats des statistiques réalisées sur l'analyse 3a

	Traitement		Date(saison)		Traitement*date(saison)	
	Valeur F	Pr > F	Valeur F	Pr > F	Valeur F	Pr > F
Prop. RuO	4.69	0.0157	53.09	<0.0001	21.41	<0.0001
Prop. RuS	114.11	<0.0001	22.10	<0.0001	8.22	<0.0001
Prop. ReO	43.95	<0.0001	41.55	<0.0001	3.59	0.0033
Prop. ReS	22.51	<0.0001	7.15	0.0004	12.59	<0.0001
Prop. D-MO	286.02	<0.0001	29.45	<0.0001	9.39	<0.0001
Prop. D-MS	171.90	<0.0001	92.18	<0.0001	9.31	<0.0001

Les résultats indiquent que pour l'activité de consommation, que ce soit à l'ombre ou au soleil, les traitements se classent globalement de façon cohérente avec la densité d'arbres sur la parcelle ; ainsi la proportion de l'activité « Mange » à l'ombre augmente entre A0 et A++, et inversement la proportion de cette même activité au soleil diminue entre A0 et A++.

En ce qui concerne les activités de repos et de rumination, ces classements entre traitements sont moins respectés et les différences entre eux apparaissent plus faibles. Les activités de repos et de rumination sont inexistantes au soleil pour A++, presque inexistantes sur A+, et très faibles sur A0. Ces activités sont plus fréquentes à l'ombre.



Figure 7. Répartition des activités à l'ombre et au soleil (analyse 3a) - Les lettres en exposant signalent les différences de significativité entre valeurs. « w, x, y, z » signalent la significativité entre dates, « a, b, c » signalent la significativité entre traitements.

- **Analyse 3b** : choix de l'ombre ou du soleil pour chaque activité

Ensuite, nous avons souhaité tester le choix des brebis entre l'ombre et le soleil pour chaque activité. Les questions étaient : « Comment la présence d'arbres impacte-t-elle les choix des animaux entre ombre et soleil pour une activité donnée ? », et « Est-ce différent selon la saison ? ». Pour cela, nous avons effectué le calcul « nombre de scans de l'activité X à l'ombre / (nombre de scans de l'activité X à l'ombre + nombre de scans de l'activité X au soleil) ». En cohérence avec l'analyse 3a, nous avons considéré les trois activités « Ru » (rumine, couché et debout confondus), « Re » (au repos, couché et debout confondus) et « D-M » (debout en train de manger) ; en effet, le nombre de scans de certaines activités utilisées dans l'analyse 1 étaient de zéro, rendant le quotient impossible à calculer.

A la suite de cette analyse, nous avons utilisé un test de Wilcoxon apparié pour comparer les pourcentages de préférence pour l'ombre ainsi obtenus, avec une non-préférence des

animaux pour l'ombre ou le soleil. La valeur de non-préférence dépendait de la densité d'arbres de chaque parcelle : 0,8% pour A0, 40% pour A+ et 84% pour A++.

Les résultats des ANOVAs pour chaque variable sont présentés dans le tableau 7 et le détail des choix Ombre/Soleil pour chaque activité sont présentées dans la figure 9.

Tableau 7. Résultats des statistiques réalisées sur l'analyse 3b

	Traitement		Date(saison)		Traitement*date(saison)	
	Valeur F	Pr > F	Valeur F	Pr > F	Valeur F	Pr > F
Pref O - Rumine	126.66	<0.0001	27.26	<0.0001	12.01	<0.0001
Pref O - Repos	32.72	<0.0001	31.54	<0.0001	5.21	0.0002
Pref O - Mange	382.16	<0.0001	13.91	<0.0001	6.96	<0.0001

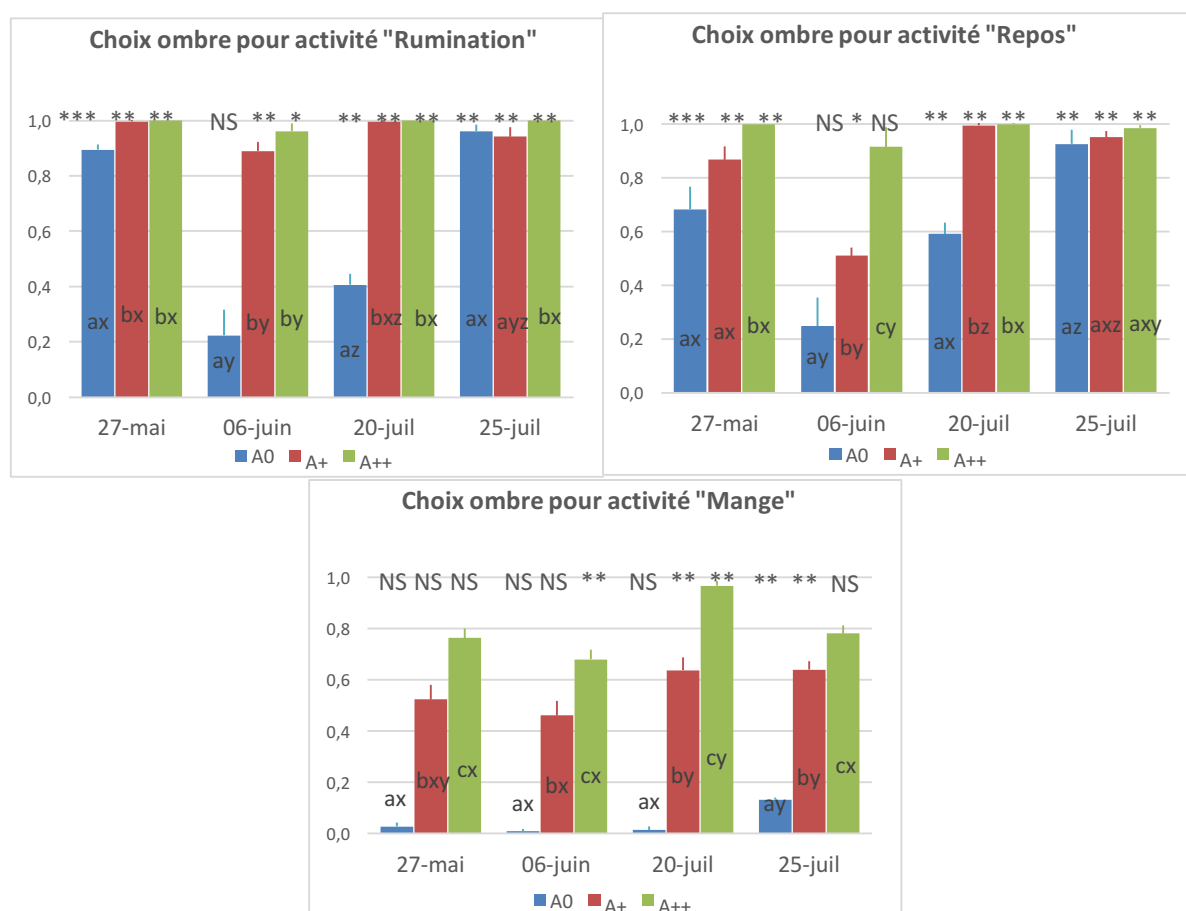


Figure 8. Choix de l'ombre ou du soleil pour chaque activité (analyse 3b) - Les lettres en exposant signalent les différences de significativité entre valeurs. « w, x, y, z » signalent la significativité entre dates, « a, b, c » signalent la significativité entre traitements.

Les résultats indiquent que pour les activités de rumination et de repos, il y a une recherche active de l'ombre de la part des brebis, quel que soit le traitement. On observe également une augmentation du choix pour l'ombre entre dates (entre le 06/06 et le 25/07) et donc entre saisons. Ceci est particulièrement marqué chez les brebis A0, qui expriment un choix pour l'ombre très proche des brebis A+ et A++, choix qui atteint 90% le 25/07, malgré les fortes différences de densités d'arbres entre traitements.

En ce qui concerne l'activité « Mange », la sélection active de l'ombre semble moins évidente. Chez les brebis A0 en particulier, le pattern de préférence est très différent de celui pour la rumination ou le repos, probablement en raison du fait que ces brebis avaient peu d'opportunité de pâturer sous l'arbre. Chez les brebis A+, en été, les valeurs sont au-dessus du seuil de non-préférence, mais cette préférence est apparemment plus modérée que pour le repos ou la rumination. Enfin, en ce qui concerne les brebis A++, il n'y a pas systématiquement de recherche active de l'ombre, y compris en été.

- **Analyse 3c** : comparaison de la répartition des activités quand l'animal est à l'ombre ou au soleil

Enfin, la dernière analyse sur le comportement est une comparaison de la répartition des activités de rumination, de repos et d'alimentation réalisées à l'ombre et au soleil. Les données n'étant pas réparties normalement, nous avons effectué un test de Wilcoxon apparié en comparant le pourcentage de chaque activité à l'ombre avec le pourcentage de cette même activité au soleil. Ces pourcentages ont été calculés de la façon suivante : « nombre de scans de l'activité X à l'ombre (ou au soleil) / nombre de scans totaux à l'ombre (ou au soleil) ». Nous avons ainsi comparé pour chaque date et chaque parcelle, le pourcentage d'une activité à l'ombre avec le pourcentage de cette même activité au soleil. Le but était de savoir si l'animal répartit ses activités différemment à l'ombre et au soleil.

Pour ne pas trop alourdir le document, nous présentons les nombreux diagrammes de résultats en annexe. Nous présentons ci-dessous uniquement les résultats de la journée du 25/07 (figure 10), à titre d'illustration, sachant que les mêmes tendances se retrouvent aux différentes dates et pour les trois traitements. Ainsi, de manière générale, les proportions de temps allouées à la rumination, au repos et aux repas sont très différentes entre ombre et soleil pour tous les traitements et toutes les dates d'observation.

Parmi les scans au soleil, c'est l'activité de consommation qui représente la proportion majoritaire, tandis qu'à l'ombre, ce sont les activités de repos et de rumination qui sont majoritaires (même si l'activité « D-M » n'est pas non plus négligeable à l'ombre).

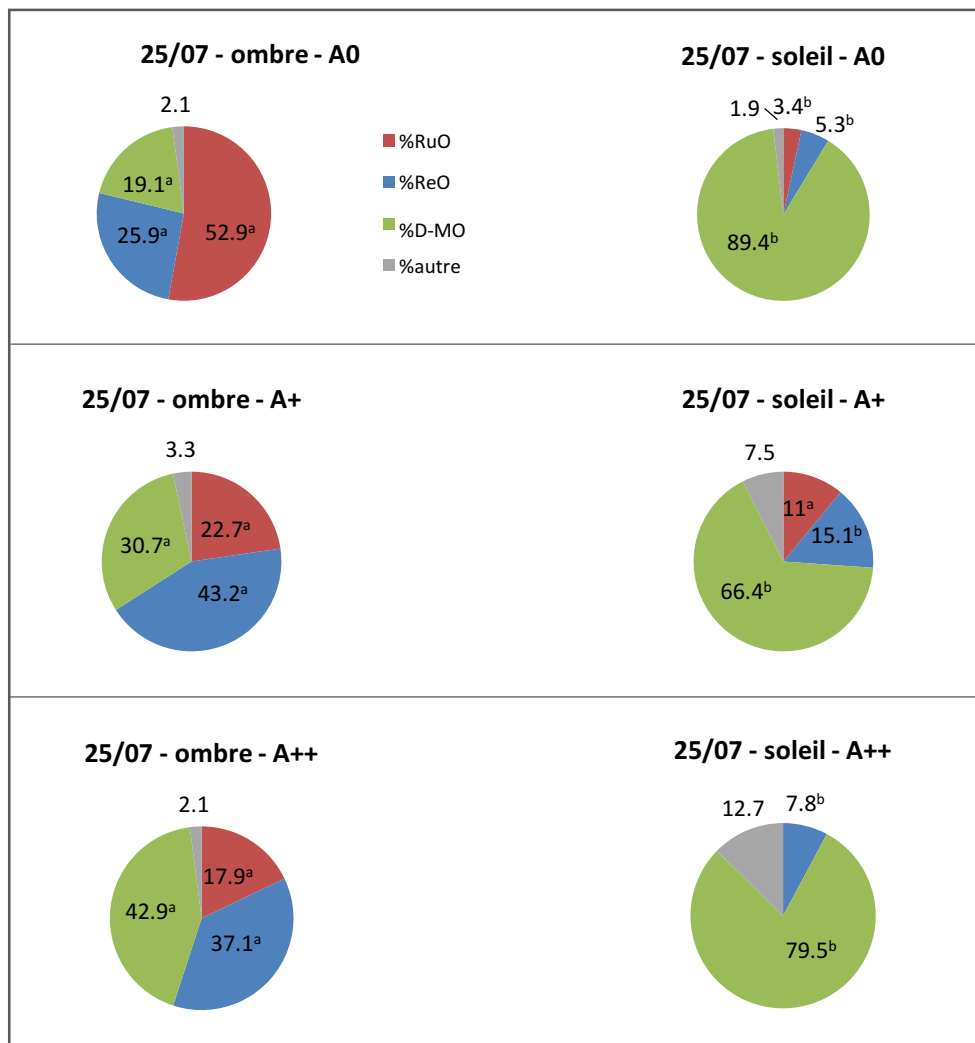


Figure 9. Exemple de répartition des activités selon que l'animal est à l'ombre ou au soleil (analyse 3c) –
Pour chaque diagramme, les lettres « a, b » signalent une différence significative entre ombre et soleil.

ii. Données zootechniques

Les données de poids et notes d'état corporel (NEC) des brebis et des agneaux ont été analysé avec une ANOVA (procédure Mixed Models) avec comme effets testés le traitement, la date et leur interaction. Les résultats de ces analyses sont présentés dans le tableau 7 et les évolutions de ces variables au cours de la saison sont présentées dans les figures 11 à 13.

Tableau 8. Résultats des statistiques réalisées sur les données zootechniques

	Traitement		Date		Traitement*date	
	Valeur F	Pr > F	Valeur F	Pr > F	Valeur F	Pr > F
Poids brebis	0.55	0.58	69.95	<0.0001	11.52	<0.0001
NEC brebis	2.02	0.15	15.31	<0.0001	3.79	<0.0001
Poids agneaux	0.07	0.93	775.93	<0.0001	2.49	0.025

- **Poids des brebis et des agneaux :**

Les résultats de poids des brebis présentés sur la figure 11 montrent que ces poids ont progressivement diminué pendant toute la période d'allaitement, quel que soit le traitement. Ils se sont ensuite stabilisés voire ont légèrement augmenté vers la fin de la saison, bien que cette augmentation se soit majoritairement opérée une fois les brebis sorties du dispositif. Les différences entre traitements sont apparues assez tard, au cœur de l'été, où l'on observe que les brebis A0 arrivent à reprendre plus de poids que les brebis A+ sur la période courant de mi-juillet à mi-septembre (date de sortie des brebis A+). Jusqu'à leur sortie du dispositif le 05 août, les brebis A++ suivent en termes de poids les brebis A+.

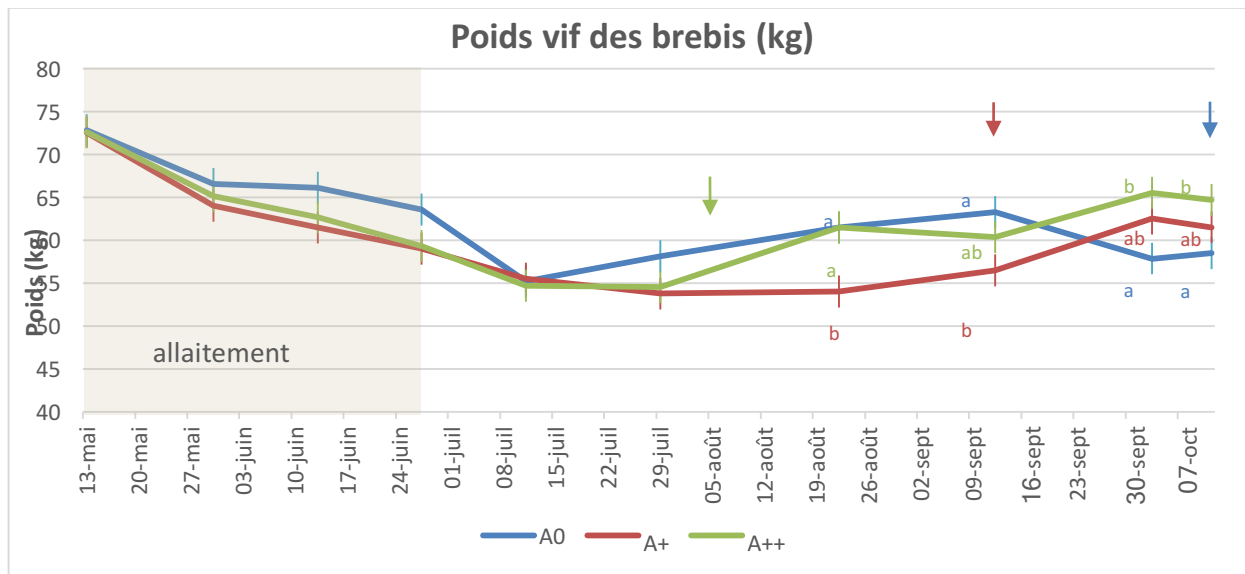


Figure 10. Evolution du poids vif des brebis (kg) – la zone grisée représente la période d'allaitement, et les flèches de couleur indiquent les dates de sortie des brebis des différents traitements. Les lettres « a, b, c » indiquent les différences entre traitements à une date donnée.

En ce qui concerne les agneaux, on observe une croissance continue, et homogène entre traitements (figure 12), avec un gain moyen quotidien de l'ordre de 200g/jr. Les agneaux n'ont pas été pénalisés par l'expérimentation sans incidence aucune de la densité d'arbres.

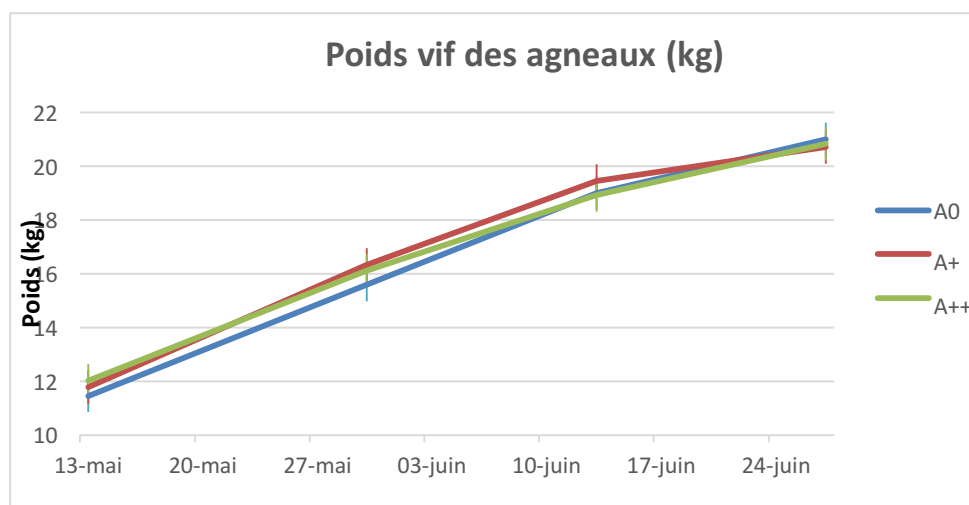


Figure 11. Evolution du poids vif des agneaux (kg)

- **Note d'Etat Corporel :**

Les résultats présentés sur la figure 13 indiquent que des différences entre traitements sont apparues dès le tarissement, soit plus précocement que pour le poids vif. Globalement, on observe que l'état des brebis A0 a été relativement stable (note qui oscille entre 2 et 2.5 points) malgré une baisse transitoire après le sevrage. En revanche, on observe une diminution plus prolongée de la note d'état des brebis A+ et A++. Chez les brebis A+, la diminution se fait jusqu'au sevrage puis on observe une stabilisation. La différence de l'ordre de 0.5 point avec les brebis A0 se maintient alors ainsi jusqu'à la sortie des brebis A+ le 12 septembre. Elles ont ensuite repris de l'état une fois sorties de la parcelle.

Enfin, chez les brebis A++, il y a eu également une chute progressive de la note d'état mais au-delà de celle des brebis A+. En effet, si jusqu'à leur sortie le 05 août, leur état était similaire à celui des brebis A+, la diminution s'est prolongée pendant 3 semaines après leur sortie. Elles ont finalement repris de l'état pour remonter au niveau des brebis A+ et A0 en fin d'expérimentation. Au plus bas, la note d'état a été en moyenne de 1,3 (ce qui correspond à une brebis maigre).

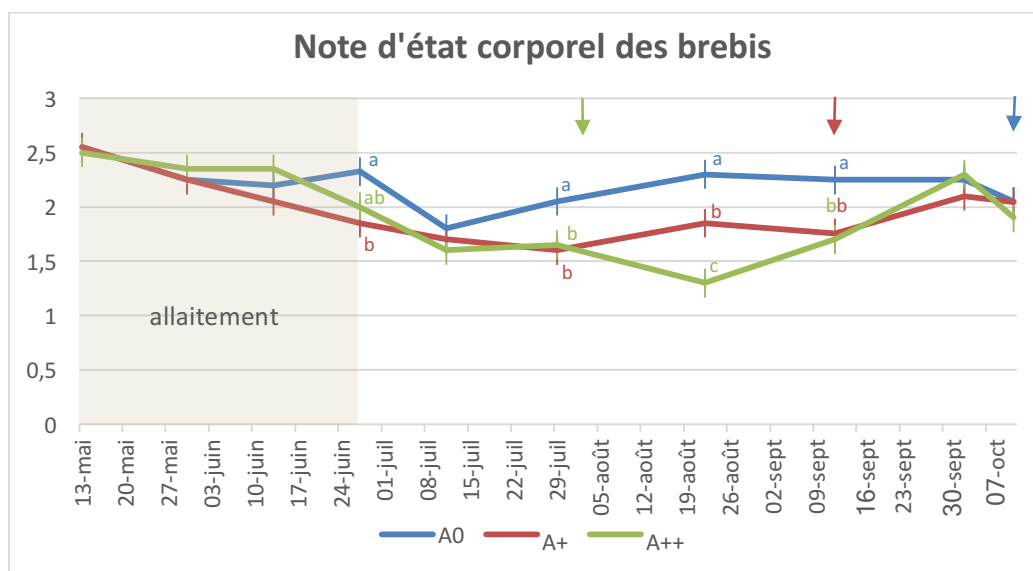


Figure 12. Evolution de la note d'état corporel des brebis – la zone grisée représente la période d'allaitement, et les flèches de couleur indiquent les dates de sortie des brebis des différents traitements. Les lettres « a, b, c » indiquent les différences entre traitements à une date donnée.

iii. Biomasse disponible

L'analyse de la quantité de biomasse disponible sur chacune des parcelles A0, A+ et A++ indique un effet du traitement ($p=0.0001$), de la saison ($p=0.0001$) et de leur interaction ($p=0.031$).

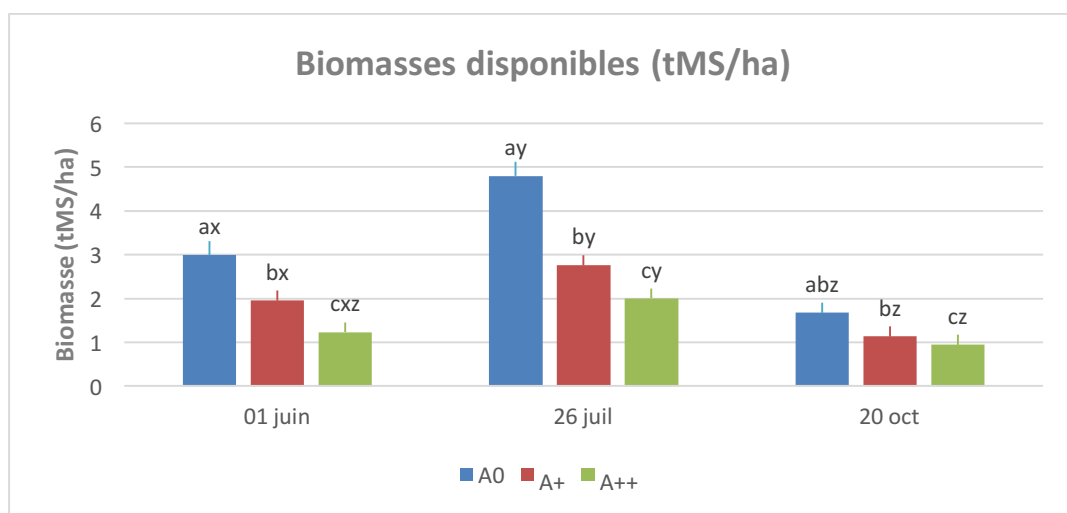


Figure 13. Evolution de la biomasse disponible au cours de la saison (tonne de matière sèche par hectare) - Les lettres "a, b, c" signalent la significativité entre traitements et les lettres "x, y, z" signalent la significativité entre dates.

Sur la figure 14, nous observons que la parcelle A0 est celle où la biomasse est la plus importante quelle que soit la saison. Egalement, on observe que la biomasse diminue lorsque la densité d'arbres augmente, avec un rapport de 2 voire plus entre les traitements extrêmes (A0 et A++). Enfin, on peut constater que les évolutions entre saisons sont similaires quel que soit le traitement, avec une augmentation de la biomasse entre le printemps et l'été, puis une diminution en automne, à un niveau inférieur à celui du printemps.

iv. Composition botanique et stade phénologique

• Composition botanique :

Suite aux prélèvements effectués, nous avons trié les échantillons. Nous avons choisi de traiter un échantillon par traitement, et nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau 9. Composition botanique des parcelles (exprimée en pourcentage de la biomasse totale)

Famille	Nom de l'espèce	Nom scientifique de l'espèce	A0	A+	A++
Graminées	Agrostis	Agrostis capillaries	30,67	51,14	21,21
	Avoine Jaunâtre	Trisetum flavescens	8,37	17,07	1,67
	Brome	Bromus mollis	1,81	1,08	0,75
	Fétuque rouge	Festuca rubra	30,44	2,75	10,73
	Fromental	Arrhenatherum elatius	0	0	12,95
	Houlque Laineuse	Holcus lanatus	0	1,70	25,07
	Paturin commun	Poa trivialis	0	0,38	7,78
	Pâturin des prés	Poa pratensis	0,89	0	1,18
	Ray Grass Anglais	Lolium perenne	25,27	3,66	9,38
	Vulpin des Prés	Alopecurus pratensis	0	0	2,12
Légumineuses	Trèfle Blanc	Trifolium repens	0	0,04	0,15
Diverses	Stellaire graminée	Stellaria graminea	0	6,44	0

	Ceraiste	Cerastium fontanum	0,82	0	0
	Gaillet croisette	Cruciata leavipes	0	7,28	0
	Géranium	Geranium sp.	0,12	0	0,85
	Pissenlit	Taraxacum officinale	0,40	0	0
	Plantain	Plantago lanceolata	0	2,26	0
	Renoncule	Ranonculus acris	0	0	1,00
	Véronique	Veronica chamaedrys	0,09	0,32	1,45
Matières mortes	Matières mortes	--	1,13	5,87	3,71

Par famille, cela donne donc :

Tableau 10. Récapitulatif de la composition botanique par famille (exprimée en pourcentage de la biomasse totale)

Famille	A0	A+	A++
Graminées	97,44	77,78	92,84
Légumineuses	0	0,04	0,15
Diverses	1,42	16,31	3,30
Matières mortes	1,13	5,87	3,71

Globalement, les parcelles contiennent une majorité de graminées. Les principales espèces présentes sont l'agrostis (30,67% sur A0, 51,14% sur A+ et 21,21% sur A++), la fétuque rouge surtout sur A0 (30,44%) et A++ (10,73%) et le ray-grass anglais principalement sur A0 (25,27%) et A++ (10%). Sur la parcelle A+, on trouve également des diverses (stellaire graminée et gaillet croisette) en proportions non négligeables (16,31%).

- **Stade phénologique :**

De même, nous avons trié les échantillons de manière à évaluer le stade phénologique de chacun selon la méthode de Moore et al., (1991) adapté par Andueza (communication personnelle). Nous avons tout d'abord évalué le SMP (stade moyen par rapport au poids) pour chacune des parcelles. Il s'agit de peser les échantillons de chaque classe après passage à l'étuve ; cette masse est ensuite multipliée par le coefficient relatif à chaque stade phénologique. Nous obtenons le graphique suivant :

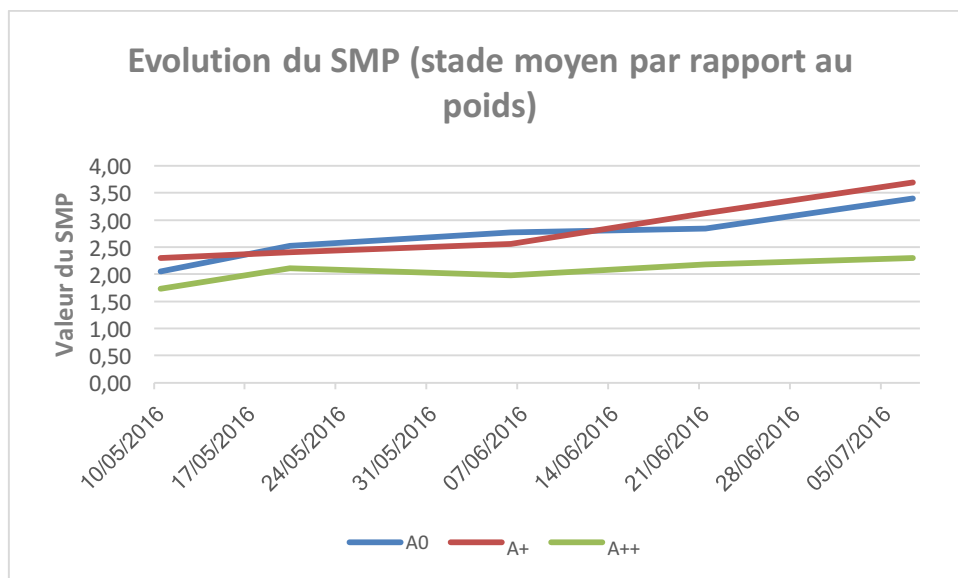


Figure 14. Evolution du SMP (stade moyen par rapport au poids, après séchage à l'étuve) au cours du premier cycle de végétation des trois traitements

Nous pouvons observer que le SMP augmente au cours du temps, ce qui est normal : au cours du temps, la végétation évolue et croît.

Ensuite, nous avons évalué le SMT (stage moyen des tiges), pour chacune des parcelles également :

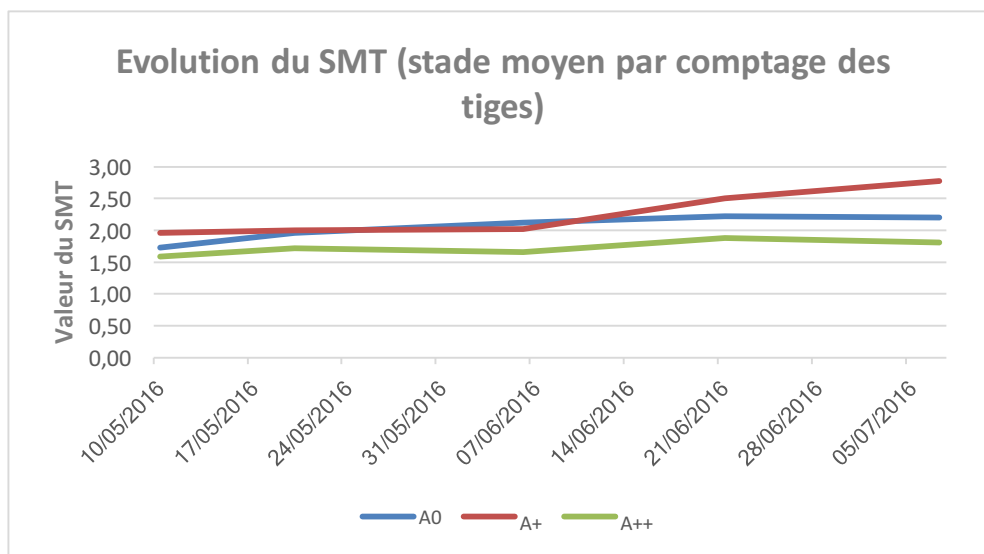


Figure 15. Evolution du SMT (stade moyen évalué par comptage des tiges)

De même, le SMT augmente au cours du temps.

Par les deux méthodes utilisées, nous pouvons observer que la parcelle A++ est celle où le stade est le moins avancé. La parcelle A0 et A+ évoluent d'une manière similaire pour SMP mais pour SMT, A0 est légèrement moins avancée à la fin du cycle que la parcelle A+.

Ces méthodes présentent des avantages et des inconvénients. Travailler sur les poids est plus précis pour la détermination du stade phénologique de la parcelle. Cette mesure est considérée comme la référence. Le problème est qu'il est difficile pour un agriculteur de

travailler avec les poids ; en effet, cela nécessiterait l'usage d'une étuve. Travailler avec les tiges est moins contraignant car il suffit seulement de réaliser le tri, et c'est plus rapide. L'agriculteur peut avoir ainsi un stage moyen de la parcelle avec la méthode des tiges ce qui est similaire au stade moyen de la parcelle obtenu à partir des poids secs des plantes appartenant à une classe de stade phénologique.

4. Discussion

i. Utilisation de l'arbre par les brebis

En termes d'activité générale, nous n'avons pas observé de grande tendance concernant des différences entre les traitements ou entre les dates (analyse 1). Il se peut que ce résultat soit dû en partie au fait que nous avons analysé les scans d'activité sur les 6 heures d'observation et non par créneau de 2 heures. On pourrait en effet s'attendre à ce qu'en journée chaude, les brebis A0 décalent leur activité de pâturage aux heures les moins chaudes de la journée, contrairement aux brebis bénéficiant d'une parcelle arborée leur permettant de pâturer à l'ombre. L'analyse des colliers Ethosys® devrait également nous apporter des informations sur d'éventuelles différences d'organisation des activités de pâturage entre traitements et entre dates, au sein des 24h d'enregistrement.

Un des bénéfices de l'arbre en prairie que l'on suppose être particulièrement intéressant pour l'animal est l'apport d'abri lui permettant de disposer d'ombre. Une des questions principales du projet Parasol était donc de quantifier l'utilisation de l'arbre par l'animal, notamment lors de journées d'été induisant un stress de chaleur. Il ressort nettement des résultats que les brebis recherchent activement l'ombre, y compris en dehors de ces épisodes de forte chaleur (analyse 2). Ceci est mis en évidence tout particulièrement chez les traitements les moins ombragés. Ainsi, les brebis du traitement A0 qui n'avaient à leur disposition qu'un seul arbre dont le houppier représentait une surface au sol de moins d'1% de la superficie totale de la parcelle, passaient en été entre 30 et 40% de leur temps (dans la limite des 6 heures d'observation) dans son ombre. Cette position des brebis sous son houppier ne peut donc pas être due au hasard. L'ombre apparaît donc être un élément très important pour l'animal, que celui-ci recherche activement, y compris sur une parcelle moyennement arborée (traitement A+) voire très arborée (traitement A++ lors de la journée la plus chaude). Comme on pouvait s'y attendre, cette recherche est renforcée par les conditions climatiques ambiantes puisqu'on observe une nette augmentation du temps passé à l'ombre entre le 06 juin et les journées d'été.

Si l'animal recherche l'ombre, c'est surtout pour certaines activités. Les résultats des analyses 3a, 3b et 3c montrent que ce sont les activités de repos et de rumination qui se font préférentiellement voire quasi exclusivement à l'ombre. Ainsi en été chez des animaux disposant d'un nombre d'arbres conséquent (A+ et A++), ces activités n'ont jamais été observées au soleil. Chez les brebis A0 qui n'avaient qu'une place à l'ombre très limitée, le choix de l'ombre pour ces activités de repos et de rumination était nettement actif avec un choix allant jusqu'à égaler sur une des journées d'été celui des brebis A+ et A++, de l'ordre de 90% (i.e. leurs activités de repos et de rumination se sont faites à 90% à l'ombre).

En revanche, la recherche de l'ombre pour l'activité de consommation est moins nette. Chez les brebis du traitement A0, cela peut s'expliquer par le fait qu'elles avaient un compromis à faire entre pâturer au soleil ou bien rester à l'ombre mais y avoir une autre activité (être au repos, ruminer, etc.). En effet, la ressource disponible sous l'arbre était faible car l'aire couverte par celui-ci était réduite, et que cette surface a peu à peu été tassée par les brebis. Elle a également été souillée par les fèces car les animaux ont passé un temps assez conséquent

sous l'arbre. Sur la parcelle A++, il n'y a pas eu apparemment de sélection active de l'ombre pour l'activité de consommation, mais la parcelle étant déjà très ombragée, les animaux pouvaient passer facilement d'une zone ensoleillée à une zone ombragée, réduisant ainsi probablement le stress de chaleur. De plus, la présence importante d'arbres a probablement réduit la température et les radiations à l'échelle de l'ensemble de la parcelle sur A++, rendant le positionnement dans les zones ensoleillées plus « supportable » pour les animaux.

L'analyse 3c confirme ces différences de recherche de l'ombre selon les activités, en montrant nettement que les activités de repos et de rumination étaient plus importantes à l'ombre qu'au soleil, et inversement pour l'activité de consommation. Toutefois, si ces répartitions apparaissent similaires entre traitements (fig.10), ceci est à nuancer en raison du fait que les scans au soleil représentaient une proportion des scans totaux très différente entre traitements et parfois très faible comparée au nombre de scans à l'ombre. Par exemple, sur A+ et A++ en été, les scans réalisés au soleil représentaient de 2 à 16% des observations, tandis que les scans réalisés à l'ombre représentaient entre 47 et 68% de celles-ci (Fig.6). Pour A0, c'était plus équilibré avec environ 45% de scans au soleil contre 25-30% à l'ombre. Ainsi, une forte proportion des activités au soleil dédiées à l'alimentation ne signifie pas forcément qu'il n'y avait pas de recherche active de l'ombre pour pâturer. C'est le cas notamment des brebis A+ en été qui semblent rechercher activement l'ombre pour s'alimenter, même si c'est dans une moindre mesure que pour les activités de repos et de rumination (analyse 3b, Fig.9).

ii. Performances

Un autre questionnement important du projet Parasol est de pouvoir appréhender et quantifier l'impact des arbres sur la production fourragère et sur les performances des animaux. Nous avons l'hypothèse que le traitement A+ serait un bon compromis entre les deux traitements extrêmes, en assurant des abris et un confort à l'animal sans trop pénaliser la production fourragère, voire en permettant une production plus constante en quantité et qualité au cours de la saison. Les résultats de biomasse disponible montrent clairement, et comme on pouvait s'y attendre, qu'il y a une biomasse moins importante lorsqu'il y a des arbres. Elle diminue même fortement dans la parcelle A++ (ceci se confirme grâce au SMP et au SMT : lorsqu'il y a des arbres, et particulièrement sur A++, le stade moyen de la parcelle est moins avancé). L'année 2016 a été caractérisée par un printemps froid et pluvieux qui n'était pas favorable à la pousse de l'herbe, suivi d'un été chaud et sec qui n'était pas favorable à la qualité du couvert. Ce froid au printemps peut expliquer les biomasses relativement faibles observées début juin, y compris sur A0. Il se peut que sur une année plus favorable, la présence des arbres permette de décaler ou de réduire le pic de biomasse et ainsi permettre une meilleure exploitation de la parcelle sur la saison en évitant d'avoir des animaux débordés par l'herbe au printemps. Les résultats que nous obtiendrons en 2017 nous apporteront certainement des éléments de réponse importants à ce sujet. L'autre élément important est la qualité de la ressource. Dans le cadre du stage, nous n'avons pu analyser que les échantillons de biomasse disponible. Nous les avons analysés par la méthode SPIR (spectrométrie proche infra-rouge) plus rapide. Cependant, ces analyses n'ont pas donné de résultats satisfaisants car les spectres étaient souvent trop différents de ceux de la base de données permettant d'établir le modèle de prévision. Pour plus de précision, il faudra procéder à des analyses chimiques des échantillons de biomasse pâturée, mais par manque de temps, nous n'avons pas pu les réaliser. Néanmoins, si l'on considère les quelques échantillons dont le spectre était exploitable, nous obtenons des valeurs de digestibilité de la matière organique de : 0,68, 0,68 et 0,64 au printemps pour A0, A+ et A++ respectivement, et en été de 0,58, 0,59 et 0,52. Il semblerait donc que la présence des arbres n'ait pas permis d'améliorer la

qualité du couvert, mais ceci reste bien entendu à confirmer avec les analyses chimiques de ces échantillons.

Les différences de biomasses entre traitements sont cohérentes avec les performances des brebis. Il semble en effet que les brebis situées sur les lots arborés aient été plus pénalisées que celles du lot A0 : elles ont davantage mobilisé leurs réserves comme l'indiquent les diminutions de note d'état et de poids. Les brebis des deux traitements arborés étaient similaires jusqu'à la sortie des brebis A++. Les différences de biomasse expliquent également les dates de sorties différentes entre traitements car ont finalement été réalisés 81 jours de pâturage sur A++, 119 sur A+ et 148 sur A0. Néanmoins, on constate que si les brebis des trois traitements ont mobilisé différemment leurs réserves, cela leur a permis d'assurer une bonne croissance de leurs agneaux. En effet, nous avons observé une croissance régulière de l'ordre de 200 g/j avec une croissance sur les deux premiers mois de 235 g/j. Ce sont de bonnes croissances au pâturage sachant que les conditions météorologiques en début de pâturage n'étaient pas favorables et qu'il n'y a eu aucune complémentation au pâturage, ni des brebis ni des agneaux.

5. Limites du projet

Certains questionnements n'ont pas pu être traités. En effet, il était prévu dans le projet Parasol d'évaluer le bien-être animal. Nous avons abordé cette question cette année avec les relevés de stress de chaleur et de réactivité aux insectes (non présentés ici). L'expérimentation de l'année prochaine devrait permettre d'approfondir cette question du bien-être, notamment en utilisant la méthode QBA de l'évaluation qualitative du comportement (Qualitative Behaviour Assessment).

Egalement, nous souhaitons quantifier la distance entre les brebis au pâturage afin de déterminer si la présence des arbres favorise ou au contraire réduit l'éclatement du troupeau. Pour l'expérimentation 2017, nous envisageons de poser des GPS pour appréhender ces distances. Nous avons aussi formulé l'hypothèse que les arbres pouvaient tempérer les comportements agressifs chez les animaux. Mais cette hypothèse serait certainement plus pertinente avec un nombre important de brebis (dans notre expérimentation, le nombre de brebis est clairement plus faible que dans le cas d'un élevage). Sur nos parcelles, les brebis sont en faible effectif, et compte tenu de la surface à leur disposition, nous avons noté très peu de comportements agressifs, en tout cas sur la période printemps/été.

Le projet Parasol présente des limites plus « générales ». L'expérimentation est effectuée dans trois régions françaises : Auvergne (climat semi-montagnard), Languedoc-Roussillon (climat méditerranéen), Nord-Pas-de-Calais (climat de plaine tempérée). Or, sur l'ensemble des parcelles mises en jeu dans le projet Parasol, les parcelles de Theix sont les seules où le milieu est contrôlé. La pression de mesure y est beaucoup plus importante. Les autres sites appartiennent à des éleveurs ou à des lycées agricoles, par conséquent, notre latitude d'intervention est plus limitée. Compte-tenu de la difficulté de trouver des sites privés arborés avec à disposition un témoin non arboré, gérés par des éleveurs disposés à nous laisser faire des observations sur leur troupeau, de nombreuses races ovines sont concernées. Cela dit, sur l'ensemble du territoire français, les différents sites étudiés devraient nous permettre de mettre en évidence des tendances principales, au-delà de l'effet race.

Remarque : en Auvergne, les parcelles de Lamartine ne sont pas les seules à être utilisées pour le dispositif. Les sites des lycées agricoles de Brioude et St Gervais en font également partie, même s'ils n'ont pas exactement les mêmes caractéristiques que le site de Theix.

III. Perspectives d'avenir et applications

1. Suite du projet Parasol

Lorsque les observations, mesures et prélèvements dans les différents sites seront terminés, l'objectif est de mettre en parallèle les résultats obtenus, de façon à réellement évaluer l'impact des arbres sur les ruminants sur le territoire français (et donc dresser quelques conclusions sur l'impact des arbres en milieu tempéré et méditerranéen).

D'autres équipements sont envisagés pour permettre de mieux caractériser le comportement des ovins sur des journées entières. Il serait notamment possible de les équiper d'accéléromètres dans le but d'évaluer les déplacements des animaux (couché, debout, statique, en mouvement, vitesse...). Grâce à cet équipement, il serait possible de déterminer si les activités au sein d'un même groupe sont variables ou pas ; on peut notamment supposer que l'activité des brebis de la parcelle A0 est relativement homogène au sein du groupe, tandis que sur les autres parcelles, les brebis ont des activités relativement hétérogènes.

Dans le projet Parasol, une tâche concerne les arbres fourragers et l'analyse de feuilles de différentes essences comme fourrages potentiels (valeur alimentaire principalement). Au début du mois de juillet et à la fin du mois d'août, nous avons réalisé sur le site de Theix des prélèvements de feuilles de frêne sur une autre parcelle que celles évoquées précédemment. Ces arbres sont des arbres de haut jet et des têtards de 1 mètre. Le but est de caractériser la biomasse disponible et la valeur alimentaire des feuilles de frêne, qui est une espèce référente (croissance rapide, tolérance à la trogne et appétence pour les herbivores). Dans le futur, il serait intéressant de mettre des brebis au pâturage sur une parcelle où ont poussé des frênes, pour ainsi évaluer l'impact sur l'animal. Le frêne pourrait fournir une ressource fourragère conséquente aux ovins. De plus, peu d'études ont été réalisées sur la digestibilité des feuilles de frêne, on sait seulement qu'elles sont appétentes pour les animaux ; ceci doit faire l'objet d'un essai à Theix en 2017, lors de tests de digestibilité en bergerie. De plus, à l'heure actuelle, nous considérons seulement les fonctions d'abri et d'impact sur la prairie des arbres, mais il serait intéressant de considérer la production fourragère qui peut être fournie par ces arbres. Une action du projet Parasol dont est en charge un des partenaires du projet correspond justement à évaluer cette biomasse grâce à la méthodologie des relations conformationnelles allométriques. Ces données seront acquises sur les différents sites au cours des trois ans du projet.

2. Futures applications

A la fin de la 2^{ème} année d'expérimentation, les participants à l'étude iront rencontrer les agriculteurs dans les trois régions concernées (Nord-Pas-de-Calais, Auvergne et Languedoc-Roussillon) pour exposer les travaux réalisés et les résultats obtenus.

Un colloque sera réalisé à Beauvais en fin de projet.

A la suite de la mission, les données recueillies durant l'expérimentation pourront être intéressantes pour évaluer le potentiel des pratiques agricoles capables de séquestrer le carbone et d'atténuer le changement climatique. Les résultats de l'étude pourront alimenter les futurs projets de recherche en élevage (en relation avec le réseau d'éleveurs innovants Base Agroforesterie).

Les résultats selon valorisés dans un cadre pédagogique avec des modules de formation pour les lycées agricoles, et des parcelles seront mises en place en partenariat avec les lycées candidats.

Références bibliographiques :

- BENAVIDES R., OSORO K., *Silvopastoralism in New Zealand: Review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics*, 2008. Agroforestry systems. 25 p.
- BERGEZ J.E., DULLER C., HOPPE G., *Light modification in a developing silvopastoral system in the UK: a quantitative analysis*, 1997. Agroforestry systems. 15 p.
- BIRD P.R., Lynch J.J., OBST J.M., *Effect of shelter on plant and animal production*, 1984. Animal Production in Australia vol.15. 4p.
- BIRD P.R., BICKNELL D., BULMAN P.A., BURKE S.J.A., LEYS J.F., PARKER J.N., VAN DER SOMMEN F.J., VOLLER P., *The role of shelter in Australia for protecting soils, plants and livestock*, 1992. Agroforestry systems. 28 p.
- Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF), *Le sylvopastoralisme – Concilier gestion forestière et conduite pastorale en forêt privée*. 4 p.
- CRPF Languedoc-Roussillon, dans le cadre du Programme Intégré de Recherches en Agroforesterie à Restinclières (PIRAT). *Fiche – Essence – Frêne oxyphylle*. 2 p.
- CRPF Languedoc-Roussillon, dans le cadre du Programme Intégré de Recherches en Agroforesterie à Restinclières (PIRAT). *Fiche – Essence – Merisier*. 2 p.
- DULORMNE M., SIERRA J., BONHOMME R., CABIDOCHÉ Y.M., *Seasonal changes in tree-grass complementarity and competition for water in a subhumid tropical silvopastoral system*, 2003. European Journal of Agronomy. 12 p.
- HAWKE M.F., *Pasture production and animal performance under pine agroforestry in New Zealand*, 1991. Forest Ecology and Management. 10 p.
- HAWKE M.F., DODD M.B., *Livestock shelter from trees – a review*, 2003. Grassland Research and Practice Series No 10. 8 p.
- HOSTE H., TORRES-ACOSTA J.F., *Non chemical control of helminths in ruminants: adapting solutions for changing worms in a changing world*, 2011. Veterinary Parasitology vol. 180. 11p.
- JACKSON R.A., TOWNSEND K.G., HAWKE M.F., *The availability of ovine infective trichostrongyle larvae on forested paddocks*, 1986. New Zealand Veterinary Journal vol. 34. 5p.
- JOSE S., *Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview*, 2009. Agroforestry Systems. 10 p.
- LACHAUX M., MEURET M., De SIMIANE M., *Composition chimique des végétaux ligneux pâturés en région méditerranéenne française : problèmes posés par l'interprétation des analyses*, 1987, 38 p.
- LACHAUX M., De BONNEVAL L., DELABRAZE P., *Pratiques anciennes et perspectives d'utilisation fourragère des arbres*. 1987, 23 p.
- Lettre d'information du Pays des Mauges. *Auprès de mon arbre... L'entretien de l'arbre têtard*, 2004. 2 p.
- LIAGRE F., SANTI F., VERT J., *L'agroforesterie en France : intérêts et enjeux*, 2012. Centre d'études et de prospectives. 4 p.

- MCNEELY J.A., SCHROTH G., *Agroforestry and biodiversity conservation – traditional practices, present dynamics, and lessons for the future*, 2005. Biodiversity and Conservation. 6 p.
- MEAD D.J., *Biophysical interactions in silvopastoral systems: a New Zealand perspective*, 2009. 8 p.
- MOORE K.J. et al., *Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses*, Agronomy Journal, 83, pp: 1073-1077, 1991.
- PUTOD R., *Les arbres fourragers, le févier*, Institut pour le Développement Forestier, 1982. 10 p.
- RAYNAUD J.P. *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*, 1970. Annales de Parasitologie (Paris) vol. 45, pp. 321–342.
- SIGAUT F., *L'arbre fourrager en Europe, signification technique et économique*, 1981. 10 p.
- SILVA-PANDO F.J., GONZALEZ-HERNANDEZ M.P., ROZADOS-LORENZO M.J., *Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain*, 2002. Agroforestry Systems. 10 p.
- STAMPS W.T., LINIT M.J., *Plant diversity and arthropod communities: implications for temperate agroforestry*, 1998. Agroforestry Systems. 17 p.
- VAN LAER E., SONCK B., PALMYRE HENRI MOONS C., TUYTTENS F., *Importance of outdoor shelter for cattle in temperate climates*, 2013. Livestock Science. 16 p.
- VEISSIER I., MIALON M.M., SLOTH K.H., *Real time positioning to detect early signs of welfare problems in cows*, 2015. 4 p.
- YAMAMOTO W., AP DEWI I., IBRAHIM M., *Effects of silvopastoral areas on milk production at dual-purpose cattle farms at the semi-humid old agricultural frontier in central Nicaragua*, 2007. Agricultural Systems. 8 p.

Table des figures :

Figure 1. De gauche à droite, les parcelles A0, A+ et A++ (Lamartine, Theix ; source personnelle).....	10
Figure 2. Herbomètre stick (source personnelle).....	14
Figure 3. Relation entre surfaces des arbres (par ImageJ, images aériennes de 2013) et surfaces cercles équivalents (2016).....	16
Figure 4. Répartition des activités par date et par lot - <i>Les lettres en exposant signalent les différences de significativité entre valeurs. Les lettres w, x, y et z signalent la significativité entre les différentes dates au sein d'un même lot (par colonne), et les lettres a, b et c signalent la significativité entre traitements sur un même jour (par ligne).</i>	19
Figure 5. Proportion de temps passé à l'ombre et au soleil sur la totalité des scans - <i>Les lettres en exposant signalent les différences de significativité entre valeurs. « w, x, y, z » signalent la significativité entre dates, « a, b, c » signalent la significativité entre traitements.</i>	21
Figure 6. Proportion de temps passé à l'ombre et au soleil (réalisés seulement sur les scans ensoleillés) - <i>Les lettres en exposant signalent les différences de significativité entre valeurs. « w, x, y, z » signalent la significativité entre dates, « a, b, c » signalent la significativité entre traitements.</i>	22
Figure 7. Répartition des activités à l'ombre et au soleil (analyse 3a) - <i>Les lettres en exposant signalent les différences de significativité entre valeurs. « w, x, y, z » signalent la significativité entre dates, « a, b, c » signalent la significativité entre traitements.</i>	24
Figure 8. Choix de l'ombre ou du soleil pour chaque activité (analyse 3b) - <i>Les lettres en exposant signalent les différences de significativité entre valeurs. « w, x, y, z » signalent la significativité entre dates, « a, b, c » signalent la significativité entre traitements.</i>	25
Figure 9. Exemple de répartition des activités selon que l'animal est à l'ombre ou au soleil (analyse 3c) – <i>Pour chaque diagramme, les lettres « a, b » signalent une différence significative entre ombre et soleil.</i>	27
Figure 10. Evolution du poids vif des brebis (kg) – <i>la zone grisée représente la période d'allaitement, et les flèches de couleur indiquent les dates de sortie des brebis des différents traitements. Les lettres « a, b, c » indiquent les différences entre traitements à une date donnée.</i>	28
Figure 11. Evolution du poids vif des agneaux (kg)	28
Figure 12. Evolution de la note d'état corporel des brebis – <i>la zone grisée représente la période d'allaitement, et les flèches de couleur indiquent les dates de sortie des brebis des différents traitements. Les lettres « a, b, c » indiquent les différences entre traitements à une date donnée.</i>	29
Figure 13. Evolution de la biomasse disponible au cours de la saison (tonne de matière sèche par hectare) - <i>Les lettres "a, b, c" signalent la significativité entre traitements et les lettres "x, y, z" signalent la significativité entre dates.</i>	30
Figure 14. Evolution du SMP (stade moyen par rapport au poids, après séchage à l'étuve) au cours du premier cycle de végétation des trois traitements	32
Figure 15. Evolution du SMT (stade moyen évalué par comptage des tiges).....	32

Liste des tableaux :

Tableau 1. Codes de notification des activités et signification (photos : sources personnelles)	11
Tableau 2. Codes de notification des positions	12
Tableau 3. Surfaces des parcelles et proportions couvertes par les houppiers	16
Tableau 4. Résultats des statistiques réalisées sur l'analyse 1	18
Tableau 5. Résultats des statistiques réalisées sur l'analyse 2	20
Tableau 6. Résultats des statistiques réalisées sur l'analyse 3a	23
Tableau 7. Résultats des statistiques réalisées sur l'analyse 3b	25
Tableau 8. Résultats des statistiques réalisées sur les données zootechniques	27
Tableau 9. Composition botanique des parcelles (exprimée en pourcentage de la biomasse totale) .	30
Tableau 10. Récapitulatif de la composition botanique par famille (exprimée en pourcentage de la biomasse totale)	31

ANNEXES :

ANNEXE A. PLANNING DU PROJET PARASOL.....	42
ANNEXE B. VUE AERIENNE DES PARCELLES (THEIX).....	43
ANNEXE C. FICHE D'EVALUATION DE LA NOTE D'ETAT CORPOREL.....	44
ANNEXE D. ETHOGRAMME (exemple sur une heure d'observation)	45
ANNEXE E. FEUILLES D'EVALUATION DE LA REACTION AUX INSECTES ET DE LA FREQUENCE RESPIRATOIRE	46
ANNEXE F. METHODE DE MAC MASTER DE COMPTAGE DES OEUFS	47
ANNEXE G. CAMEMBERTS DE L'ANALYSE 3C : COMPARAISON DE LA REPARTITION DES ACTIVITES A L'OMBRE ET AU SOLEIL	48
ANNEXE H. STADE PHENOLOGIQUE ET VALEUR DU STADE	52
ANNEXE I. CARACTERISATION CLIMATIQUE DES JOURNEES D'OBSERVATION	53

ANNEXE A. PLANNING DU PROJET PARASOL

Mai				Juin				Juillet				Août				Septembre				Octobre			
Jours	Date	Pâturage	Mesures	Jours	Date	Pâturage	Mesures	Jours	Date	Pâturage	Mesures	Jours	Date	Pâturage	Mesures	Jours	Date	Pâturage	Mesures	Jours	Date	Pâturage	Mesures
Dimanche	1			Mercredi	1			Vendredi	1			Lundi	1			Judi	1			Samedi	1		
Lundi	2			Judi	2			Samedi	2			Mardi	2			Vendredi	2			Dimanche	2		
Mardi	3			Vendredi	3			Dimanche	3			Mercredi	3			Samedi	3			Lundi	3		Coprosopiques
Mercredi	4			Samedi	4			Lundi	4			Judi	4			Dimanche	4			Mardi	4		Pose de NEC
Judi	5			Dimanche	5			Mardi	5			Vendredi	5			Lundi	5			Mercredi	5		
Vendredi	6			Lundi	6			Mercredi	6			Samedi	6		Sortie A++	Mardi	6			Judi	6		
Samedi	7			Mardi	7			Judi	7			Dimanche	7			Mercredi	7			Vendredi	7		
Dimanche	8			Mercredi	8			Samedi	8			Lundi	8			Judi	8			Samedi	8		
Lundi	9			Judi	9			Samedi	9			Mardi	9			Vendredi	9			Dimanche	9		
Mardi	10			Vendredi	10			Dimanche	10			Mercredi	10			Samedi	10						
Mercredi	11			Samedi	11			Lundi	11		Coprosopiques	Judi	11			Dimanche	11			Lundi	10		
Judi	12			Dimanche	12			Mardi	12			Vendredi	12			Lundi	12			Mardi	11	Sortie A+	Coprosopiques
Vendredi	13		Coprosopiques	Lundi	13		Coprosopiques	Mercredi	13		Pose d'ethoxys	Samedi	13			Mardi	13			Judi	12		
Samedi	14			Mardi	14			Judi	14		Férié	Dimanche	14			Mercredi	14			Vendredi	13		
Dimanche	15			Mercredi	15			Vendredi	15			Lundi	15			Judi	15			Samedi	15		
Lundi	16		Entree dispositif	Judi	16			Samedi	16			Mardi	16			Vendredi	16			Dimanche	16		
Mardi	17		Analyses fleurs	Vendredi	17			Dimanche	17			Mercredi	17			Samedi	17			Lundi	17		
Mercredi	18			Samedi	18			Lundi	18		Depose Ethoxys	Judi	18			Dimanche	18			Mardi	18		
Judi	19		Depose Ethoxys	Dimanche	19			Mardi	19		Pose d'ethoxys	Vendredi	19			Lundi	19			Mercredi	19		
Vendredi	20			Lundi	20			Mercredi	20		Bilan activite	Samedi	20			Mardi	20			Judi	20		
Samedi	21			Mardi	21			Judi	21		Pilage à insectes	Dimanche	21			Mercredi	21			Vendredi	21		
Dimanche	22			Mercredi	22			Vendredi	22		Depose Ethoxys	Lundi	22		Coprosopiques	Judi	22			Samedi	22		
Lundi	23		Pose d'ethoxys	Judi	23			Samedi	23			Mardi	23			Vendredi	23			Dimanche	23		
Mardi	24			Vendredi	24			Dimanche	24			Mercredi	24			Samedi	24			Lundi	24		
Mercredi	25		Bilan activite	Lundi	25			Lundi	25			Judi	25			Dimanche	25			Mardi	25		
Judi	26		Depose Ethoxys	Mardi	26			Mardi	26		Bilan activite	Vendredi	26			Lundi	26			Mercredi	26		
Vendredi	27			Dimanche	27			Mercredi	27			Samedi	27			Mardi	27			Judi	27		
Samedi	28			Lundi	28			Judi	28			Dimanche	28			Mercredi	28			Vendredi	28		
Dimanche	29			Mercredi	29			Vendredi	29		Coprosopiques	Lundi	29			Lundi	29			Samedi	29		
Lundi	30		Coprosopiques	Judi	30			Samedi	30			Mardi	30			Vendredi	30			Dimanche	30		
Mardi	31			Dimanche	31			Dimanche	31			Mercredi	31							Lundi	31		

ANNEXE B. VUE AERIEENNE DES PARCELLES (THEIX)

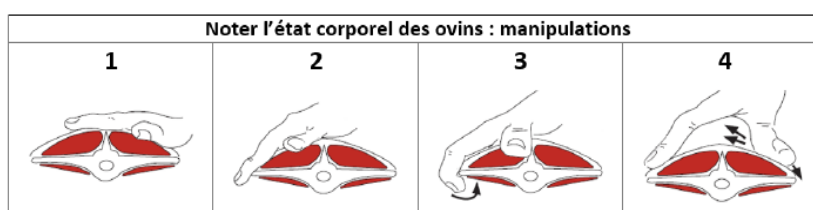


ANNEXE C. FICHE D'EVALUATION DE LA NOTE D'ETAT CORPOREL

3.2.2.7. Note d'état corporel

La NEC par l'attribution de notes variant de 0 à 5 s'effectue par la méthode de Russel et al (1969), validée par Evans en 1978. Dans cet essai le pas de mesure est de 0,5. L'intérêt de cette pratique par maniement de la région lombaire réside dans sa simplicité et sa rapidité à condition que l'évaluateur soit formé. L'animal doit être immobile en appui sur ses quatre pattes. La notation s'effectue en quatre étapes correspondant à différentes zones. Le tableau 15 présente ces manipulations.

Tableau 15 notation - NEC (manipulations)



Source : schémas - Institut de l'élevage / Ferme expérimentale de Carmejeane – Fiche annexe 1 : La note d'état corporel

Dans chacun des cas la notation correspond à un état d'engraissement présenté dans le tableau 16. Un extrait de fiche méthodologique de notation est placé en annexe 10.

Tableau 16 notation - NEC (notes)

Mesure	Note d'état corporel					
Zone	Apophyses épineuses / apophyses transverses / muscles sous-lombaires / noix					
Description	extrêmement émacié, quasiment mort	très maigre	maigre	en état	grasse	très grasse
Notation	0	1	2	3	4	5

Chronologiquement, l'observateur attribue une NEC sans noter chacune des quatre zones, c'est ce que l'on nomme la « NEC observée ». Ensuite, il note chacune des quatre zones séparément. Après en avoir fait la moyenne il obtiendra la « NEC calculée ». L'objectif est de comparer les deux méthodes de notation afin de conserver la plus juste et rapide.

ANNEXE D. ETHOGRAMME (exemple sur une heure d'observation)

[illegible]

ANNEXE E. FEUILLES D'EVALUATION DE LA REACTION AUX INSECTES ET DE LA FREQUENCE RESPIRATOIRE

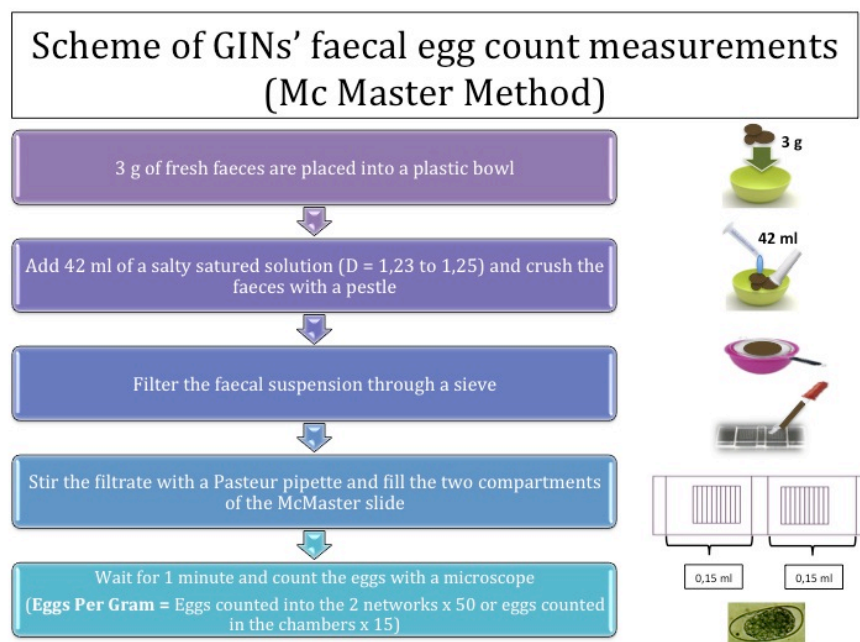
[illegible][illegible]

ANNEXE F. METHODE DE MAC MASTER DE COMPTAGE DES OEUFS

Pour l'observation au microscope des œufs de nématodes, nous avons procédé de la manière suivante : une solution saturée en sel a été préparée, à la concentration 357g/L. Pour chaque brebis, nous avons prélevé 3 grammes de matière fécale, auxquels nous avons ajouté 42 mL de la solution saturée en sel (14 mL de solution pour 1g de matière fécale). Les fèces sont alors broyées avec un pilon, et le « jus » qui en résulte est mis dans une lame de Mac Master ; chaque lame comporte deux grilles de 0.15 mL de contenance chacune. Le plafond de chaque compartiment est divisé en six cellules de 1.7 mm de largeur. Après une minute d'attente après dépôt de la solution dans la lame, le temps que les œufs remontent, nous avons pu distinguer trois types d'œufs au microscope : les strongles, les strongyloïdes et les coccidies.

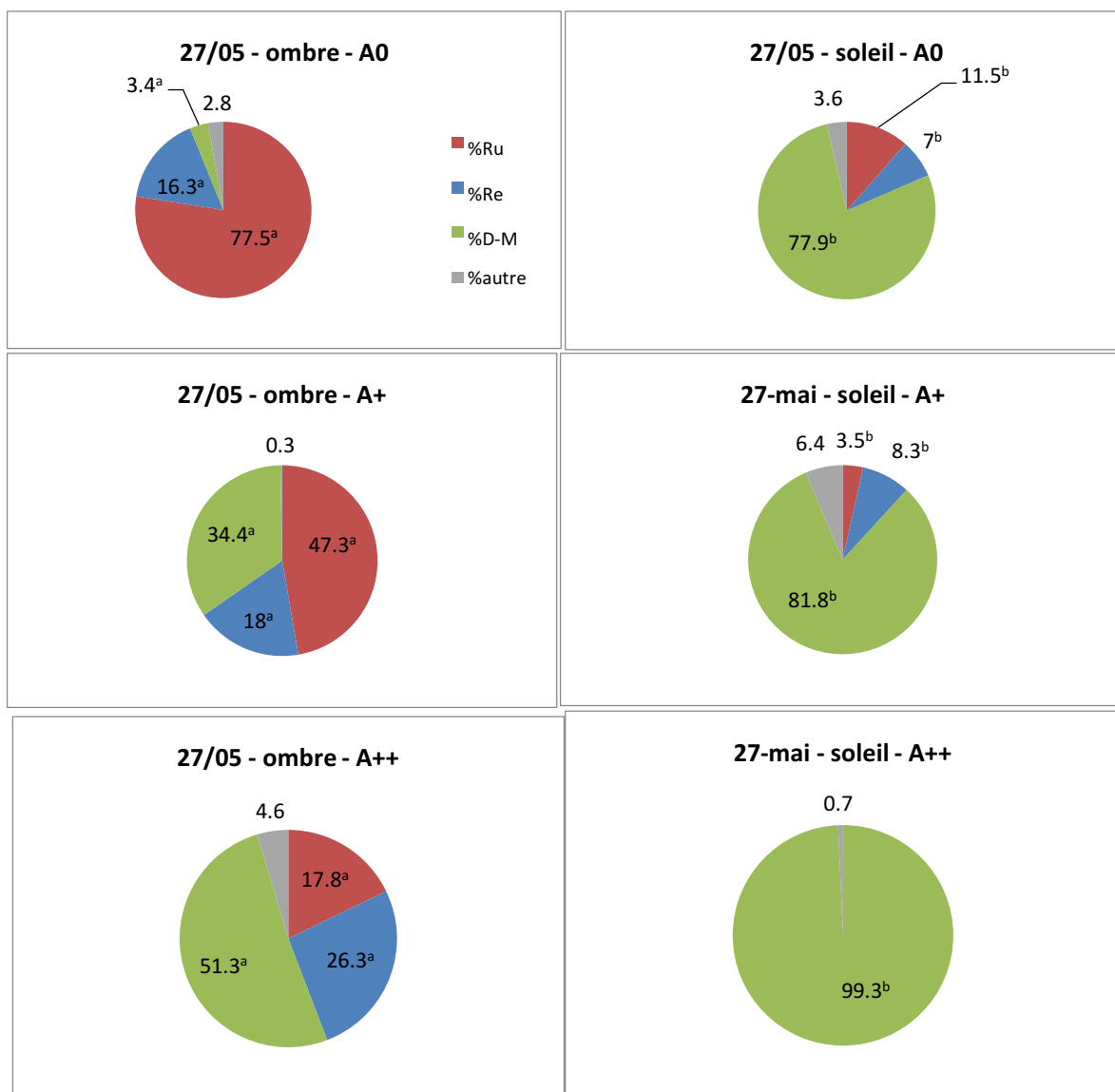
Remarque : les strongles et les strongyloïdes sont dénombrés exactement, tandis que pour les coccidies, nous nous contentons d'apprécier la proportion (0, +, ++ ou +++). Nous nous y intéressons seulement à titre d'information. Nous ne les comptons pas réellement car en règle générale, elles se trouvent principalement chez les agneaux et lorsque les animaux sont hébergés en bâtiment.

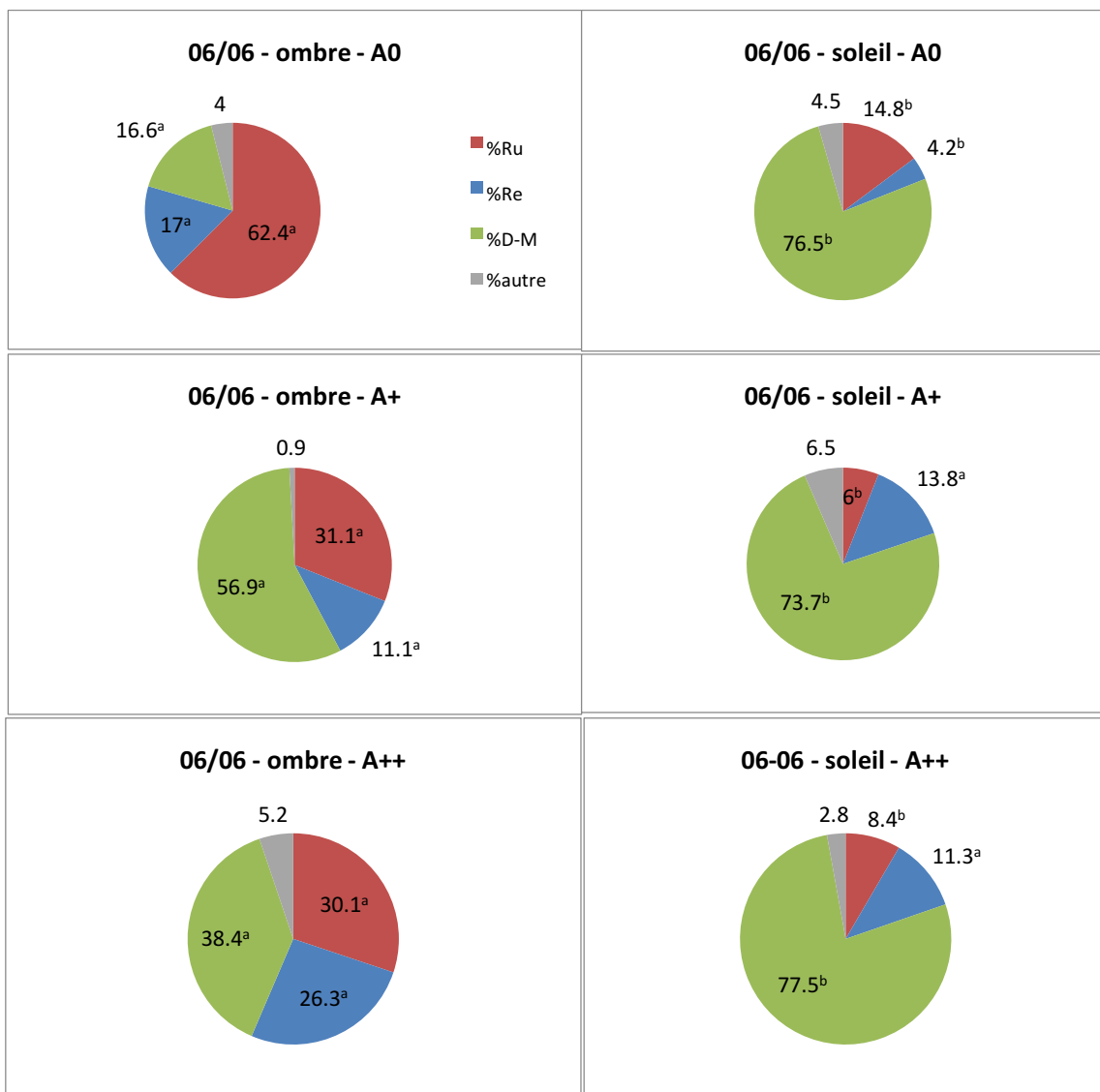
La solution est diluée au 1/15^{ème}, donc pour obtenir le nombre d'œufs par gramme, on multiplie par 50 chacun des deux résultats obtenus (car le comptage se fait sur les deux compartiments de la lame de Mac Master).

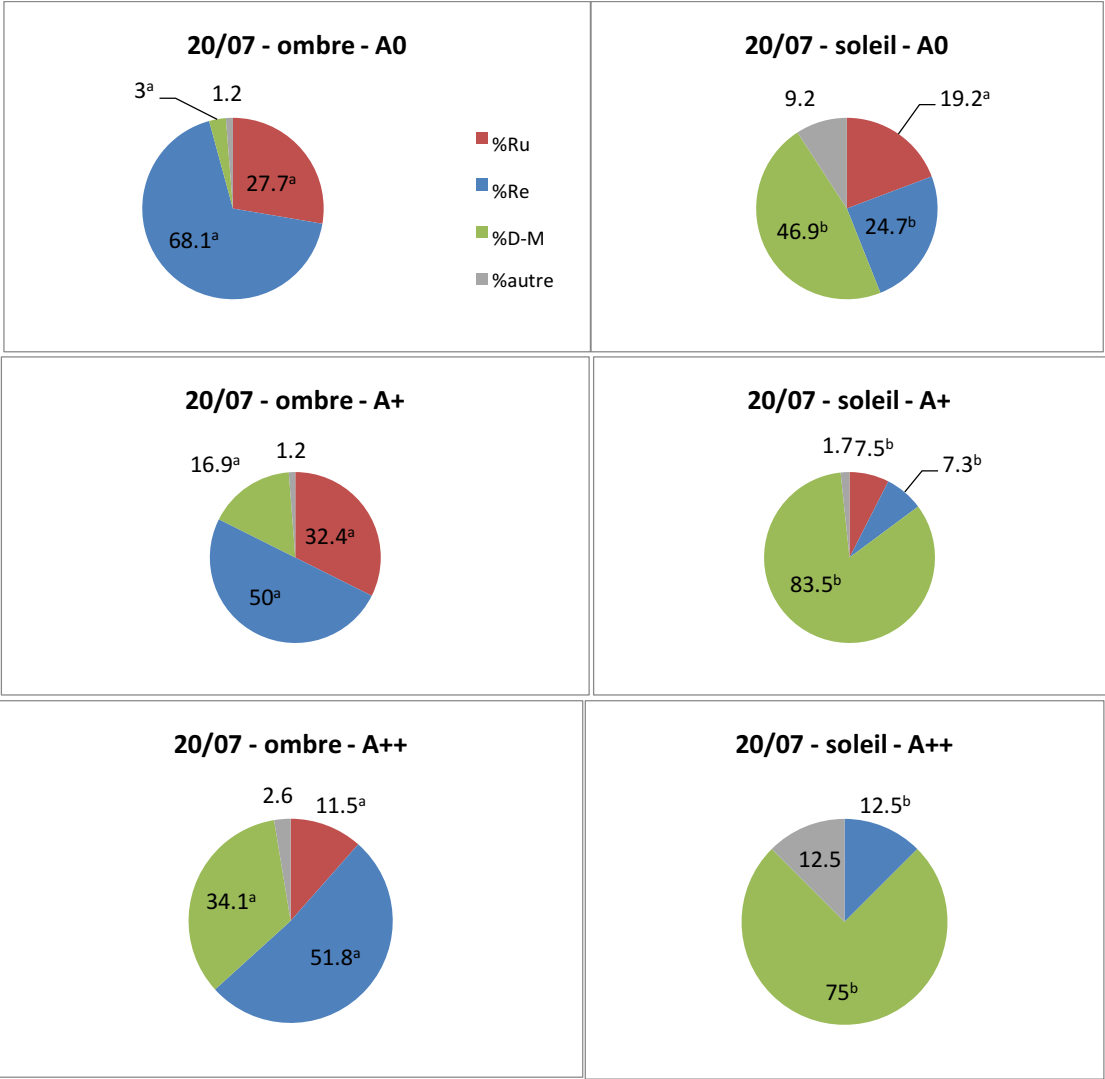


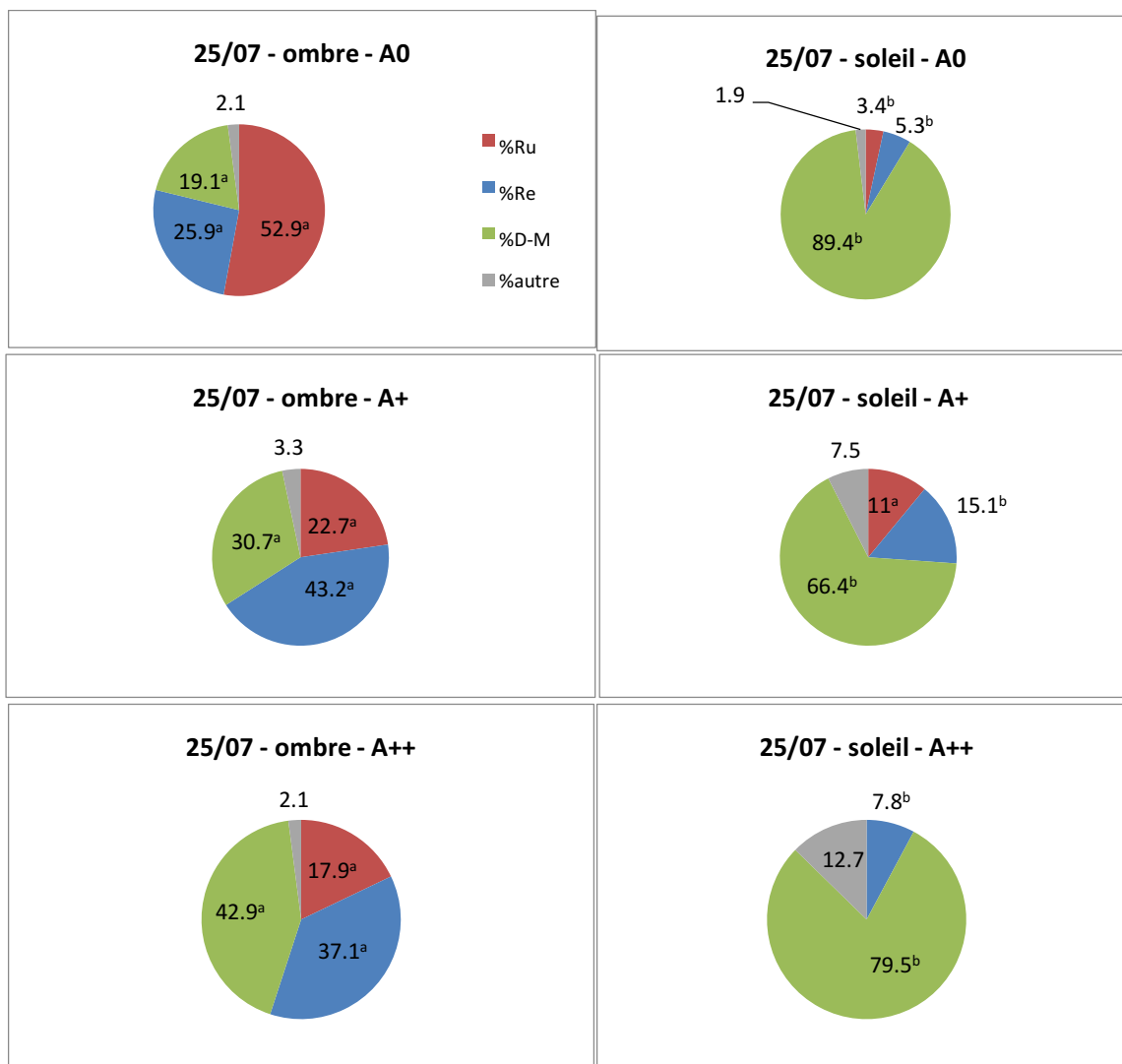
Cette méthode comporte toutefois des limites : l'observation au microscope se fait au grossissement x10, on ne peut donc pas observer tous les œufs de parasites ou les organismes de très petite taille, comme les protozoaires par exemple. On ne peut pas non plus observer les larves car elles sont situées dans le bas de la cellule, tandis que les œufs sont au-dessus.

**ANNEXE G. CAMEMBERTS DE L'ANALYSE 3C : COMPARAISON DE LA REPARTITION DES
ACTIVITES A L'OMBRE ET AU SOLEIL**





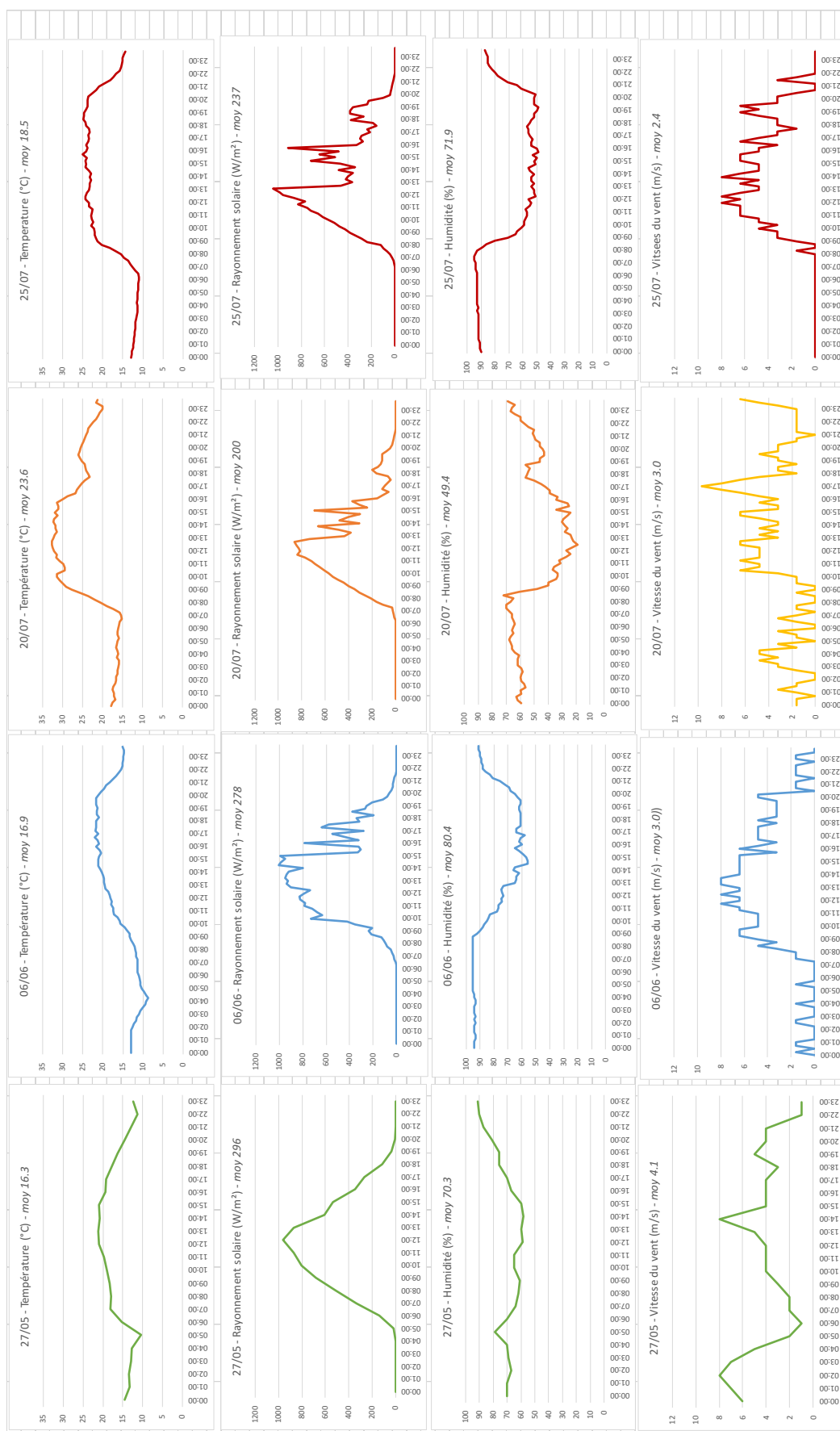




ANNEXE H. STADE PHENOLOGIQUE ET VALEUR DU STADE

Stage phénologique	végétatif	début montaison	montaison	fin montaison	début épiaison	épiaison	fin épiaison	floraison	graines formées	laiteux	pateux	dissémination graines
Poids	1,5	2	2,5	3	3,1	3,3	3,5	3,7	4	4,1	4,4	4,8

ANNEXE I. CARACTERISATION CLIMATIQUE DES JOURNEES D'OBSERVATION



Résumé :

Le projet Parasol a pour but d'évaluer l'impact des systèmes agroforestiers adultes sur la production animale, de fourrage et de bois, dans les problématiques d'atténuation et/ou d'adaptation au changement climatique dans trois régions de France. Sur le site de l'INRA (Theix), nous avons étudié de mai à octobre trois parcelles de prairie permanente (8000 m²) caractérisées par leur densité d'arbres (A0 : 1 arbre, A+ : 60/ha, A++ : 150/ha). Chacune était pâturée en continu par 10 brebis et leurs deux agneaux (jusqu'au sevrage). Des mesures zootechniques (poids, NEC) et comportementales (bilans d'activité) ainsi que des mesures sur la prairie ont été réalisées au cours du printemps et de l'été. Concernant le comportement, nous nous sommes focalisés sur l'utilisation de l'arbre par l'animal et notamment de l'ombre. Nous avons pu montrer que les animaux ont activement recherché l'ombre particulièrement en été mais pas seulement). Cela est très marqué chez les brebis A0 qui passent en été entre 30 et 40% de leur temps à l'ombre alors que l'arbre dont elles disposent ne représente qu'1% de la surface de la parcelle. En journée chaude, même sur la parcelle la plus arborée, les brebis privilégient l'ombre. Ce sont les activités de repos et de rumination qui se font préférentiellement voire exclusivement à l'ombre. Le choix de l'ombre est moins net pour l'activité de consommation même s'il existe, notamment chez les brebis A+.

Les arbres ont pénalisé la biomasse de la prairie ce qui a réduit le nombre de jours de pâturage sur les parcelles (148 pour A0, 119 pour A+, 81 pour A++). Les brebis ont plus fortement mobilisé leurs réserves sur les parcelles arborées mais toutes ont assuré une bonne croissance de leurs agneaux quel que soit le traitement.

Summary:

The Parasol project aims to evaluate the impact of the agroforestry systems on production of livestock, feed and wood, within the context of attenuation and/or adaptation to climate change, in three regions of France. In Theix (the place of the INRA center), from May to October, three plots of permanent pastures (8000 m²), characterized by different tree densities (A0: one tree; A+: 60/ha, A++: 150/ha) have been considered. They were grazed continuously by 10 ewes and their two lambs (until weaning). Measurements on animals (behaviour (activities) and performance (weight, body condition)) and on the pasture resources have been made during spring and summer. Concerning animal behaviour, we focused on the use of trees by the animals, and more specifically on the use of shade.

The results show that the ewes were looking for the shade actively, particularly during summer. This is particularly striking in the treatment A0 where the ewes spend between 30 and 40% of their time in the shade during summer, whereas the only tree available represented no more than 1% of the plot area. During a hot day, even on the plot A++ (highest trees density), ewes looked for the shade.

The activities they did the most (even exclusively) in the shade were resting and ruminating. The choice of shade was less pronounced for the feeding activity, even if we had evidence of it, especially for the ewes of the A+ treatment.

Trees negatively affected pasture production, which reduced the number of grazing days on the plots (148 for A0, 119 for A+, 81 for A++). Ewes mobilized their body reserves, especially on the wooded plots, but all of them ensured a good growth of their lambs, regardless of the treatment.