



Contributions des arbres champêtres à la pérennisation des agro-systèmes



Revue bibliographique

L'Association Française Arbres et Haies Champêtres est une antenne nationale mettant en relation des structures de conseil et d'appui technique spécialistes de l'aménagement du territoire par les arbres champêtres : des associations, chambres d'agriculture, centres régionaux de la propriété forestière, conseils généraux..., des chercheurs de l'INRA, du CEMAGREF, du CNRS, et plus largement des personnes ou des structures concernées par les arbres et les haies champêtres.

Motivées depuis plus de vingt ans pour corriger les conséquences délétères d'un « désarbement » massif des territoires ruraux, infligé pendant plusieurs générations par un oubli ou une négligence des vertus et des services rendus par les arbres et les haies, les personnes représentées au sein de l'AFAHC ont contribué à la plantation de plusieurs millions d'arbres champêtres en France.

Or, force est de constater que le manque en arbre est toujours cruel et qu'en l'état actuel de la ressource il est difficilement envisageable de parvenir à une agriculture autonome, écologiquement acceptable et économiquement rentable.

Les propositions de l'AFAHC consistent en l'aménagement des territoires par la plantation, la gestion et la valorisation des arbres et des haies champêtres. Peu coûteuses, elles ont un impact certain sur les territoires et sont une solution à envisager sérieusement pour le développement des territoires ruraux, qui plus est dans le contexte actuel de crise économique et écologique.

Le document ci-après rassemble une série de publications scientifiques qui ont démontré effectivement les contributions des arbres et des haies à la pérennisation des écosystèmes agricoles par une gestion de la biodiversité, de la ressource en eau, des sols et du climat.

Dans la continuité des travaux qui sont exposés, il apparaît aujourd'hui être nécessaire et urgent que les pouvoirs publics s'investissent pour que soient mises en œuvre des opérations pilotes sur des territoires volontaires, permettant de rationaliser économiquement parlant les modèles d'aménagement proposés en fournissant des données relatives à la productivité des arbres à l'échelle des exploitations agricoles, notamment pour définir des modèles d'aménagement du territoire permettant une production de bois économiquement intéressante pour les agriculteurs (*objectif : diversification de la production*), d'enrayer la chute de matière organique et la désertification des sols amorcées (*objectif : réduction des fertilisants*) et de garantir une protection biologique des cultures (*objectif : réduction des pesticides*).

1. GESTION DE LA BIODIVERSITE

La haie champêtre : Corridor biologique fondamental pour la réalisation d'une trame verte nationale

Extraits de l'expertise collective de l'INRA : Agriculture et biodiversité : des synergies à valoriser¹

p.135 :

Parmi les mesures proposées à l'issue du Grenelle de l'Environnement, figure la **réalisation d'une trame verte et bleue au niveau national pour la biodiversité**. Cette proposition est fondée sur l'hypothèse qu'une connectivité écologique est nécessaire pour maintenir un bon niveau de biodiversité. La trame verte devrait notamment permettre aux espèces sauvages de circuler moins difficilement sur le territoire de la France. En outre, le changement climatique nécessitera de nouvelles possibilités de migration pour que les espèces puissent trouver de nouveaux habitats adaptés à leurs besoins. D'une manière générale, et pour un pays où l'agriculture est très présente comme la France, **un réseau écologique agricole aurait un rôle clé dans la mise en place d'un réseau écologique national**.

Les connaissances scientifiques disponibles montrent clairement que la complexité du paysage est un élément clé de la biodiversité dans les espaces agricoles, et tendent donc à légitimer une telle proposition de trame verte. En particulier, les éléments semi-naturels : bois, landes, friches mais aussi haies, chemins, bandes enherbées, jouent le rôle d'habitat, de refuge, de corridor pour de nombreuses espèces animales et végétales. Leur présence permet le maintien d'espèces qui autrement disparaîtraient des zones d'agriculture intensive. Leur effet dépend de la surface qu'ils occupent, de leur "qualité" liée à leur taille, leur forme, la façon dont ils sont gérés. L'ensemble de ces éléments forme un réseau plus ou moins continu dans l'espace cultivé et leur connectivité est un des facteurs qui favorise la biodiversité via la dynamique des métapopulations, des métacommunautés et la survie des espèces qui utilisent plusieurs habitats au cours de leur cycle de vie. Il contribue à l'existence d'une "trame verte" à l'échelle du paysage. **L'exemple le plus parlant est celui du bocage où les haies sont, ou étaient, interconnectées. Même si leur effet sur certaines espèces patrimoniales peut être faible comparé à celui de parcelles de taille moyenne à grande, leur rôle pour maintenir des composantes de la biodiversité ordinaire est fondamental.**

p.136 :

L'activité agricole permet la création et la gestion d'éléments linéaires au niveau parcellaire, et il sera important d'intégrer ces éléments de connectivité biologique locale aux niveaux régional, puis national pour faire émerger une trame verte nationale. Pour cela il sera nécessaire de coupler mesures agricoles, mesures d'urbanisme et mesures environnementales.

p.102 :

Les haies, couplées avec des parcelles de superficie réduite, constituent des éléments refuges pour les ongulés sauvages et des corridors de déplacement (e.g. Coulon et al., 2004, 2006).

p. 104 :

La fragmentation des réseaux de haies et la disparition des prairies réduisent fortement les disponibilités de zones de repos, d'alimentation et de reproduction à l'échelle des paysages, ce qui a des implications importantes sur l'architecture des réseaux trophiques et affecte considérablement les populations de prédateurs (mammifères carnivores, rapaces).

¹ Extraits du rapport de l'expertise scientifique collective réalisée par l'Inra (2008) à la demande du ministère de l'Agriculture et de la Pêche (MAP) et du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (MEEDDAT)

La plupart des espèces de Chauve-souris ont souffert de la disparition des sites de reproduction (vieux arbres), des sites de chasse (haies, bois, prairies), et de la réduction des populations d'insectes en raison de la destruction de ces habitats permanents et de l'usage des pesticides (Walsh & Harris, 1996; Mitchell-Jones, 1998).

Les chauves-souris sont en effet très exigeantes en terme de paysage car de nombreuses espèces répugnent à traverser de vastes espaces découverts. Leurs routes de vol suivent généralement les éléments linéaires du paysage : haies, lisières de bosquet, cours d'eau... où elles s'abritent du vent et peut-être des prédateurs, tout en collectant des proies pour certaines espèces (Limpens & Kapteyn, 1991; Verboom & Huitema, 1997; Verboom & Spoelstra, 1999; Serra-Cobo et al., 2000; Downs & Racey, 2006). Les communautés de petits mammifères (rongeurs et insectivores) tendent à se banaliser avec l'intensification de l'agriculture. Les habitats linéaires plantés abritent des communautés de petits mammifères plus abondantes que les talus herbeux (Butet et al., 2006). De même, les habitats permanents (haies, bois, friches, prairies permanentes) hébergent des communautés plus abondantes et plus diversifiées que les parcelles de culture où le travail du sol affecte fortement la diversité des espèces et l'abondance des populations en place (Heroldova et al., 2007).

p.105 :

Les bords de champ au sens large incluent les haies, talus, fossés, bords herbeux, bords de cours d'eau, chemins ruraux, bermes de routes... Ils participent à l'hétérogénéité au niveau du paysage à la fois par la diversité de leur forme, de leur composition floristique et de leur gestion associée aux activités agricoles (Le Coeur et al., 2002).

Un consensus transparait sur le rôle refuge joué par les bords de champs pour favoriser la diversité végétale (Le Coeur et al., 2002; Marshall & Moonen, 2002; Marshall, 2005; Cousins, 2006) et augmenter la diversité des arthropodes auxiliaires, carabiques, syrphes et araignées (Marshall, 2004).

Ils sont nécessaires pour les orthoptères en zone de grande culture. Les chemins creux augmentent la richesse des espèces forestières au niveau du paysage (Deckers et al., 2005) et les chemins enherbés celle des insectes floricoles (Dover et al., 2000). Les bordures de champs peuvent être gérées afin d'avoir un rôle conservatoire pour des espèces végétales menacées (Marshall & Moonen, 2002). Ce rôle refuge est plus ou moins efficace selon la nature des espèces végétales en fonction de leur caractère généraliste ou spécialiste ainsi que de leur pouvoir compétitif (Krauss et al., 2004; Cousins, 2006). Les bords de champ favorisent une augmentation de la richesse spécifique et de l'abondance des espèces végétales car elles sont considérées comme source de propagules pour les habitats et parcelles cultivées contigus (Marshall et al., 2006). Il s'agit là d'un exemple de fonctionnement des populations en système source-puits entre deux éléments du paysage (Lep^{co}, 2005). En particulier, la diversité des communautés d'adventices à l'intérieur même des parcelles cultivées est aussi influencée par la structure paysagère. Gabriel et al. (2006), en comparant des paysages plus ou moins marqués par l'activité agricole, montrent que le nombre d'espèces (en particulier les espèces dicotylédones) est très relié à la complexité du paysage, et ces auteurs avancent l'hypothèse d'une contribution des plantes des bordures au maintien de la diversité spécifique.

Contrairement aux espèces végétales et aux arthropodes épigés, le rôle des bords de champ comme zone refuge pour les organismes du sol a été peu étudié, de même que l'effet de la fragmentation du milieu (Rantalainen, 2005). Cependant, les bords de champ, les haies peuvent constituer des refuges pour les organismes du sol comme cela a été montré pour les collemboles (Frampton, 2002) et les vers de terre (Brown, 1999).

p.106 :

Même en absence de phytocides comme dans le cas de parcelles conduites en agriculture biologique, le morcellement du paysage (réduction de la taille des parcelles, présence de haie) semble indispensable à un maintien d'une forte diversité biologique (van Elsen, 2000).

p.107 :

Les éléments non productifs inclus dans, ou jouxtant, les parcelles jouent un rôle clé pour la biodiversité dans les paysages agricoles en tant qu'habitat, corridor pour les mouvements ou refuge saisonnier pour de nombreuses espèces. Ils augmentent la diversité végétale et la diversité des insectes auxiliaires. Leur rôle a été moins étudié pour la faune du sol, mais il semblerait qu'ils soient des refuges pour certaines espèces comme des collemboles et des vers de terre.

Leur impact sur la biodiversité dépend de leur nature, qui peut aller d'une simple bande enherbée à un ensemble complexe haie-fossé-talus, de la gestion de ces éléments non productifs, de la gestion et des pratiques agricoles dans la parcelle adjacente, mais aussi de la structure du paysage.

p.109 :

La conservation de zones en périphérie des parcelles où les stocks de semences seraient encore potentiellement importants (bords de champs, haies, anciens chemins) semble être un outil indispensable à un maintien en général de la biodiversité de la flore adventice (Moonen & Marshall, 2001) mais aussi à la conservation des espèces aujourd'hui devenues rares (Wilson, 1989).

p.111 :

Alors que les terrains cultivés et les prairies artificielles sont délaissés par les chauves-souris, les bosquets, les points d'eau, les prairies et les haies sont très attractifs à condition que ces éléments du paysage restent connectés (Walsh & Harris, 1996). En effet, les haies sont des terrains de chasse particulièrement fréquentés par plusieurs espèces qui trouvent à l'abri de la végétation une nourriture abondante (Walsh & Harris, 1996; Goiti et al., 2003; Russ et al., 2003). Pour le Petit rhinolophe, la présence d'une haie à proximité immédiate du gîte est déterminante pour son occupation (Motte & Libois, 2002).

p.113 :

Un accompagnement des pratiques non chimiques par une structuration du paysage (création de haies, de zones réservoirs) apparaît indispensable à une restauration d'espèces à valeur patrimoniale (van Elsen, 2000).

Extraits du PDRH 2007-2013

Les arbres têtards, de type émondes ou de hauts jets, isolés ou en alignements sont des infrastructures écologiques qui permettent d'assurer le maintien de nombreuses espèces. En effet, ces arbres creux constituent des zones d'alimentation et de reproduction de nombreuses espèces (telles que les insectes saproxylophages) ainsi que des zones refuge (chauve souris, oiseaux). L'entretien de ces linéaires ou des arbres remarquables isolés est de ce point de vue essentiel pour préserver la haute valeur naturelle et paysagère des territoires ruraux et des sites Natura 2000, la taille des arbres en têtard ou émondes (selon les spécificités locales) favorisant le développement de cavités abritant ces espèces.

Agroforesterie et amélioration de la biodiversité

ABONDANCE EN VERS DE TERRE

L'abondance en vers de terre est synonyme d'un sol en bonne santé. Ils ont une importance majeure dans les systèmes cultivés. Edwards et Bohlen (1997) ont démontré que les vers de terre augmentaient le mélange de la matière organique et les processus de décomposition dans le profil du sol.

Selon Bertrand J. (2001), certains milieux agricoles peuvent présenter jusqu'à 1 à 3 tonnes de lombriciens à l'ha, soient 100 à 300 grammes sous chaque mètre carré. Dans certaines prairies, 400 à 500 mètres de galeries sont mesurées par m², ce qui représente une macroporosité de 4 à 6 litres par m².

En agroforesterie, les quantités observées sont encore supérieures : Price et al. (1999) ont effectué des mesures sur des parcelles conventionnelles et agroforestières avec des arbres de 11 ans et une rotation soja, maïs, blé, à l'université de Guelph, Ontario, Canada :

	Nombre de vers de terres par m²
--	---

	Agroforesterie avec peupliers	Agroforesterie avec érables	Agroforesterie avec frênes	Culture conventionnelle du maïs
Printemps 1997	394	257	379	11
Eté 1997	119	42	61	4
Printemps 1998	90	63	46	3
	Biomasse de vers de terre (g/m ²)			
	Agroforesterie avec peupliers	Agroforesterie avec érables	Agroforesterie avec frênes	Culture conventionnelle du maïs
Printemps 1997	457	440	735	6
Eté 1997	245	89	153	4
Printemps 1998	181	144	161	3

QUANTITE D'ARTHROPODES (J. P. Sarthou)

Sur un plan structural, la présence d'arbres au sein d'une parcelle agricole augmente la diversité de niches écologiques potentielles pour les arthropodes, à la fois dans le temps et dans l'espace, par rapport aux cultures annuelles, y compris celles avec assolement et rotation variés (Stamps and Linit, 1997). En effet, éléments pérennes plus développés et plus complexes dans leur architecture que les plantes herbacées, les arbres offrent par rapport à ces dernières, des ressources trophiques plus importantes et une variété et une densité plus fortes de sites refuge, d'accouplement, d'estivation, d'hivernation etc., et cela de manière plus étalée dans le temps (Stamps and Linit, 1997). Cette diversité accrue de niches écologiques potentielles s'accompagne effectivement d'une diversité d'arthropodes généralement plus importante que dans les formations cultivées herbacées et buissonnantes, même pérennes (Lawton, 1978; Niemala, Tahvanainen et al., 1982; Basset and Burckhardt, 1992) in (Stamps and Linit, 1997). Parmi ces arthropodes, les espèces zoophages sont elles aussi favorisées dans leur diversité, non seulement par l'augmentation de la disponibilité en arthropodes proies/hôtes mais aussi par l'accroissement de la diversité structurale de leur habitat qui améliore les possibilités de cohabitation entre espèces zoophages (Langellotto and Denno, 2004) ; ainsi, la présence d'arbres diminue-t-elle la probabilité qu'une seule espèce de ravageur domine la totalité de la communauté (Stamps and Linit, 1997).

Les très rares revues bibliographiques portant sur la dynamique des ravageurs et de leurs ennemis naturels en systèmes agroforestiers (e.g. (Rao, Singh et al., 2000), (Schroth, Krauss et al., 2000), concernent les régions tropicales mais elles confirment que la forte diversité végétale de ces systèmes leur confèrent une certaine protection vis-à-vis des pullulations de ravageurs et même des maladies cryptogamiques. En systèmes tempérés, seules deux publications de suivis d'insectes ont pu être trouvées. (Naeem, Compton et al., 1997) ont observé en parcelles agroforestières, une densité de population de pucerons sur blé et une diversité d'ennemis naturels de pucerons respectivement plus faible et plus importante que dans les parcelles témoins de la même culture. Ils rapportent également que la densité des pucerons inféodés aux espèces d'arbres plantés (et permettant aux auxiliaires de se multiplier avant la pullulation des pucerons du blé), sont plus faibles dans les parcelles agroforestières ayant les plus larges espacements entre les lignes d'arbres. (Peng, Incoll et al., 1993) ont eux aussi observé, pour une culture identique (pois *Pisum sativum*) une augmentation des auxiliaires dans les parcelles en agroforesterie par rapport à des parcelles conventionnelles, grâce à une plus grande disponibilité en sites d'hivernation et en abris dans le système agroforestier. Pour (Stamps and Linit, 1997), l'agroforesterie en systèmes tempérés est aussi prometteuse que celle en systèmes tropicaux concernant les objectifs d'augmentation des auxiliaires et de diminution des ravageurs grâce à l'instauration, par le biais des arbres, d'une plus grande diversité de niches et d'une plus grande complexité dans le temps et dans l'espace, que les systèmes de cultures annuelles, même en polyculture.

Les mécanismes de ces régulations biologiques sont à rapprocher de plusieurs théories, notamment de la théorie aire-espèces (Connor and McCoy, 1979) et de la théorie de l'équilibre en biogéographie insulaire (MacArthur and Wilson, 1967) qui stipulent que plus l'espace disponible augmente, plus le taux de colonisation par des organismes augmente et leur taux d'extinction après colonisation diminue, ce qui aboutit à une plus grande diversité spécifique au sein des communautés installées. Une autre théorie participe à l'explication de ces régulations : la théorie énergie-espèces qui suggère une relation directe et positive entre la quantité de biomasse végétale produite et la diversité spécifique des communautés s'installant directement ou indirectement aux dépens de celles-ci (Wright, 1983).

Les voies que peuvent emprunter les mécanismes de régulation font appel à trois types d'interactions entre espèces végétales et arthropodes :

- les interactions primaires : elles concernent les interactions dans lesquelles le premier niveau trophique, à savoir le végétal, est directement acteur à l'encontre du ou des phytophages. Les arbres modifient le microclimat et l'apparence des plantes cultivées et affectent par là le comportement de certains insectes qui

voient leur taux de colonisation de la culture augmenter ou diminuer selon les espèces (Cromartie, 1991). Les effets de l'ombre sur les ravageurs et les maladies ont été particulièrement étudiés en cultures de café, de cacao et de thé qui sont naturellement des végétaux de sous-canopée. En conditions de culture industrielle, leur exposition en plein soleil provoque un développement de populations de thrips et de mirides ravageurs, que l'on rencontre également dans les taches de soleil des plantations traditionnelles. En condition trop ombragée, ce sont d'autres ravageurs qui se développent (de même que le champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* qui limite alors ces derniers) (Altieri and Nicholls, 2004). Les signaux chimiques émis par les cultures agricoles et utilisés par certains ravageurs pour les localiser, sont modifiés en systèmes agroforestiers, voire totalement masqués par ceux des arbres. Ce phénomène est la base d'une stratégie de dissuasion olfactive à l'encontre des ravageurs, provoquant leur diminution dans les cultures plurispécifiques (Risch, 1981) et rejoint ainsi l'hypothèse de la concentration de la ressource (Root, 1973). Une autre forme d'interaction primaire, plus simple à percevoir et à réaliser car plus proche du principe de la lutte chimique contre les ravageurs, concerne les systèmes agroforestiers contenant au moins une essence ligneuse à action insecticide ou insectifuge. En Chine, une cinquantaine d'espèces d'arbres et d'arbustes de ce type sont couramment implantées à cette fin, parmi elles certaines fournissent des extraits foliaires utilisés pour des traitements insecticides directs (e.g. *Derris* spp. pour la roténone, *Melia azedarach* pour l'azadirachtine...). Ces essences sont souvent installées en bandes dans les parcelles de céréales ou à proximité (Zhang and Olkowski, 1989) in (Olkowski and Zhang, 1998).

- les interactions secondaires : elles concernent les interactions dans lesquelles le troisième niveau trophique, à savoir les ennemis naturels des phytophages, est directement impliqué dans la limitation de ces derniers, et relèvent par là de l'hypothèse des ennemis naturels (Pimentel, 1961; Root, 1973). L'objectif ou l'effet du système agroforestier est donc de favoriser les auxiliaires antagonistes des ravageurs. Les exemples sont là aussi nombreux et bien développés en Chine où des systèmes agroforestiers au sens large visent à favoriser par exemple des fourmis prédatrices (*Oecophylla smaragdina*) de ravageurs défoliateurs d'arbres fruitiers, fourmis inoffensives pour les ennemis naturels d'autres ravageurs. Il s'agit du plus vieil exemple de lutte biologique par conservation et gestion des habitats au monde, encore en vigueur aujourd'hui dans les régions d'agriculture traditionnelle après 1700 ans d'utilisation (Huang and Yang, 1987) in (Olkowski and Zhang, 1998). Le même principe, avec la même espèce de fourmi, est pratiqué avec succès, vis-à-vis de la quantité et de la qualité des fruits, dans les régions tropicales d'Australie en vergers de noix de Cajou (Peng, Christian et al., 1999). D'autres exemples concernent des coccinelles, des chrysopes, des trichogrammes (Olkowski and Zhang, 1998).

- les interactions tertiaires : ces interactions ne concernent pas un niveau trophique supérieur à celui des entomophages, mais mettent en œuvre un système de synergie entre deux espèces d'arbres pour limiter les populations de ravageurs. Ainsi, en plantation de résineux, un mélange de pins et de *Cotinus coggygria* (arbre fixateur d'azote) augmente la teneur du sol en nitrate de 65% et augmente ainsi la résistance des pins aux chenilles défoliatrices. Ces dernières, nourries d'aiguilles de pins issues d'arbres associés à *C. coggygria*, manifestent en effet une baisse de reproduction et une baisse de croissance de 5 à 41% par rapport à celles qui se nourrissent sur des pins en plantation pure (Chen, 1990) in (Olkowski and Zhang, 1998).

Thevathasan et Gordon (2004) ont mesuré la quantité d'arthropodes sur une parcelle agroforestière de 12 ans en comparaison d'une culture conventionnelle, à l'université de Guelph, au Canada :

	Agroforesterie	Agriculture conventionnelle	Rapport
Parasitoïdes	330	50	x 6,6
Prédateurs	205	195	x 0,5
Pollinisateurs	55	20	x 2,75
Détritivores	350	80	x 4,37
Total auxiliaires	940	345	x 2,72
Herbivores (ravageurs)	80	180	: 2,25

2. GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU

L'objectif phare est de parvenir au « bon état » des eaux tel qu'il est défini dans la DCE. Nous présentons ci-après quelques uns des résultats obtenus quant aux contributions des arbres et des haies champêtrées à limiter l'érosion des sols, donc la turbidité des cours d'eau, ainsi qu'à limiter le transfert des engrais et des produits phytosanitaires depuis les espaces cultivés vers les ruisseaux et rivières.

Extraits du PDRH 2007-2013

En bordure de cours d'eau, la ripisylve est une zone de transition entre les milieux aquatique et terrestre. Elle offre un ombrage propice aux espèces recherchant des eaux fraîches. En outre, un entretien non intensif garantit le maintien de branches basses, favorable à la fraie. Elle joue par ailleurs les mêmes rôles qu'une haie arbustive ou arborée en matière de protection contre le ruissellement et l'érosion, en faveur de la qualité des eaux (limitation des transferts) et du maintien de la biodiversité (écosystème complexe d'espèces animales et végétales inféodées).

L'entretien approprié de cette bande boisée, de type « haie » du côté de l'espace agricole et de type « gestion douce » du côté du cours d'eau répond ainsi aux enjeux « biodiversité » et « eau ».

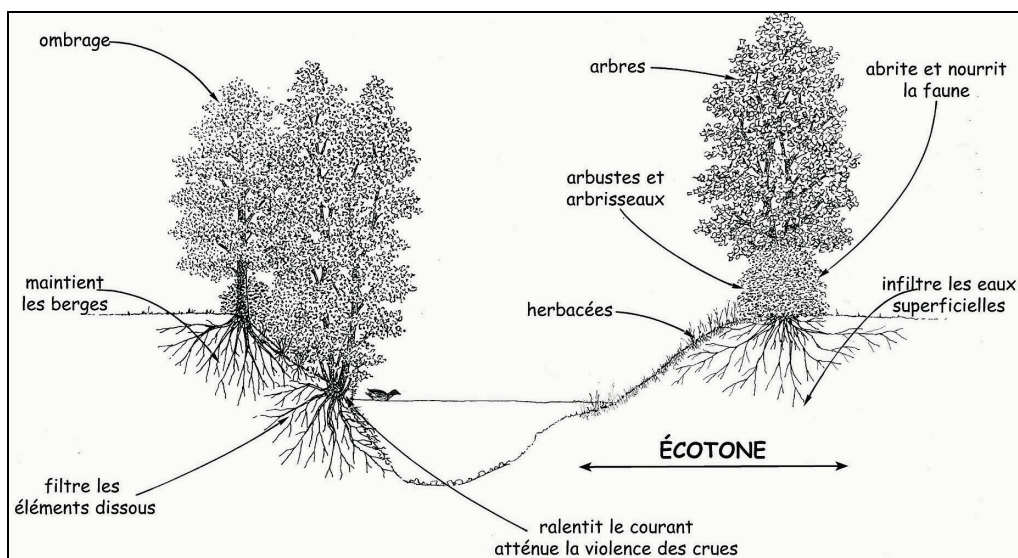


Figure 1 : les multiples fonctions de la ripisylve (Arbre & Paysage 32, dessin David Dellas)

La **ripisylve** joue un rôle majeur dans la régulation du cycle de l'eau et des transferts de matières associés. Sans les racines des arbres pour les maintenir, les berges des cours d'eau s'effondrent en cas de crue. La turbidité de l'eau est alors accrue et la qualité du milieu aquatique détériorée.

Actions des arbres champêtrés sur les transferts d'intrants d'origine agricole

Bien que peu d'études aient été menées pour évaluer l'efficacité des arbres à limiter le transfert des produits phytosanitaires par ruissellement et lixiviation (Liagre, 2006), le rôle des communautés microbiennes de la pédofaune est aujourd'hui avéré dans la biodégradation des xénobiotiques, les pesticides notamment (INRA, 2008). Or l'enracinement des arbres facilite l'infiltration de l'eau et le stockage de carbone en profondeur grâce à la décomposition des racines fines annuelles. Cet effet racinaire stimule la vie biologique des sols (champignons, bactéries et pédofaune) (Liagre, 2006). Le rôle des arbres dans les processus de biodégradation des pesticides ne serait donc pas négligeable.

Une partie significative des produits épandus est également entraînée hors du champ par voie aérienne. Les cours d'eau qui bordent les parcelles sont particulièrement exposés à ces problèmes de dérive. Les arbres et les haies champêtrées dressent des barrières contre cette diffusion aérienne des traitements phytosanitaires (Liagre, 2006).

Plusieurs études se sont focalisées sur la consommation en nitrate des forêts ripariennes. Jordan et al. (1993) et Sanchez-Perez et al. (1999) ont mesuré des abattements de la teneur en nitrate de 95 %, soit 140 kg/ha/an, qu'ils attribuent à la fois au prélèvement par la végétation et à la dénitrification. Carell et Weller (1989) ont quantifié la part du prélèvement dans l'abattement : il représente 25% pour un abattement total de 86 %. Dans la zone alluviale garonnaise, Pinay et al. (1995) montrent qu'une ripisylve peut prélever en moyenne 0,38 g/j/m₂ d'azote, soit 38 fois plus qu'une prairie pâturée et 1,5 à 2 fois plus qu'une peupleraie mûre.

Selon Viaud (2001), la haie champêtre exerce une action sur les écoulements de surface et de subsurface. Ces processus sont soumis à des variations temporelles. Vis-à-vis des transferts de surface, les haies sont potentiellement efficaces toute l'année :

- Pour les écoulements de surface (ruissellement, érosion, transfert d'éléments chimiques associés), la haie constitue une barrière physique. Son rôle résulte essentiellement de processus hydrologiques qui ralentissent les transferts et favorisent l'infiltration.
- Pour les écoulements de subsurface (eau, nitrate), la haie constitue une barrière biogéochimique. Son rôle résulte à la fois de processus hydrologiques et de processus biogéochimiques, liés au fonctionnement de la végétation.

En Bretagne, Caubel (2001) met en évidence l'effet d'une haie de ceinture de fond de vallée sur la réduction des teneurs en azote dans la nappe de subsurface, en comparant un transect intersectant une haie à un transect sans haie : pendant toute l'année, les teneurs en nitrate mesurées sur le transect avec haie sont plus faibles que sur le transect sans haie. Au printemps l'abattement des concentrations entre l'amont et l'aval de la haie est en moyenne de 75 %, soit 30 kg d'azote par hectare.

Schrotch (1999) évoque des adaptations du système racinaire des arbres agroforestiers qui conduit à une séparation verticale du système racinaire des arbres et de celui des cultures et un enracinement des arbres de 4 à 18 mètres de profondeur. Selon Dupraz (2007), les alignements d'arbres en agroforesterie dressent ainsi un « filet de sécurité » contre les pollutions diffuses. Cela concerne l'interception par les racines profondes des arbres d'éléments nutritifs ou polluants drainés au delà de la profondeur des racines des cultures (Cadisch et al., 2004; Rowe et al., 1999). Sur des sols filtrants et profonds, sensibles à la lixiviation, l'effet d'un peuplement de 50 arbres par hectare dont les houppiers couvrent 30% de la surface au sol peut être très significatif, et supprimer totalement la lixiviation si elle se produit en plusieurs épisodes pluvieux espacés.

Zoom sur l'agroforesterie

Selon Dupraz C. (2007), les alignements d'arbres en agroforesterie dressent un « filet de sécurité » contre les pollutions diffuses. Cela concerne l'interception par les racines profondes des arbres d'éléments nutritifs ou polluants drainés au delà de la profondeur des racines des cultures (Cadisch et al., 2004; Rowe et al., 1999). Ce mécanisme est très efficace en agroforesterie quand les systèmes racinaires sont disjoints et superposés (Allen et al., 2004).

La combinaison d'une minéralisation ralentie et d'une capacité de stockage des pluies d'automne et d'hiver augmentée conduit à une réduction importante du risque de lixiviation d'azote en période froide. Le prélèvement direct par les arbres en période de croissance contribue à cette réduction.

L'efficacité d'un mélange d'arbres et cultures sur la réduction des lixiviations de nitrates peut être forte (Dougherty et al., 2007; Nair et al., 2007) mais n'est pas systématique (Duchemin, 2007).

L'efficacité des arbres en termes de pièges à nitrates dépend de nombreux facteurs (Ryszkowski and Kedziora, 2007) dont les importances relatives sont difficiles à classer :

Sur des sols filtrants et profonds, sensibles à la lixiviation, l'effet d'un peuplement de 50 arbres par hectare dont les houppiers couvrent 30% de la surface au sol peut-être très significatif, et supprimer totalement la lixiviation si elle se produit en plusieurs épisodes pluvieux espacés.

Les boisements forestiers ne présentent pas ces caractéristiques d'enracinements profonds, ce qui en fait de mauvais pièges à nitrates, par exemple en cas d'épandage en forêts.

En climat tempéré à pluies mieux réparties, les arbres seront très efficaces pour ce piégeage si des drainages importants ont lieu au cours de la saison de croissance. C'est en climats à pluies surtout hivernales que le piégeage sera moins efficace, mais il peut rester significatif car l'assèchement estival profond des sols par les arbres augmente leur capacité de stockage, et réduit la minéralisation.

RECYCLAGE DE L'AZOTE

Dupraz C. (2007) qualifie de « pompe à nutriments » la remontée par les racines profondes des arbres d'éléments nutritifs issus des horizons profonds, et en particulier de l'altération de la roche-mère. Elle est d'autant plus efficace que les systèmes racinaires sont profonds, ce qui est le cas en agroforesterie.

Selon Thevathasan et Gordon (2004), l'efficacité du cycle de l'azote sur une parcelle agroforestière permet une réduction de la fertilisation azotée de l'ordre de 7 kg/ha/an (peupliers hybrides à croissance rapide âgés de 8 ans, sur une rotation de maïs, haricot, blé, avec une fertilisation annuelle moyenne de 80 kg/ha).

Remarquons que si l'on tient compte de la surface occupée par les lignes d'arbres (10%), s'ajoute au résultat précédent une réduction de 10% de la fertilisation azotée, soit dans ce cas là 8 kg/ha/an.

Au total, Thevathasan et Gordon ont observé une réduction de 15 kg/ha/an de la fertilisation azotée.

REGULATION DU CYCLE DE L'EAU

Selon Dupraz C. (2007), l'effet « pot de fleur » des cultures d'hiver (sol sec non colonisable au printemps) est très important, et oblige les arbres à passer sous la zone racinée par la culture. Cela permet une exploitation plus complète des ressources en eau. Pour piloter l'enracinement des arbres, une rotation comportant majoritairement des cultures d'hiver est donc nécessaire. A défaut, des opérations mécaniques de contrôle des racines de surface (cernage) peuvent être préconisées.

Dupraz C. qualifie d'« ascenseur hydraulique », la redistribution nocturne d'eau dans le profil de sol par les racines des arbres. Elle s'explique par le fait que les racines en zone sèche (en général en surface) exsudent de l'eau en provenance des racines en zone humide (en général profonde). Elle profite rarement aux plantes associées, même si certaines publications montrent que l'eau libérée peut être transpirée par d'autres plantes (Sekiya and Yano, 2004).

Un peuplement adulte de 50 noyers par hectare consommera environ 250 mm en une saison de croissance sous climat du sud de la France. Pour un peuplement d'arbres adultes, les principaux effets sont les suivants :

- Prélèvement additionnel en eau du sol par les arbres conduisant à des sols plus secs en profondeur en fin d'été.
Conséquence : capacité de stockage des pluies d'automne et d'hiver augmentée (de l'ordre de 100 mm sous noyers de 12 ans à Restinclières, 200 mm sous peupliers de 12 ans à Vézénobres par exemple).
Minéralisation estivale de l'azote réduite par le dessèchement
- Prélèvement additionnel essentiellement dans les horizons profonds du sol non accessibles aux cultures
Conséquence : pas de pénalisation pour l'implantation des cultures d'hiver qui bénéficient de la réhumectation par les pluies d'automne.
- Réduction de la demande climatique et de l'évaporation du sol sous son ombrage
Conséquence : économie d'eau, ralentissement de la minéralisation .

REDUCTION DE LA DEMANDE CLIMATIQUE POUR LA CULTURE INTERCALAIRE :

Selon Dupraz C. (2007), la réduction du rayonnement sous la strate des houppiers, la réduction de la vitesse du vent, et l'augmentation de l'humidité de l'air par la transpiration des arbres se combinent pour réduire l'évapotranspiration sous un peuplement d'arbres espacés (réduction de 30% environ pendant la période estivale dans les conditions du sud de la France avec 50 arbres adultes). Cette réduction limite la transpiration des cultures intercalaires, et augmente leur efficacité de l'utilisation de l'eau.

Barloy et al. (1976) :

Des études effectuées sur le maïs en Bretagne montrent que, même les années difficiles, la présence de haies améliore la production de matière sèche au niveau des tiges (+ 20%), des feuilles (+ 5%) et des épis (+ 29%).

MAITRISE DES COURANTS D'EXPANSION DE CRUES DANS LES LITS MAJEURS DES RIVIERES

Selon Dupraz C. (2007), le stockage temporaire d'eau pendant les pics de crues majeures est une solution efficace pour protéger les riverains en aval. Les parcelles agroforestières jouent un rôle de peigne pour les embâcles et de ralentisseurs pour les courants. C'est pourquoi leur implantation dans les lits majeurs des cours d'eaux est une bonne solution pour continuer à cultiver ces sols, tout en les protégeant contre les violentes crues.

3. GESTION DES SOLS

REDUCTION DE L'EROSION

Selon l'INRA d'Orléans (2002) lorsque une haie champêtre est située perpendiculairement à la pente, de 30 à 60 cm, l'épaisseur de la couche organo-minérale du sol peut atteindre 1 m sous la haie. Au-delà, en aval, cette épaisseur diminue sensiblement (moins de 30 cm). La haie empêche donc l'érosion du sol, par un effet mécanique de blocage des particules.

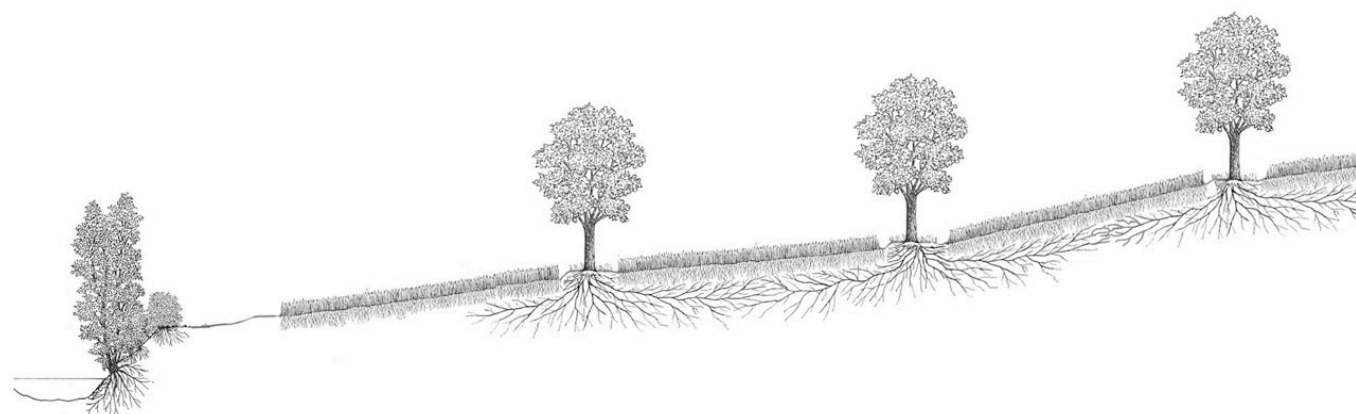


Figure 2 : L'enracinement en profondeur des arbres agroforestiers (Arbre & Paysage 32, dessin : David Dellas)

L'INRA de Montpellier a observé que les arbres agroforestiers s'enracinent plus en profondeur que les arbres en forêt. Cet enracinement caractéristique est favorisé en insérant majoritairement des cultures d'hiver dans les rotations. Puisant les ressources en surface avant le débourrement des arbres, ces derniers sont contraints à plonger dans les horizons profonds pour subvenir à leur besoin. Cette gymnastique leur confère davantage de vigueur végétative et de résistance face aux excès climatiques.

Selon une étude menée par Palma et al. (2005) à Champlitte en France, en comparaison d'une parcelle agricole classique, une parcelle en agroforesterie permet une réduction de l'érosion. Les mesures ont été effectuées sur des parcelles agroforestières de merisiers et noyers, pour une densité de 113 arbres/ha, avec 50% de l'exploitation convertis en agroforesterie.

Une réduction de 80% de l'érosion a été mesurée entre une parcelle classique cultivée sans tenir compte des courbes de niveau (perte de 1,12 tonnes de terre par ha et par an), et une parcelle agroforestière cultivée selon les courbes de niveau (perte de 0,19 tonnes de terre par ha et par an).

Dans le cas où les deux parcelles sont cultivées selon les courbes de niveau, une réduction de 56% de l'érosion a été mesurée entre une parcelle classique (perte de 0,44 tonnes de terre par ha et par an) et une parcelle agroforestière (perte de 0,19 tonnes par ha et par an).

Cette étude montre aussi des résultats équivalents sur des sites expérimentaux en Espagne et aux Pays-Bas.

Dupraz C. (2007) constate qu'en agroforesterie, on observe une limitation du ruissellement par terrassement passif. Sur pente même faible, on observe toujours un terrassement spontané et progressif, résultant des opérations de travail du sol et du déplacement de la terre fine par le ruissellement. Le foisonnement observé sur la ligne des arbres aboutit à la création de talus qui fonctionnent comme des diguettes lors des épisodes de ruissellement. Une disposition en courbes de niveaux est indispensable dans le cas de terrains en pente.

AUGMENTATION DES TAUX DE MATIERE ORGANIQUE

Ayoub (1999) a montré qu'en 1970, d'un point de vue général, 48 % des nutriments utilisés par les cultures provenaient du sol, 13 % des fumiers et 39 % des fertilisants minéraux. En 1990, les pourcentages ont changés : 30 % en provenance du sol, 10 % des fumiers et 60 % des fertilisants minéraux. La projection pour 2020 est de : 21 % en provenance du sol, 9 % des matières organiques et 70 % de fertilisants minéraux.

Selon Dupraz C. (2007), la stimulation des populations de lombrics, la présence d'une couverture herbacée spontanée, (puis) permanente dans la zone non travaillée au pied des arbres, l'enrichissement en matière organique in situ par le turn-over racinaire induisent une amélioration progressive de la fertilité du sol sous les arbres d'une parcelle en agroforesterie. Cette dernière amélioration est très marquée sous des arbres âgés (Moreno et al., 2005). Elle se limite à la zone de forte influence racinaire, qui couvre un rayon de l'ordre de deux fois le diamètre du houppier.

K.-H. Lee and S. Jose (2003) ont comparé un système agroforestier pécan-coton (18,5 m /10,6 m) âgé de 47 ans et une monoculture de coton sur une terre bien drainée et sableuse, au Sud des Etats-Unis, de mai à novembre 2001 :

	Carbone (% , sur les 10 premiers cm)	Azote (% , sur les 10 premiers cm)	Production de litière (kg/ha/an)
Système agroforestier	2,24	0,13	3556
Monoculture de coton	1,49	0,08	1147

	Matière organique	Respiration du sol (moyenne en grammes de carbone/m ₂)	Biomasse des racines fines	Biomasse microbienne
Système agroforestier	3,4 %	721,3	275 g/m ₂	375 mg/C/ha
Monoculture de coton	2%	447,5	85 g/m ₂	163 mg/C/ha

Respiration totale du sol, mesurée sur toute la période (de mai à novembre 2001)

3. GESTION DU CLIMAT

Lutte contre le changement climatique

STOCKAGE DU CARBONE

Selon Montagnini, Nair (2004), le stockage moyen de carbone par les systèmes agroforestiers a été estimé à :

- 9 tonnes de C par ha en zone semi-aride
- 21 tonnes de C par ha en zone sub-humide
- 50 tonnes de C par ha en zone humide
- 63 tonnes de C par ha en zone tempérée

La grande capacité de stockage des systèmes agroforestiers en zone tempérée s'explique par la longueur du cycle de croissance des arbres.

Le rapport de Dixon et al. (1994), qui évalue le potentiel de stockage de l'agroforesterie dans les zones tempérées, établit une fourchette allant de 15 à 198 tonnes de carbone par ha, avec une valeur moyenne de 34 tonnes par ha.

Sharrow et Ismail (2004) ont évalué que le sylvopastoralisme était plus efficace pour le stockage du carbone que les plantations d'arbres ou le pâturage stricto sensu. Ils l'expliquent par le fait que le sylvopastoralisme produit plus de biomasse et recycle plus efficacement les nutriments.

Thevathasan et Gordon (2004) ont mesuré les quantités de carbone dans les arbres et dans le sol sur une parcelle agroforestière avec des peupliers de 13 ans associés aux cultures, à l'université de Guelph, Ontario, Canada, :

	Quantité de carbone par arbre (kg)
Feuilles	11.7
Brindilles	6.3
Petites branches	15
Grosses branches	28
Tronc	54.3
Racines	19.7
Total	135

	Agroforesterie	Culture conventionnelle du maïs
Carbone dans le sol (kg/ha/an)	2400	400 à 600

Selon une étude menée par Palma et al. à Champlitte en France, en comparaison d'une parcelle classique, une parcelle en agroforesterie permet de stocker du carbone. Les mesures ont été effectuées sur des parcelles agroforestières de merisiers et noyers, pour une densité de 113 arbres/ha, avec 50% de l'exploitation convertis en agroforesterie.

Il a été mesuré que, sur 60 ans, les noyers de l'exploitation ont stocké 200 tonnes de carbone par ha, et les merisiers 230 tonnes par ha.

REDUCTION DES EMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE

Thevathasan et Gordon (2004) ont évalué le potentiel de réduction des émissions de protoxyde d'azote d'une parcelle agroforestière (peupliers hybrides à croissance rapide âgés de 8 ans, sur une rotation de maïs, haricot, blé, avec une fertilisation annuelle moyenne de 80kg/ha) :

Facteurs de réduction	Réduction de la fertilisation azotée	Réduction des émissions
-----------------------	--------------------------------------	-------------------------

	(kg/an)	(N2O-N kg/ha)
10 % de la surface non traitée	8	0.1
Cycle de l'azote en agroforesterie	7	0.09
Réduction du lessivage de l'azote	20	0.5
Potentiel total de réduction de N2O		0.69

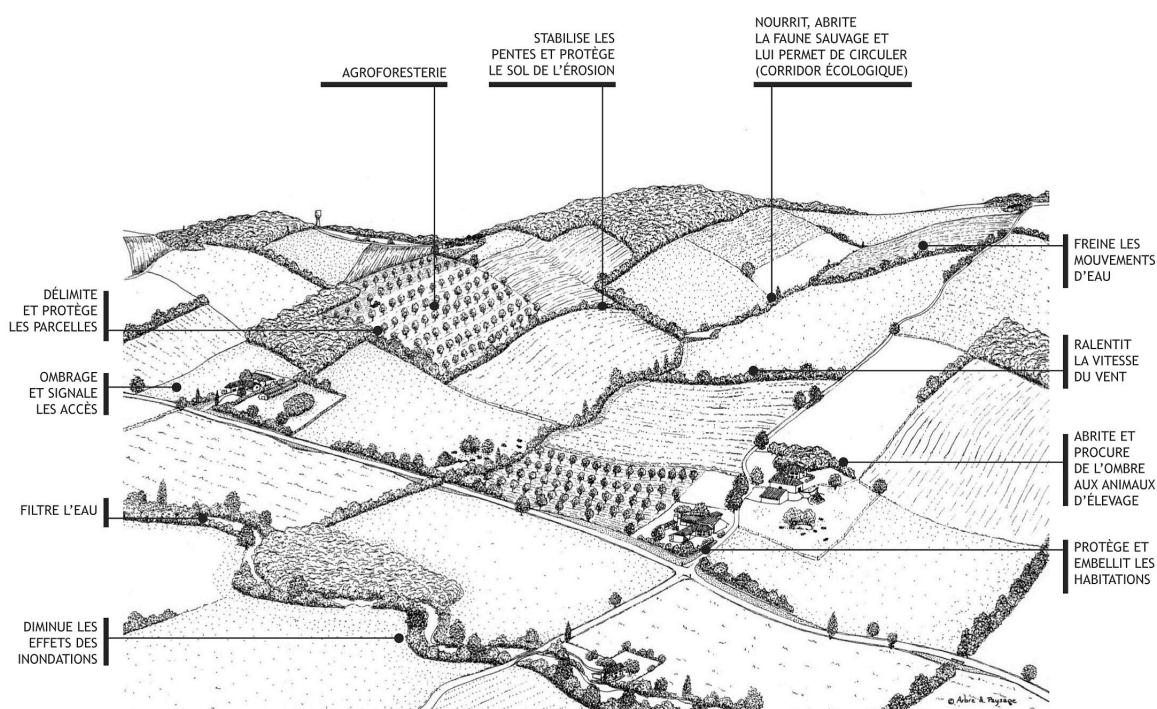


Figure 3 : Aménagement et fonctions des arbres et des haies champêtres (Arbre & Paysage 32, dessin : David Dellas)

Annexes

L'arbre champêtre comme outil d'ingénierie écologique

En s'inspirant des principes de l'écologie, l'ingénierie écologique propose de modifier les systèmes de culture pour utiliser des mécanismes naturels peu coûteux en énergie (Altieri et al., 2005).

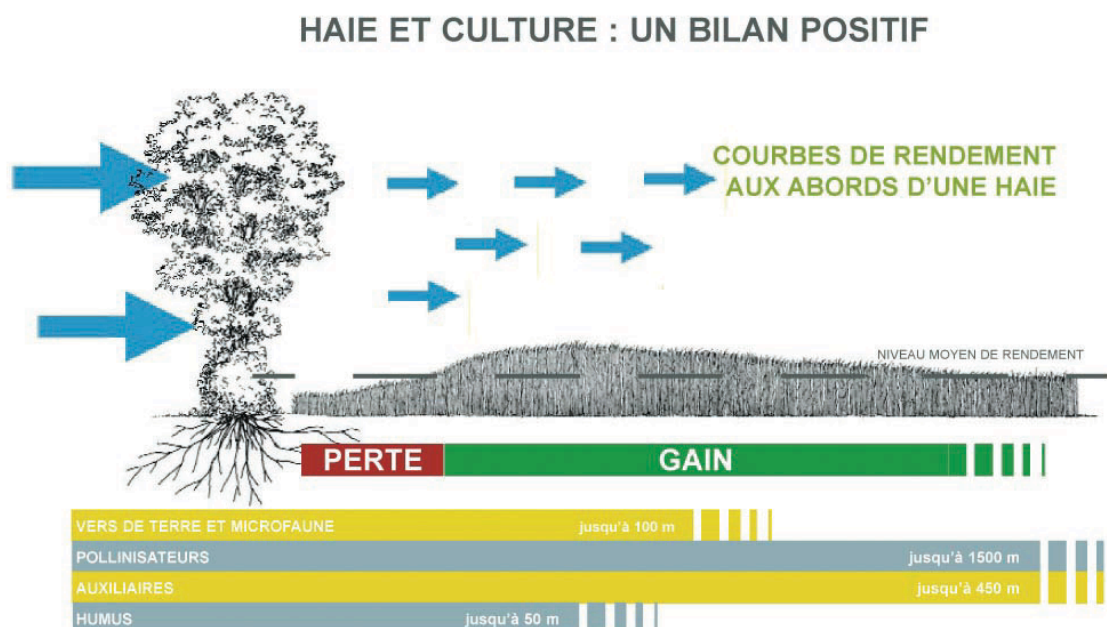


Figure 4 : Les contributions gratuites de la haie à la parcelle agricole (Arbre & Paysage 32, dessin David Dellas)

Les applications les plus visibles concernent notamment la protection des cultures (Gurr et al., 2004) notamment en terme de stratégies de gestion des habitats pour favoriser les auxiliaires² (Dupraz, 2005). Pour protéger les productions agricoles, cette « manipulation douce de l'environnement » (Odum, 1962) consiste à préférer la gestion de processus naturels plutôt qu'artificiels. Il s'agit de considérer la parcelle agricole comme un écosystème cultivé, également appelé agrosystème (Bertrand et Bertrand, 2002). Observant des écosystèmes naturels pour élaborer des systèmes cultivés (Jackson et Piper, 1989, Soule et Piper, 1992), l'ingénierie écologique propose ainsi de favoriser la diversité spécifique, l'hétérogénéité spatiale, la pérennité du couvert végétal, les redondances fonctionnelles, la composante arborée (Dupraz, 2005).

Agroforesterie et efficience de la productivité primaire (C. Dupraz?)

La question d'associer des arbres et des cultures doit répondre à un souci majeur pour l'agriculteur : est-ce que l'association est biologiquement efficace ? Est-ce que l'association est plus productive que l'assolement arbres-cultures ? Plusieurs travaux de recherche depuis les années 80 jusqu'à aujourd'hui permettent de donner des éléments de réponse en s'appuyant notamment sur les résultats du programme européen de recherche SAFE achevé en 2005.

Dans les parcelles expérimentales des équipes de recherche européenne et notamment celles de l'INRA, les résultats concordent : les arbres agroforestiers poussent plus vite et plus régulièrement qu'en condition forestière. Une équipe de l'INRA Dynafor de Toulouse a montré que des noyers agroforestiers de 30 ans produisent 3 fois plus de biomasse foliaire que des noyers forestiers (Gavaland et al, 2005). Ces observations vont dans le même sens de l'équipe de l'UMR System de Montpellier sur des parcelles plus jeunes (Dupraz et al, 2007).

Dans le même temps, la productivité agricole reste élevée. Tant que les arbres sont en formation, leur influence est très faible. Une fois adulte, leur influence sera proportionnelle à l'écartement entre les lignes et la hauteur

² Prédateurs ou parasites naturels des ravageurs des cultures

élaguée (Dupraz et Liagre, 2008). Des études sont en cours pour mesurer l'impact des arbres sur la qualité microbiologique des sols.

Ces mesures de terrain permettent de calculer l'efficacité biologique de l'agroforesterie, caractérisée par la SEA ou Surface Equivalente Assolée (Land Equivalent Ratio en anglais). Il s'agit de la surface nécessaire, en séparant arbres et cultures, pour obtenir la même production qu'un hectare agroforestier. Si la SEA est supérieure à 1, cela signifie que l'association agroforestière est la plus productive (Vandermeer, 1989). En agroforesterie tempérée, la SEA est comprise entre 1,10 et 1,60 (Dupraz et Liagre, 2008) : les parcelles agroforestières produisent jusqu'à 60% de biomasse primaire en plus. Ces performances biologiques s'expliquent par la complémentarité des arbres et des cultures. L'association produit davantage de facilitations que de compétitions pour le partage des ressources en eau, lumière et nutriments. Sous l'influence de l'autre culture, chaque culture associée se crée une nouvelle niche écologique (Vandermeer, 1989 ; Vaast, 2004; Zamora, 2007).

La forte productivité des arbres agroforestiers s'explique par différents facteurs. Outre le fait de bénéficier d'un ensoleillement supérieur, les arbres profitent des cultures. Les enracinements profonds provoqués par la compétition des cultures annuelles d'hiver limitent les stress hydriques occasionnels (Mulia, 2005). L'azote récupéré aux cultures améliore leur métabolisme (Dupraz, 2005). Avec très peu d'arbres à l'hectare, l'agroforesterie est une culture d'arbres espacés, en croissance libre. Cela signifie que la compétition entre arbres est très faible (Dupraz, 2005). Certaines associations sont plus efficaces que d'autres (Eichern, 2006). Le noyer, essence à débourrement très tardif, est particulièrement bien adapté aux cultures d'hiver : lorsque les arbres commencent à former leurs feuilles, la culture est bien en place et oblige l'arbre à s'enraciner en profondeur (Mulia, 2005). Mais on pourrait aussi citer des essences à feuilles de taille réduite comme le cormier ou le poirier sauvage qui permettent de limiter la compétition pour la lumière...

Les meilleurs résultats de SEA sont obtenus avec des densités faibles, de l'ordre de 40 à 60 arbres par hectare soit des écartements entre 25 et 30 m entre les lignes d'arbres (Xiong, 1990, Dupraz, 2005). C'est ce type d'écartement qui était d'ailleurs traditionnellement pratiqué dans les noyeraies agroforestières du Dauphiné (Liagre, 1992).

L'impact des systèmes agroforestiers sur l'environnement résulte de la compétition entre l'arbre et la culture. Les cultures d'hiver induisent un enracinement spécifique des arbres qui a pour effet la création d'un filet racinaire qui peut s'étendre en profondeur sur l'équivalent de toute la surface de la parcelle. (Allen, 2004 ; Dawson, 2001 ; Rowe, 1999) Ce phénomène permet de lutter efficacement contre la lixiviation de l'azote (Whitmore, 2007). Mais les racines ont un effet décompactant (meilleure circulation de l'air et de l'eau) et favorise le stockage de carbone du sol, alimentant du même coup toute la chaîne biologique du sol (Cadish et al, 2004 ; Dougherty, 2007; Duchemin 2007;).

Dans toutes les associations agroforestières, il est recommandé pour des questions de biodiversité et phytosanitaire de varier les essences. Mais le critère de la SEA est difficilement utilisable dans le cas de parcelles agroforestières complexes. On peut notamment citer les agroforêts indonésiennes où on peut compter jusqu'à 300 espèces associées par hectare (Michon, 2007).

AGROFORESTERIE ET ELEVAGE (F. LIAGRE ?)

Les travaux portant sur les effets de l'agroforesterie, et précisément de la présence d'arbres dans des pâturages, sur les performances zootechniques des herbivores domestiques, semblent très rares puisqu'une requête bibliographique très large n'a pu repérer qu'une seule publication internationale. Restrepo-Saenz, Muhammad et al. (2004), comparant les gains et pertes moyens quotidiens de poids, respectivement en saison humide et en saison sèche, de jeunes bovins de mêmes race et âge, répartis en lots dans des prairies différenciant par leur couverture arborée (7%, 14% et 27%), ont ainsi observé que les meilleures performances étaient obtenues aux deux saisons dans les parcelles possédant les plus fortes couvertures arborées. Ils ont attribué ces résultats, outre à une consommation plus forte d'une certaine herbe dans ces parcelles, à une digestibilité significativement plus forte des espèces prairiales de ces mêmes parcelles grâce à un microclimat plus tamponné.

Jusqu'au 19^{ème} siècle, la valeur du chêne se mesurait non pas selon le volume de bois d'œuvre mais en fonction de la glandée produite chaque année. Les éleveurs amenaient leurs cochons pâturer sous les chênes, selon des règles de pâturage très réglementées. Appelée plantade en France, ce système est plus connu sous le nom de Dehesa en Espagne où il couvre près de 3 millions d'hectares. Comme aliment, le gland est pauvre en protéines mais riche en hydrate de carbone, facilement assimilable sous forme de graisse. Le complément alimentaire à base de glands est donc destiné aux animaux ayant déjà formé leur masse musculaire, en vue de leur engraissement. La valeur énergétique des glands est de 0.5 UF par kilo (Ayanz, 1994). A titre d'exemple, le porc ibérique est capable de transformer entre 9 et 13 kilos de glands en kilo de poids vif, avec un rythme de consommation journalière de 8 à 10 kilos. La production moyenne de glands d'un chêne adulte de la Dehesa varie entre 7 et 15 kilos par an (Hernandez, 1998). La qualité de viande produite est excellente du fait de sa pauvre teneur en graisse insaturée et antioxydante. L'alimentation à base de châtaignes et de glands affecte en effet la composition en acides gras des tissus adipeux et des muscles. Chez le porc Ibérique, cette alimentation se traduit par une nette hausse du taux d'acide oléique et une baisse de celle de l'acide stéarique dans les triglycérides des tissus adipeux et musculaires (Flores et al., 1988 ; Cava et al., 1997).

Mais le chêne n'est pas le seul arbre utilisé en sylvopastoralisme. Ainsi, le févier produit des gousses dont la valeur fourragère atteint en moyenne de 1 UF/kg sachant qu'un févier adulte greffé produit entre 30 et 50 kilos en moyenne. La digestibilité des graines est toutefois supérieure à celles des gousses. La matière azotée totale peut atteindre 300 grammes par kilo de MS. Cette productivité est similaire au caroubier, espèce légumineuse de la région méditerranéenne, dont les gousses présentent également une haute valeur nutritive (Bourbouze, 1987). Les valeurs fourragères de ces arbres sont comparables aux valeurs fourragères de l'avoine ou de la luzerne.

En systèmes sylvopastoraux tempérés ou méditerranéens, les arbres fournissent un apport fourrager de haute valeur nutritive, utilisé en période de sécheresse. Mais les arbres fournissent également une ombre aux animaux qui permet d'accroître leur productivité, que ce soit en viande ou en lait (jusqu'à 10 % en climat tempéré). Dans les élevages de volailles, les parcs arborés favorisent la dispersion des animaux sur l'ensemble de la parcelle. Les volailles circulent d'arbre en arbre pour bénéficier de l'ombrage et de la sécurité assurée par le houppier vis-à-vis des rapaces chassant en vol.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allen, S.C. et al., 2004. Safety-net role of tree roots: evidence from a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch)-cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States. *Forest Ecology and Management*, 192(2-3): 395-407.
- Altieri, MA, and Nicholls, CI (2004). Effects of agroforestry systems on the ecology and management of insect pest populations. *In Ecological engineering for pest management - Advances in habitat manipulations for arthropods* (Gurr, GM, Wratten, SD, and Altieri, MA, Eds.): 143-154. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Auclair, D, Barczy, J-F, Borne, F, and Etienne, M (2001). Assessing the visual impact of agroforestry management with landscape design software. *Landscape Research* 26(4), 397-406.
- Auclair, D, and Dupraz, C (1999). Preface. *Agroforestry Systems, Special Issue : Agroforestry for sustainable land-use* 43(1), 1-4.
- Auclair, D, and Dupraz, C (2000). Du sud vers le nord, l'agroforesterie moderne progresse aussi en France métropolitaine. *Bois et Forêts des Tropiques* 266(4), 83-85.
- Ayanz A., (1994), La dehesa española – Origen, tipología, características y gestion. Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Montes – Ed. Fundacion Conde del Valle de Salazar – 96 p.
- Ayoub A.T. (1999), Fertilizers and environment. *Nutr.Cycl. Agroecosyst.* 55 : 117 – 121
- Barloy et al. (1976), Influence des talus boisés sur la culture adjacente en pays de bocage et sous climat atlantique. Table Ronde CNRS « les bocages », Rennes, 7 pages
- Basset, Y, and Burckhardt, D (1992). Abundance, species richness, host utilization and host specificity of insect folivores from a woodland site, with particular reference to host architecture. *Revue suisse de Zoologie* 99(4), 771–791.
- Bertrand J. (2001), Agriculture et biodiversité ,Un partenariat à valoriser. éd. Educagri
- Bockman et al. (1990)¹, Agriculture and fertilizers. Agricultural Group, Norsk Hydro a.s. Oslo, Norway, 245 pp.
- Bourbouze A., Donadieu P. (1987), L'élevage sur parcours en régions méditerranéennes, CIHEAM-IAM, Options Méditerranéennes, Montpellier. - 104 p.
- Brook et al.(1998), Habitat diversification tactic for improving biological control : parasitism of the western grape leafhopper. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 87 : 225 – 235
- Butet A., Paillat G., Delettre Y. (2006). Factors driving small rodent assemblages from field boundaries in agricultural landscapes of western France. *Landscape Ecology* 21(3): 449-461.
- Cadisch, G., Rowe, E., Suprayogo, D. and van Noordwijk, M., 2004. Safety-nets and filter functions of tropical agroforestry systems. In: D.J. Hatch, D.R. Chadwick, S.C. Jarvis and J.A. Roker (Editors), *Controlling Nitrogen Flows and Losses*, pp. 406-414.
- Cava, R., Ruiz, J., López-Bote, C., Martín, L., García, C., Ventanas, J. et Antequera, T. (1997). *Meat Sci.*, 45 : 263-270.
- Chen, C (1990). Integrated management of pine caterpillars in China. Chinese Forestry Publication House, Beijing.
- Connor, EF, and McCoy, ED (1979). The statistics and biology of the species-area relationship. *American Naturalist* 113, 791–833.

- Coulon A., Guillot G., Cosson J.F., Angibault J.M.A., Aulagnier S., Cargnelutti B., Galan M., Hewison A.J.M. (2006). Genetic structure is influenced by landscape features: empirical evidence from a roe deer population. *Molecular Ecology* 15(6): 1669-1679.
- Cousins S.A.O. (2006). Plant species richness in midfield islets and road verges - The effect of landscape fragmentation. *Biological Conservation* 127(4): 500-509.
- Cromartie, WJ (1991). The environmental control of insects using crop diversity. *In* CRC handbook of pest management in agriculture (Pimentel, D, Ed.), Vol. 1: 223-251. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Dawson, L.A., Duff, E.I., Campbell, C.D. and Hirst, D.J., 2001. Depth distribution of cherry (*Prunus Avium* L.) tree roots as influenced by grass root competition. *Plant and Soil*, 231: 11-19.
- Deckers B., De Becker P., Honnay O., Hermy M., Muys B. (2005). Sunken roads as habitats for forest plant species in a dynamic agricultural landscape: effects of age and isolation. *Journal of Biogeography* 32(1): 99-109.
- Dixon R. K. et al. (1994), Integrated systems : assessment of promising agroforest and alternative land-use practices to enhance carbone conservation and sequestration. *Climate Change* 30 : 1-23
- Dougherty, M.C., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Lee, H. and Kort, J., 2007. Nitrate and E. Coli NAR analysis in tile drain effluent from a mixed tree intercrop and monocrop system. *In*: A. Olivier and S. Campeau (Editors), *When Trees and Crops Get Together*. Proceedings of the 10th North American Agroforestry Conference, Québec City, Canada.
- Downs N.C., Racey P.A. (2006). The use by bats of habitat features in mixed farmland in Scotland. *Acta Chiropterologica* 8(1): 169-185.
- Duchemin, M., 2007. Réduction de la pollution diffuse d'origine agricole à l'aide de bandes enherbées et arborées. *In*: A. Olivier and S. Campeau (Editors), *When Trees and Crops Get Together*. Proceedings of the 10th North American Agroforestry Conference, Québec City, Canada.
- Dupraz et al, 2005. Rapport final, Silvoarable Agroforestry For Europe (SAFE), European Research contract QLK5-CT-2001-00560. 254 p.
- Dupraz C., 2005. Entre agronomie et écologie: vers la gestion d'écosystèmes cultivés. *Cahier d'étude DEMETER 2006 - Economie et Stratégies agricoles*, Paris, ISSN 116-2115, pp 73-89.
- Dupraz C., 2007, Agroforesterie : impacts des arbres agroforestiers sur les cycles hydrologiques et biogéochimiques. *Notes de synthèse*
- Dupraz, C. et Liagre F., 2008. *Agroforesterie, des arbres et des cultures*, Editions France Agricole;
- Eichhorn M, Paris P, Herzog F, Incoll L, Liagre F, Mantzanas K, Mayus M, Moreno G, Papanastasis V, Pilbeam D, Pisanelli A and Dupraz C 2006 Silvoarable Systems in Europe : Past, Present and Future Prospects. *Agroforestry Systems* 67, 29-50.
- Flores, J. (1997). *Food Chem.*, 59 : 505-510.
- Frampton G.K. (2002). Long-term impacts of an organophosphate-based regime of pesticides on field and field-edge Collembola communities. *Pest Management Science* 58(10): 991-1001.
- Gabriel D., Roschewitz I., Tschardt T., Thies C. (2006). Beta diversity at different spatial scales: plant communities in organic and conventional agriculture *Ecological Applications* 16(5): 2011-2021.
- Goiti U., Aihartza J.R., Garin I., Zabala J. (2003). Influence of habitat on the foraging behaviour of the Mediterranean horseshoe bat, *Rhinolophus euryale*. *Acta Chiropterologica* 5(1): 75-84.
- Hernandez (1998), Manejo en extensivo del ganado porcino autoctono en España. *Anaporc*, noviembre 98, N°183. pp 74-84.

- Heroldova M., Bryja J., Zejda J., Tkadlec E. (2007). Structure and diversity of small mammal communities in agriculture landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 120(2-4): 206-210.
- Huang, HT, and Yang, P (1987). The ancient cultured Citrus ant, a tropical ant is used to control insect pests in southern China. *Bioscience* 37, 665-671.
- Krauss J., Klein A.-M., Steffan-Dewenter I., Tschardt T. (2004). Effects of habitat area, isolation, and landscape diversity on plant species richness of calcareous grasslands. *Biodiversity and Conservation* 13(8): 1427-1439.
- Langellotto, GA, and Denno, RF (2004). Responses of invertebrate natural enemies to complex-structured habitats: a meta-analytical synthesis. *Oecologia* 139(1), 1-10.
- Lawton, JH (1978). Host-plant influences on insect diversity: the effects of space and time. *In* Diversity of Insect Faunas (N., MLAAW, Ed.): 105-125. Blackwell Scientific Publications Oxford, UK.
- Le Coeur D., Baudry J., Burel F., Thenail C. (2002). Why and how we should study field boundaries biodiversity in an agrarian landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 89: 23-40.
- Liagre F., 1992. Les pratiques de cultures intercalaires dans les noyeraies fruitières du Dauphiné, mémoire de fin d'étude de l'Engref.
- Limpens H.J.G.A., Kapteyn K. (1991). Bats, their behaviour and linear landscape elements. *Myotis* 29: 39-48.
- MacArthur, RH, and Wilson, EO (1967). The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton, NH, 203.
- Marshall E.J.P. (2004). Agricultural landscapes: field margin habitats and their interaction with crop production. *Journal of Crop Improvement* 12(1/2): 365-404.
- Marshall E.J.P. (2005). Field margins in northern Europe: integrating agricultural, environmental and biodiversity functions. . *In* Field boundary habitats: implications for weed, insect and disease management, (Thomas A.G., ed.), Topics in Canadian Weed Science, 1, Canadian Weed Science Society: 39-67.
- Marshall E., J, P., Moonen A., C, (2002). Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture Ecosystems and Environment* 89: 5-21.
- Marshall E.J.P., West T.M., Kleijn D. (2006). Impacts of an agri-environment field margin prescription on the flora and fauna of arable farmland in different landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113(1-4): 36-44.
- Michon G., 2007. Domesticating forest. Editions IRD.
- Mitchell-Jones A.J. (1998). Landscapes for greater horseshoe bats, *Enact, English Nature*, 6: 11-14.
- Montagnini, Nair (2004), Carbon Sequestration : an underexploited environmental benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* n°61 (281-295)
- Moonen A.C., Marshall E.J.P. (2001). The influence of sown margin strips, management and boundary structure on herbaceous field margin vegetation in two neighbouring farms in southern England. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 86(2): 187-202.
- Moreno, G., Obrador, J.J., Cubera, E. and Dupraz, C., 2005. Fine root distribution in Dehesas of Central Western Spain. *Plant and Soil*, 277(1-2): 153-162.
- Motte G., Libois R. (2002). Conservation of the lesser horseshoe bat (*Rhinolophus hipposideros* Bechstein, 1800) (Mammalia : Chiroptera) in Belgium. A case study of feeding habitat requirements. *Belgian Journal of Zoology* 132(1): 49-54.

- Mulia R and Dupraz C 2005 Unusual fine root distributions of two deciduous tree species observed in Southern France: what consequences for root dynamics modelling? *Plant and Soil*, 281 p 71-85
- K.-H. Lee and S. Jose (2003), Soil respiration and microbial biomass in a pecan – cotton alley cropping system in the Southern USA, *Agroforestry Systems* 58 : 45-54
- Naeem, M, Compton, SG, Incoll, LD, Wright, C, and Corry, DT (1997). Responses of aphids to a silvoarable agroforestry landscape. *Agroforestry Forum* 8(3), 18-20.
- Nair, PKR (1991). State of the art of agroforestry systems. *In Agroforestry and Practice*: 5-30. Elsevier.
- Nair, V.D., Nair, P.K.R., Kalmbacher, R.S. and Ezenwa, I.V., 2007. Reducing nutrient loss from farms through silvopastoral practices in coarse-textured soils of Florida, USA. *Ecological Engineering*, 29(2): 192-199.
- Niemala, P, Tahvanainen, J, Sorjonen, J, Hokkanen, T, and Neuvonen, S (1982). The influence of host plant growth from and phenology on the life strategies of Finnish microlepidopterous larvae. *Oikos* 39, 164–170.
- Olkowski, W, and Zhang, A (1998). Habitat management for biological control, examples from China. *In Enhancing Biological Control - Habitat Management to Promote Natural Enemies of Agricultural Pests* (Pickett, CH, and Bugg, RL, Eds.): 255-270. University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London.
- Palma et al, 2005, Assessing the environmental effects of agroforestry at the landscape scale, SAFE FINAL REPORT, WP8 : Up-scaling to the farm and region scale, Submitted to Ecological Engineering
- Peng, RK, Christian, K, and Gibb, K (1999). The effect of colony isolation of the predacious ant, *Oecophylla smaragdina* (F.) (Hymenoptera: Formicidae), on protection of cashew plantations from insect pests. *International Journal of Pest Management* 45(3), 189-194.
- Peng, RK, Incoll, LD, Sutton, S, Wright, LC, and Chadwick, A (1993). Diversity of airborne arthropods in a silvoarable agroforestry system. *Journal of Applied Ecology* 30(3), 551-562.
- Pimentel, D (1961). Species diversity and insect population outbreaks. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 54, 76-86.
- Price G.W. and Gordon A.M., 1999, Spatial and temporal distribution of earthworms in a temperate intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 25 : 111-118
- Rantalainen M.L., Fritze H., Haimi J., Pennanen T., Setälä H. (2005). Species richness and food web structure of soil decomposer community as affected by the size of habitat fragment and habitat corridors. *Global Change Biology* 11(10): 1614-1627.
- Rao, MR, Singh, MP, and Day, R (2000). Insect pest problems in tropical agroforestry systems: contributory factors and strategies for management. *Agroforestry Systems* 50(3), 243-277.
- Restrepo-Saenz, C, Muhammad, I, Harvey, C, Harmand, JM, and Morales, J (2004). Relationships between tree cover in pastures and cattle productivity in livestock farms in the dry tropics, Canas, Costa Rica. *Agroforesteria en las Americas*(41/42), 29-36.
- Risch, SJ (1981). Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polycultures: an experimental test of two hypotheses. *Ecology* 62, 1325-1340.
- Root, RB (1973). Organisation of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecol. Monogr.* 43, 95-124.
- Rowe, E.C., Hairiah, K., Giller, K.E., van Noordwijk, M. and Cadish, G., 1999. Testing the safety-net role of hedgerow tree roots by 15N placement at different soil depths. *Agroforestry systems*, 43: 81-93.
- Russ J.M., Briffa M., Montgomery W.I. (2003). Seasonal patterns in activity and habitat use by bats (*Pipistrellus*

- spp. and *Nyctalus leisleri*) in Northern Ireland, determined using a driven transect. *Journal of Zoology* 259(3): 289-299.
- Ryszkowski, L. and Kedziora, A., 2007. Modification of water flows and nitrogen fluxes by shelterbelts. *Ecological Engineering*, 29(4): 388-400.
- Schroth, G, Krauss, U, Gasparotto, L, Aguilar, J, Duarte, A, and Vohland, K (2000). Pests and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. *Agroforestry Systems* **50**, 199-241.
- Sekiya, N. and Yano, K., 2004. Do pigeon pea and sesbania supply groundwater to intercropped maize through hydraulic lift?--Hydrogen stable isotope investigation of xylem waters. *Field Crops Research*, 86(2-3): 167-173
- Serra-Cobo J., López-Roig M., Marquès-Bonet T., Lahuerta E. (2000). Rivers as possible landmarks in the orientation flight of *Miniopterus schreibersii*. *Acta Theriologica* 45(3): 347-352.
- Sharon S. H. and Ismail S. (2004), Carbon Sequestration Potential in mixed and pure tree plantations in the humid tropics. *J Trop For Sci* 13 : 450-459
- Stamps, WT, and Linit, MJ (1997). Plant diversity and arthropod communities: Implications for temperate agroforestry. *Agroforestry Systems* **39**(1), 73-89.
- Thevathasan, Gordon (2004), Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region : experiences from Southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* n°61 (257-268)
- Udawatta R. P., et al. (2002), Agroforestry practices, runoff, and nutrient loss : a paired watershed comparison. *Environ. Qual.* 31 : 1214 – 1225
- Vaast, P. et al., 2004. Shade: A key factor for coffee sustainability and quality, 20th International Conference on Coffee Science. ASIC, Bangalore, India, pp. 887896.-
- van Elsen T. (2000). Species diversity as a task for organic agriculture in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 77(1/2): 101-109.
- Vandermeer, J.H., 1989. *The Ecology of Intercropping*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Walsh A.L., Harris S. (1996). Foraging habitat preferences of vespertilionid bats in Britain. *Journal of Applied Ecology* 33(3): 508-518.
- Whitmore, A.P. and Schroder, J.J., 2007. Intercropping reduces nitrate leaching from under field crops without loss of yield: A modelling study. *European Journal of Agronomy*, 27(1): 81-88.
- Wright, DH (1983). Species-energy theory: an extension of species-area theory. *Oikos* **41**, 496–506.
- Xiong Yao Guo.1990, [Final Technical Report of Paulownia Project \(Phase II\)](#), l'Académie chinoise en agroforesterie.
- Zamora, D.S., Jose, S. and Napolitano, K., 2007. Competition for nitrogen in a loblolly pine (*Pinus taeda*) - cotton (*Gossypium hirsutum*) alley cropping system in the Southeastern United States. In: A. Olivier and S. Campeau (Editors), *When Trees and Crops Get Together*. Proceedings of the 10th North American Agroforestry Conference, Québec City, Canada.
- Zhang, A, and Olkowski, W (1989). Ageratum cover crop aids Citrus biocontrol in China. *IPM Practitioner* **11**, 8-10.

