



Gestion des ressources fourragères herbacées en agroforesterie intraparcellaire aux échelles du système d'alimentation et parcellaire

Guillaume Sabourin

► To cite this version:

Guillaume Sabourin. Gestion des ressources fourragères herbacées en agroforesterie intraparcellaire aux échelles du système d'alimentation et parcellaire. Sciences de l'environnement. 2016. hal-01824527

HAL Id: hal-01824527

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01824527>

Submitted on 27 Jun 2018

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

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



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

2015-2016

MASTER FAGE

Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement

Spécialité : Fonctionnement et gestion de l'environnement

Option : Agroécologie

« Gestion des ressources fourragères herbacées en agroforesterie intraparcellaire aux échelles du système d'alimentation et parcellaire »



Guillaume, SABOURIN

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 07/09/2016

Maître de stage : Camille, BERAL, Responsable Recherche et Développement

Tutrice : Alice, MICHELOT-ANTALIK, Maître de conférences

AGROOF (Bureau d'étude spécialisé en agroforesterie),

9 Plan de Brie, 30140 ANDUZE



Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement Mme BERAL Camille responsable recherche et développement à AGROOF, ma maître de stage, qui fut d'une aide précieuse au bon déroulement de ce stage. Sa clairvoyance, sa rigueur scientifique et sa patience sont autant de qualités qui m'ont permis de passer un stage agréable et enrichissant.

Je tiens à remercier Mr POTIER Eric de l'IDELE, qui nous a apporté son expérience pour la mise en place d'une telle expérimentation.

Je tiens à remercier Mr MOREAU Jean-Christophe de l'IDELE, pour son accompagnement ainsi que les précieuses informations et documents qu'il nous a transmis.

Je tiens à remercier Mr MARTIN-CHAVE Ambroise actuellement en thèse avec AGROOF, ses connaissances en statistiques ainsi que sa maîtrise du logiciel RStudio ont été d'une grande aide pour la présentation de mes résultats.

Je tiens à remercier Mr BERNE Thibault stagiaire avec l'IDELE sur la partie Nord de la France, qui a été d'un grand soutien dans la mise en place du protocole expérimental, la préparation du terrain ainsi que pour toutes les autres tâches que l'on a dû mener à bien.

Je tiens à remercier Mr THIERY Matthias stagiaire à AGROOF, pour son travail d'état des lieux et d'enquêtes sur les parcelles du réseau INRA-IRSTEA.

Je tiens à remercier l'équipe d'AGROOF au complet, Mr MARIN Antoine, Mr ORI Daniele, Mr DULIEU Sébastien, Mme LE GALLIC Hélène, Mr LIAGRE Fabien, Mr GIRARDIN Nicolas, leur présence et leur soutien au quotidien m'ont été très précieux.

Je tiens à remercier Mme NIARD Camille et Mr LARIVIERE Julien, stagiaires chez AGROOF pour les nombreuses pauses café.

Je remercie également l'ensemble des exploitants agricoles qui m'ont accueilli chez eux chaleureusement, Mr DE RIDDER Gert, Mme DE RIDDER Katrin, Mr BAUDEUF Jean, Mme RESNAU Julie, Mr RESNAU Thiméo, Mr RABALLAND Adrien, Mr BERNARD Mickael.

Table des Tableaux :

Tableau 1 : Coordonnées des trois sites expérimentaux.....	5
Tableau 2 : Données issues des moyennes de 1982 à 2014 pour chaque zone ISOP correspondantes.....	5
Tableau 3 : Les différents types	6
d'arbre pour les quatre sites.....	6
Tableau 4 : Données dendrométriques des sites A, B et D (Moyenne des 10 arbres environnant chaque mise en défends).	6
Tableau 5 : Résultats des tests de comparaison de moyenne pour la production de biomasse (TMS/Ha) au période P1 et P2. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.	11
Tableau 6 : Résultats des tests de comparaison de moyenne pour les stades phénologiques (%). Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.	12
Tableau 7 : Résultats des tests de comparaison de moyenne pour les taux de graminées (g), légumineuses (l) et diverses (d). Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur, la position.....	14

Table des Figures :

Figure 1 : Situation géographique des quatre parcelles expérimentales (Google Earth).	5
Figure 2 : Disposition des quadrats au sein d'une zone de mise en défend.....	7
Figure 3 : Moyenne horaire des écarts de température (°C) entre les traitements 1 mètre au Nord de l'arbre (AF1mN), inter-rang (AFIR) avec le témoin pour les 4 sites pour les mois d'avril et juillet.	8
Figure 4 : Moyenne horaire des écarts d'humidité entre les traitements 1 mètre au Nord de l'arbre (AF1mN) inter-rang (AFIR) avec le témoin pour les 4 sites pour les mois d'avril et juillet.....	9
Figure 5 : AFCM des quatre sites avec représentation des milieux (à gauche : AF = agroforesterie / ZT = témoin / AFT = têtards agroforestiers) d'une part et des positions vis-à-vis de l'arbre (à droite : SD1 et SD2 = 1m et ¼ de la distance avec l'arbre d'en face au Sud, ND1 et ND2 = de même au Nord, SIR et NIR les inter-rangs au Sud et au Nord, le même code avec un t devant désigne les arbre têtards).	10
Figure 6 : AFCM des quatre sites avec représentation de la quantité de biomasse produite (TMS/Ha) pour la P1 et la P2, les chiffres correspondent à des classes de nombre (1 étant les valeurs de production les plus faibles et 5 les plus élevées).	10
Figure 7 : Comparaison des moyennes pour la production P1 en Tonne de matière sèche à l'hectare pour chaque position à l'arbre. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.....	11
Figure 8 : Comparaison des moyennes pour la production P2 en Tonne de matière sèche à l'hectare pour chaque position à l'arbre. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.....	12
Figure 9 : ACP des quatre sites avec représentation des milieux (à gauche : AF = agroforesterie / ZT = témoin / AFT = têtards agroforestiers) d'une part et des positions vis-à-vis de l'arbre (à droite : SD1 et SD2 = 1m et ¼ de la distance avec l'arbre d'en face au Sud, ND1 et ND2 = de même au Nord, SIR et NIR les inter-rangs au Sud et au Nord, le même code avec un t devant désigne les arbre têtards).	13
Figure 10 : Comparaison des moyennes pour le taux de graminées pour chaque position à l'arbre. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.	14
Figure 11 : Comparaison des moyennes pour le taux de légumineuses pour chaque position à l'arbre. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.	15
Figure 12 : Comparaison des moyennes pour le taux de diverses pour chaque position à l'arbre. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.	15

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
MATERIEL ET METHODE	4
1. SITES EXPERIMENTAUX	4
2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL POUR L'ETUDE DE LA PRODUCTION HERBACEE	6
a. <i>Plan expérimental</i>	6
b. <i>Mesure de la biomasse produite</i>	7
c. <i>Détermination de la composition floristique</i>	7
d. <i>Dispositif de suivi microclimatique</i>	7
3. ANALYSE STATISTIQUE	7
RESULTATS	8
1. CARACTERISATION DU MICROCLIMAT CREE PAR LES ARBRES	8
a. <i>Température</i>	8
b. <i>Humidité relative</i>	9
2. PRODUCTION DE LA PRAIRIE	9
a. <i>Analyse descriptive des données quantitatives</i>	9
b. <i>Biomasse</i>	10
3. STADE PHENOLOGIQUE	12
4. COMPOSITION FLORISTIQUE	13
a. <i>Analyse descriptive des relevés botanique</i>	13
b. <i>Pourcentages de graminées, légumineuses et diverses en fonction de l'emplacement</i>	13
DISCUSSION.....	15
1. MICROCLIMAT DE LA PARCELLE AGROFORESTIERE	15
2. ORIGINES POSSIBLES DES OBSERVATIONS FAITES SUR LA PRODUCTION FOURRAGERE.....	16
3. DISCUSSION DE LA METHODE	18
CONCLUSION	18
BIBLIOGRAPHIE.....	18
ANNEXE	23

Introduction

Contexte

Les filières de l'élevage français sont confrontées aux nombreuses problématiques du 21^{ème} siècle, avec parmi les plus féroces : le réchauffement climatique, le végétalisme et les crises sanitaires. Aujourd'hui, l'élevage se doit donc de rassurer les consommateurs en améliorant l'image qu'il transmet. Réduire son impact sur le changement climatique tout en s'y adaptant peut y contribuer.

Le réchauffement climatique dû à l'action de l'Homme sur la planète est en marche (GIEC, 2013). C'est l'émission massive de gaz à effet de serre (GES) qui en serait la cause. Les pratiques agricoles sont aujourd'hui émettrices de ces GES. Le PRG (Pouvoir de Réchauffement Global) du secteur agricole est de 8,6 % pour l'élevage, 7,5 % pour les cultures et 2,3 % pour les autres sources de l'agriculture (CITEPA, 2015). Pourtant l'agriculture présente une grande possibilité de réduction de ses émissions (Pellerin S. et al, 2013). Les auteurs du rapport d'étude « *Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ?* » (Pellerin S. et al, 2013) ont identifié dix actions techniques favorables au climat : la réduction du travail du sol, la méthanisation, la diversification des rotations, l'introduction de cultures de légumineuses, etc. L'action 5 est la suivante : « *Développer l'agroforesterie dans les parcelles cultivées et les prairies pour favoriser le stockage du carbone* ». Dans ce texte est pris en compte comme « agroforesterie » les haies et les arbres intraparcéllaires. Ces techniques permettent un stockage additionnel de carbone dans les parties ligneuses, ainsi que dans les sols, en jouant sur les entrées de matières organiques. En climat tempéré, le stockage de carbone en agroforesterie avec des cultures intercalaires atteint 95,4 T/Ha (contre 68,5 pour l'orge seule) pour la biomasse aérienne de peupliers (110 arbres/Ha, âgés de 15 ans) additionné de 3 % (2,4 pour l'orge seule) de carbone dans le sol (Peich et al, 2006). Pour un climat méditerranéen, des douglas plantés en prairie (7 x 2,5 m, 11 ans) ont permis de stocker 12,4 TC/Ha (6,95 pour la même densité mais en 4,2 x 4,2m) dans la biomasse arborée et 95,9 (102,5 pour la prairie, 91,94 pour la plantation de densité différente) dans le sol (Sharrow and Ismail, 2004). L'élevage est un secteur qui peut contribuer à l'atténuation du changement climatique tout en s'y adaptant. En effet, la ressource fourragère sera impactée par le caractère incertain des précipitations ainsi que la hausse des températures notamment. La production estivale serait réduite, la pousse printanière plus précoce et les hivers plus favorables à l'herbe (Rudget et al, 2012).

L'Agroforesterie est définie par Nair en 1991 comme un mode d'utilisation des terres combinant les arbres aux cultures ou aux productions animales sur la même parcelle. Il existe une grande diversité de systèmes qui intègrent l'arbre à l'agriculture (Coulon et al, 2000). Ces derniers ne sont pas récents. Parmi les plus traditionnels, on peut retrouver les prés-vergers de Normandie, associant pommiers à cidre et prairie, les Dehesas portugaises ou espagnoles associant les chênes lièges et/ou chênes verts avec des cultures et des prairies, les noyeraies du Dauphiné qui traditionnellement cultive du maïs dans l'inter-rang des arbres. Issus du savoir-faire paysan, la combinaison des arbres aux champs permet une diversification des productions sur les mêmes surfaces (fruits, bois de chauffage, bois d'œuvre, fourrage, céréales). La résilience des systèmes agraires était alors beaucoup plus grande qu'actuellement après un siècle de spécialisation et de simplification (remembrements, PAC). L'arbre est devenu en France dans les années 1950 un obstacle à une modernisation agricole passant par la mécanisation notamment (Pointereau, 2002). Ainsi, il disparaît progressivement des campagnes. Les prairies permanentes ont aussi connu une très forte régression entre 1960 et 2005, disparition de 4,3 millions d'hectares (Plantureux et al, 2012). Plus généralement, c'est le paysage bocager qui a souffert.

Aujourd'hui l'agroforesterie tend à se redévelopper, portée à la fois par des agriculteurs et la recherche en agroécologie. Elle apparaît comme une des solutions envisageables pour limiter le réchauffement climatique (stockage de carbone), réduire ses impacts sur les cultures et les animaux (microclimat), augmenter l'autonomie vis-à-vis des énergies non renouvelables notamment.

Les impacts des arbres agroforestiers adultes en prairies permanentes sur l'autonomie énergétique et fourragère de l'exploitation, ainsi que sur le comportement animal et les performances zootechniques sont aujourd'hui très peu documentés.

Ce sont les principaux objectifs du projet PARASOL (soutenu financièrement par l'ADEME), coordonné par AGROOF en partenariat avec l'IDELE, l'INRA de Theix, l'INRA de Lusignan, l'IDELE et l'Institut de Lasalle Beauvais, en lien avec le projet ARBELE (soutenu financièrement par le CASDAR) et coordonné par l'IDELE. Ces projets se basent sur un réseau de parcelles implanté à la fin des années 80 par l'INRA, l'IRSTEA, le CNPF et le PNR Cap et Marais d'Opale dans trois régions françaises : Auvergne, Nord Pas de Calais et Languedoc-Roussillon. L'objectif était initialement de tester la production de bois précieux en prairies permanentes. Aujourd'hui, il sert de référence aux stades avancés de l'agroforesterie d'élevage intraparcélaire. L'étude ici présentée s'insère dans les actions 2 des programmes ARBELE et Parasol. Elle se focalisera sur l'étude de l'impact de l'agroforesterie et du microclimat créé sur la production fourragère herbacée et sur le fonctionnement du système fourrager. L'étude via la création d'indicateurs de suivi permettra à terme de produire des documents de synthèse sur l'effet du couvert arboré et du microclimat, la production fourragère herbacée, l'intégration de ces parcelles au système d'alimentation.

Synthèse bibliographique

Les arbres agroforestiers modifient l'atmosphère climatique directe environnant en captant une partie du rayonnement solaire, en modifiant les vents, la température et l'humidité ambiante (Monteith et al, 1991). Ils contribuent à créer ce qu'on appelle un microclimat. Sur cet aspect, la littérature scientifique est assez bien documentée en ce qui concerne les zones tropicales ou sub-tropicales, malheureusement peu de références existent encore sur les systèmes en régions tempérées.

Tout d'abord, les arbres agroforestiers modifient et diminuent le rayonnement qui atteint la strate herbacée d'une prairie agroforestière. Les densités de plantation, l'âge des arbres, le type d'essence et le mode de gestion des arbres impactent directement cette compétition lumineuse (Guevara-Escobar et al. 2007). La canopée des arbres ne transmet pas la lumière selon la même intensité pour différentes essences de résineux et la production de la prairie est fortement corrélée à la transmission de la lumière (Silva-Pando et al. 2001). Les pins maritimes transmettent en moyenne plus de lumière (36-57 %) que les pins sylvestres (16-21 %) en climat océanique (Galice, Espagne). Cet ombrage produit par les arbres agroforestiers peut être un avantage ou un inconvénient pour les systèmes de production agricole en fonction des contextes climatiques : Ludwig et al. (2001) rapportent qu'au nord de la Tanzanie pendant la saison des pluies l'ombre produite par les arbres est perçue comme un facteur de réduction de la production de l'herbe, alors que pour la saison sèche elle est favorable à cette dernière.

Ensuite, les arbres modifient les conditions de température et d'humidité. Par exemple, pour une plantation d'*Acacia tortilis* de 100 à 200 arbres / ha en climat aride, la température du sol a été abaissée de 10-16 °C pour 0.5 cm de profondeur et 4-5 °C à 30 cm (Shankarnarayan et al. 1987). Les températures de sol sous une plantation agroforestière de peupliers sont généralement plus basses qu'en zone ouverte, de -3.3 à -0.6 °C (Guevara-Escobar 1997). Le sol est plus frais au sud des arbres (côté le moins ensoleillé dans l'hémisphère sud) de 1-2 °C pour une plantation de 100-25 arbres / ha alors que la température n'est pas différente entre sous les arbres et sans arbres pour un autre site 44-16 arbres / ha (Douglas et al. 2001) ou similaire pour la densité de 100 arbres / ha (Hawke and Wedderburn 1994). Dans une plantation de *Pinus radiata*, la température est plus faible de 0.7 à 1.5 °C à la profondeur de 30 cm (Hawke and Wedderburn 1994).

En ralentissant le vent, en diminuant la température du sol, les arbres présentent aussi un avantage dans certaines conditions quand à la diminution du stress hydrique. En condition très sèche (Californie), les arbres montrent en effet une réduction du stress hydrique en diminuant les

pertes en eau par la prairie (Frost and McDougald 1989). Plus la pluviométrie est importante moins la production est intéressante sous les arbres et plus la saison est sèche plus la production sous les arbres devient supérieure à une zone témoin (Ludwig et al. 2001). La profondeur du sol est une des conditions pilotant la compétition arbre-prairie pour l'eau, en effet l'arbre peut éventuellement puiser plus en profondeur ses ressources. D'après Gyenge et al. (2002), la teneur en eau du sol est similaire pour les 80 premiers cm du sol entre des parcelles agroforestières de pins (350, 500 et 1000 / ha) et la prairie sans arbres, elle est significativement plus faible dans les couches plus profondes (80-100 cm) avec les arbres au début de l'été. Pour tout le profil de sol, les auteurs ont trouvé que la teneur en eau des 0-140 cm du sol sous la prairie était supérieure de 6.8 %, correspondant à 95 mm. Les arbres contribuent à cette réduction en interceptant les pluies (33.5 mm) et en augmentant l'évapotranspiration (59.5 mm). Bien que l'association peuplier-prairie présente une évapotranspiration plus élevée que pour une prairie seule, la réserve en eau est similaire pour les 30 premiers cm du sol (Guevara-Escobar et al. 2000).

Ensuite, les paramètres du sol sont modifiés par la présence d'arbres, la litière déposée en surface, la chute de branche, la décomposition des racines en profondeur, etc. L'enrichissement en matière organique et l'amélioration de la fertilité sont attendus grâce aux arbres. En effet, de nombreux auteurs qui se sont penchés sur les paramètres du sol en agroforesterie d'élevage rapportent une amélioration de la teneur en matière organique, du C organique, de l'N organique, du C total, de l'N total, du P disponible (Ovalle et al. 2006 ; Ludwig, 2001 ; East et Felker, 1993 ; Moreno et al. 2007 ; Caranca et al. 2015). Certains arbres fixateurs d'azote sont sûrement source d'un enrichissement du pool azoté de la parcelle. Les *Acacia tortilis* dans la savane africaine peuvent être limitant pour la ressource en phosphore. Il est observé que la prairie produit tout de même plus sous la canopée des arbres qu'avec un ombrage artificiel grâce à l'amélioration de la nutrition azotée notamment (Ludwig, 2001). Le pH peut être modifié par la présence des arbres, il augmente de 1.5 dans une plantation de peupliers âgés (> 29 ans) (Guevara-Escobar 1999) alors que pour une plantation de *Pinus radiata*, le pH est 1.4 inférieur comparé avec une prairie sans résineux (Giddens et al. 1997). L'amélioration de la fertilité du sol et donc de la nutrition des plantes compagnes dépend des caractéristiques pédologiques de départ. Pour un sol fertile à l'origine, le rendement fourrager (*Avena sativa*) est négativement impacté par la présence des arbres (*Quercus ilex*), alors que pour un sol oligomorphe, la production est meilleure (Obrador et al. 2005). Les caractéristiques des sols sont très importantes à prendre en compte pour mettre en place un système agroforestier adapté (Szott, 1991).

Pour finir, la présence des arbres au sein de prairies et le microclimat qu'ils créent influence la production prairiale, que ce soit en termes de biomasse produite ou de composition botanique. Néanmoins, la nature de cet impact n'est pas aisément définie et dépend de nombreux facteurs. On peut trouver dans la littérature de grands écarts concernant l'effet que peut avoir l'élément arboré sur la production prairiale (Benavides et al. 2009). Les plantations d'arbres variant en de nombreux points (essence, densité, âge, taille), elles ne modifient pas de la même manière leur environnement proche (interception de la lumière, utilisation de l'eau, des nutriments, etc.). Les seuls auteurs qui rapportent une amélioration de la production fourragère prairiale ont réalisé leurs mesures dans des parcelles agroforestières en climat tropical aride ou méditerranéen (Grouzis et Akpo 1997 ; Mordelet et Menaut 1995 ; Moreno 2008). De nombreux auteurs rapportent que la production prairiale est inversement corrélée à la densité de plantation (Rozados-Lorenzo et al. 2007 ; Sibbald et al. 1991 ; Devkota et al. 2009). L'âge des arbres agissant sur les mêmes paramètres que la densité de plantation, il conditionne aussi la production de l'herbe (Doyle et al. 1986 ; Guevara-Escobar et al. 2007). Certains auteurs conseillent généralement d'élaguer le plus sévèrement possible les arbres qui n'ont pas grande valeur afin d'augmenter les revenus générés par la parcelle (Pollock et al 1994 ; Pollock et al 2009 ; Guevara-Escobar 2007 ; Devkota et al, 2009). L'élagage des houppiers réduit l'interception de la lumière par les arbres, leur consommation en eau, tout en augmentant la valeur économique de la bille de pied (Sharrow 1999).

Il apparaît que généralement les plantes de lumière sont défavorisées par la présence des arbres (Lin et al. 1998). Les Fabacées sont moins compétitives que les Poacées et tendent à diminuer fortement voire disparaître (Moreno 2008). La proportion de Fabacées est divisée par deux alors que le dactyle ne montre aucun changement (Peri et al. 2007) dans une plantation de *Pinus radiata* de 200 arbres / ha en climat tempéré. Une certaine baisse de la biodiversité est observée par Jakson et al (1990) alors que pour Ovalle et al (2006), elle augmente. En effet, comme on l'a vu précédemment, les paramètres pédologiques tendent généralement à s'améliorer sous la canopée des arbres. De plus, il existe une corrélation négative entre la fertilité du sol et la biodiversité (Rosseti et al. 2015). L'impact du bétail (piétinement, déjection), sous les arbres pour être à l'ombre, peut aussi conduire à une baisse de la biodiversité (Rodriguez-Calcerrada et al. 2011). En ce qui concerne la composition botanique, bien que les légumineuses aient tendance à être défavorisées par la présence des arbres, les valeurs alimentaires semblent améliorées (Caranca et al. 2015 ; Jakson et al. 1990 ; East et Felker, 1993 ; Ovalle et al. 2006 ; Ludwig, 2001 ; Buerghler et al. 2006). La teneur en azote du fourrage est plus riche en agroforesterie (Caranca et al. 2015). Plus de protéines brutes dans la végétation prairiale sous des féviers d'Amérique (Buerghler et al. 2006), des peupliers (Guevara-Escobar 1999), *Prosopis glandulosa* (East et Felker, 1993) et *Pinus radiata* (Peri et al. 2007). La végétation recevant moins de lumière, elle est moins photo synthétiquement active, elle est donc moins riche en carbone. La teneur en protéines étant aussi associée à une baisse de la production fourragère, c'est donc principalement une simple conséquence.

Problématique et hypothèses

Au vu des nombreux articles existants, la question qui est soulevée est la suivante :

Quel est l'impact de la présence d'arbres et du microclimat qu'ils créent sur la production fourragère de prairies, au sein de systèmes agroforestiers en zones tempérées et méditerranéennes ?

La production devrait en général être inférieure, résultat d'une compétition pour la lumière, l'eau et les éléments minéraux.

On s'attend à ce que les parcelles agroforestières ralentissent la croissance de la strate herbacée via l'effet d'ombrage au printemps et la pénalisent en contexte défavorable, par exemple avec de faibles précipitations associées à une faible réserve utile en eau (sol peu profond).

La flore prairiale sera surement différente de la pleine lumière avec une proportion plus importante de Poacées.

La température devrait être plus faible à proximité des arbres aux moments les plus chauds du jour et plus élevée durant la nuit.

Matériel et méthode

1. Sites expérimentaux

Les programmes de recherches PARASOL et ARBELE s'étendent sur la France entière, pour la tâche 2 (étude de la production fourragère herbacée). Le travail est donc réparti entre l'IDELE au Nord et AGROOF pour le Massif Central et le Sud. Ce rapport se concentre sur quatre sites expérimentaux.

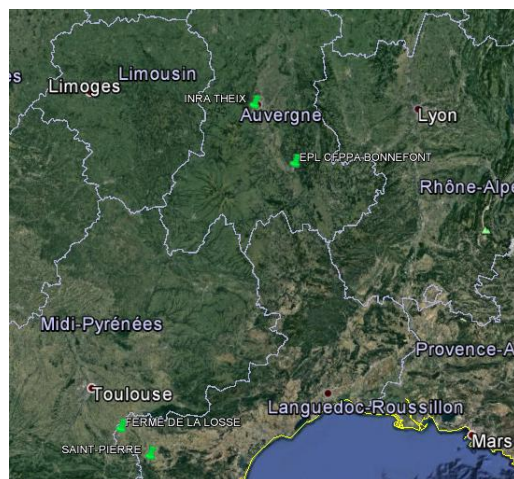


Figure 1 : Situation géographique des quatre parcelles expérimentales (Google Earth).

Deux des sites expérimentaux sont situés en région Auvergne-Rhône-Alpes, les deux autres en Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées (cf Figure 1).

Tableau 1 : Coordonnées des trois sites expérimentaux.

Code	Site	Adresse	Petite région agricole	Latitude, Longitude, Altitude
A	Ferme de Lalosse	Lalosse 11240 MOLANDIER	Razes	43°15'24.89'' N 1°44'14.27'' E 279 m
B	CFPPA EPL Bonnefont	Bonnefont 43100 FONTANNES	Limagne	45°16'32.83'' N 3°28'24.94'' E 479 m
C	INRA Theix	63122 THEIX	Périphérie des dômes	45°42'02.92'' N 3°01'01.80'' E 867 m
D	Domaine de Saint-Pierre	DOMAINE SAINT PIERRE 11300 POMY	Razes	43°03'42.1''N 2°02'55.1''E 472 m

La ferme de Lalosse (code A) dirigée par Mme Katrin DE RIDDER est située dans la petite région agricole de Razès, dans le département de l'Aude (11), le climat est sous influence méditerranéenne et océanique (Température moyenne : 12,2°C, précipitation : 903,8 mm).

Le site du Chariol au CFPPA de Bonnefont (code B) est situé dans la commune de Fontannes en Haute-Loire (43), le climat y est continental (température moyenne : 9,8°C, précipitation : 938 mm). La parcelle qui sert de site expérimental à l'INRA de Theix, située dans la petite région agricole de la Périphérie des Dômes, dans le Puy de Dôme, s'appelle la Vigérale (code C). Le climat y est montagnard (température moyenne : 8,4°C, précipitation : 1088 mm).

Le Domaine de Saint-Pierre (code D) dirigé par Mme RESNAU Julie est situé dans la petite région agricole de Razès, dans le département de l'Aude (11), le climat est sensiblement le même que pour le site A (Température moyenne : 13,6°C, précipitation : 802,9 mm).

Tableau 2 : Données issues des moyennes de 1982 à 2014 pour chaque zone ISOP correspondantes.

Ex	MOIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Moy
A	T°C	4,9	5,4	8,1	10,4	14,0	17,7	20,4	20,3	17,2	13,5	8,5	5,6	12,2
	P (mm)	87,9	70,2	77,3	97,7	89,8	65,3	44,0	61,2	64,6	76,3	89,0	80,6	903,8
B	T°C	2,1	2,7	5,7	8,2	12,3	15,8	18,3	18,0	14,5	11,0	5,7	2,8	9,8
	P (mm)	59,5	53,2	55,0	83,4	106,4	87,3	82,5	85,1	86,1	89,2	84,2	66,1	938,0
C	T°C	1,3	1,5	4,2	6,6	10,7	14,1	16,4	16,2	13,0	9,8	4,7	2,1	8,4
	P (mm)	78,9	71,4	71,3	97,1	108,2	97,7	92,0	89,1	95,9	95,9	99,8	91,5	1088,8
D	T°C	6,1	6,7	9,5	11,7	15,4	19,2	22,1	22,0	18,6	14,7	9,8	6,8	13,6
	P (mm)	84,7	68,8	68,0	83,5	65,8	43,0	30,4	44,9	56,4	85,0	95,7	76,7	802,9

La prairie du site A est pâturée par des brebis laitières de race Lacaune, celle du site B par des brebis viandes de race Bizet du Cantal, la C par des vaches laitières de race Prim'Holstein et la D par des Rouges du Roussillon. Les quatre zones d'études sont implantées avec des arbres de haut-jets de type forestier (Tableau 3). Le noyer hybride (*Juglans regia x nigra*) est présent sur les sites A et B. Le C est planté avec des frênes (*Fraxinus excelsior*), conduits en haut-jet pour une part et en têtard (expression symbolisant un arbre étêté) pour l'autre. Le site D est planté de merisiers (*Prunus avium*).

Tableau 3 : Les différents types d'arbre pour les quatre sites.

SITE	TYPE	ESSENCE	Age (ans)
A	Forestier	Noyer	17
B	Forestier	Noyer	26
C	Forestier	Frêne	27
D	Forestier	Merisier	24

Les plantations n'ont pas été établies selon le même plan de départ (Tableau 4). La parcelle la plus dense est la D, la densité initiale était de 5x5 m, suite à une éclaircie récente, la densité n'est plus identique. Le site A est aussi caractérisé par une distance inter et intra ligne presque égale mais moins dense, 11x12 m. Le site B quand à lui est implanté en 16x6, avec des lignes orientées Est-Ouest.

Tableau 4 : Données dendrométriques des sites A, B et D (Moyenne des 10 arbres environnant chaque mise en défends).

SITE	Distance inter-rang (m)	Distance intra-rang (m)	Densité arbres/ha	Hauteur (m)	Diamètre à 1,3m (cm)	Diamètre à 5 cm (cm)	Diamètre à 2m (cm)	Hauteur du houppier (m)	Diamètre du houppier (m)
A	11	12	76	7,9	62,0	81,1	63,4	2,4	5,5
B	16	6	83	9,2	58,3	75,1	57,4	2,4	6,3
D	5	5	200	4,8	36,7	41,7	34,7	1,7	3,3

2. Dispositif expérimental pour l'étude de la production herbacée

a. Plan expérimental

La méthode employée pour l'étude de la production prairiale a consisté en la mise en place de zones de mise en défends (ZMD), de manière à exclure le pâturage et ainsi protéger la zone étudiée. Les ZMD sont constituées de piquets de clôture blanc en plastique (10 par zones de mise en défends), reliés par du fil de clôture électrique (2 ou 3 hauteurs en fonction du type de bétail). L'électrification est assurée par des postes de clôture solaire. La largeur du dispositif est de 2 m pour éviter que les animaux ne faussent les résultats en consommant de l'herbe.

Chaque site expérimental comporte trois ZMD dans la modalité agroforestière et une dans la modalité témoin sans arbres. En ce qui concerne la partie agroforestière, les ZMD sont placées autour de trois arbres différents et s'étendent au nord et au sud de leur arbre respectif jusqu'au milieu de l'inter-rang. Pour la modalité témoin, une seule zone a été délimitée.

Au sein de chacune des ZMD, les relevés sont réalisés dans des quadrats de 0.9*0.6 m. Dans la modalité agroforestière, ils sont disposés (cf Figure 2) de manière à étudier l'impact de la distance à l'arbre ainsi que de l'orientation vis-à-vis de ce dernier. On compte six quadrats, dont trois exposés au Sud et trois au Nord, respectivement à un mètre du centre de l'arbre (SD1 et ND1), un quart (SD2 et ND2) et un demi (SIR et NIR) de la distance avec l'arbre d'en face. Dans les zones témoins, cinq quadrats ont été réalisés.

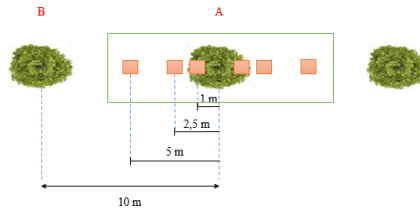


Figure 2 : Disposition des quadrats au sein d'une zone de mise en défend.

b. Mesure de la biomasse produite

La mesure de biomasse permet d'estimer la pousse de l'herbe entre deux périodes bien précises. Cinq périodes par an sont nécessaires pour être callé sur la pousse totale annuelle. Afin de suivre les prairies pour la saison 2016, l'installation des ZMD s'est faite le plus tôt possible (25 mars → 4 avril). Les cinq périodes retenues sont les suivantes : P1 et P2 pour la production printanière (500 et 1100-1200 degrés-jours), P3 pour la production d'été (40-45 jours après P2), P4 pour la production d'automne (40-45 jours après P3) et P5 pour la production d'hiver (courant décembre). Les prélèvements seront réalisés pour les saisons 2016 et 2017. Les résultats présentés ci-dessous ne porteront que sur les 2 dates du printemps, P1 et P2. A ces périodes, la végétation prairiale des quadrats a été prélevée à l'aide d'une tondeuse à main. Les teneurs en matières sèches ont ensuite été réalisées à l'aide d'une étuve.

c. Détermination de la composition floristique

Dans chacun des quadrats, nous avons déterminé les espèces dominantes (plus de 1/6^{ème} de recouvrement) et leur avons donné une note d'abondance en pourcentage. La comparaison se fera entre les trois répétitions sous les arbres et la parcelle témoin. Nous déterminerons également le stade phénologique pour les graminées et légumineuses uniquement (Jeangros et al., 2005).

d. Dispositif de suivi microclimatique

Les sondes de relevés de températures et d'humidité sont des VOLTcraft VL 120 TH. Trois sondes par exploitation ont été positionnées dans des abris adéquats. Les abris ont été confectionnés avec une matière réfléchissante de type PVC blanche pour faire un toit de 30x40 cm. Fixées sur un piquet en bois, les sondes sont positionnées à un mètre du sol. L'enregistrement des données de températures et d'humidité relative a été continu et réglé sur un pas de temps de dix minutes. Deux dispositifs ont été placés au sein d'une mise en défend agroforestière, le premier à un mètre au nord de l'arbre (code AF1mN) et le deuxième au milieu de l'inter-rang (code AFIR). Le troisième a été positionné dans la zone témoin.

3. *Analyse statistique*

Les données récoltées pendant la campagne de mesure nous ont permis de calculer des indicateurs variés (Annexe 1) concernant la production de la prairie, la flore et la phénologie de cette dernière. Pour la biomasse récoltée, sont présents dans ce rapport les indicateurs de production convertis en tonne de matière sèche à l'hectare pour les deux dates de mesures (P1TMSHa et P2TMSHa). Pour la flore prairiale, trois indicateurs ont été étudiés, les taux respectifs de graminées, légumineuses et diverses. L'étude de la phénologie prairiale nous a permis de calculer des taux concernant les stades phénologiques existants (végétatif, montaison, épiaison, floraison et fin de floraison).

L'analyse des données récoltées a été faite grâce au logiciel RStudio. Les statistiques descriptives ont été obtenues via la réalisation d'Analyse Factorielle des Composantes Multiples (compilation des informations sur la flore et la biomasse produite), d'Analyse en Composante Principale (relevés botaniques). L'AFCM permet de grouper les variables quantitatives en classes de nombres, nous avons choisi de les séparer en cinq classes. Ces analyses nous permettront d'obtenir un regard large sur la dispersion des données en fonction des traitements.

Pour les résultats concernant la biomasse sèche produite aux dates P1 et P2, les proportions des stades phénologiques, les taux de graminées, légumineuses, diverses seront justifiés par des comparaisons de moyenne (ANOVA) à un facteur : la position. De plus, pour confirmer ces résultats, des tests post-hoc HSD de Tukey nous permettront d'interpréter correctement l'impact des traitements sur les paramètres mesurés. Un test de régression multiple nous permettra d'identifier s'il existe une certaine relation entre des variables quantitatives. Le site C est le seul qui ne respecte pas les conditions d'application des tests ANOVA (normalité des résidus et homostédasticité), ceci est lié au fait que seulement deux répétitions par zone agroforestière ont été réalisées (2 pour les hauts-jets et 2 pour les têtards).

Résultats

1. Caractérisation du microclimat créé par les arbres

a. Température

Les courbes de températures présentées ci-dessous correspondent aux écarts des traitements au témoin moyennés par heure pour les mois d'avril et juillet dans les quatre sites (Figure 3). On peut voir que, pour le mois d'avril, les écarts de température sont assez faibles, de l'ordre de +/- 2°C. Le traitement AF1mN apparaît généralement comme le plus frais aux heures les plus chaudes de la journée, surtout pour les sites B, C et D (jusqu'à -2°C pour B), le site A ne présente pas de grandes tendances. Le traitement AFIR présente un comportement similaire en D, plus frais en C, plus contrasté en B qu'AF1mN. En A, il est indissociable du témoin. L'amplitude des écarts de température en fonction des heures de la journée est plus importante pour le mois de juillet qui a un comportement plus estival. Les températures sont, pour presque toute la journée, plus faibles aux sites B et C pour les deux traitements. Le pic de fraîcheur est atteint aux environs de 12h30 avec 4°C de moins pour le traitement AF1mN en B et C, le comportement de la sonde AFIR étant plus similaire au témoin.

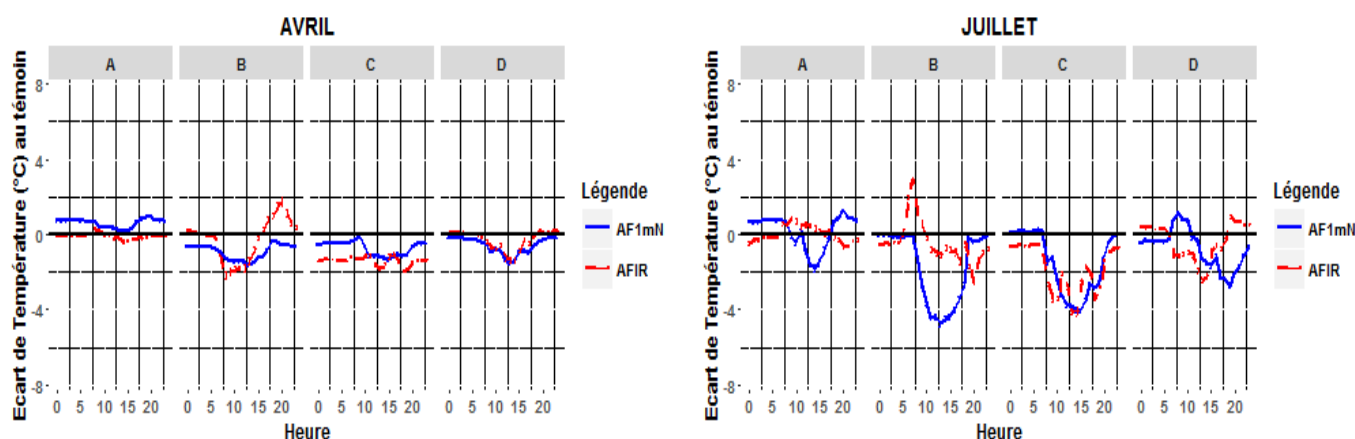


Figure 3 : Moyenne horaire des écarts de température (°C) entre les traitements 1 mètre au Nord de l'arbre (AF1mN), inter-rang (AFIR) avec le témoin pour les 4 sites pour les mois d'avril et juillet.

On observe sur le site A que les températures sont plus chaudes que le témoin la nuit et légèrement plus fraîche ver 14h (-2°C) tout en étant beaucoup plus proche du témoin (comme en Avril). Le site D ce comporte presque comme le A, la température n'étant pas autant diminuée en agroforesterie.

b. Humidité relative

L'humidité semble être affectée par la position de la sonde au sein de nos dispositifs. Comme il est possible d'observer dans la figure 4 ci-dessous, la moyenne des écarts par heure est moins contrastée pour le mois d'avril que pour le moi de juillet. Pour les sites A, B et D la tendance semble être toujours plus humide pour les traitements agroforestiers. Le site C semble moins contrasté avec valeurs généralement plus faibles.

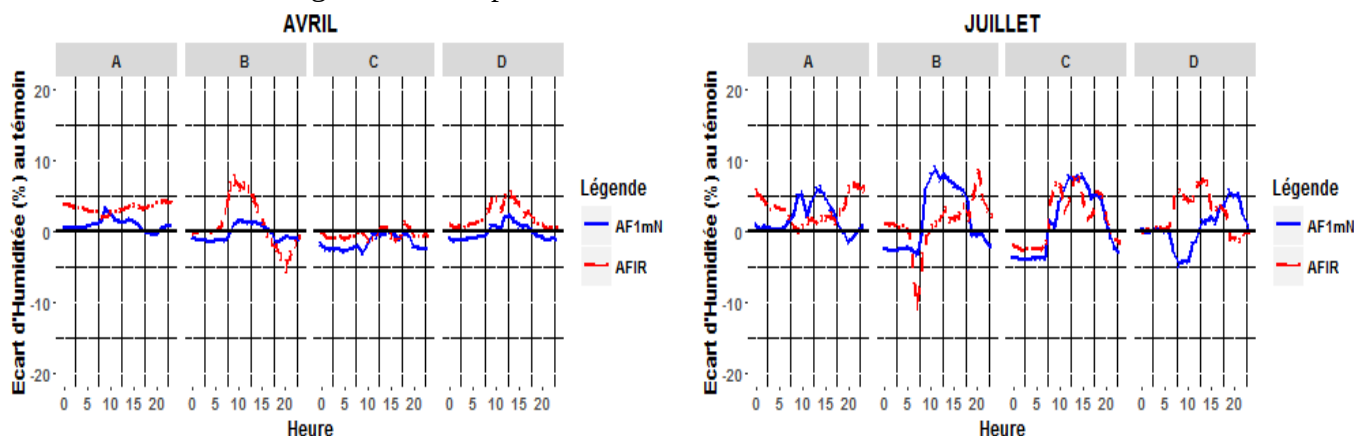


Figure 4 : Moyenne horaire des écarts d'humidité entre les traitements 1 mètre au Nord de l'arbre (AF1mN) inter-rang (AFIR) avec le témoin pour les 4 sites pour les mois d'avril et juillet.

Au mois de juillet le traitement AF1mN semble être plus humide pour les 4 sites entre le lever et le coucher du soleil, avec un pic d'humidité entre 10h et 15h, allant jusqu'à +10% pour le site C à 12h30. Le traitement inter-rang présente des oscillations plus faibles. Pour le site D, la sonde au milieu de l'inter-rang affiche des résultats contradictoires, avec une humidité bien plus faible qu'en zone témoin pour la nuit et quasi identique aux heures les plus chaudes.

2. Production de la prairie

a. Analyse descriptive des données quantitatives

Les résultats ci-dessous (Figure 5) présentent la répartition des différents traitements selon les deux axes de dispersion de l'AFCM du tableau de données, avec les variables décrites en Annexe 1. Il est possible d'observer que, pour les 4 sites, les zones étudiées se séparent, signe que de nombreux paramètres sont discriminants. Tout d'abord, le milieu semble bien identifié, généralement l'ellipse représentant la zone témoin est écartée de l'agroforesterie. Ceci étant légèrement moins net pour le site B. Il est intéressant de voir que, pour le site C, trois groupes se distinguent : la modalité incluant des arbres têtards se comporte différemment des deux autres traitements AF et ZT. Ensuite, la partie droite de la figure nous montre qu'au sein des mises en défends agroforestières (AF), les quadrats se séparent plus ou moins selon les sites. Les sites D et C ne présentent pas d'évidente discrimination entre les positions à l'arbre. Alors que pour les sites A et B, les quadrats correspondant à une ambiance particulière sont ensemble. Par exemple, pour le site B, deux sous groupes au sein de l'agroforesterie se forment, ND2, ND1 et SD1 qui sont très proches et SD2, SIR et NIR. Le premier groupe correspondant à la projection du houppier de l'arbre et le second aux cotés ensoleillés.

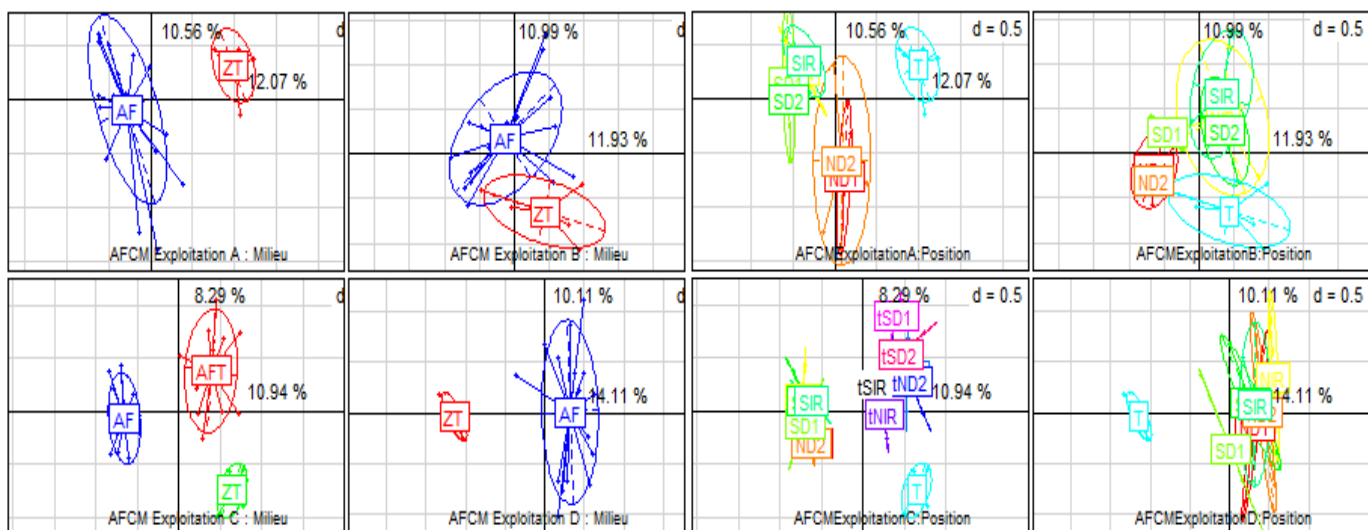


Figure 5 : AFCM des quatre sites avec représentation des milieux (à gauche : AF = agroforesterie / ZT = témoin / AFT = têtards agroforestiers) d'une part et des positions vis-à-vis de l'arbre (à droite : SD1 et SD2 = 1m et ¼ de la distance avec l'arbre d'en face au Sud, ND1 et ND2 = de même au Nord, SIR et NIR les inter-rangs au Sud et au Nord, le même code avec un t devant désigne les arbre têtards).

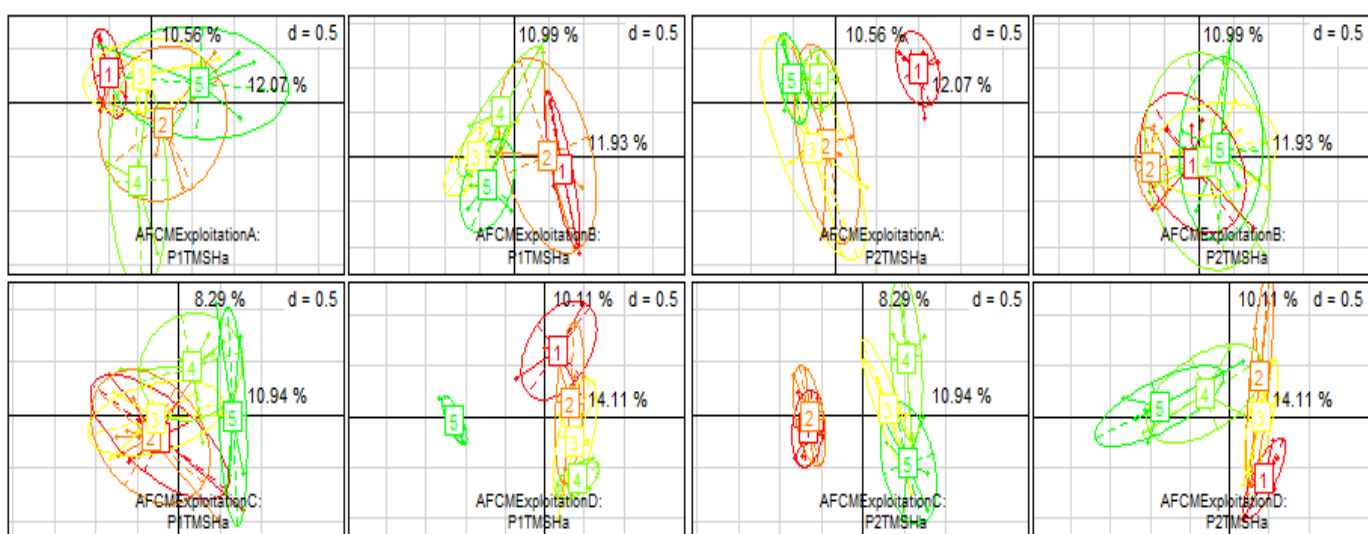


Figure 6 : AFCM des quatre sites avec représentation de la quantité de biomasse produite (TMS/Ha) pour la P1 et la P2, les chiffres correspondent à des classes de nombre (1 étant les valeurs de production les plus faibles et 5 les plus élevées).

Il semble apparaître une certaine cohérence entre la discrimination des zones étudiées et les classes de productions (Figure 6). Les tendances observées avec l'analyse multivariée ne nous permettent pas d'établir de conclusions au vu de la faiblesse d'inertie expliquée par les axes de dispersion. Les comparaisons de moyennes sont donc plus que nécessaires avant de justifier quoi que soit.

b. Biomasse

Les résultats ci-dessous sont issus de tests de comparaison de moyenne (ANOVA), complétés par des tests post-hoc de Tukey à 0,01 % (Figure 7, 8 et Tableau 6). La production en P1 n'est pas significativement différente selon la position à l'arbre, sauf pour le site D où la zone témoin apparaît comme plus productive (+0,78 à 0,88 TMS/ha ** que pour l'agroforesterie, cf Tableau 5). Le site A ne présente aucun résultat significatif bien qu'une certaine tendance se soit dégagée. Les positions à l'arbre les plus productives sont ND1, ND2 et SD1 ($0,9 \pm 0,42$ / $0,87 \pm 0,34$ et $0,99 \pm 0,33$ TMS/Ha respectivement, cf Tableau 5) par rapport aux autres SD2, SIR et NIR ($0,5 \pm 0,18$ / $0,5 \pm 0,35$ et $0,33 \pm 0,18$ TMS/Ha respectivement, cf Tableau 5). Dans le site C, les quadrats situés sous les

arbres têtards présentent déjà en P1 une tendance à produire plus (de $1,2 \pm 0,59$ à $1,72 \pm 0,22$ TMS/Ha) que sous les arbres de haut-jets ($0,78 \pm 0,16$ à $1,12 \pm 0,27$ TMS/Ha) tout en étant pas significatif. Le site B ne présente pas une tendance claire d'impact des arbres sur le rendement en P1.

Tableau 5 : Résultats des tests de comparaison de moyenne pour la production de biomasse (TMS/Ha) au période P1 et P2. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.

Site	P		ND1	ND2	NIR	SD1	SD2	SIR	T	tND1	tND2	tNIR	tSD1	tSD2	tSIR
A	P1	m	0,90a	0,87a	0,33a	0,99a	0,50a	0,50a	1,35a						
		std	0,42	0,34	0,18	0,33	0,18	0,35	0,71						
	P2	m	2,06ab	2,23ab	2,49a	2,30ab	3,21a	2,70a	0,89b						
		std	0,30	0,30	0,21	0,75	1,00	0,15	0,24						
B	P1	m	0,64a	0,59a	0,42a	0,45a	0,33a	0,58a	0,65a						
		std	0,10	0,19	0,30	0,12	0,11	0,30	0,44						
	P2	m	2,36a	2,90a	5,53a	2,77a	2,83a	2,97a	2,95a						
		std	0,57	0,42	1,96	0,66	0,69	1,57	0,67						
C	P1	m	0,78a	0,78a	1,12a	0,97a	0,93a	0,88a	1,46a	1,42a	1,57a	1,24a	1,72a	1,71a	1,20a
		std	0,10	0,16	0,27	0,25	0,38	0,14	0,70	0,28	0,46	0,39	0,22	1,23	0,59
	P2	m	1,34c	1,72bc	2,35abc	1,50c	1,85bc	2,10bc	4,83a	4,01abc	4,30abc	3,83abc	4,06abc	3,95abc	4,60ab
		std	0,21	0,16	0,67	0,10	0,03	0,44	0,94	0,40	0,05	0,75	0,07	0,05	1,26
D	P1	m	0,32b	0,39b	0,34b	0,34b	0,36b	0,29b	1,18a						
		std	0,18	0,21	0,24	0,26	0,22	0,19	0,27						
	P2	M	1,32a	1,13a	1,31a	1,63a	1,69a	1,69a	2,45a						
		Std	0,68	0,55	0,41	0,56	0,91	0,98	0,23						

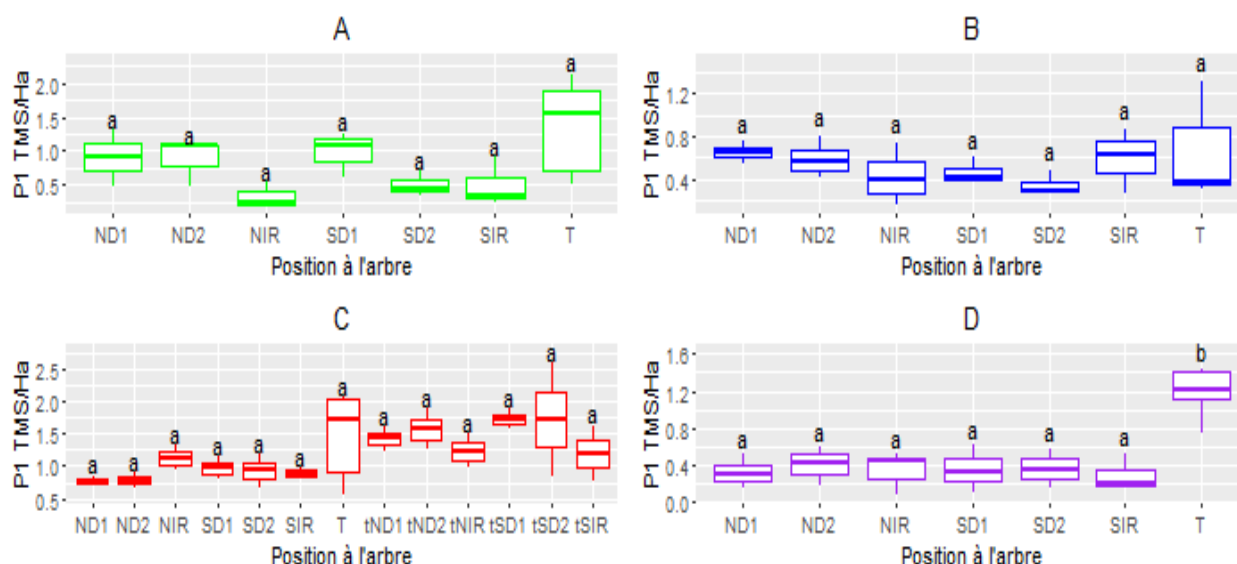


Figure 7 : Comparaison des moyennes pour la production P1 en Tonne de matière sèche à l'hectare pour chaque position à l'arbre. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.

Pour la P2, les différences entre les zones de mesures deviennent plus significatives (Figure 8). Le témoin du site A est moins productif que les autres quadrats en agroforesterie ($0,89 \pm 0,24$ TMS/Ha) et le quadrat situé à un mètre au nord (ND1) est légèrement moins productif qu'aux autres positions par rapport à l'arbre. Dans le site B, seulement le milieu de l'inter-rang au nord est noté significativement plus productif ($5,53 \pm 1,96$ TMS/Ha) par rapport à un mètre au nord ($2,36 \pm 0,57$ TMS/Ha) et au témoin ($2,95 \pm 0,67$ TMS/Ha), les autres traitements étant intermédiaires ($2,77 \pm 0,66$ à $2,97 \pm 1,57$ TMS/Ha). La séparation entre les arbres de hauts-jets et les têtards est flagrante. Dans le site C, le témoin est plus productif ($4,83 \pm 0,94$ TMS/Ha) que les traitements agroforestiers classiques (compris entre $1,34 \pm 0,21$ et $2,35 \pm 0,67$ TMS/Ha). Néanmoins, il ne se distingue pas significativement des arbres têtards (de $3,83 \pm 0,75$ à $4,60 \pm 1,26$ TMS/Ha). Aucune différence significative n'est observée chez le D, la variance intra-groupe y semble plus élevée que les variances inter-groupes.

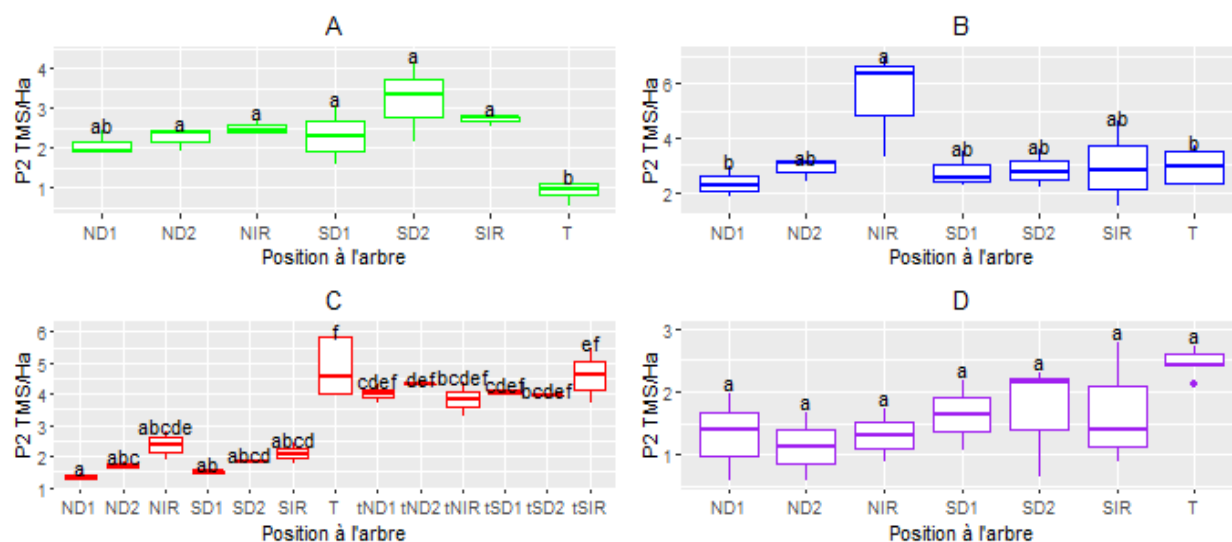


Figure 8 : Comparaison des moyennes pour la production P2 en Tonne de matière sèche à l'hectare pour chaque position à l'arbre. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.

3. Stade phénologique

Les stades phénologiques ne présentent en majorité pas de différences significatives en fonction de la position à l'arbre (Tableau 6).

Tableau 6 : Résultats des tests de comparaison de moyenne pour les stades phénologiques (%). Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.

Site	Stade phénologique		ND1	ND2	NIR	SD1	SD2	SIR	T	tND1	tND2	tNIR	tSD1	tSD2	tSIR
A	Végétatif	m	0,13ab	0,20ab	0,20ab	0,15ab	0,30a	0,21ab	0,00b						
		std	0,13	0,04	0,04	0,13	0,17	0,03	0,00						
	Montaison	m	0,00a	0,00a	0,06a	0,00a	0,00a	0,00a	0,09a						
		std	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,12						
	Epiaison	m	0,34a	0,32a	0,26a	0,43a	0,13a	0,13a	0,52a						
		std	0,14	0,08	0,07	0,21	0,12	0,12	0,46						
	Floraison	m	0,52a	0,46a	0,46a	0,41a	0,56a	0,65a	0,39a						
		std	0,04	0,06	0,06	0,08	0,06	0,09	0,36						
B	Montaison	m	0,00a	0,00a	0,13a	0,05a	0,13a	0,10a	0,30a						
		std	0,00	0,00	0,14	0,10	0,23	0,09	0,23						
	Epiaison	m	0,00a	0,00a	0,06a	0,00a	0,00a	0,00a	0,09a						
		std	0,13	0,12	0,14	0,00	0,07	0,19	0,00						
	Floraison	m	0,86a	0,93a	0,64a	0,94a	0,56a	0,50a	0,69a						
		std	0,13	0,12	0,31	0,10	0,21	0,15	0,23						
	Fin de floraison	m	0,00b	0,00b	0,08ab	0,00b	0,25a	0,28a	0,00b						
		std	0,00	0,00	0,14	0,00	0,10	0,12	0,00						
C	Montaison	m	0,00a	0,20a	0,35a	0,16a	0,20a	0,16a	0,13a	0,29a	0,20a	0,16a	0,31a	0,62a	0,29a
		std	0,00	0,00	0,21	0,24	0,28	0,24	0,14	0,06	0,00	0,24	0,18	0,16	0,06
	Epiaison	m	0,00a	0,20a	0,10a	0,26a	0,22a	0,00a	0,06a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	0,07a	0,12a
		std	0,00	0,00	0,14	0,09	0,04	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,18
	Floraison	m	1,00a	0,60a	0,55a	0,46a	0,57a	0,83a	0,73a	0,70a	0,80a	0,83a	0,37a	0,54a	0,58a
		std	0,00	0,00	0,07	0,19	0,25	0,24	0,09	0,06	0,00	0,24	0,18	0,36	0,12
	Fin de floraison	m	0,00a	0,00a	0,00a	0,10a	0,00a	0,00a	0,06a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	0,07a	0,00a
		std	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00
D	Végétatif	m	0,10a	0,05a	0,00a	0,08a	0,05a	0,16a	0,00a						
		std	0,09	0,10	0,00	0,14	0,10	0,17	0,00						
	Montaison	m	0,00a	0,00a	0,06a	0,00a	0,00a	0,00a	0,09a						
		std	0,14	0,17	0,13	0,07	0,14	0,11	0,15						
	Epiaison	m	0,20a	0,21a	0,15a	0,20a	0,19a	0,11a	0,15a						
		std	0,18	0,26	0,13	0,07	0,05	0,10	0,09						
	Floraison	m	0,00a	0,00a	0,06a	0,00a	0,00a	0,00a	0,09a						
		std	0,40	0,22	0,17	0,22	0,17	0,17	0,18						
	Fin de floraison	m	0,00a	0,00a	0,06a	0,00a	0,00a	0,00a	0,09a						
		std	0,08	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00						

En A, le taux d'herbacée au stade végétatif atteint $0,3 \pm 0,17$ % en SD2 et est compris entre $0,13 \pm 0,13$ et $0,21 \pm 0,03$ % pour les autres quadrats agroforestiers alors qu'il est absent du témoin. Le stade fin de floraison varie significativement entre les différentes positions pour le site B avec une absence de ce stade pour les emplacements situés sous le houppier des arbres (ND1, ND2 et SD1) ainsi que dans le témoin. Les quadrats plus ensoleillés (SD2 et SIR) possèdent une plus grande proportion de plantes en fin de floraison ($0,25 \pm 0,1$ à $0,28 \pm 0,12$ %).

Le reste des résultats étant non significatif, ils ne nous permettent pas d'affirmer que l'arbre a eu un impact sur le développement phénologique de la prairie.

4. Composition floristique

a. Analyse descriptive des relevés botaniques

L'analyse descriptive réalisée via une ACP de la flore des parcelles étudiées nous montre que les traitements expérimentaux n'ont pas tous le même profil botanique. La figure 9 ci-dessous présente à gauche la représentation du milieu selon les axes de l'ACP.

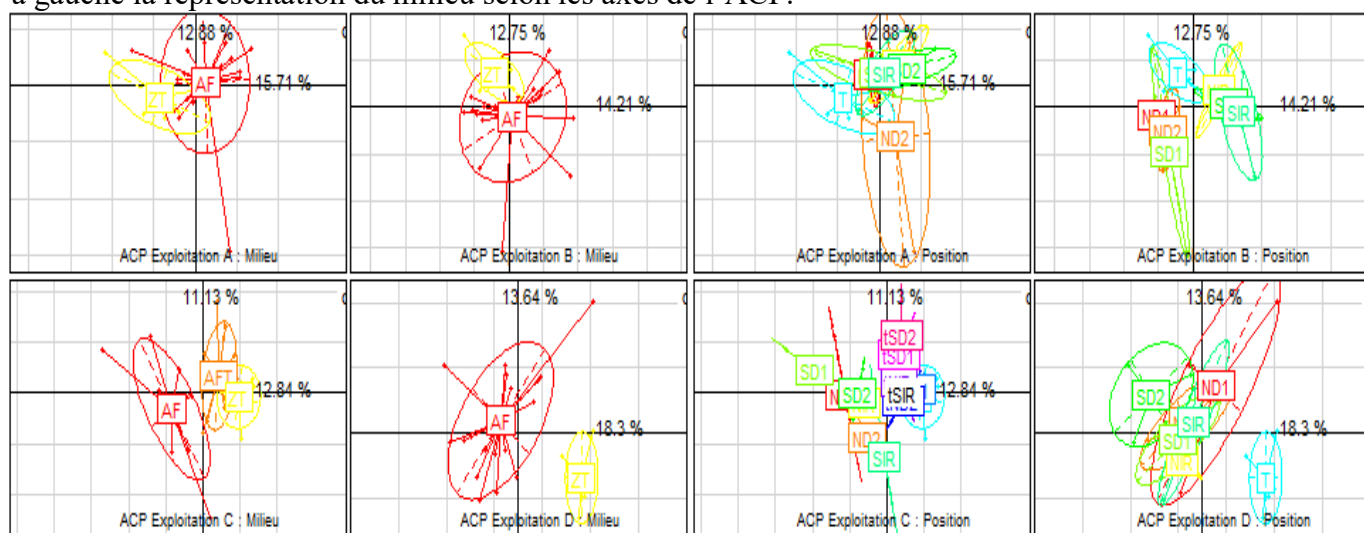


Figure 9 : ACP des quatre sites avec représentation des milieux (à gauche : AF = agroforesterie / ZT = témoin / AFT = têtards agroforestiers) d'une part et des positions vis-à-vis de l'arbre (à droite : SD1 et SD2 = 1m et $\frac{1}{4}$ de la distance avec l'arbre d'en face au Sud, ND1 et ND2 = de même au Nord, SIR et NIR les inter-rangs au Sud et au Nord, le même code avec un t devant désigne les arbre têtards).

Les ACP présentent une inertie pour les axes 1 et 2 qui est faible, c'est donc pour cela qu'une comparaison de moyenne est nécessaire. Les cercles de corrélations (Annexe 2) nous montrent les espèces qui ont tendance à « étirer » le nuage de point.

b. Pourcentages de graminées, légumineuses et diverses en fonction de l'emplacement

La figure 10 ci-dessous présente les résultats de l'ANOVA à un facteur, la position pour les quatre sites. Dans le site A, le taux de graminées varie significativement, il est plus élevé à un mètre au nord de l'arbre ($0,70 \pm 0$) qu'à l'inter-rang au nord ($0,26 \pm 0,06$). Les autres positions se situent entre les deux ($0,33 \pm 0,06$ à $0,52 \pm 0,23$) (cf Tableau 7 ci-dessous).

Tableau 7 : Résultats des tests de comparaison de moyenne pour les taux de graminées (g), légumineuses (l) et diverses (d). Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur, la position.

Site	Type		ND1	ND2	NIR	SD1	SD2	SIR	T	tND1	tND2	tNIR	tSD1	tSD2	tSIR
A	D	m	0,13a	0,23a	0,23a	0,30a	0,23a	0,33a	0,14a						
		std	0,06	0,25	0,12	0,10	0,23	0,06	0,09						
	G	m	0,70b	0,36ab	0,26a	0,33ab	0,33ab	0,36ab	0,52ab						
		std	0,00	0,15	0,06	0,06	0,12	0,06	0,23						
	L	m	0,16a	0,40a	0,50a	0,36a	0,40a	0,30a	0,34a						
		std	0,06	0,10	0,10	0,06	0,10	0,10	0,26						
B	D	m	0,00a	0,00a	0,23a	0,03a	0,10a	0,13a	0,14a						
		std	0,00	0,00	0,21	0,06	0,10	0,15	0,09						
	G	m	0,93a	0,90a	0,53ab	0,86a	0,36b	0,36b	0,82a						
		std	0,06	0,10	0,15	0,15	0,21	0,06	0,13						
	L	m	0,06c	0,10bc	0,23abc	0,10bc	0,53a	0,50ab	0,04c						
		std	0,06	0,10	0,12	0,17	0,15	0,20	0,05						
C	D	m	0,10a	0,05a	0,05a	0,05a	0,05a	0,05a	0,14a	0,00a	0,05a	0,00a	0,05a	0,20a	0,15a
		std	0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,00	0,07	0,00	0,07	0,28	0,21
	G	m	0,80a	0,85a	0,75a	0,85a	0,85a	0,80a	0,82a	0,95a	0,65a	0,80a	0,85a	0,55a	0,65a
		std	0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,14	0,13	0,07	0,21	0,14	0,07	0,07	0,07
	L	m	0,05a	0,10a	0,20a	0,10a	0,10a	0,15a	0,04a	0,05a	0,30a	0,20a	0,10a	0,30a	0,20a
		std	0,07	0,00	0,14	0,00	0,14	0,21	0,05	0,07	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
D	D	m	0,10ab	0,06ab	0,00ab	0,06ab	0,16a	0,10ab	0,00b						
		std	0,00	0,06	0,00	0,06	0,12	0,00	0,00						
	G	m	0,56ab	0,56ab	0,46ab	0,66ab	0,43ab	0,30b	0,78a						
		std	0,12	0,21	0,21	0,15	0,15	0,10	0,13						
	L	m	0,26a	0,30a	0,43a	0,20a	0,23a	0,43a	0,22a						
		std	0,06	0,17	0,21	0,10	0,06	0,23	0,13						

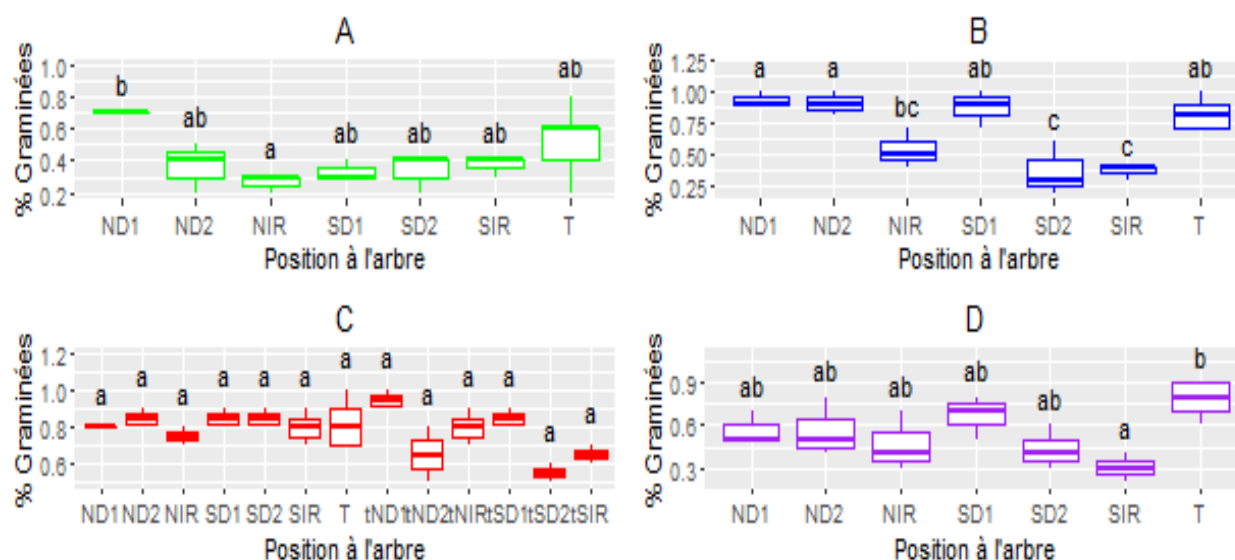


Figure 10 : Comparaison des moyennes pour le taux de graminées pour chaque position à l'arbre. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.

Le site B est plus contrasté, le taux de graminées aux deux positions ND1 ($0,93 \pm 0,06$) et ND2 ($0,90 \pm 0,10$) est significativement plus élevé que pour les quadrats NIR ($0,53 \pm 0,15$), SD2 ($0,36 \pm 0,21$) et SIR ($0,36 \pm 0,06$). Le témoin ($0,82 \pm 0,13$) et la position SD1 ($0,86 \pm 0,15$) sont intermédiaires entre ND1, ND2 et NIR. Le site C ne présente aucune différence significative. Dans le site D, les graminées seraient plus représentées au témoin ($0,78 \pm 0,13$) que pour l'inter-rang au sud ($0,30 \pm 0,10$), les autres positions étant intermédiaires ($0,43 \pm 0,15$ à $0,66 \pm 0,15$).

Le taux de légumineuses (Figure 11, Tableau 7) étant inversement corrélé ($-0,84$ ***) (Annexe 3), le schéma devrait être inversé. Seul le site B nous montre des résultats significativement différents entre les positions à l'arbre. Les légumineuses sont majoritaires dans les quadrats SD2 ($0,53 \pm 0,15$) et SIR ($0,50 \pm 0,2$). Elles sont sous représentées dans la quasi-totalité des autres positions ($0,04 \pm 0,05$ à $0,10 \pm 0,17$) sauf pour NIR ($0,23 \pm 0,12$) qui est entre les deux.

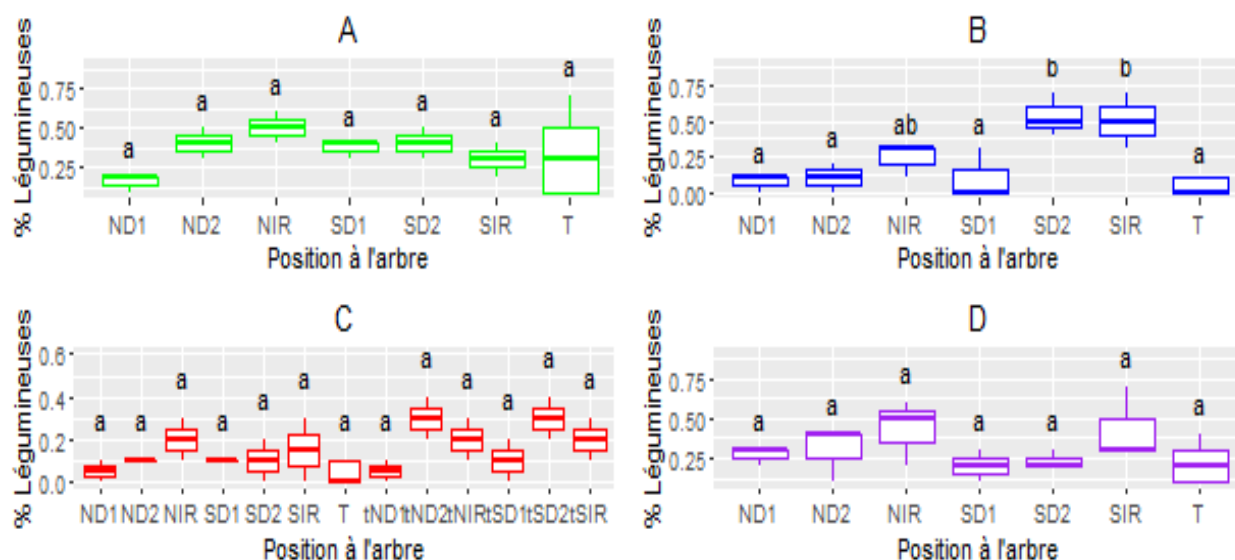


Figure 11 : Comparaison des moyennes pour le taux de légumineuses pour chaque position à l'arbre. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.

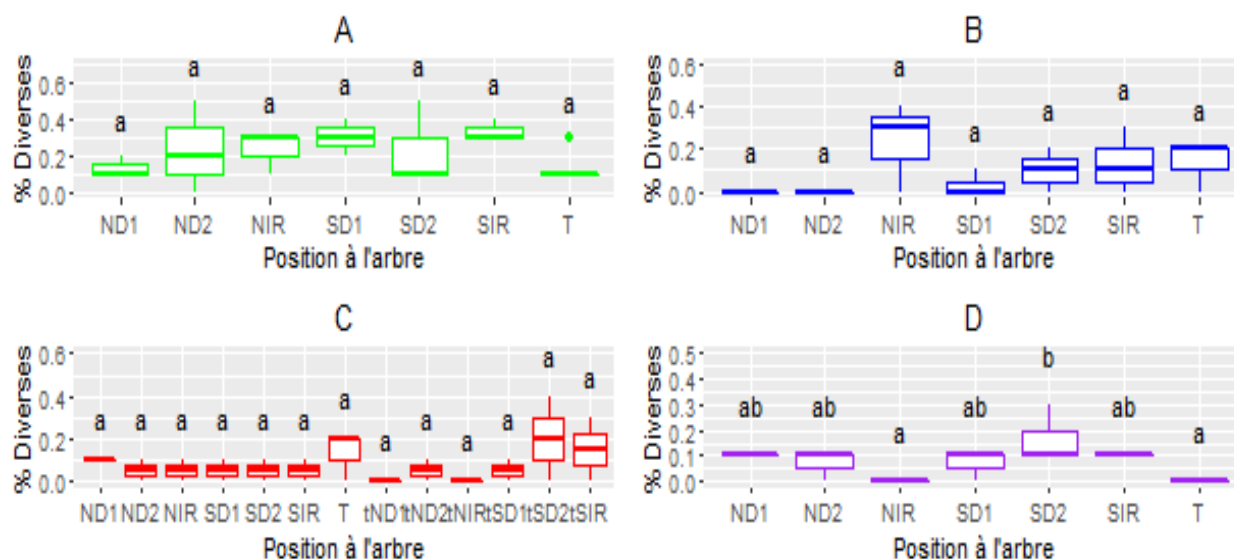


Figure 12 : Comparaison des moyennes pour le taux de diverses pour chaque position à l'arbre. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre traitement dans l'ANOVA à un facteur la position.

Le taux de diverses (Figure 12, Tableau 7) comprend toutes les plantes ne faisant pas partie de la famille des Fabacées et de Poacées. Elles ne sont significativement pas impactées par la position à l'arbre dans les sites A, B et C. Le site D présente un taux de diverses légèrement plus important en SD2 ($0,16 \pm 0,12$) qu'au témoin et en NIR où elles sont absentes.

Discussion

1. Microclimat de la parcelle agroforestière

A travers cette étude, nous avons pu tout d'abord montrer que la présence d'arbres peut impacter les conditions de température et d'humidité. Malgré l'absence de tests statistiques pour appuyer nos observations sur les résultats, le grand nombre de mesures et la projection des erreurs standards nous permettent bien de voir qu'aux heures les plus chaudes de la journée l'arbre « tamponne » la température environnante. Pour le mois d'avril, la température est jusqu'à 2°C inférieure aux

alentours de 12h30 pour la sonde située à un mètre au nord de l'arbre. La sonde à un mètre au nord de l'arbre est toujours plus tempérée, la prairie ainsi que les animaux peuvent se retrouver sous l'influence de l'arbre avec jusqu'à 4°C de moins au mois de juillet. Cet effet tampon est particulièrement intéressant puisqu'il peut permettre de réduire le stress thermique sur les cultures et animaux dans les périodes caniculaires (Jose *et al.*, 2004). En effet, le bétail sans ombre est en stress physiologique et comportemental, ce qui a pour conséquence une baisse notable de la production (Mitlohner *et al.*, 2001). Les avis de la communauté scientifique peuvent diverger, allant d'une température annuelle (-2,4°C à un mètre du tronc comparé à trente mètres) significativement plus faible en ce rapprochant du tronc d'arbre dans la Dehesa espagnole (Moreno Marcos *et al.*, 2007) et d'autres ne rapportent qu'une température légèrement plus chaude pendant la journée en automne/hiver, aucune différence pendant les journées dépassant 28°C l'été (Peri *et al.*, 2007). Le microclimat de la parcelle agroforestière agit aussi sur l'humidité relative (Montheith *et al.*, 1991), en maintenant jusqu'à 10 % d'humidité en plus à un mètre au nord par rapport à une zone sans arbre. Associé à l'effet protection du vent, les arbres peuvent donc améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE) (Davis et Norman, 1988). En relation avec les scénarios de changement climatique futur, ce type de modification du climat pourrait être un outil précieux pour l'élevage.

2. Origines possibles des observations faites sur la production fourragère

Suite à la perte d'échantillons pour la date P1 dans les sites B et D, la quantité de biomasse sèche a été calculée en appliquant le taux de matière sèche moyen des autres échantillons à la même date sur les pesées de biomasses fraîches. Conscient du biais que cela peut avoir sur l'interprétation des résultats, nous ne pourrions pas conclure sur ces sites à cette date. Pour l'ensemble des sites, nous avons pu voir que les valeurs de production d'herbe observée à la P1 (mi-avril → début mai), c'est-à-dire avant le débourrement des arbres, n'étaient pas significativement différentes entre les modalités agroforestières et témoin. En effet, l'arbre et surtout le noyer qui possède un débourrement tardif d'après Charrier *et al.* (2009) (entre le 10/05 et 10/06 pour les hybrides précoces et tardif respectivement) n'impose pas une compétition précoce à la prairie vis-à-vis des éléments (lumière, eau, nutriments, etc.). Pour la P2 (courant mois de juin), nous avons fait l'hypothèse initiale que la production fourragère herbacée serait impactée par la présence des arbres. La présente étude n'a pu démontrer un impact que dans l'exploitation de Lalosse dans l'Aude (Exploitation A) où la production apparaît supérieure en agroforesterie par rapport au témoin. Il est bien évidemment impossible d'affirmer avec aussi peu de recul que cette amélioration est due à l'arbre, néanmoins nous ne pouvons pas non plus affirmer que l'herbe est déficitaire sous les arbres. Ce genre de contradiction est courante dans la littérature (Benavides *et al.*, 2009 ; Ludwig *et al.*, 2001), les nombreux paramètres de la plantation tels que l'âge (Rozados-Lorenzo *et al.*, 2007 ; Sibbald *et al.*, 1991 ; Devkota *et al.*, 2009), la densité (Doyle *et al.*, 1986 ; Guevara-Escobar *et al.*, 2007), l'essence d'arbre, associés aux conditions climatiques particulières de l'année, oblige cette étude à s'insérer dans le temps afin de capter des conditions climatiques différentes.

La variabilité entre les sites étant très forte, une comparaison n'est pas possible, nous pouvons tout de même observer une certaine interaction entre les traitements et la parcelle. Les caractéristiques arborées (essences, écartements, orientations des lignes, hauteurs totales, largeurs du houppier), climatiques et pédologiques étant très différentes, la réaction de la prairie l'est aussi. Si l'on se concentre tout d'abord sur les essences d'arbre et les caractéristiques de leurs systèmes racinaires, certaines pistes apparaissent. En effet, la profondeur d'enracinement des trois espèces concernées est assez différente. Le merisier (site D) possède un système racinaire traçant avec une densité racinaire très élevée entre 5 et 25 cm de profondeur (Dawson *et al.*, 2001). Le frêne (site C) a une distribution racinaire en forme de plateau, jusqu'à 60 % des racines peuvent être entre 0 et 5 cm (Rust and Savill 2000). Les sites C et D affichent tous deux des résultats plutôt en faveur du témoin

sans arbres, avec une baisse de production constatée en D pour la première date et en C pour la deuxième. La compétition racinaire peut être dans ce cas un facteur principal dans la mesure où la prairie et les arbres exploitent sensiblement la même profondeur de sol. L'enracinement du noyer hybride (sites A et B) en association avec une plante herbacée (blé d'hiver par exemple) est plastique, il peut descendre à plus d'un mètre cinquante (Mulia et Dupraz 2006). Cela correspond avec le fait que la production fourragère ne semble pas atteinte, voir parfois améliorée par la présence des arbres dans les sites A et B. Néanmoins, le manque d'analyse de sol (profondeur et réserve utile notamment) ne nous permet pas d'affirmer que les systèmes racinaires des arbres présents dans nos sites soient similaires à ceux rencontrés dans la littérature.

Pour étudier l'impact du mode de taille sur la production fourragère herbacée, nous avons pu comparer, dans le Puy de Dôme sur la parcelle de La Vigérale, une modalité constituée de frênes têtards à la modalité de frênes de haut-jet et au témoin. Les résultats ont montré que la production ne semble pas différente du témoin, tout en étant supérieure aux arbres de hauts-jets (non significatif). Sur ce point, le climat, l'essence et le sol sont des paramètres fixes, l'effet observé est donc dû à la taille de l'arbre avant tout. De nombreux auteurs rapportent que la taille sévère en agroforesterie diminue la compétition, tout en augmentant la valeur économique de la bille de pied (Sharrow 1999 ; Pollock et al, 1994, 2009 ; Guevara-Escobar 2007 ; Devkota et al, 2009). Intervenir sur les arbres est intéressant dans un système où la compétition vis-à-vis des ressources devient trop importante. Une taille sévère sur les arbres améliore la croissance de l'herbe ou une taille plus modérée permet de façonner des arbres plus rapidement. Cette action peut aussi procurer une ressource intéressante tirée de l'exploitation des houppiers, comme du bois de chauffage ainsi que du fourrage par exemple, tout en préservant la bille de pied qui pourra être valorisée en bois d'œuvre.

Ensuite, au-delà de la comparaison entre une prairie arborée et non arborée, nous voulions évaluer un éventuel impact de la distance à l'arbre et de l'orientation par rapport à l'arbre. Nos résultats n'ont pas permis pour les quatre sites de vérifier notre hypothèse dans laquelle les légumineuses sont défavorisées par l'agroforesterie.

Néanmoins, la présence d'éléments arborés modifie en de nombreux points l'environnement de la prairie et cet environnement, avec la gestion humaine, conditionne la composition floristique. En l'occurrence, les ACPs nous ont permis de déceler une modification de la prairie en fonction de la position à l'arbre. Les deux axes choisis expliquent en moyenne moins de 30 % de l'inertie totale. Les tests de comparaison de moyenne nous montrent que, pour les proportions graminées/légumineuses/diverses, les réponses des sites sont variables. L'impact sur les légumineuses et les graminées semble le plus important dans le site de l'EPLEFPA de Bonnefont en Haute Loire. Comme l'a montré Moreno (2008), les Fabacées sont moins compétitives que les graminées en régime ombragé, et c'est ce que l'on a pu observer dans les sites A et B, avec un effet plus marqué en B. Les légumineuses y sont très minoritaires dans les quadrats ombragés (ND1, ND2 et SD1) et mieux représentées au soleil (NIR, SIR et SD2). En modifiant le régime lumineux, les arbres peuvent provoquer une carence en rayonnement rouge qui est entre autre connu pour son influence sur la capacité au tallage des graminées (Davis et Simmons 1994a), la production de tige pour les espèces du genre *Trifolium* (Robin et al, 1994), la floraison (Davis et Simmons 1994b) et autre (Sharrow 1999). Tous ces paramètres lumineux modifiés par l'arbre peuvent être à l'origine dans certain cas (site B) de la faible proportion de légumineuses. Les animaux peuvent se concentrer dans les zones d'ombre et les modifier en réalisant un transfert de fertilité, dû au surpâturage et au piétinement (Mitlohner et al, 2001 ; Rodriguez-Calcerrada et al, 2011 ; Sharrow 2007). Ce raisonnement pourra être prouvé par l'analyse du comportement des animaux dans les parcelles agroforestières dans le cadre du projet PARASOL.

Pour finir, l'impact des arbres en agroforesterie n'a pas provoqué de différences majeures sur les stades phénologiques. La littérature n'étant pas bien fournie sur le sujet, nous pouvons supposer que ce n'est pas un aspect majeur de l'interaction arbre prairie. Nous nous attendions tout de même à observer un ralentissement du développement.

3. Discussion de la méthode

Les problèmes rencontrés lors de mise en place de cette étude nous obligent à garder quelques réserves vis-à-vis des résultats présentés ci-dessus. En effet, les parcelles expérimentales sont avant tout des parcelles agricoles exploitées. Les arbres n'ont pas tous été implantés dans l'optique que plus tard une étude de la production herbagère soit réalisée, posant alors le problème du choix de la zone témoin. Le témoin prairial sans arbres devait répondre à certains critères que nous avons choisis avec l'ensemble des partenaires du projet PARASOL : absence d'arbres dans l'environnement proche (haie, arbre isolé, etc.), végétation similaire, itinéraires techniques similaires, historique similaire, sol homogène. Ces critères ont pu être parfaitement respectés dans certains cas, mais pour certains sites, comme le site D, nous avons dû faire un compromis sur les paramètres de sol notamment, qui n'ont pu être pleinement pris en compte et jouant ainsi un rôle potentiel dans l'hétérogénéité obtenue. De plus, le matériel de mise en défend (clôture électrique) ne s'est pas révélé à l'épreuve de tous les troupeaux. Certains animaux ont pu profiter d'un moment de faiblesse de la batterie pour venir manger l'herbe au sein des zones étudiées. Cette problématique (destruction totale des mises en défends) nous a conduits à l'abandon du site expérimental concerné. Le choix de clôtures plus solides avec du grillage à mouton et des piquets en bois pourrait à l'avenir être intéressant car même si le budget demandé à leur établissement est plus élevé (temps de mise en place et achat du matériel), ce type de mise en défend pourrait s'avérer plus durable, notamment dans le cadre d'une expérimentation destinée à se maintenir 2 années.

Conclusion

L'étude de l'agroforesterie intraparcélaire en prairie pâturée sous climat tempéré et méditerranéen est très peu documentée. Ses capacités potentielles en tant qu'outil d'adaptation au changement climatique méritent de s'y intéresser. La production fourragère ne semble en général pas ou peu impactée par la présence des arbres agroforestiers, que ce soit au niveau de sa diversité ou de sa production. La mesure du microclimat est très encourageante et justifie bien l'intérêt de l'arbre pour la protection du bétail, notamment via son effet tampon sur la température et l'humidité relative ambiante. Les principaux résultats nous montrent un effet contrasté dû à une diversité de systèmes en liaison avec : le climat, la végétation, les schémas de plantation et d'entretien. Aucune grande tendance n'apparaît, c'est bien un ensemble d'interactions entre les paramètres biotiques et abiotiques qui conditionnent la production fourragère en agroforesterie. Cette étude présente un intérêt quand au fait qu'elle initie plusieurs années de mesures qui seront sûrement très enrichissantes en termes de données acquises.

Bibliographie

BENAVIDES, Raquel, DOUGLAS, Grant B. et OSORO, Koldo, 2009. Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agroforestry Systems*. juin 2009. Vol. 76, n° 2, pp. 327-350. DOI 10.1007/s10457-008-9186-6.
BUCK, Louise E., LASSOIE, James P. et FERNANDES, Erick C. M., 1998. *Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems*. CRC Press. ISBN 978-1-4200-4947-3.

BUERGLER, Alicia L., FIKE, John H., BURGER, James A., FELDHAKE, Charles M., MCKENNA, James R. et TEUTSCH, Chris D., 2006. Forage Nutritive Value in an Emulated Silvopasture. *Agronomy Journal*. 2006. Vol. 98, n° 5, pp. 1265. DOI 10.2134/agronj2005.0199.

CARRANCA, C., CASTRO, I.V., FIGUEIREDO, N., REDONDO, R., RODRIGUES, A.R.F., SARAIVA, I., MARICATO, R. et MADEIRA, M.A.V., 2015. Influence of tree canopy on N₂ fixation by pasture legumes and soil rhizobial abundance in Mediterranean oak woodlands. *Science of The Total Environment*. février 2015. Vol. 506-507, pp. 86-94. DOI 10.1016/j.scitotenv.2014.10.111.

CHARRIER, Guillaume, AMÉGLIO, Thierry, BONHOMME, Marc et LACOINTE, André, 2009. Etude de la dormance et de la résistance au froid chez des Noyers aux dates de débourrement contrastées. In : *La phénologie: un observatoire des changements climatiques. 1er colloque du GDR 2968 Systèmes d'information phénologique pour la gestion et l'étude des changements climatiques* [en ligne]. 2009. pp. 1–p. [Consulté le 25 août 2016]. Disponible à l'adresse : <http://www.gdr2968.cnrs.fr/IMG/pdf/Charrier.pdf>

CITEPA, 2015. *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France*. 2015.

COULON, Frédéric, DUPRAZ, Christian, LIAGRE, Fabien et POINTEREAU, Philippe, 2000. *Étude des pratiques agroforestières associant des arbres fruitiers de haute tige à des cultures ou des pâtures*.

DAVIS, J. E. et NORMAN, J. M., 1988. Proceedings of an International Symposium on Windbreak Technology 22. Effects of shelter on plant water use. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1 août 1988. Vol. 22, pp. 393-402. DOI 10.1016/0167-8809(88)90034-5.

DAVIS, M. H. et SIMMONS, S. R., 1994. Far-red light reflected from neighbouring vegetation promotes shoot elongation and accelerates flowering in spring barley plants. *Plant, Cell & Environment*. 1994. Vol. 17, n° 7, pp. 829–836.

DAVIS, Michael H. et SIMMONS, Steve R., 1994. Tillering Response of Barley to Shifts in Light Quality Caused by Neighboring Plants. *Crop Science*. 1994. Vol. 34, n° 6, pp. 1604. DOI 10.2135/cropsci1994.0011183X003400060033x.

DAWSON, L. A., DUFF, E. I., CAMPBELL, C. D. et HIRST, D. J., 2001. Depth distribution of cherry (*Prunus avium* L.) tree roots as influenced by grass root competition. *Plant and soil*. 2001. Vol. 231, n° 1, pp. 11–19.

EAST, R. M. et FELKER, P., 1993. Forage production and quality of 4 perennial grasses grown under and outside canopies of mature *Prosopis glandulosa* Torr. var. *glandulosa* (mesquite). *Agroforestry Systems*. 1993. Vol. 22, n° 2, pp. 91–110.

FROST, WILLIAM E. et MCDOUNALD, NEIL K., 1989. Tree canopy effects on herbaceous production of annual rangeland during drought. *JOURNAL OF RANGE MANAGEMENT*. 1989. Vol. 42, pp. 281.

GROUZIS, Michel et AKPO, Leonard-Elie, 1997. Influence of tree cover on herbaceous above- and below-ground phytomass in the Sahelian zone of Senegal. *Journal of Arid Environments*. 1997. Vol. 35, pp. 285-296.

GUEVARA-ESCOBAR, A., EDWARDS, W. R. N., MORTON, R. H., KEMP, P. D. et MACKAY, A. D., 2000. Tree water use and rainfall partitioning in a mature poplar–pasture system. *Tree physiology*. 2000. Vol. 20, n° 2, pp. 97–106.

GUEVARA-ESCOBAR, A., KEMP, P. D., HODGSON, J., MACKAY, A. D. et EDWARDS, W. R. N., 1997. Case study of a mature *Populus deltoides*-pasture system in a hill environment. In : *PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE-NEW ZEALAND GRASSLAND ASSOCIATION* [en ligne]. 1997. pp. 179–186. [Consulté le 29 avril 2016]. Disponible à l'adresse : http://www.grassland.org.nz/publications/nzgrassland_publication_2694.pdf

GUEVARA-ESCOBAR, Aurelio, KEMP, Peter D., MACKAY, Alec D. et HODGSON, John, 2007. Pasture production and composition under poplar in a hill environment in New Zealand.

Agroforestry Systems. 26 février 2007. Vol. 69, n° 3, pp. 199-213. DOI 10.1007/s10457-007-9038-9.

GYENGE, Javier Enrique, FERNÁNDEZ, María Elena, DALLA SALDA, G. et SCHLICHTER, Tomás Miguel, 2002. Silvopastoral systems in Northwestern Patagonia II: water balance and water potential in a stand of *Pinus ponderosa* and native grassland. *Agroforestry Systems*. 2002. Vol. 55, n° 1, pp. 47–55.

HAWKE, M.F. et WEDDERBURN, M.E., 1994. Microclimate changes under *Pinus radiata* agroforestry regimes in New Zealand. *Agricultural and Forest Meteorology*. 1994. Vol. 71, pp. 133-145.

JACKSON, L.E., STRAUSS, R.B., FIRESTONE, M.K. et BARTOLOME, J.W., 1990. Influence of tree canopies on grassland productivity and nitrogen dynamics in deciduous oak savanna. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 1990. Vol. 32, pp. 89-105.

JEANGROS, B. et AMAUDRUZ, M. Dix ans d'observations sur la phénologie des prairies permanentes en Suisse romande. *Revue suisse d'agriculture*, 2005, vol. 37, no 5, pp. 201-209.

JOSE, S., GILLESPIE, A.R. et PALLARDY, S.G., 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*. 2004. Vol. 61, n° 1, pp. 237-255. DOI 10.1023/B:AGFO.0000029002.85273.9b.

KALLENBACH, R. L., VENABLE, E. B., KERLEY, M. S. et BAILEY, N. J., 2010. Stockpiled tall fescue and livestock performance in an early stage midwest silvopasture system. *Agroforestry Systems*. novembre 2010. Vol. 80, n° 3, pp. 379-384. DOI 10.1007/s10457-010-9322-y.

KALLENBACH, R.L., KERLEY, M.S. et BISHOP-HURLEY, G.J., 2006. Cumulative Forage Production, Forage Quality and Livestock Performance from an Annual Ryegrass and Cereal Rye Mixture in a Pine Walnut Silvopasture. *Agroforestry Systems*. janvier 2006. Vol. 66, n° 1, pp. 43-53. DOI 10.1007/s10457-005-6640-6.

KUMAR, B. Mohan et NAIR, P. K. Ramachandran (éd.), 2011. *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems* [en ligne]. Dordrecht : Springer Netherlands. [Consulté le 13 mai 2016]. Advances in Agroforestry. ISBN 978-94-007-1629-2. Disponible à l'adresse : <http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-1630-8>

KYRIAZOPOULOS, A. P., ABRAHAM, E. M., PARISSI, Z. M., KOUKOURA, Z. et NASTIS, A. S., 2013. Forage production and nutritive value of *Dactylis glomerata* and *Trifolium subterraneum* mixtures under different shading treatments: Yield and nutritive value of *D. glomerata* and *T. subterraneum* under shade. *Grass and Forage Science*. mars 2013. Vol. 68, n° 1, pp. 72-82. DOI 10.1111/j.1365-2494.2012.00870.x.

LIN, C. H., MCGRAW, R. L., GEORGE, M. F. et GARRETT, H. E., 1998. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. *Agroforestry systems*. 1998. Vol. 44, n° 2-3, pp. 109–119.

LUDWIG, Fulco, KROON, Hans, PRINS, Herbert HT et BERENDSE, Frank, 2001. Effects of nutrients and shade on tree-grass interactions in an East African savanna. *Journal of Vegetation Science*. 2001. Vol. 12, n° 4, pp. 579–588.

MITLÖHNER, F M, MORROW, J L, DAILEY, J W, WILSON, S C, GALYEAN, M L, MILLER, M F et MCGLONE, J J, 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 2001. Vol. 79, n° 9, pp. 2327. DOI 10.2527/2001.7992327x.

MONTEITH, J.L., ONG, C.K. et CORLETT, J.E., [sans date]. Microclimatic interactions in agroforestry systems. *For. Ecol. Manage.* N° 45, pp. 31-44.

MORDELET, Patrick et MENAUT, Jean-Claude, 1995. Influence of trees on above-ground production dynamics of grasses in a humid savanna. *Journal of Vegetation Science*. 1995. Vol. 6, n° 2, pp. 223–228.

MORENO, G, 2008. Response of understorey forage to multiple tree effects in Iberian dehesas. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. janvier 2008. Vol. 123, n° 1-3, pp. 239-244. DOI 10.1016/j.agee.2007.04.006.

MORENO, Gerardo, OBRADOR, José Jesús et GARCÍA, Abelardo, 2007. Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. mars 2007. Vol. 119, n° 3-4, pp. 270-280. DOI 10.1016/j.agee.2006.07.013.

MORENO MARCOS, G., OBRADOR, J. J., GARCÍA, E., CUBERA, E., MONTERO, M. J., PULIDO, F. et DUPRAZ, C., 2007. Driving competitive and facilitative interactions in oak dehesas through management practices. *Agroforestry Systems*. 8 avril 2007. Vol. 70, n° 1, pp. 25-40. DOI 10.1007/s10457-007-9036-y.

MULIA, R. et DUPRAZ, C., 2006. Unusual Fine Root Distributions of Two Deciduous Tree Species in Southern France: What Consequences for Modelling of Tree Root Dynamics? *Plant and Soil*. mars 2006. Vol. 281, n° 1-2, pp. 71-85. DOI 10.1007/s11104-005-3770-6.

NAIR, P.K.R., 1991. State-of-the-art of agroforestry systems. *For. Ecol. Manage.* 1991. Vol. 45, pp. 5-29.

OBRADOR, J. J., MORENO, G., MOSQUERA-LOSADA, M. R., RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A., MCADAM, J. et OTHERS, 2005. Soil nutrient status and forage yield at varying distances from trees in four dehesas in Extremadura, Spain. In : *Silvopastoralism and Sustainable Land Management: Proceedings of an International Congress on Silvopastoralism and Sustainable Management Held in Lugo, Spain, in April 2004* [en ligne]. CABI. 2005. pp. 278.

OVALLE, Carlos, DEL POZO, Alejandro, CASADO, Miguel A., ACOSTA, Belén et DE MIGUEL, José M., 2006. Consequences of Landscape Heterogeneity on Grassland Diversity and Productivity in the Espinal Agroforestry System of Central Chile. *Landscape Ecology*. mai 2006. Vol. 21, n° 4, pp. 585-594. DOI 10.1007/s10980-005-3498-y.

PEICHL, Matthias, THEVATHASAN, Naresh V., GORDON, Andrew M., HUSS, Jürgen et ABOHASSAN, Refaat A., 2006. Carbon Sequestration Potentials in Temperate Tree-Based Intercropping Systems, Southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems*. mars 2006. Vol. 66, n° 3, pp. 243-257. DOI 10.1007/s10457-005-0361-8.

PELLERIN, Sylvain, BAMIÈRE, Laure et PARDON, Lénéaïc, 2015. *Agriculture et gaz à effet de serre: dix actions pour réduire les émissions* [en ligne]. Editions Quae. [Consulté le 13 mai 2016].

PERI, P. L., LUCAS, R. J. et MOOT, D. J., 2007. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. *Agroforestry Systems*. 8 avril 2007. Vol. 70, n° 1, pp. 63-79. DOI 10.1007/s10457-007-9029-x.

PLANTUREUX, S., POTTIER, E. et CARRÈRE, P., 2012. La prairie permanente : nouveaux enjeux, nouvelles définitions ? *Fourrages*. 2012. Vol. 211, pp. 181-193.

POLLOCK, K. M., MEAD, Donald J. et MCKENZIE, B. A., 2009. Soil moisture and water use by pastures and silvopastures in a sub-humid temperate climate in New Zealand. *Agroforestry Systems*. mars 2009. Vol. 75, n° 3, pp. 223-238. DOI 10.1007/s10457-008-9172-z.

POLLOCK, Keith M., LUCAS, Richard J., MEAD, D. J. et THOMSON, S. E., 1994. Forage-pasture production in the first three years of an agroforestry experiment. In : *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* [en ligne]. 1994. pp. 179-185. [Consulté le 24 février 2016]. Disponible à l'adresse : <http://researcharchive.lincoln.ac.nz/handle/10182/4615>

ROBIN, Ch, HAY, M. J. M., NEWTON, P. C. D. et GREER, D. H., 1994. Effect of Light Quality (Red:Far-red Ratio) at the Apical Bud of the Main Stolon on Morphogenesis of *Trifolium repens* L. *Annals of Botany*. 8 janvier 1994. Vol. 74, n° 2, pp. 119-123. DOI 10.1006/anbo.1994.1101.

RODRÍGUEZ-CALCERRADA, J., NANOS, N., DEL REY, M. C., DE HEREDIA, U. López, ESCRIBANO, R. et GIL, L., 2011. Small-scale variation of vegetation in a mixed forest understorey is partly controlled by the effect of overstorey composition on litter accumulation. *Journal of Forest Research*. décembre 2011. Vol. 16, n° 6, pp. 473-483. DOI 10.1007/s10310-010-0237-2.

ROZADOS-LORENZO, M. J., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M. P. et SILVA-PANDO, F. J., 2007. Pasture production under different tree species and densities in an Atlantic silvopastoral system. *Agroforestry Systems*. 8 avril 2007. Vol. 70, n° 1, pp. 53-62. DOI 10.1007/s10457-007-9032-2.

RUGET, F., CLASTRE, P., MOREAU, J. C., CLOPPET, E., SOUVERAIN, F., LACROIX, B. et LORGEOU, J., 2012. Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. II. Exemples de quelques systèmes d'élevage. *Fourrages*. 2012. Vol. 211, pp. 243–251.

RUST, S. et SAVILL, P. S., 2000. The root systems of *Fraxinus excelsior* and *Fagus sylvatica* and their competitive relationships. *Forestry*. 2000. Vol. 73, n° 5, pp. 499–508.

SHANKARNARAYAN, K. A., HARSH, L. N. et KATHJU, S., 1987. Agroforestry in the arid zones of India. *Agroforestry systems*. 1987. Vol. 5, n° 1, pp. 69–88.

SHARROW, Steven H. Silvopastoralism: competition and facilitation between trees, livestock, and improved grass-clover pastures on temperate rainfed lands. *Agroforestry in sustainable agricultural systems*, 1999, pp. 111-130.

SHARROW, S. H. et ISMAIL, Syed, 2004. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. *Agroforestry Systems*. 2004. Vol. 60, n° 2, pp. 123–130.

SHARROW, Steven H., 2007. Soil compaction by grazing livestock in silvopastures as evidenced by changes in soil physical properties. *Agroforestry Systems*. 24 septembre 2007. Vol. 71, n° 3, pp. 215-223. DOI 10.1007/s10457-007-9083-4.

SIBBALD, A. R., GRIFFITHS, J. H. et ELSTON, D. A., 1991. The effects of the presence of widely spaced conifers on under-storey herbage production in the UK. *Forest Ecology and Management*. 1991. Vol. 45, n° 1-4, pp. 71–77.

SILVA-PANDO, F. J., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M. P. et ROZADOS-LORENZO, M. J., 2002. Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the Atlantic coast of Spain. *Agroforestry systems*. 2002. Vol. 56, n° 3, pp. 203–211.

STOCKER, Thomas (éd.), 2014. *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York : Cambridge University Press. ISBN 978-1-107-05799-9.

QC981.8.C5 C511345 2014

SZOTT, L.T., FERNANDES, E.C.M. et SANCHEZ, P.A., 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *For. Ecol. Manage.* 1991. Vol. 45, pp. 127-152.

YUNUSA, I. A. M., MEAD, D. J., LUCAS, R. J. et POLLOCK, K. M., 1995. Process studies in a *Pinus radiata*-pasture agroforestry system in a subhumid temperature environment. II. Analysis of dry matter yields in the third year. *Agroforestry Systems*. 1995. Vol. 32, n° 2, pp. 185–204.

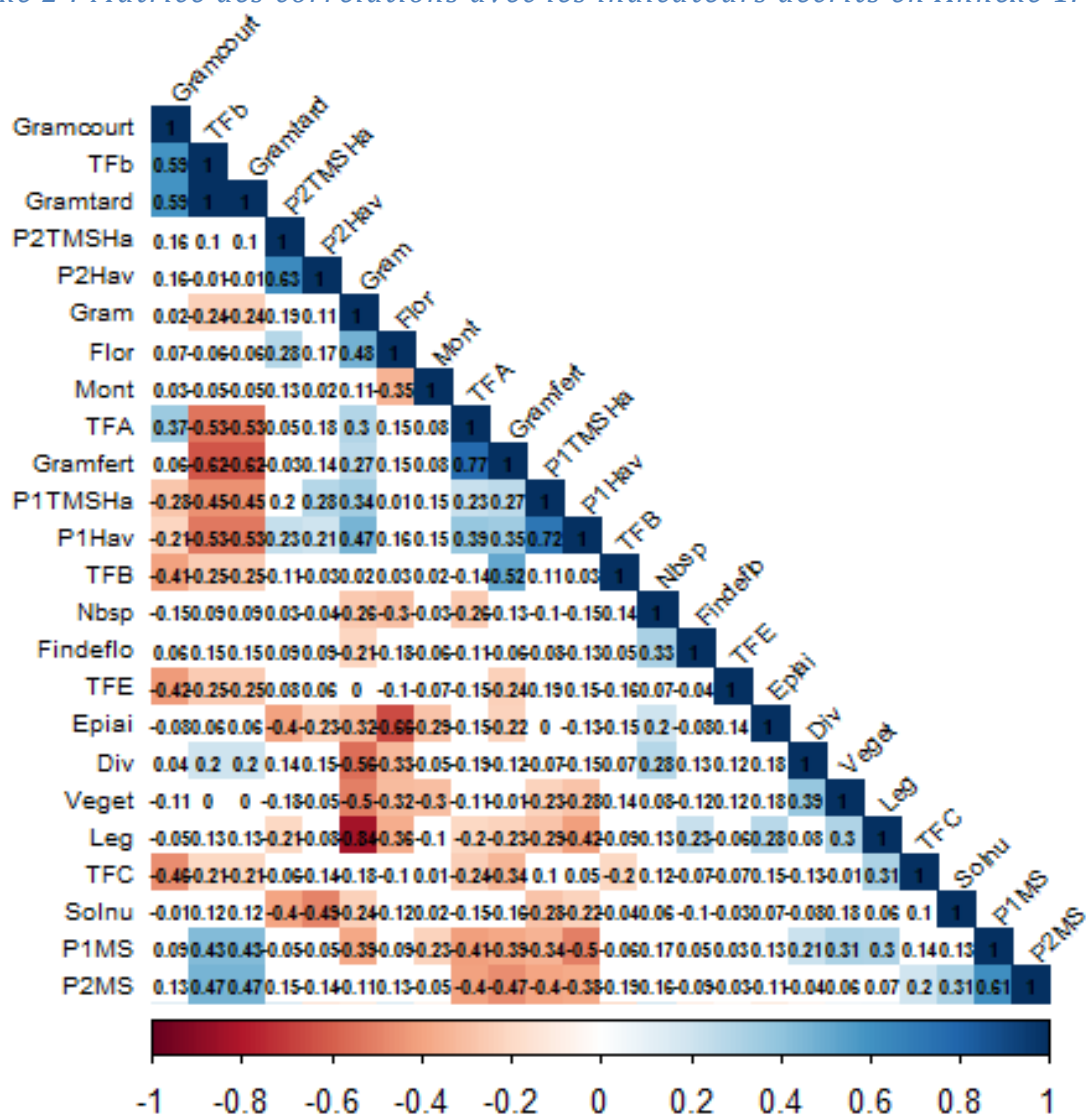
YUNUSA, I. A. M., MEAD, D. J., POLLOCK, K. M. et LUCAS, R. J., 1995. Process studies in a *Pinus radiata*-pasture agroforestry system in a subhumid temperature environment. I. Water use and light interception in the third year. *Agroforestry Systems*. 1995. Vol. 32, n° 2, pp. 163–183.

Annexe

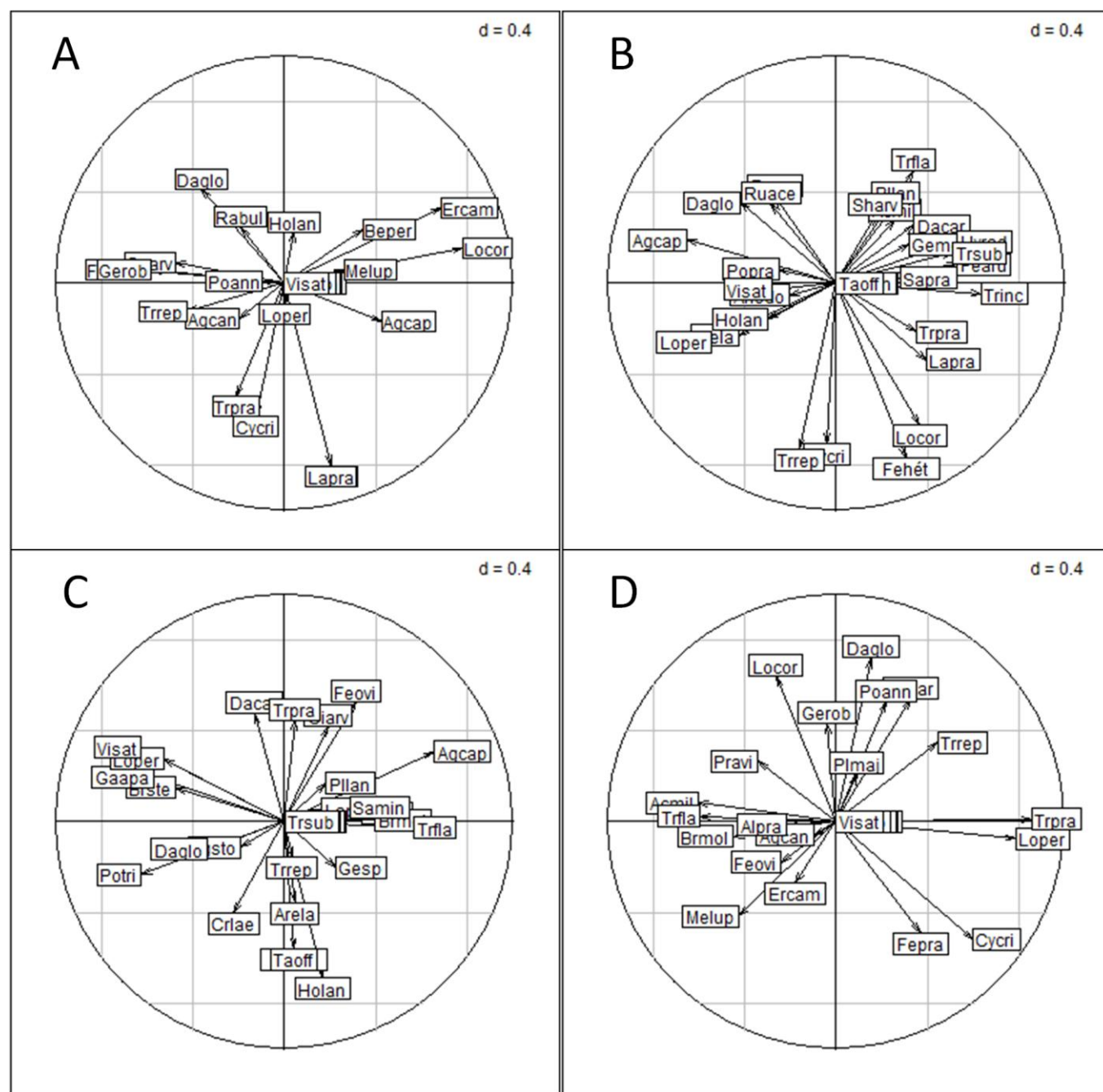
Annexe 1 : Indicateurs du tableau pour l'AFCM.

Indicateur	Signification
P1MS	Taux de matière sèche à la date P1
P1TMSHa	Production de biomasse en tonne de matière sèche à l'hectare en P1
P1Hav	Hauteur d'herbe avant la coupe en P1
P2MS	Taux de matière sèche à la date P2
P2TMSHa	Production de biomasse en tonne de matière sèche à l'hectare en P2
P2Hav	Hauteur d'herbe avant la coupe en P2
Nbsp	Nombre d'espèce
Gram	Taux de graminées
Leg	Taux de légumineuses
Div	Taux de diverses
TFA	Taux de type fonctionnel A (INRA Orphée Toulouse)
TFB	Taux de type fonctionnel B (INRA Orphée Toulouse)
TFb	Taux de type fonctionnel b (INRA Orphée Toulouse)
TFC	Taux de type fonctionnel C (INRA Orphée Toulouse)
TFD	Taux de type fonctionnel D (INRA Orphée Toulouse)
TFE	Taux de type fonctionnel E (INRA Orphée Toulouse)
Gramfert	Taux de graminées de milieux fertiles
Gramtard	Taux de graminées tardives
Gramcourt	Taux de graminées à courte durée de vie des feuilles
Solnu	Taux de sol nu
Veget	Taux stade phénologique végétatif
Mont	Taux stade phénologique montaison
Epiai	Taux stade phénologique épiaison
Flor	Taux stade phénologique floraison
Findeflo	Taux stade phénologique fin de floraison

Annexe 2 : Matrice des corrélations avec les indicateurs décrits en Annexe 1.



Annexe 3 : Cercle des corrélations pour la dispersion des espèces dans les ACP.



Légende des noms d'espèces :

Genre	espèce	Code	Genre	espèce	Code
Achillea	milfolia	Acnil	Hypochaeris	radicata	Hyrad
Agrostis	canina	Agcan	Lathyrus	pratensis	Lapra
Agrostis	stolonifera	Agsto	Linum	angustifolium	Liang
Agrostis	capillaris	Agcap	Lolium	perenne	Loper
Alopecurus	pratensis	Alpra	Lotus	corniculatus	Locor
Anthoxanthum	odoratum	Anodo	Medicago	lupulina	Melup
Arrhenantherum	elatus	Arela	Mentha	suaveolens	Mesua

Bellis	perennis	Beper	Pastinaca	sativa	Pasat
Bromus	mollis	Brmol	Plantago	lanceolata	Pllan
Bromus	sterilis	Brste	Plantago	major	Plmaj
Carex	pairae	Capai	Poa	annua	Poann
Cirsium	arvense	Ciarv	Poa	pratensis	Popra
Convolvulus	arvensis	Coarv	Poa	trivialis	Potri
Cruciata	laevipes	Crlae	Prunus	avium	Pravi
Cynosorus	cristatus	Cycri	Ranunculus	bulbosus	Rabul
Dactylis	glomerata	Daglo	Rumex	acetosella	Ruace
Daucus	carota	Dacar	Salvia	pratensis	Sapra
Eryngium	campestre	Ercam	Sanguisorba	minor	Samin
Festuca	arundinacea	Fearu	Sherardia	arvensis	Sharv
Festuca	hétérophyla	Fehét	Tarraxacum	officinale	Taoff
Festuca	ovina	Feovi	Trifolium	incarnatum	Trinc
Festuca	pratensis	Fepra	Trifolium	pratens	Trpra
Gallium	aparine	Gaapa	Trifolium	repens	Trrep
Geranium	molle	Gemol	Trifolium	subterraneum	Trsub
Geranium	robertianum	Gerob	Trisetum	flavescens	Trfla
Geranium	sp	Gesp	Vicia	sativa	Visat
Holcus	lanatus	Holan			

Résumé

L'**Agroforesterie** apparaît comme une des solutions d'atténuation et d'adaptation de la filière élevage au **réchauffement climatique**. Peu de choses sont connues à ce jour sur cette pratique en milieu tempéré avec des arbres presque mûres. C'est pour cela que cette étude vise à déterminer quels sont les impacts de l'agroforesterie sur le **microclimat** et la **production prairiale**, qualitative et quantitative. La mise en place de **zone de mise en défend** afin d'exclure le pâturage des emplacements étudiés a été nécessaire. Un gradient d'éloignement à l'arbre est respecté au nord et au sud afin d'y réaliser des mesures. La production prairiale s'est avérée diversement impactée par les arbres en fonction des sites étudiés. Globalement, **l'effet est plus neutre** que positif ou négatif. Les taux de graminées/légumineuses et diverses se sont avérés différents dans le cas d'un site avec des lignes d'arbres très espacées (16m) et orientées Est-Ouest, le gradient lumineux étant alors maximal. Les stades phénologiques n'ont pas montré de différences en fonction des positions à l'arbre. La poursuite de l'étude est nécessaire pour l'établissement de références solides sur le sujet.

Abstract

Agroforestry seems to be one of the solutions of attenuation and adaptation for livestock pathway faced with **global warming**. Few things are known nowadays on this practice in temperate environment with almost mature trees. That's why this study goes after determinate which are the impacts of agroforestry on **micro-climate** and **pasture production**, qualitative and quantitative. The establishment of **areas exclosure** was required to protect the pasture of the study's locations. A distance gradient tree is respected in the north and south in order to take measurements. The pasture production was diversely impacted by trees based on surveyed sites. Generally, **the effect is more neutral** than positive or negative. Grass family / leguminous plants and diverse rates are different in case of one site with widely spaced lines of trees (16 m) and oriented East-West, the light gradient being maximal. Phenological stages don't shown differences on function of tree position. The seeking of this survey is necessary to establish strong references on this subject.