

Cet article de la revue **Fourrages**,  
est édité par l'Association Française pour la Production Fourragère

Pour toute recherche dans la base de données  
et pour vous abonner :

**[www.afpf-asso.org](http://www.afpf-asso.org)**

# La présence d'arbres intraparcéllaires affecte-elle la productivité des prairies permanentes en climat tempéré ?

C. Beral<sup>1</sup>, J-C. Moreau<sup>2</sup>

L'introduction d'arbres au sein d'une prairie permanente modifie les conditions d'ensoleillement, de microclimat et d'accès aux ressources en eau et nutriments des plantes fourragères herbacées. Quel impact cela peut-il avoir sur son potentiel de production et sa composition botanique ? Des suivis sur plusieurs sites agroforestiers matures à travers la France ont permis de dégager des premiers éléments de réponses.

## RESUME

*L'impact de l'introduction d'arbres sur la production de biomasse et la composition floristique de prairies permanentes a été suivi sur un réseau de 7 sites répartis entre le Nord et le Sud de la France. Ce dispositif révèle que tant que l'ouverture de canopée reste, a minima, supérieure ou égale à 60%, la production de premier cycle sous couvert d'arbres reste globalement comparable à celle de la prairie témoin sans arbres. On note toutefois un gradient de production en fonction de l'éloignement à l'arbre, avec une baisse significative à proximité du tronc, probablement en raison des effets conjugués de la baisse de lumière et des compétitions hydrominérales. Le pourcentage de légumineuses dans le couvert végétal baisse aussi selon ce gradient. Les conditions climatiques de l'année n'ont pas permis un point en conditions estivales.*

## SUMMARY

### ***Does tree presence within plots affect permanent grassland productivity in temperate regions?***

*This study examined the effect of tree presence on the biomass yield and plant species composition of permanent grasslands across seven study sites found in northern and southern France. We found that when canopy openness was equal to or greater than 60%, the yield for the first growth cycle was largely comparable between grasslands with trees and without trees. However, there was also a relationship between yield and tree proximity: yield declined closer to the tree trunks, likely as a combined result of lower light levels and competition for water and minerals. The same negative relationship was seen between tree proximity and the percentage of plant cover represented by legume species. The climatic conditions during the study year made it impossible to assess what occurred on the plots over the summer.*

Dans beaucoup de régions et de systèmes d'élevage, la base de l'alimentation est la production d'herbe au pâturage (Plantureux et *al.* 2012). En 2017, la part des surfaces prairiales occupait 44,9% de la surface agricole utile (SAU) de la métropole soit 12,6 millions d'hectares, dont 6,8 millions correspondent à des prairies permanentes naturelles ou semées depuis plus de 6 ans (Agreste, 2017). En plus, de leur rôle dans l'alimentation des troupeaux de ruminants, les prairies rendent des services écosystémiques tels que la séquestration carbone, la régulation du climat, la stabilisation des sols, la régulation de la qualité des eaux, ou le maintien de la biodiversité (Amiaud et Carrère, 2012).

Le changement climatique impacte fortement l'exploitation des prairies permanentes et impose de nouvelles dynamiques annuelles de production. Les sécheresses récurrentes et sévères affectent la production fourragère et par voie de conséquence, l'autonomie alimentaire des exploitations, ce qui les fragilise. Les événements climatiques impactent également le rendement des cultures de rente, donc le prix de la paille et des céréales, ce qui augmente les charges des exploitations d'élevage. Les éleveurs doivent s'adapter en intégrant de nouvelles dynamiques annuelles des productions fourragères : creux estival accentué, avance de la production printanière et une production hivernale non négligeable (Ruget et *al.*, 2012). Les projections climatiques à moyen terme

## AUTEURS

1 : AGROOF SCOP, 19 rue du Luxembourg 30140 Anduze

2 : Institut de l'élevage, Campus INRA, Chemin de Borde Rouge, BP 42118, F-31321 Castanet-Tolosan cedex

MOTS-CLES : Agroforesterie, Prairie permanente, Productivité prairiale, France, Diversité pédoclimatique, Composition botanique

KEY-WORDS : Agroforestry, permanent grassland, grassland productivity, France, pedoclimatic diversity, plant species composition

REFERENCE DE L'ARTICLE : Beral C. & Moreau J.-C. (2020). «La présence d'arbres intraparcéllaires affecte-elle la productivité des prairies permanentes en climat tempéré ?». *Fourrages*, 242, 9-18

laissent présager une accentuation de ces évolutions climatiques et de la fréquence des événements extrêmes d'ici la fin du siècle (GIEC, 2013). Il pourrait en découler une dégradation rapide des rendements des prairies (Picon-Cochard et al., 2013 ; Soussana, 2013). L'allongement de la durée de pâturage, vers des périodes de moindre production fourragère, sur prairies ou sur parcours, a été proposée comme une solution possible (Pottier et al. 2012) car permettant des économies importantes en fourrages stockés et en concentrés sans dégrader les performances des animaux. Dans de nombreuses zones d'élevage, les éleveurs redoutent également les épisodes caniculaires et leurs impacts sur les animaux. Cela peut les amener à devoir rentrer les animaux l'été (pour réduire les stress thermiques), ou à les affourager à l'extérieur (Ruguet et al., 2012).

**L'agroforesterie, caractérisée par l'association d'arbres et de cultures et/ou d'élevage sur une même surface, représente une réponse possible à cette double contrainte thermique et fourragère.** En effet l'arbre planté sur la prairie peut permettre de réduire le stress thermique sur les cultures et les animaux dans les périodes caniculaires (Jose et al., 2004). Dans un environnement sans ombre, le bétail est en stress physiologique et comportemental, ce qui a pour conséquence une baisse notable de la production (Mitlohner et al, 2001). De plus, si l'essence d'arbre est de nature fourragère, les feuilles peuvent constituer un affouragement en vert précieux (Novak et al. du présent numéro). Dans cet article nous nous intéressons plus particulièrement aux formes d'agroforesterie intraparcellaire, au sein des prairies.

**Les principales références disponibles dans la littérature scientifique ont été obtenues dans des systèmes agroforestiers intensifs (forte densité d'arbres, souvent supérieure à 200 tiges/ha) de Nouvelle Zélande, ou encore dans des pays méditerranéens comme l'Espagne ou la Grèce. Dans toutes ces études, les résultats sont difficilement généralisables car souvent liés à des conditions locales très spécifiques : sols, climat, âge et densité du peuplement, espèces d'arbres implantées.** L'introduction d'arbres au sein d'une prairie modifie le milieu (aérien et souterrain), les conditions de la croissance et le développement des plantes herbacées. Il se crée un jeu d'interactions complexes entre les arbres et les herbacées prairiales qui impacte à la fois leurs phénologies, et leurs productivités. Au niveau souterrain, les arbres contribuent à enrichir le sol en matières organiques via leur litière foliaire et racinaire, et ils prélèvent également nutriments et eau du sol (Cardinael et al. 2015; Moreno et al. 2007).

La disponibilité en lumière semble être le facteur le plus limitant (Benavides et al. 2009; Papanastasis et al. 1995; Silva-Pando et al. 2002.). En Nouvelle-Zélande, Knowles et al. (1999) ont observé une très forte corrélation entre la quantité de fourrage récolté et la fermeture de la canopée de plantation de *Pinus radiata*, avec un arrêt quasi-total de la production prairiale pour des ouvertures de canopée inférieure à 30%. Toutefois, il n'existe pas, dans la littérature de corrélation claire entre l'intensité du rayonnement et la productivité prairiale. La température de l'air influence quant à elle grandement la phénologie et la croissance des plantes, notamment au printemps, avant le débourrement des arbres, lorsque la lumière n'est pas limitante (Guérin et al. 2005 ; Croisier et Croisier 2014).

La composition botanique se trouvera également affectée du fait du nouvel environnement résultant de la présence de l'arbre. L'ombrage ainsi créé modifie fortement le microclimat lumineux (Benavides et al. 2009; Guevara-Escobar et al. 2000), défavorisant le cortège d'espèces préférant la pleine lumière (héliophiles) pour favoriser des espèces plus tolérantes à l'ombre (sciaphile). Ainsi, les Fabacées seront très fortement impactées et leur abondance va se réduire plus fortement que celle des graminées, voire dans certains cas disparaître (Moreno et al. 2007). Peri et al. (2007) ont par exemple mis en évidence que sous une plantation de *Pinus radiata* de 200 arbres / ha en climat tempéré, la proportion de fabacées pouvait être divisée par deux en comparaison à un témoin sans arbres. Les modalités de gestion (par exemple les pratiques de pâturage) en agissant sur le prélèvement de biomasse foliaire et donc la capacité du couvert à intercepter l'énergie lumineuse sont également un facteur à prendre en compte,

Cet état de l'art souligne le peu de recul et de connaissances mobilisables sur le comportement des prairies permanentes arborées en milieu tempéré. La plupart des références actuellement disponibles ont été acquises dans des contextes climatiques et des types de systèmes agroforestiers peu représentatifs de ceux que l'on peut trouver en France. Or des références sont de plus en plus recherchées par les éleveurs ou les conseillers de manière à être en mesure de concevoir, à l'échelle des exploitations, des systèmes agroforestiers pouvant permettre d'étaler une optimisation du système fourrager tout en améliorant la résilience aux aléas climatiques. Des références permettant, dans un objectif finalisé, de mieux évaluer l'impact que les arbres vont avoir sur la prairie sont donc nécessaires.

Les projets de recherche multi partenariaux PARASOL<sup>1</sup> et ARBELE<sup>2</sup>, se sont intéressés à l'impact des arbres sur la productivité des prairies permanentes

<sup>1</sup> 2014-2017 : soutenu financièrement par l'ADEME, coordonné par Agroof SCOP et réalisé en partenariat avec l'IDELE, l'INRA de Theix et Lusignan, et l'UniLasalle.

<sup>2</sup> 2014-2017 : soutenu financièrement par le CASDAR, coordonné par l'IDELE et réalisé en partenariat avec Agroof SCOP, Chambres

d'Agriculture (Saone et Loire, Ille et Villaine, Deux Sèvres), AGRIBIO 35, INRA Lusignan, Fermes expérimentales de Jalogny et de Trévarez, APCA, AFAF, IDF, CRPF (Languedoc Roussillon, Nord Pas de Calais, Auvergne), Mission Haie Auvergne, AREFE, CEZ Bergerie Nationale.

dans une diversité de conditions pédoclimatiques et de systèmes. Deux types de systèmes ont principalement été considérés : les pré-vergers, traditionnels en France, et couvrant environ 120 000 ha, et les systèmes agroforestiers avec implantation d'essences forestières souvent diversifiées à finalité bois d'œuvre (figure 1). Dans ces systèmes les densités de plantation sont largement plus faibles que celles des références habituellement trouvées dans la littérature (ie système à *Pinus radiata* de Nouvelle Zélande). Cet article se focalise sur les résultats portant sur l'impact des arbres sur le premier cycle de végétation des prairies permanentes.



FIGURE 1 : Photographie a) du site de Bonnefont en Haute Loire avec essences forestières et b) du site de Saint Marguerite en Ouche dans l'Eure avec des pommiers haute-tige (Crédit photo : Agroroof)

Figure 1 : *Photos of a) the Bonnefont study site in Haute-Loire with its specific tree species and b) the Sainte-Marguerite-en-Ouche study site in Eure with its tall standard apple trees.*

## 1. Matériels et méthodes

### 1.1. Une diversité de sites expérimentaux

A travers la France, 7 sites ont été sélectionnés pour réaliser les suivis de production fourragère herbacée. Ces sites ont été sélectionnés au regard des conditions pédoclimatiques, de l'âge des arbres implantés dans les prairies, de la présence d'une prairie

témoin non arborée et en fonction de l'intérêt de l'éleveur pour l'expérimentation (tableau 1).

Code	Commune	Département	Altitude	Climat	système
BO	Bonnefont	Haute loire	479	Continental	Bovins lait
TX	Theix	Puy de Dôme	867	Montagnard	Ovins viande
SO	Sainte Marguerite en Ouche	Eure	166	Océanique	Bovins lait
MA	Mantilly	Orne	176	Océanique	Bovins lait
LO	Loré	Orne	115	Océanique	Bovins lait
BR	Brunembert	Pas de Calai	95	Océanique	Bovins lait
NF	Niort la fontaine	Mayenne	124	Océanique	Ovins viande

TABLEAU 1 : Principales caractéristiques des sites sélectionnés

Table 1 : *Description of the study sites*

### 1.2. Focus sur le site TX, accueillant des arbres agroforestiers tétardisés

Une attention particulière sera donnée au site TX situé en climat Montagnard (température moyenne : 8,4°C, précipitation : 1088 mm) à 867m d'altitude à Saint Genès de Champanelle (Puy de Dôme, France). Elle est pâturée par des vaches laitières Prim'Holstein et ses principales caractéristiques sont mentionnées dans le tableau 1.

La particularité de ce site est de présenter des frênes de haut-jets (16m en moyenne) et des frênes qui ont été étêtés fin 2015 (8m en moyenne), permettant ainsi d'évaluer l'impact d'une intervention sur les houppiers et ainsi, appréhender l'intérêt de ce levier de gestion. L'étude de la prairie a donc été réalisée sur trois modalités :

- En zone témoin (ZT) ;
- En zone agroforestière sous arbres de haut-jets (AF) ;
- En zone agroforestière sous arbres tétardisés (AFT).

### 1.3. Une approche comparative et un gradient d'éloignement à l'arbre

Sur chacun des sites (en dehors de TX possédant une modalité supplémentaire « AFT »), deux modalités expérimentales ont été retenues (Figure 2).

- La modalité agroforestière (AF)
- La modalité témoin (ZT)

Dans la modalité agroforestière « AF », 3 zones d'échantillonnage ont été définies, chacune située autour de 3 arbres d'espèce et d'envergure identique au



sein du faciès dominant de végétation de la parcelle, préalablement caractérisé. Elles ont été matérialisées par des mises en défens (clôtures électriques + grillage à mouton). Dans chacune, 6 quadras de mesures de 0,54m<sup>2</sup> ont été matérialisés le long d'un gradient d'éloignement au nord et au sud par rapport à un arbre (D représentant la distance entre deux arbres) : 1m au nord; D/4 au nord ; D/2 au nord ; 1m au sud ; D/4 au sud ; D/2 au sud (Figure 2).



FIGURE 2 : Photographies de mises en défens a) en parcelle agroforestière « AF » et b) dans la zone témoin « ZT » (Crédit photo : Thibaut Berne, IDELE)

Figure 2: *Photos of areas surrounded by protective fencing in a) an agroforestry plot "AF" and b) a control zone "ZT".*

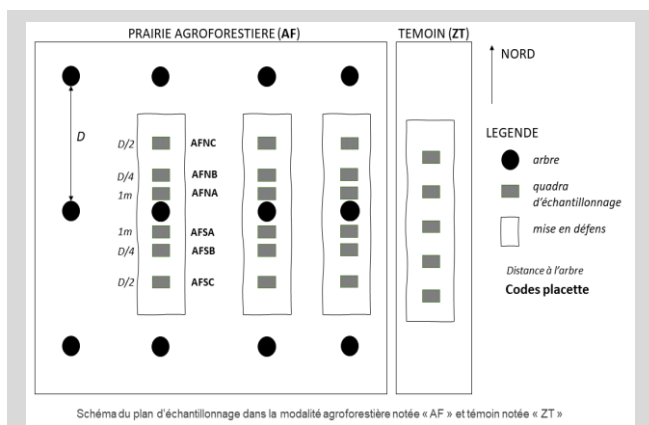


FIGURE 3 : Schéma du plan d'échantillonnage dans la modalité agroforestière notée « AF » et témoin notée « ZT » (D représentant la distance entre deux arbres, n=Nord et S=sud)

Figure 3 : *Illustration of the sampling scheme used for the agroforestry treatment "AF" and the control treatment "ZT"*

Dans la modalité témoin « ZT », 1 zone d'échantillonnage a été mise en défens au sein du faciès dominant de végétation et comportait 5 quadras de mesure de 0,54m<sup>2</sup> (fig.3).

#### 1.4. Mesure de la production prairiale sur l'ensemble de la saison fourragère

Les suivis de parcelles avaient pour objectif d'établir la dynamique de la production de biomasse au cours de la saison de végétation, ainsi que le part de légumineuses dans le couvert prairial. Ils ont été réalisés en 2016 sur l'ensemble des sites, et en 2016 et 2017 sur le site TX. Ils se sont répartis, chaque année, sur l'ensemble de la saison fourragère.

##### P1 et P2 : La production de printemps.

Ces deux périodes de prélèvement ont été établies à partir des sommes de températures à partir du 1<sup>er</sup> février, bornées entre 0 et 18°C, et avec une correction selon l'altitude des parcelles (Theau et Zerourou, 2008). Le P1 a été réalisé à 500-600 degrés-jours et correspond à une période à laquelle les graminées précoces sont entre les stades épi 10 cm et épiaison. Le P2 a été réalisé à 1100-1200 degrés-jours et correspond à une période où les graminées tardives sont au stade épiaison.

##### Les prélèvements d'été (P3) et d'automne (P4)

Les dates ont été déterminées par une durée de repousse d'au moins 40 jours couplée à une hauteur d'herbe d'au minimum 8cm. En cas de repousse insuffisante, la hauteur de l'herbe était à minima mesurée.

A chaque période d'étude, sur chaque quadrat, la hauteur d'herbe a été mesurée avant et après prélèvement grâce à un herbomètre à plateau (Jenquip EC-01). Une hauteur de repousse a été calculée pour les périodes P2, P3 et P4 pour chaque quadra. La biomasse herbacée a été prélevée, à une hauteur résiduelle de 5 cm, à l'aide d'une mini-tondeuse et directement pesée en vert sur site. Un sous échantillon d'environ 300g en vert a été constitué à chaque quadra de manière à en déterminer, après étuvage 72h à 60°C, le taux de matières sèches. Ces taux individuels ont été appliqués à la pesée correspondante sur site afin d'en extrapoler un rendement en tonnes de matières sèches par hectare (tMS/ha).

A partir des rendements obtenus dans les quadras, une projection du rendement à l'échelle de la parcelle a été réalisée. Il s'agit d'une moyenne pondérée correspondant à l'extrapolation du quadrat à une surface censée être représentée par ce dernier, suivant les espacements réels entre les arbres d'une parcelle donnée.

## 1.5. Caractérisation de l'ouverture de canopée

L'ouverture de la canopée a été mesurée sur chacune des parcelles à l'aide d'un appareil photo hémisphérique (360°). Les photos ont été réalisées en été, lors de la P3. Nous avons ainsi ciblé la période à laquelle le houppier des arbres est le plus développé et donc où l'ouverture de canopée est au minimum sur les parcelles étudiées. Les photos obtenues ont ensuite été traitées grâce au logiciel CANEYE (© INRA). Ce traitement nous permet d'obtenir un indice d'ouverture de canopée, exprimé en %.

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

Encart 1 : Le climat de 2016 et 2017, années exceptionnelles  
Sidebar 1: Description of extreme climatic conditions in 2016 and 2017

## 1.6. Caractérisation de la composition botanique

La composition botanique des quadrats a été étudiée à la deuxième date de prélèvement (P2), c'est-à-dire au printemps. Un relevé botanique total a été effectué sur chaque quadrat. Pour chaque espèce identifiée nous avons affecté un coefficient de Braun Blaquet (Braun-Blanquet et al., 1952 ; Baudière & Serve, 1975). Les espèces ont été identifiées avec le Guide Delachaux des fleurs de France (Streeter et al., 2001), la flore forestière française tome 3 : région méditerranéenne (Rameau et al., 2008), la flore complète portative de la France, de la Suisse et de la Belgique (Bonnier & De Layens, 1986) et grâce à trois clefs de détermination des graminées au stade végétatif (Limbourg ; Leconte ; INRA & ITCF, 1975). Les proportions de chaque famille d'herbacées (graminées, légumineuses, dicotylédones) ont ensuite été réalisées dans l'objectif principalement d'évaluer la part de légumineuses dans la prairie.

Sur le site TX, une fois les espèces déterminées, un stade phénologique leur a été attribué à partir des travaux de Jeangros et Arnaudruz (2005). Dans la mesure où une même espèce peut présenter des individus à des stades phénologiques différents, le choix a été fait de ne considérer, pour une espèce donnée, que le stade s'appliquant à la majorité de ses individus. Une moyenne des notes phénologiques de chacune des

familles d'herbacées (graminées, légumineuses, dicotylédones) a enfin été réalisée.

SITES	1m (n=6)	D/4 (n=6)	D/2 (n=6)	Projection à la parcelle	TEMOIN (n=5)
TX – AF	18% ± 6%	19% ± 7%	38% ± 3%	30%	94% ± 0.50%
TX – AFT	53% ± 7%	73% ± 7%	80% ± 5%	75%	
BO	14% ± 5%	46% ± 1%	78% ± 7%	61%	98% ± 0.05%
NF	30% ± 5%	47% ± 6%	77% ± 2%	62%	99% ± 0.04%
MA	12% ± 7%	25% ± 6%	79% ± 4%	65%	99% ± 0.04%
LO	21% ± 6%	47% ± 0%	80% ± 5%	68%	97% ± 0.00%
CA	22% ± 2%	62% ± 3%	83% ± 2%	73%	97% ± 0.05%
BR	45% ± 0%	74% ± 9%	89% ± 3%	81%	95% ± 0.05%
SO	55% ± 2%	81% ± 5%	91% ± 1%	85%	94% ± 0.04%

TABLEAU 2 : Pourcentage d'ouverture de canopée moyen en fonction des modalités sur les sites suivis (moyenne ± écart type). 1m = zones à 1m de l'arbre ; D/4 = Quart de la distance entre deux arbres ; D/2 = Moitié de la distance entre deux arbres (D étant la distance entre deux arbres) ; TEMOIN correspondant aux zones sans arbres.

Table 2: *Canopy openness (%) at the study sites as a function of tree proximity and treatment type (mean ± standard deviation).*

## 1.7. Traitement statistiques

L'effet de la distance et de la modalité sur le rendement et les % de légumineuses par placette a été testé au moyen d'une ANOVA sous R (v 3.1.2) :

- en fonction de la distance à l'arbre pour tous les sites sauf TX,
- en fonction de la modalité pour le site TX, dans l'objectif d'évaluer l'effet d'une intervention sur les houppiers (à savoir en l'occurrence la conduite en « têtard »).

L'examen des résidus a été fait de manière visuelle afin de vérifier les hypothèses de normalité et d'homogénéité des données (Zuur, 2009). Les comparaisons de moyennes ont ensuite été réalisées avec un test de Tukey (HSD), sous R (v 3.1.2).

## 2. Résultats

### 2.1. Caractérisation de l'ombrage des arbres sur les différents sites

Les modalités agroforestières présentent des degrés d'ouverture de canopée variant en moyenne entre 60% et 80% d'ouverture (tableau 2). Les zones témoins présentent des ouvertures de canopée situées entre 94

à 99%. Il est à noter une grande hétérogénéité intraparcellaire de l'ombrage sur les parcelles agroforestières. Les surfaces à proximité des arbres étant forcément plus ombragées que les milieux de l'inter-rang. Sur les sites BO et MA par exemple on observe des écarts importants entre les ouvertures de canopée à 1 m de l'arbre et au milieu de l'inter-rang avec respectivement des ouvertures de 14% contre 78% ; 12% contre 79%.

Sur le site TX, la modalité « Agroforesterie Hauts-jets » (AF) présente une ouverture de canopée moyenne de 25% avec peu d'hétérogénéité spatiale (18% à 1 m des arbres et 38% à mi-distance entre deux arbres), tandis que la modalité « Agroforesterie – têtards » (AFT) possède une ouverture de canopée moyenne de 69%. L'intervention d'éêtage réalisée en 2015 sur les arbres a donc permis de gagner environ 44% d'ouverture. L'hétérogénéité spatiale de la modalité « têtards » est importante (53% à 1 m des arbres contre 80% à mi-distance entre deux arbres), mais à proximité des arbres l'ouverture reste supérieure à 50%.

## 2.2. Une production prairiale globale peu impactée par la présence d'arbres

Au printemps, et sur la majorité des sites, la production prairiale n'a pas été impactée par la présence des arbres. Ce résultat est d'autant plus intéressant que les rendements en P2 représentent une part très significative du total de la biomasse annuelle produite (40 à 96% selon les sites). Sur deux sites à la P1, et deux sites à la P2, les arbres ont eu un impact négatif sur la production prairiale à leur proximité. Plus précisément, à la P1, sur le site SO, cette diminution n'est visible qu'au nord à 1 m de l'arbre avec une réduction de 90% par rapport au témoin. Sur le site MA cette diminution est plus marquée au nord de l'arbre à 1 m (-80%) et à D/4 (-58%), ainsi qu'à 1 m au sud de l'arbre (-75%) (Fig. 4 et Tableau 4 en annexe). Au prélèvement P2, des différences de rendements sont apparues sur les sites BO et MA seulement, sites dans lesquels l'ouverture de la canopée près de l'arbre était la plus basse avec respectivement (14% d'ouverture de canopée et 15% d'ouverture à 1 m de l'arbre). Là encore, ce sont les points d'échantillonnage à proximité des arbres pour lesquels la productivité apparaît négativement impactée avec des baisses de 45% de rendement par rapport au témoin (Figure 4 et tableau 4 en annexe). Pour ces deux sites, à l'échelle de la parcelle, cette baisse observée à proximité immédiate des arbres n'a qu'un impact limité sur la productivité globale de la parcelle. Sur le site BO, la productivité en agroforesterie est supérieure de 3% en comparaison du témoin, et sur MA elle diminue de 7% seulement.

À l'été, au prélèvement P3, peu de sites ont pu faire l'objet d'une mesure de biomasse en raison d'une repousse de l'herbe parfois très faible, voire inexistante (sites BO et NF). Seuls les sites BR et LO ont eu une repousse suffisante. Dans le premier, les arbres n'ont

pas eu d'impact significatif sur la production prairiale. Des différences de rendements apparaissent sur le site LO avec une diminution significative à proximité de l'arbre au Nord (-64%) ou au Sud (-70%).

Les résultats pour le prélèvement P4 ne sont pas présentés. En effet, la repousse herbacée a été quasi nulle sur tout l'automne que ce soit en AF ou ZT (effet de la sécheresse).

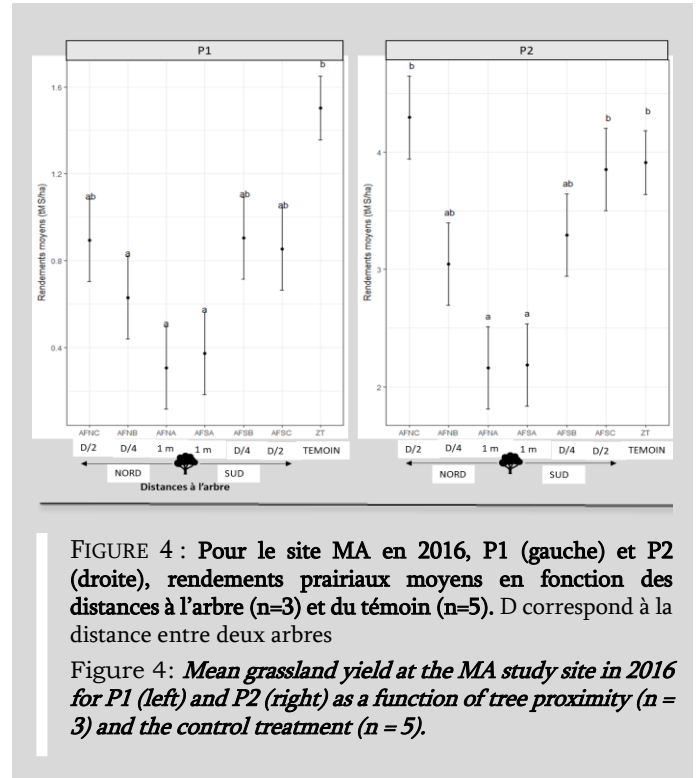


FIGURE 4 : Pour le site MA en 2016, P1 (gauche) et P2 (droite), rendements prairiaux moyens en fonction des distances à l'arbre (n=3) et du témoin (n=5). D correspond à la distance entre deux arbres

Figure 4: Mean grassland yield at the MA study site in 2016 for P1 (left) and P2 (right) as a function of tree proximity (n = 3) and the control treatment (n = 5).

## 2.3. Impact de la gestion des houppiers sur la production prairiale

Sur le site TX, où, en plus d'arbres forestiers de haut-jets (« AF »), certains arbres avaient été éêtés en 2015 (« AFT »), l'analyse des productivités moyennes montre un effet positif significatif de la taille du houppier sur la productivité, à la P2 et P3 des années 2016 et 2017 (Fig.5 et Fig.6).

En 2016, AF produit en moyenne 57% de moins que AFT et 62% de moins que ZT. En 2017, AF produit en moyenne 54% de moins que AFT et 74% de moins que ZT.

En été (P3), les comparaisons de hauteur de repousse moyenne d'herbe laissent apparaître des différences significatives entre les modalités, sans effet de la distance. Quelle que soit l'année considérée, la hauteur moyenne de repousse de l'herbe à la P3 en AF est inférieure à celles obtenues en AFT et ZT. Il n'y a



aucune différence significative entre les hauteurs moyennes de repousse de l'herbe entre AFT et ZT.

dans l'inter-rang et c'est le contraire pour *Trifolium repens*.

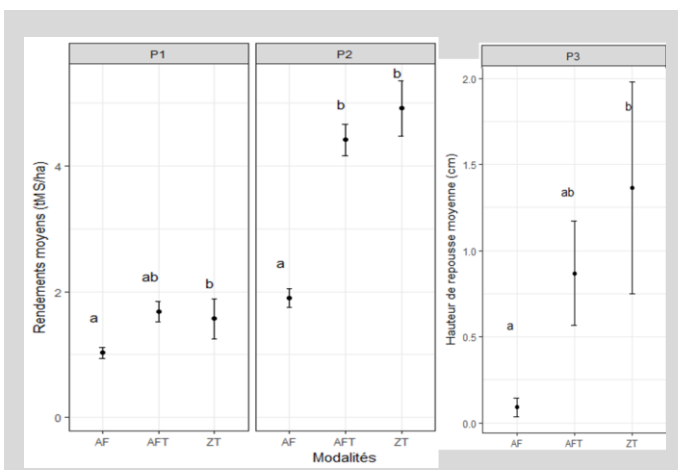


FIGURE 5 : Rendements prairiaux moyens en fonction des modalités sur le site de TX, en 2016 (barres d'erreur = erreur standard) et hauteurs moyennes pour la P3. AF = Modalité d'agroforesterie avec haut-jets (n=18) ; AFT = Modalité d'agroforesterie avec des arbres têtards (n=18) ; ZT = zone témoin sans arbres (n=5)

Figure 5: Mean grassland yield at the TX study site in 2016 for the different treatment groups

#### 2.4. Impact sur le pourcentage de légumineuses

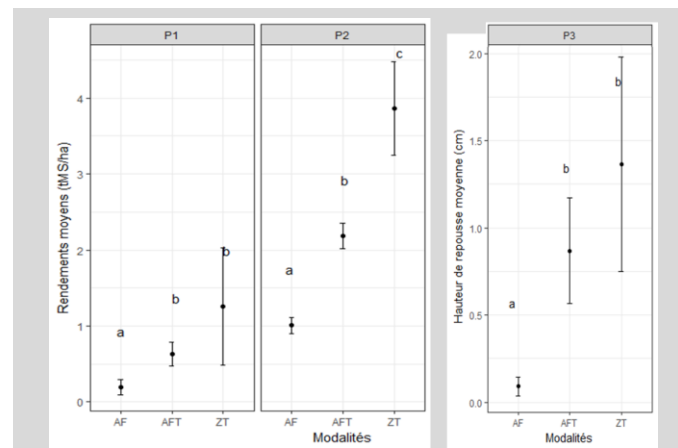


FIGURE 6 : Rendements prairiaux moyens en fonction des modalités sur le site de TX en 2017 (barres d'erreur = erreur standard) et hauteurs moyennes pour la P3. AF = Modalité d'agroforesterie avec haut-jets (n=18) ; AFT = Modalité d'agroforesterie avec des arbres têtards (n=18) ; ZT = zone témoin sans arbres (n=5)

Figure 6: Mean grassland yield at the TX study site in 2017 for the different treatment groups and the mean regrowth height for P3

Sur la plupart des sites, le pourcentage moyen de légumineuses dans la biomasse diminue à proximité des arbres (1m) (Tableau 3). Parmi les espèces dominantes, *Lolium perenne* est davantage présent sous l'arbre que

	NORD			SUD			TÉMOIN
	D/2	D/4	1m	1m	D/4	D/2	
	AFNC	AFNB	AFNA	AFSA	AFSB	AFSC	ZT
BO	0,23 ± 0,06 ab	0,10 ± 0,06 a	0,07 ± 0,06 a	0,10 ± 0,06 a	0,53 ± 0,06 b	0,50 ± 0,06 b	-
BR	0,20 ± 0,05 ab	0,03 ± 0,05 a	0,00 ± 0,05 a	0,07 ± 0,05 ab	0,07 ± 0,05 ab	0,00 ± 0,05 a	0,26 ± 0,04
LO	0,17 ± 0,04 ab	0,03 ± 0,04 a	0,03 ± 0,04 a	0,03 ± 0,04 a	0,07 ± 0,04 ab	0,17 ± 0,04 ab	0,22 ± 0,03
MA	0,23 ± 0,09 ab	0,13 ± 0,09 ab	0,00 ± 0,09 a	0,00 ± 0,09 a	0,13 ± 0,09 ab	0,30 ± 0,09 b	0,32 ± 0,08
NF	0,20 ± 0,09 ab	0,13 ± 0,09 a	0,00 ± 0,09 a	0,17 ± 0,09 a	0,30 ± 0,09 ab	0,10 ± 0,09 a	0,54 ± 0,08
SO	0,17 ± 0,08 ab	0,17 ± 0,08 ab	0,07 ± 0,08 ab	0,23 ± 0,08 ab	0,27 ± 0,08 b	0,17 ± 0,08 ab	0,00 ± 0,08

TABLEAU 3 : Proportions moyennes de légumineuses (en % de biomasse totale) et en fonction de la distance à l'arbre (n=3) et du témoin (n=5)

Table 3: Mean proportion of legume biomass as a function of tree proximity and the control treatment

A Theix, il y a significativement plus de légumineuses (20,33% ± 2%) dans la modalité AFT que dans les modalités AF (10,33% ± 2%) et ZT (6% ± 4%) (Df = 2 ; F value= 8.52 ; p-value = 0.0005). Par ailleurs, on peut observer un retard phénologique significatif dans la modalité à la canopée la plus fermée, à savoir « Agroforesterie – Haut-jet » (AF) par rapport aux deux autres modalités (Fig. 7). Une tendance, non significative semble également se dessiner ; un décalage phénologique entre témoin (ZT) et prairie sous têtards (AFT).

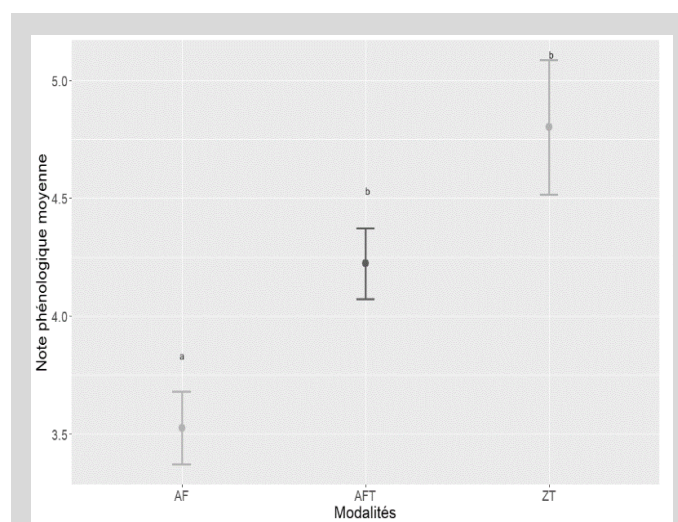


FIGURE 7 : Notes phénologiques moyennes obtenues à différentes distances des arbres et en zone témoin, en 2016, sur le site de Theix. AF = Modalité d'agroforesterie avec haut-jets (n=18) ; AFT = Modalité d'agroforesterie avec des arbres têtards (n=18) ; ZT = zone témoin sans arbres (n=5)

Figure 7: Mean scores for phenological stage at the TX site in 2016 as a function of tree proximity and the control treatment



### 3. Discussion

Le dispositif mis en place sur un réseau de 7 sites à travers la France, en climat tempéré, a permis de montrer que les productions prairiales de premier cycle de végétation peuvent, dans la majorité des cas étudiés, être estimées comparables entre prairies arborées et non arborées pour des ouvertures moyennes de canopée supérieures ou égales à 60%. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Andueza et *al.* (dans Béral et *al.* 2018), sur un dispositif agroforestier planté en 1989 et ayant permis la comparaison de la productivité prairiale de premier cycle entre trois parcelles de 60, 150 arbres/ha et une prairie témoin. Dans cette étude, la productivité de la parcelle la plus dense a montré une baisse significative en comparaison aux deux autres dont les performances étaient similaires. D'après la littérature, la disponibilité en lumière est probablement le facteur le plus limitant dans des systèmes aux ouvertures de canopée faibles (Benavides et *al.* 2009; Papanastasis et *al.* 1995; Silva-Pando et *al.* 2002.). Il existe des cas contradictoires sur la nature de la corrélation entre l'intensité du rayonnement et la baisse de rendement. Certains proposent une baisse linéaire (Gosse et *al.*, 1986) tandis que d'autres soutiennent que les modifications morphologiques et biochimiques, comme l'augmentation du taux chlorophylle par feuille, le développement de feuilles plus fines mais plus larges et l'élongation générale de la plante, tendent à tamponner cette tendance (Benavides et *al.*, 2009). Néanmoins, ces résultats sont encourageants pour accompagner la mise en place de ces systèmes. En effet, l'implantation des arbres intraparcellaires sur des prairies permanente est identifié comme une solution pour augmenter la résilience de ces surfaces en cas d'aléas climatiques, ou étaler la production prairiale (Andueza et *al.*, 2018), mais elle pose aussi la question de la concurrence potentielle des arbres au printemps, sachant qu'en France, entre 60 et 75 % de la production d'une prairie est faite avant le 30 Juin (Huyghe et Delaby, 2013). Dans les cas ici étudié, nous avons pu montrer que l'agroforesterie n'entraîne pas systématiquement de baisse de rendements à cette période cruciale pour les éleveurs.

Pour gérer le niveau d'ombrage, le choix des densités d'arbres est un premier levier. Dans la présente étude, sur des parcelles avec arbres de haut-jet ou arbres fruitiers on a pu remarquer que les 60% d'ombrage étaient obtenus pour des parcelles implantées à environ 100 arbres/ha avec des arbres entre 15 et 20 ans. Un autre levier possible correspond à la gestion du houppier des arbres. Nos expérimentations menées sur le site TX où la conduite des frênes en têtard (à 104 arbres/ha) a permis, sur des arbres de plus de 20 ans, de passer d'une ouverture de canopée de 30 à 75 %, et ainsi de relancer la productivité prairiale de plus de 50% dès la première année. Il serait intéressant que des futures études se focalisent sur ce levier de gestion, en évaluant les coûts et bénéfices de

ces pratiques qui demandent du temps et de la technicité. Ces pratiques peuvent aussi permettre une valorisation de cette biomasse coupée sous forme de fourrage, de bois déchiqueté pour la litière animale ou de bois de chauffage. De nombreux auteurs rapportent que la taille sévère en agroforesterie diminue la compétition, tout en augmentant la valeur économique de la bille de pied (Devkota et *al.*, 2009). Le choix des essences et leur architecture est aussi un levier possible pour limiter la fermeture de la canopée (Guevara-Escobar et *al.* 2000), mais c'est une chose non abordée dans cette étude (Guevara-Escobar et *al.* 2000).

En ce qui concerne le stade phénologique, la note moyenne a été influencée par la présence des arbres sur le site TX, qui montre un retard phénologique croissant avec la diminution de l'ouverture de la canopée, ce résultat est similaire à celui obtenu par Andueza et *al.* (2018). Selon Cooper et Tainton, (1968), l'ombrage réduirait le tallage mais aussi la production de tiges et en conséquence la note de stade phénologique. Il serait également intéressant de voir si l'ombrage n'entraîne pas une modification du cortège d'espèces prairiales à l'origine de ce décalage phénologique. Une phénologie prairiale retardée par la présence des arbres peut être vue comme un aspect intéressant de l'agroforesterie à valoriser à l'échelle d'une exploitation d'élevage : cela pourrait permettre de disposer de surfaces en herbe productives plus tardivement (Andueza et *al.*, in Béral et *al.*, 2018).

**Cette étude met également en évidence l'hétérogénéité spatiale du couvert prairial créée par la présence des arbres.** En effet, un effet délétère de l'arbre à sa proximité immédiate a été mesuré, à la fois sur la productivité prairiale, et sur la part de légumineuses dans les cortèges prairiaux. En ce qui concerne la baisse de rendement à proximité de l'arbre, nous n'avons pas étudié les processus à l'œuvre, mais il est probable que cet impact soit dû à une combinaison de facteurs tels que la compétition racinaire pour l'eau et les nutriments, un ombrage trop important et des modifications microclimatiques (Silva-Pando et *al.* 2001). Notons toutefois, le cas particulier du site BO, où c'est l'activité accrue des rats taupiers à proximité des arbres qui a fortement impacté la production d'herbe. Comme évoqué précédemment, il n'entraîne pas de baisse importante du rendement parcellaire, dans la mesure où ces surfaces ne représentent que 2 à 7 % de la surface parcellaire totale. Comme l'a montré Moreno (2008), les fabacées sont moins compétitives que les graminées en régime ombragé ; l'hétérogénéité spatiale observée dans cette étude pose la question des pratiques à mettre en œuvre pour la gérer. Par ailleurs, qu'elle soit induite ou utilisée par les animaux est aussi une question. Des travaux réalisés dans le cadre du projet de recherche PARASOL ont mis en évidence qu'il y a des moments dans la journée où l'animal cherche la proximité de l'arbre, mais davantage pour le repos ou l'activité de rumination (Béral et *al.* 2018). C'est d'ailleurs là que réside l'un des principaux atouts

conférés par l'arbre implanté en prairie pâturée : il favorise le bien-être des animaux et représente par la même occasion un atout économique en période chaude. Lors d'épisodes caniculaires, la température peut être jusqu'à 6°C inférieure sous les arbres (Béral et al, 2018) ce qui favoriserait le bien-être et leurs performances zootechniques des animaux (Mitlohner et al, 2001).

**La diversité des situations prises en compte, et leur caractère unique au sein de chaque zone retenue, ne permettent pas une généralisation des conclusions à des entités géographiques plus vastes, avec un chiffre précis.** Les expérimentations multi-sites n'ont été menées que sur l'année 2016, relativement sèche et chaude. Une analyse fréquentielle sur plusieurs années, permettrait de mieux appréhender le comportement des surfaces prairiales arborées en fonction de l'évolution climatique et d'ainsi évaluer, en fonction de la récurrence des épisodes caniculaires, de l'intérêt de la présence des arbres. Il serait également intéressant d'étudier les pratiques pouvant permettre d'optimiser ces productivités prairiales en travaillant sur les calendriers de pâturage et de fauche, ou encore sur la sélection de couverts adaptés à l'ombrage des arbres.

## Conclusion

L'agroforesterie intraparcellaire en prairie permanente pâturée sous climat tempéré est encore aujourd'hui très peu documentée et ses potentialités dans le cadre de l'adaptation des systèmes d'élevage au changement climatique soulignent le besoin de références, notamment pour faciliter l'accompagnement des éleveurs dans la conception et la gestion de ce type de système. Centrée sur l'impact de la présence d'arbres intraparcellaires sur la productivité et les proportions de légumineuses des prairies permanentes, cette étude a permis de montrer qu'en premier cycle de végétation et pour des ouvertures de canopées supérieures ou égales à 60%, les prairies permanentes avaient des performances comparables aux prairies non arborées, mais une plus grande hétérogénéité spatiale, avec un effet délétère à proximité immédiate des arbres. La conduite des houppiers l'étêtage des arbres est apparu comme un levier intéressant pour relancer la productivité prairiale d'un système agroforestier trop ombragé. Aucune relation entre ces résultats et les facteurs environnementaux biotiques ou abiotiques ayant été fait, il serait intéressant de mieux comprendre à l'avenir les processus à l'œuvre dans ces systèmes. Davantage d'études sont nécessaires pour mieux appréhender le comportement de ces prairies arborées, les potentiels leviers de gestion et de valorisation de ces surfaces au sein des exploitations, au fil des années climatiques.

**Remerciements.** Cette étude a été réalisé dans le cadre du projet PARASOL (Numéro de contrat : 1560C0025), avec le soutien financier de l'ADEME, et du CASDAR ARBELE. Les auteurs voudraient remercier Fabien Liagre & Ambroise

*Martin-Chave d'Agrooof, Éric Pottier de l'IDELE et Arthur Rocher, Guillaume Sabourin, Thibaut Berne, stagiaires sur les projets PARASOL et ARBELE.*

Article accepté pour publication le 18 juin 2020.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amiaud B., & Carrère P. (2012). "La multifonctionnalité de la prairie pour la fourniture de services écosystémiques." *Fourrages*, 211, 229-238.
- Andueza D., Guittard A., Pourrat J., Bernard M. & Picard F. (2018). "Effect of tree density on the evolution of phenological stage of agroforestry permanent grasslands", R. Baumont, M. Silberberg, I. Cassar-Malek (eds), *Advances in Animal Biosciences, Proceedings of the International Symposium on the Nutrition of Herbivores International Symposium on the Nutrition of Herbivores*, 2 - 6 septembre 2018, Clermont-Ferrand, 572
- Benavides R., Douglas G.B., & Osoro K. (2009). "Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics." *Agroforestry Systems*, 76(2), 327-350.
- Béral C., Andueza D., Ginane C., Bernard M., Liagre F., Girardin N., Emile J-C., Novak S., Grandgirard D., Deiss V., Bizeray D., Moreau J-C., Pottier E., Thiery M. & Rocher A. (2018). "Agroforesterie en système d'élevage ovin : étude de son potentiel dans le cadre de l'adaptation au changement climatique". Rapport final du projet de recherche PARASOL dans le cadre de l'AAP REACTIF ADEME. 158p.
- Baudière A. & Serve L. (1975). "Les groupements végétaux du Pla de Gorra-Blanc (massif du Puigmal, Pyrénées Orientales). Essai d'interprétation phytosociologique et phytogéographique". *Naturalia Monspelienis Revue de Botanique générale et méditerranéenne*, N°25 : 5-21
- Bonnier G. & De Layens G. (1986). "Flore complète portative de la France, de la Suisse et de la Belgique". Belin, Paris. 432p.
- Braun-Blanquet J., Roussine N. & Nègre R. (1952). "Les groupements végétaux de la France méditerranéenne". Centre National de la Recherche Scientifique. 297p.
- Cardinael R., Chevallier T., Barthès B.G., Saby N.P.A., Parent T., Dupraz C., Bernoux M., & Chenu C. (2015). "Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon — A case study in a Mediterranean context". *Geoderma*, 259-260, 288-299.
- Cooper J. P. & Tainton N. M. (1968). "Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses" *Herbage Abstracts*, 38, 167-176.
- Devkota N.R., Kemp P., Hodgson J., Valentine I. & Jaya IKD. (2008). "Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees". *Agroforestry Systems*. 76:363-374.
- GIEC (2013). "Résumé à l'intention des décideurs. Changements climatiques 2013 : les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'Experts intergouvernemental sur l'évolution du climat" (Stocker et al., dir) Cambridge University Press.
- Guevara-Escobar A., Edwards W.R.N., Morton R.H., Kemp P.D., & Mackay A.D. (2000). "Tree water use and rainfall partitioning in a mature poplar-pasture system". *Tree Physiology*, 20(2), 97-106.
- Huyghe C & Delaby L. (2013). "Prairies et systèmes fourragers". Editions France Agricole. 530p.
- Institut National pour la Recherche Agronomique & Institut Technique des Céréales et des Fourrages (1975). "Clé de détermination de quelques graminées au stade herbacé". Association de Coordination Technique Agricole, Paris. 2p.
- Jeangros B., Troxler J., Conod D., Scephovic J., Bosset J.O., Bütikofer U., Gauch R., Mariaca R., Pauchard J.P., & Sieber R. (1997). "Relations entre les caractéristiques de l'herbe et celles du fromage. Présentation et premiers résultats d'une étude pluridisciplinaire". *Fourrages*, 152:437-449.
- Jose S., Gillepsie A.R. & Pallaydy S.G. (2004). "Interspecific interactions in temperate agroforestry". *Agroforestry Systems*. 2004. Vol. 61, n° 1, pp. 237-255.
- Leconte D. "Clé de détermination des principales graminées prairiales. Groupement National Interprofessionnel des semences et plants". 4p.
- Limbourg P. "Clé de détermination des principales graminées prairiales au stade végétatif. Fourrages Mieux". 5p.

- Mitlöhner F M., Morrow J.L., Dailey J.W., Wilson S.C., Galyean M.L., Miller M. F., & 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.
- Moreno G., Obrador J.J., & García A. (2007). "Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas." *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(3-4), 270-280.
- Papanastasis V., Koukoura Z., Alifragis D., & Makedos I. (1995). "Effects of thinning, fertilisation and sheep grazing on the understory vegetation of *Pinus pinaster* plantations." *Forest Ecology and Management*, 77(1-3), 181-189.
- Picon-Cochard C., Bloor J., Zwicke M., Duru M. (2013). "Impacts du changement climatique sur les prairies permanentes", *Fourrages*, 214, 127-134
- Plantureux S., Pottier E., & Carrère, P. (2012). "La prairie permanente : nouveaux enjeux, nouvelles définitions?" *Fourrages*, 211, 181-193.
- Pottier E., Michaud A., Farrié J. P., Plantureux S., & Baumont, R (2012). "Les prairies permanentes françaises au coeur d'enjeux agricoles et environnementaux." *Innovations Agronomiques*, (25), 85-97.
- Rameau J.C., Mansion D., Dumé G., Gauberville G., Bardat J., Bruno E. & Keller R. (2008). "Flores forestière française, guide écologique illustré". Institut pour le Développement Forestier, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Direction de la forêt et des affaires rurales, AgroParisTech-ENGREF & Inventaire forestier national (eds.), Paris. 2434p.
- Ruget F., Clastre P., Cloppet E., Lacroix B., Lorgeou J., Moreau J.C. & Souverain F (2012). "Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France". Exemple de quelques systèmes d'élevages. *Fourrages*, 211, 243-251.
- Silva-Pando F. J., González-Hernández M. P., & Rozados-Lorenzo M. J. (2002). "Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain." *Agroforestry Systems* 56: 203-211.
- Soussana J.-F. (2013) : "Prairies et changement climatique", *Fourrages*, 215, 171-180.
- Streeter D., Hart-Davis C., Hardcastle A., Cole F., & Harper L. (2011). "Guide Delachaux des fleurs de France et d'Europe". Delachaux et Niestlé, Paris. 706p.
- Zuur A.F. (2009). "Mixed effects models and extensions in ecology with R, Statistics for biology and health". Springer, New York, NY.

## ANNEXE

P1	AFNC	AFNB	AFNA	AFSA	AFSB	AFSC	ZT
BO	0,30 ± 0,28 a	0,52 ± 0,28 a	0,51 ± 0,28 a	0,26 ± 0,28 a	0,04 ± 0,28 a	0,30 ± 0,28 a	0,56 ± 0,22 a
BR	0,86 ± 0,20 a	0,96 ± 0,20 a	0,71 ± 0,20 a	0,78 ± 0,20 a	1,03 ± 0,20 a	0,62 ± 0,20 a	1,18 ± 0,16 a
LO	1,10 ± 0,27 a	1,34 ± 0,27 a	1,49 ± 0,27 a	2,00 ± 0,27 a	1,82 ± 0,27 a	1,45 ± 0,27 a	1,57 ± 0,21 a
MA	0,89 ± 0,19 ab	<b>0,63 ± 0,19 a</b>	<b>0,31 ± 0,19 a</b>	<b>0,37 ± 0,19 a</b>	0,90 ± 0,19 ab	0,85 ± 0,19 ab	<b>1,50 ± 0,15 b</b>
NF	0,85 ± 0,19 a	0,82 ± 0,24 a	0,85 ± 0,19 a	0,82 ± 0,24 a	0,87 ± 0,19 a	0,73 ± 0,19 a	0,72 ± 0,15 a
SO	0,29 ± 0,25 ab	0,99 ± 0,36 ab	<b>0,11 ± 0,25 a</b>	0,20 ± 0,25 ab	0,35 ± 0,25 ab	0,57 ± 0,21 ab	<b>1,20 ± 0,16 b</b>
P2	AFNC	AFNB	AFNA	AFSA	AFSB	AFSC	ZT
BO	<b>5,58 ± 0,58 b</b>	3,12 ± 0,58 ab	<b>2,34 ± 0,58 a</b>	<b>2,69 ± 0,58 a</b>	<b>2,57 ± 0,58 a</b>	2,94 ± 0,58 ab	<b>3,26 ± 0,32 b</b>
BR	3,78 ± 0,43 a	4,36 ± 0,43 a	3,11 ± 0,43 a	3,73 ± 0,43 a	3,912 ± 0,43 a	3,64 ± 0,43 a	4,62 ± 0,34 a
LO	3,47 ± 0,42 a	3,44 ± 0,42 a	2,22 ± 0,42 a	2,34 ± 0,42 a	3,44 ± 0,42 a	4,056 ± 0,42 a	3,70 ± 0,33 a
MA	<b>4,29 ± 0,35 b</b>	3,05 ± 0,35 ab	<b>2,16 ± 0,35 a</b>	<b>2,19 ± 0,35 a</b>	3,29 ± 0,35 ab	<b>3,85 ± 0,35 b</b>	<b>3,91 ± 0,27 b</b>
NF	2,94 ± 0,25 a	2,92 ± 0,25 a	3,11 ± 0,25 a	3,19 ± 0,25 a	3,71 ± 0,25 a	3,39 ± 0,25 a	3,29 ± 0,19 a
SO	2,69 ± 0,34 a	2,96 ± 0,34 a	2,80 ± 0,34 a	2,91 ± 0,34 a	2,94 ± 0,34 a	2,57 ± 0,34 a	1,68 ± 0,26 a
P3	AFNC	AFNB	AFNA	AFSA	AFSB	AFSC	ZT
BO	<i>1,39 ± 0,81 a</i>	<i>2,58 ± 0,81 a</i>	<i>2,22 ± 0,81 a</i>	<i>1,33 ± 0,81 a</i>	<i>0,47 ± 0,81 a</i>	<i>2,47 ± 0,81 a</i>	-
BR	2,43 ± 0,28 a	2,02 ± 0,28 a	1,66 ± 0,28 a	1,33 ± 0,28 a	1,74 ± 0,28 a	2,01 ± 0,28 a	2,34 ± 0,22 a
LO	<b>1,45 ± 0,19 b</b>	<b>1,39 ± 0,19 b</b>	<b>0,52 ± 0,19 a</b>	<b>0,44 ± 0,19 a</b>	<b>2,03 ± 0,19 b</b>	<b>1,53 ± 0,19 b</b>	<b>1,45 ± 0,19 b</b>
MA	-	-	-	-	-	-	-
NF	3,56 ± 0,62 a	2,75 ± 0,62 a	2,00 ± 0,62 a	0,89 ± 0,62 a	0,69 ± 0,62 a	3,05 ± 0,62 a	<b>6,47 ± 0,48 b</b>
SO	-	-	-	-	-	-	-

TABLEAU 4 : Production moyenne de biomasse herbacée (tMS/ha ± erreurs standards) en fonction des sites, des distances à l'arbre et des périodes de prélèvements (les différences significatives apparaissent en gras). A noter en P3, pour les sites en italiques, ne sont présentées que des hauteurs moyennes de repousse (cm), les hauteurs d'herbe ayant été insuffisantes pour un prélèvement de biomasse.

Table 4: Mean yield of herbaceous biomass at the study sites as a function of tree proximity and sampling period