

# Effets des arbres d'ombrage sur les bioagresseurs de *Coffea Arabica*

Joseph Aubert Mouen Bedimo<sup>1</sup>  
Bernard P. Dufour<sup>2</sup>  
Christian Cilas<sup>2</sup>  
Jacques Avelino<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Irad  
Centre de Nkolbisson  
BP 2067  
Yaoundé  
Cameroun  
<josephmouen@yahoo.fr>

<sup>2</sup> Cirad  
UPR Bioagresseurs  
Avenue Agropolis  
TA 106/02  
34398 Montpellier  
France  
<bernard.dufour@cirad.fr>  
<christian.cilas@cirad.fr>  
<jacques.avelino@cirad.fr>

<sup>3</sup> CATIE  
DID  
A.P. 7170  
30501  
Turrialba  
Costa Rica

<sup>4</sup> IICA-PROMECAFE  
A.P.55  
2200, Coronado  
San José  
Costa Rica

## Résumé

Le caféier *Coffea Arabica* est une plante ombrophile originaire d'Afrique. Sa culture s'est développée en dehors de sa zone d'origine dans le cadre de systèmes intensifs de type « plein soleil », notamment sur le continent américain ; cependant dans de nombreuses régions, elle est restée associée à des arbres d'ombrage. La culture en plein soleil a permis d'accroître les productions, mais ses exigences en intrants la rendent dépendante de l'agrochimie. Aujourd'hui, la culture du caféier sous ombrage est étudiée en tant que système agro-forestier dans le but d'obtenir une production à la fois durable et respectueuse de l'environnement. L'effet de l'ombrage sur les populations de bioagresseurs a fait l'objet de plusieurs études conduites dans des situations écologiques très diverses. Cette synthèse permet de mettre en relief les effets directs ou indirects de l'ombrage sur le développement des principaux bioagresseurs du caféier. Les arbres d'ombrage peuvent affecter indirectement le développement des bioagresseurs *via* des modifications de la physiologie et de la croissance de la plante hôte, ou *via* la stimulation de l'activité des organismes bénéfiques. Ils peuvent l'affecter directement par des effets barrière ou des modifications du microclimat. On montre ainsi que l'ombrage permet de limiter la dispersion de *Colletotrichum kahawae*, agent causal de l'anthracnose des baies en interceptant les gouttes de pluie. Mais l'introduction de biodiversité végétale dans un système ne l'assure cependant pas d'être plus sain. Les arbres d'ombrage peuvent aussi avoir des effets indésirables. Certaines espèces sont, par exemple, des plantes hôtes des bioagresseurs du caféier, et les mêmes modifications du microclimat défavorables à certains bioagresseurs peuvent en favoriser d'autres. En conclusion, il est montré que les connaissances acquises peuvent être mises à profit pour gérer l'ombrage, dans le but de réduire l'impact des bioagresseurs. Une approche « cortège parasitaire » paraît cependant nécessaire compte tenu des effets antagonistes de l'ombrage.

**Mots clés :** biodiversité ; *Coffea arabica* ; maladies ; ombrage ; ravageurs ; système agroforestier.

**Thèmes :** pathologie ; productions végétales ; ressources naturelles et environnement.

## Abstract

### Effects of shade trees on *Coffea Arabica* pests and diseases

The coffee tree is a shade tolerant plant originating from Africa. Its cultivation however developed mainly apart from its zone of origin, particularly in Latin America, with intensive systems in full sun. With the extension of the zones of cultivation, certain traditional pests and diseases of the coffee tree, such as the coffee berry borer, also colonized new territories while others, such as the agent of the coffee berry disease *Colletotrichum kahawae*, remained on the continent of origin. During the extension of its zone of cultivation, the coffee tree encountered other pests and diseases which were already adapted to the new zones. The cultivation in full sun facilitates high production but requires more inputs, particularly pesticides. Today, the association of the coffee tree with shade trees in agroforestry systems is being studied from the point of view of greater crop and environmental sustainability. This paper presents an overview of the impact of shade trees on several important pests and diseases of the coffee tree. Various mechanisms, such

Pour citer cet article : Mouen Bedimo JA, Dufour BP, Cilas C, Avelino J, 2012. Effets des arbres d'ombrage sur les bioagresseurs de *Coffea Arabica*. *Cah Agric* 21 : 89-97. doi : 10.1684/agr.2012.0550

Tirés à part : C. Cilas

as the barrier effect or the microclimate modification, will be discussed using examples. Lastly, recommendations will be proposed according to the pest and disease existing in the cultivation zones. The use of shade trees is particularly recommended in zones where the coffee berry disease prevails and agroforestry systems are especially recommended for use in these areas.

**Key words:** *Coffea arabica*; diseases; ecological agriculture; epidemiology; pests.

**Subjects:** natural resources and environment; pathology; vegetal productions.

La grande sensibilité des agro-systèmes aux bioagresseurs, comparativement aux écosystèmes naturels, s'explique en premier lieu par une diminution de la diversité végétale, conduisant à des peuplements végétaux génétiquement uniformes. L'agriculture a en effet favorisé les systèmes intensifs en monoculture dans lesquels les cultivars sont souvent plus exposés au développement des maladies et aux pullulations de ravageurs (Burdon & Chilvers 1982 ; Altieri, 1999 ; Malezieux *et al.*, 2009). L'accroissement de la biodiversité apparaît donc aujourd'hui comme l'un des moyens de réduire les risques associés aux bioagresseurs des cultures (Andow, 1991; Altieri, 1999; Tilman *et al.*, 2002; Bianchi *et al.*, 2006; Cheatham *et al.*, 2009; Malezieux *et al.*, 2009; Ratnadass *et al.*, 2012). Ratnadass *et al.* (2012) mentionnent huit voies d'action de la biodiversité végétale sur les bioagresseurs : i) dilution des ressources et phénomènes de diversion chez les insectes ; ii) rupture du cycle dans l'espace par la réduction des densités des plantes hôtes ; iii) rupture du cycle dans le temps *via* la rotation des cultures ; iv) effets allélopathiques *via* la production de substances antibiotiques ; v) réduction des pathogènes des sols dus à l'introduction de matière organique d'origine végétale diverse, riche en micro-organismes bénéfiques ; vi) résistance physiologique *via* une nutrition améliorée par l'introduction de matière organique d'origine végétale (Walters et Bingham, 2007) ; vii) conservation des ennemis naturels des ravageurs et des pathogènes *via* la fourniture d'abris ou d'aliments et stimulation de leur activité ; viii) effets favorables ou défavorables du microclimat sur certains bioagresseurs, liés à l'ombrage fourni par les plantes asso-

ciées. Nombre de ces mécanismes ont été documentés dans les systèmes agroforestiers à base de caféier.

Dans le présent article, nous nous proposons de passer en revue les différents effets produits par les arbres d'ombrage sur le développement de plusieurs bioagresseurs du caféier, en particulier du scolyte des baies, *Hypothenemus hampei* Ferr, des agents pathogènes *Hemileia vastatrix* (Berk. & Broome) et *Mycena citricolor* (Berk. & Curt.), responsables respectivement des maladies de la rouille orangée et de la tache américaine, et des différents nématodes. Le cas de l'antracnose des baies sévissant en Afrique, sera détaillé dans un chapitre spécifique. Ces effets peuvent être défavorables au développement de certains bioagresseurs et, à l'inverse, favorables à d'autres, confirmant que l'introduction de biodiversité végétale dans un système ne l'assure pas d'être plus sain (Ratnadass *et al.*, 2012).

## Les arbres d'ombrage au service de la lutte contre les bioagresseurs du caféier Arabica

Dans son biotope d'origine, le caféier Arabica est une plante ombrophile. Sa domestication dans les nouvelles aires de culture a été effectuée suivant deux principaux modèles :

1) les plantations hautement productives localisées en plein soleil qui nécessitent d'importants moyens de production en termes d'intrants, dont parfois l'eau d'irrigation pour faire

face à d'éventuels dégâts dus à la sécheresse ;

2) les plantations modérément intensives installées sous des arbres d'ombrage des genres *Leucaena*, *Albizzia*, *Acacia*, ou encore *Inga* ou *Erythrina*, qui se rapprochent des conditions écologiques dans l'aire d'origine de *C. arabica*. Le vif intérêt des petits producteurs pour cette culture a souvent entraîné la mise en place de petites caféières n'excédant pas un hectare, conduites sous l'ombrage d'arbres fruitiers divers au sein des exploitations familiales.

### Effets de la diversité végétale

Les espèces végétales associées au caféier en tant que plantes d'ombrage sont parfois choisies en fonction des effets bénéfiques qu'elles apportent au sol : les légumineuses par exemple, pour leur aptitude à fixer l'azote (Beer *et al.*, 1998). La quantité d'azote total dans les couches superficielles du sol est en effet plus élevée lorsque les caféiers sont associés aux légumineuses (Hergoualc'h *et al.*, 2008). Les plantes bénéficiant de bonnes conditions de sol ont évidemment une meilleure croissance. Elles ont notamment la capacité de régénérer plus facilement les organes malades, donnant l'illusion de plantes presque saines. C'est, en fait, un effet de dilution de la maladie qui est lié à l'apparition de nouveaux organes complètement sains. Il s'ensuit une réduction de la proportion d'organes atteints et du taux de croissance apparent de l'épidémie (Ferrandino, 2008). Cet effet peut expliquer la corrélation négative entre l'intensité d'épidémies cryptogamiques du caféier et le nombre de fertilisations

(Avelino *et al.*, 2006 ; Avelino *et al.*, 2007). La richesse en espèces d'arbres d'ombrage dans les caféières a aussi pour conséquence d'augmenter la diversité des espèces animales (Perfecto *et al.*, 1996, Perfecto *et al.*, 2002 ; Perfecto *et al.*, 2003 ; Perfecto *et al.*, 2004 ; Greenberg *et al.*, 1997 ; Philpott & Armbrrecht, 2006 ; Philpott *et al.*, 2008 ; Gordon *et al.*, 2009). Cet enrichissement en espèces et notamment en organismes prédateurs tels que les fourmis, permet de renforcer l'équilibre biologique et contribue à réguler naturellement les populations de scolytes (Philpott & Armbrrecht, 2006). Dans les plantations sous ombrage au Chiapas, Perfecto & Vandermeer (2006) ont estimé à 4 % la réduction des populations d'*H. hampei* liée à la présence de la fourmi prédatrice *Azteca instabilis* (F. Smith) en association mutualiste avec la cochenille verte *Coccus viridis* (Green). Par ailleurs, Armbrrecht & Gallego (2007) et Larsen & Philpott (2010) ont également montré que dans les plantations sous ombrage, d'autres espèces de fourmis, nichant dans le sol ou dans les arbres, jouaient un rôle important dans la prédation d'*H. hampei*. Dans les plantations de Blue Mountain (Jamaïque) Kellermann *et al.* (2008) ont montré l'importance de la diversité des plantes d'ombrage et de la présence de zones forestières dans l'accroissement des populations d'oiseaux ayant également un rôle prédateur sur *H. hampei*. Selon leur étude, l'estomac des différentes espèces d'oiseaux – *Dendroica caerulescens*, *Setophaga ruticilla* et *D. discolor* – contient respectivement 53, 56, 44 % de scolytes. Bien que de nombreux travaux signalent une plus forte abondance des populations d'oiseaux dans les systèmes agroforestiers que dans les cultures en plein soleil, leur rôle sur les populations de ravageurs est rarement pris en compte. De nombreuses plantes associées au caféier peuvent constituer des hôtes alternatifs ou des réservoirs de bioagresseurs à spectre large (Schroth *et al.*, 2000 ; Plantegenest *et al.*, 2007). Par exemple, *M. citricolor* peut attaquer au moins 150 espèces végétales appartenant à 45 familles dont des légumineuses du genre *Inga* communément associées au caféier dans les plantations d'Amérique centrale

(Sequeira, 1958). *Xylella fastidiosa*, agent causal de la maladie dite de la « crespéra » du caféier, peut être hébergé par de nombreuses plantes hôtes, notamment des agrumes (Li *et al.*, 2001) ; l'association caféier-agrume peut donc présenter un risque sanitaire important. Les pathogènes *Corticium salmonicolor* (Berk. & Br.), responsable de la maladie rose, *Corticium koleroga* (Cke) agent causal de la maladie des fils blancs, et les pourridiés dus à *Rosellinia* spp. affectent aussi un grand nombre d'espèces. Certaines d'entre elles sont des espèces forestières qui peuvent être utilisées comme arbres d'ombrage dans certains systèmes rustiques (Benchimol *et al.*, 2001 ; Roux and Coetzee, 2005). Enfin, il convient de préciser que de nombreuses espèces d'arbre ont été identifiées en tant qu'hôtes alternatifs de *H. hampei* (Damon, 2000). Essentiellement localisées dans les fruits de ces hôtes qu'elles utilisent comme refuge, les femelles de ce ravageur cherchent à survivre pendant la période de post-récolte en l'absence de baies de caféier. Cependant leur devenir et leur importance en tant que colonisatrices du caféier ont été peu étudiés.

## Effets de l'ombrage

L'espace dans une plantation étant restreint, les nouvelles essences plantées comme arbres d'ombrage ont souvent pour effet immédiat de diminuer la densité des caféiers. Or, les densités de plantes hôtes jouent un rôle sur le développement des bioagresseurs. Ainsi, les très fortes densités de plantation qui prévalent au Costa Rica coïncident avec d'importants dégâts causés par *M. citricolor* (Avelino *et al.*, 2007). Des effets semblables sont observés avec les nématodes (Avelino *et al.*, 2009) : l'abaissement de la densité impliquant de faibles contacts interraccinaires réduit la diffusion des nématodes (*Meloidogyne exigua* et *Pratylenchus coffea sensu lato*), organismes parasites à mobilité réduite. Une faible densité de caféiers permet également de réduire la dispersion de la pourriture des racines due à *Rosellinia* sp. caractérisée par des foyers circulaires. Le renforcement de l'ombrage au sein des parcelles peut aussi modifier

considérablement le microclimat, en particulier sous la canopée des arbres d'ombrage. La température du sol, de l'air et des organes de la plante subissent moins de variations ; la vitesse du vent et l'intensité lumineuse sont réduites ; l'humidité relative et l'humectation des différents organes des plantes sont plus élevées (Ong *et al.*, 1991 ; Olsantan *et al.*, 1996 ; Beer *et al.*, 1998 ; Staver *et al.*, 2001 ; Avelino *et al.*, 2004 ; DaMatta, 2007 ; Lott *et al.*, 2009). Ces modifications microclimatiques ont des effets sur les divers organismes vivant dans l'agrosystème, les organismes nuisibles, bien sûr, mais aussi les organismes utiles et la plante hôte. Un fort degré d'humidité favorise ainsi le développement de *Beauveria bassiana* (Bals), principale espèce de champignon entomopathogène du scolyte et agent de lutte biologique naturel de première importance, ou encore de *Lecanicillium lecanii*, hyperparasite de la rouille orangée du caféier (Damon, 2000 ; Staver *et al.*, 2001 ; Bustillo, 2005 ; Monzon *et al.*, 2008 ; Sánchez, 2011). Par ailleurs, l'ombrage contribue à la survie des conidies en réduisant leur exposition aux rayonnements solaires (Vélez et Montoya, 1993 ; Arcila *et al.*, 1993). Les modifications du microclimat dues à l'ombrage peuvent aussi affecter indirectement les populations de bioagresseurs et leurs impacts de par les changements qu'elles induisent au niveau de la physiologie des plantes hôtes. C'est le cas pour la rouille orangée dont l'épidémie est plus importante lorsque la charge en fruits des arbres est plus élevée (Avelino *et al.*, 2004 ; Avelino *et al.*, 2006). Un ombrage dense peut donc diminuer l'incidence de la rouille orangée en raison de la diminution du nombre de baies (Cannell, 1985 ; DaMatta, 2004). De façon similaire, l'antracnose des rameaux ou *die-back*, associée à plusieurs champignons du genre *Colletotrichum*, affecte des caféiers avec des charges fruitières excessives et peut être pratiquement éliminée par la mise en place d'un ombrage approprié qui régulera la production (Muller *et al.*, 2004). Les arbres d'ombrage peuvent enfin avoir des effets directs sur les bioagresseurs. En Amérique centrale, l'installation de brise-vent et l'introduction d'arbres d'ombrage entraînent la diminution

du développement de la maladie dite de la brûlure des pointes des rameaux associée à *Phoma costarricensis* (Muller *et al.*, 2004). Le premier effet incriminé est un rôle de protection contre les vents froids ; le second effet serait un rôle de protection contre les dommages mécaniques dus au vent. Les faibles températures et l'existence de points de pénétration dus aux blessures des feuilles et des apex des rameaux, sont en effet deux conditions qui favorisent cette maladie. L'ombrage permet aussi de réduire les attaques de cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke) (Echandi, 1969 ; Staver *et al.*, 2001). D'après Echandi (1969), *C. coffeicola* a besoin de températures élevées pour sa germination (30 °C) et la colonisation des tissus est favorisée quand l'humidité du sol est faible, deux conditions fréquemment rencontrées à pleine exposition solaire que l'ombrage permet de corriger. L'abaissement des températures maximales est sans doute le seul effet direct d'un fort ombrage qui peut limiter naturellement les populations d'*H. hampei*. Comme le montre Giordanengo (1992), les températures maximales, toujours moins élevées sous ombrage qu'en plein soleil, auraient pour effet d'augmenter la durée de développement des scolytes, de réduire le nombre de générations annuelles et par conséquent de limiter l'ampleur des infestations.

La présence d'arbres d'ombrage modifie aussi l'écosystème du sol : en apportant au sol une grande quantité de matière organique, les arbres d'ombrage favorisent le développement de populations bénéfiques dans le sol (Wardle *et al.*, 1995 ; Altieri, 1999), et contribuent ainsi à améliorer le contrôle des bioagresseurs des racines. Cet effet a été suggéré pour expliquer les faibles populations du nématode *M. exigua* dans les sols riches en matière organique des caféières du Costa Rica (Avelino *et al.*, 2009).

Quelques effets négatifs de l'ombrage ont toutefois été rapportés. Par exemple, les forts niveaux d'humidité enregistrés dans des caféières très ombragées sont favorables au développement d'*H. vastatrix* (Avelino *et al.*, 2004 ; Avelino *et al.*, 2006). L'ombrage a, en fait, des effets antagonistes sur la rouille orangée : il la

défavorise en régulant la charge fruitière mais la favorise par les effets du microclimat. Ces effets antagonistes expliquent probablement les résultats contradictoires trouvés dans la littérature (Staver *et al.*, 2001 ; Soto-Pinto *et al.*, 2002 ; Avelino *et al.*, 2006). Il est admis unanimement, par contre, que l'ombrage favorise *M. citricolor* (Avelino *et al.*, 2007), *C. koleroga* et *C. salmonicolor* (Schroth *et al.*, 2000) en raison de l'atmosphère humide qu'il procure. Par ailleurs, malgré les contradictions évoquées par certains auteurs sur le rôle de l'ombrage dans les infestations d'*H. hampei* (Barrera, 1994 ; Staver *et al.*, 2001), la tendance générale est à l'augmentation des populations dans les plantations ombragées lorsqu'elles sont soumises à une faible pression régulatrice d'entomopathogènes et de parasitoïdes. Cette tendance s'expliquerait par la conservation d'un taux d'humidité élevé favorable au développement et à la survie de ce ravageur (Baker *et al.*, 1994 ; Barrera, 1994 ; Bustillo, 2006 ; Bosselmann *et al.*, 2009). Pour lutter contre ces conditions microclimatiques favorables aux scolytes, des pratiques agronomiques appropriées sont appliquées avant la fin de la saison sèche, essentiellement dans les régions tropicales où le climat présente deux saisons bien marquées et où la culture ne comporte qu'une seule récolte annuelle. Les pratiques parfaitement compatibles avec la protection intégrée contre le ravageur, telles que la taille des caféiers et des arbres d'ombrage, l'élimination des mauvaises herbes et le nettoyage des parcelles, contribuent à accentuer la ventilation et l'ensoleillement des plantations (Decazy, 1990 ; Dufour & Decazy, 1997) et à accélérer le dessèchement des baies résiduelles de post-récolte, notamment celles présentes au sol. L'appauvrissement des ressources alimentaires des scolytes entraîne alors un arrêt de la croissance de leurs populations. L'effet de l'ombrage n'est pas très visible sur le développement d'*H. hampei* à l'intérieur des nouvelles baies, durant la saison humide car les ressources alimentaires sont abondantes et les ennemis naturels tels que *B. bassiana* sont plus actifs sous ombrage. Enfin Hargreaves (1926 ; 1935) a montré que *Prorops nasuta* Waterston et *Heterospilus coffeicola* Schmiedknecht, parasitoïdes naturels

du scolyte en Ouganda, semblaient plus actifs sur les populations colonisant des baies exposées au soleil que sur celles vivant sous ombrage. Cette préférence favoriserait donc le développement de populations de scolytes sous ombrage. Quelles solutions doit-on adopter pour minimiser les inconvénients de l'ombrage liés au développement des populations de scolytes et optimiser le rôle des contrôleurs biologiques ? Staver *et al.* (2001) proposent deux options : d'une part, la régulation modérée de l'ombrage réalisée à deux reprises, l'une avant la fin de la saison sèche, l'autre au cours de la saison humide, d'autre part, l'utilisation de plantes d'ombrage ayant un feuillage léger, présentant peu d'exigence en matière de taille. Dans certaines régions de climat plus équatorial caractérisé par une distribution annuelle très étalée des pluies, les fructifications se succèdent pratiquement sans interruption et sont exposées en permanence aux attaques d'*H. hampei* (Arcila *et al.*, 1993). Dans ce cadre, le rôle de l'ombrage dans le développement des populations de scolyte semble négligeable. En Colombie par exemple, la taille des arbres d'ombrage n'est pas une pratique agronomique prise en compte pour la lutte contre *H. hampei* (Bustillo, 2006).

## Cas spécifique de l'antracnose des baies du caféier Arabica

Dans les régions de haute altitude d'Afrique, cette culture est sujette aux attaques très destructrices de l'antracnose des baies ou *Coffee Berry Disease* (CBD), due à *Colletotrichum kabawae* Waller & Bridge *sp. nov.*, qui constitue une contrainte majeure pour la production du caféier Arabica. Trois études épidémiologiques conduites dans des plantations paysannes au Cameroun, ont permis de démontrer l'intérêt de la mise en place d'arbres d'ombrage pour le contrôle de cette maladie (Mouen Bedimo *et al.*, 2007 ; Mouen Bedimo *et al.*, 2008 ; Mouen Bedimo *et al.*, 2010). Elles ont



spécifiquement eu pour objectifs de montrer l'incidence de l'ombrage naturel sur le développement du CBD, le rôle de l'ombrage artificiel, ainsi que l'action prépondérante de la pluie sur le développement et la dispersion du CBD.

## Effet de l'ombrage et de la pluie sur le développement du CBD

L'étude de l'incidence de l'ombrage naturel a été conduite pendant quatre ans à Santa au nord-ouest du pays, dans une parcelle plantée de caféiers vigoureux et productifs, de variété Jamaïque, très sensibles à la maladie, taillés en tige unique écimée. L'ombrage dispensé de manière hétérogène par des arbres fruitiers (manguiers, avocats, kolatiers) a permis de sélectionner dans la même parcelle à la fois 100 caféiers sous ombrage et 100 caféiers exposés en plein soleil.

Les caféiers exposés au soleil sont plus atteints par le CBD que ceux situés sous ombrage (*figure 1*). Cependant, l'écart entre les niveaux d'infection de ces caféiers est très variable d'une

année à l'autre. Au cours des deux dernières années d'observation, le niveau moyen de la maladie sur les caféiers exposés au soleil est largement supérieur à celui des caféiers situés sous ombrage.

L'étude de l'incidence de l'ombrage artificiel a été conduite en 2005 dans une parcelle plantée avec la variété Jamaïque, située à Bafou sur les hauts Plateaux de l'Ouest Cameroun. L'ombrage artificiel est dispensé par une toile d'ombrière filtrant la lumière à 50 % (*figure 2*). Trente-deux caféiers dont 16 sous ombrage et 16 témoins en plein soleil, associés par paire, sont utilisés pour le suivi épidémiologique de la maladie sur le terrain. En parallèle, des baies provenant des caféiers sous ombrage et en plein soleil sont récoltées à différentes dates et inoculées au laboratoire afin de mettre en évidence une éventuelle sensibilité intrinsèque des baies, liée au type d'exposition à laquelle elles ont été soumises avant leur récolte.

Comme précédemment, les caféiers de variété « Jamaïque » exposés au soleil sont plus atteints par le CBD que ceux situés sous ombrage artificiel (*figure 3*). En revanche, les baies de la

même variété, prélevées dans les deux types de sites, avec et sans ombrage, et inoculées artificiellement, ne montrent pas de différence quant à leur taux d'infestation

Le rôle de la pluie a été étudié en 2004 dans une plantation de Bafou (Mouen Bedimo *et al.*, 2010). Trente caféiers de la variété Jamaïque sont individuellement protégés de la pluie avant la floraison principale, à l'aide de bâches transparentes en polyéthylène (*figure 4*). Trente autres situés à proximité immédiate d'un caféier abrité sont choisis comme témoins. Les caféiers intégralement protégés de la pluie présentent un taux d'infection très faible, inférieur à 1 % de baies malades par rapport à celui des témoins sur lesquels environ 45 % de baies malades sont observées (*figure 5*).

## Mécanismes mis en jeu dans la protection des caféiers contre le CBD

Les résultats de ces expériences mettent clairement en évidence l'effet protecteur des arbres d'ombrage contre les épidémies d'antracnose des baies du caféier.

L'ombrage pourrait modifier le rôle de la pluie sur la dispersion des conidies : en interceptant les gouttes de pluie, la canopée des arbres d'ombrage réduit leur vitesse avant qu'elles n'atteignent les caféiers. Lovell *et al.* (2002) ont effectivement constaté que les gouttes de pluie freinées par le feuillage avaient une énergie cinétique insuffisante pour libérer et disperser les conidies. La dispersion de la maladie par « *splashing* » qui implique la libération des conidies situées sur les lésions d'antracnose et leur transport vers les tissus sains (Campbell et Madden, 1990) ne peut en aucune manière se dérouler sur les caféiers très abrités. Ainsi les baies les plus exposées à la contamination sont celles des caféiers situés au soleil, à l'échelle de la parcelle, et celles des branches hautes, à l'échelle de la plante (Mouen Bedimo *et al.*, 2007). Par ailleurs, les conditions microclimatiques dispensées par les plantes d'ombrage contribuent à retarder la maturation des fruits (Vaast *et al.*, 2006) et peuvent provoquer un phénomène d'esquive. Les différents

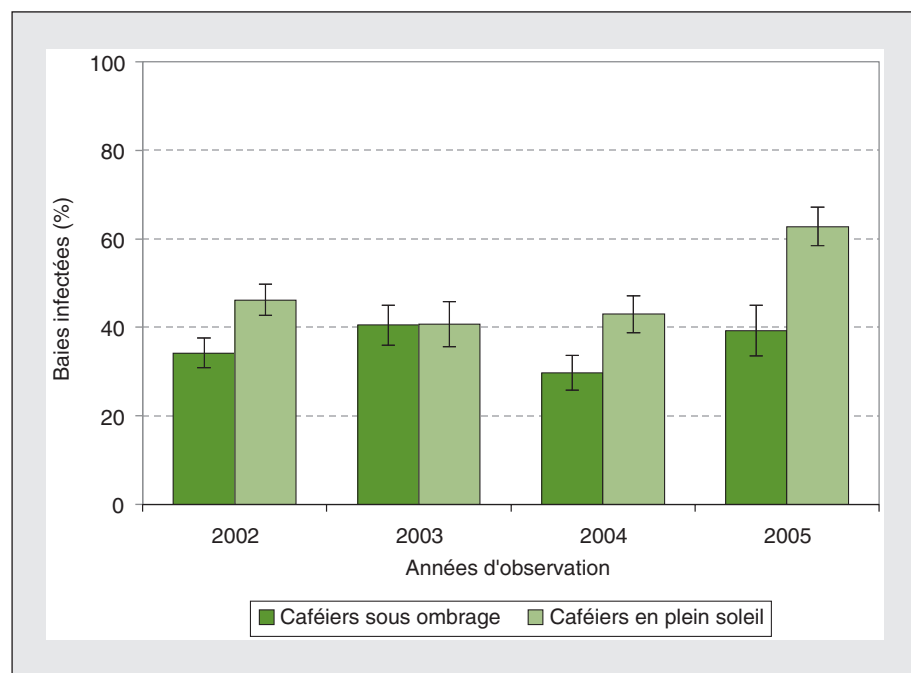


Figure 1. Taux annuel d'infection par le CBD en fonction de l'exposition des caféiers (%).

Figure 1. Annual rate of CBD infection according to the exposure of the coffee-trees (%).

Année par année, les valeurs des histogrammes identifiés par des lettres différentes sont statistiquement significativement différentes.



Figure 2. Cafésiers sous ombrage artificiel (50 %).

Figure 2. Coffee trees under artificial shade (50 %).

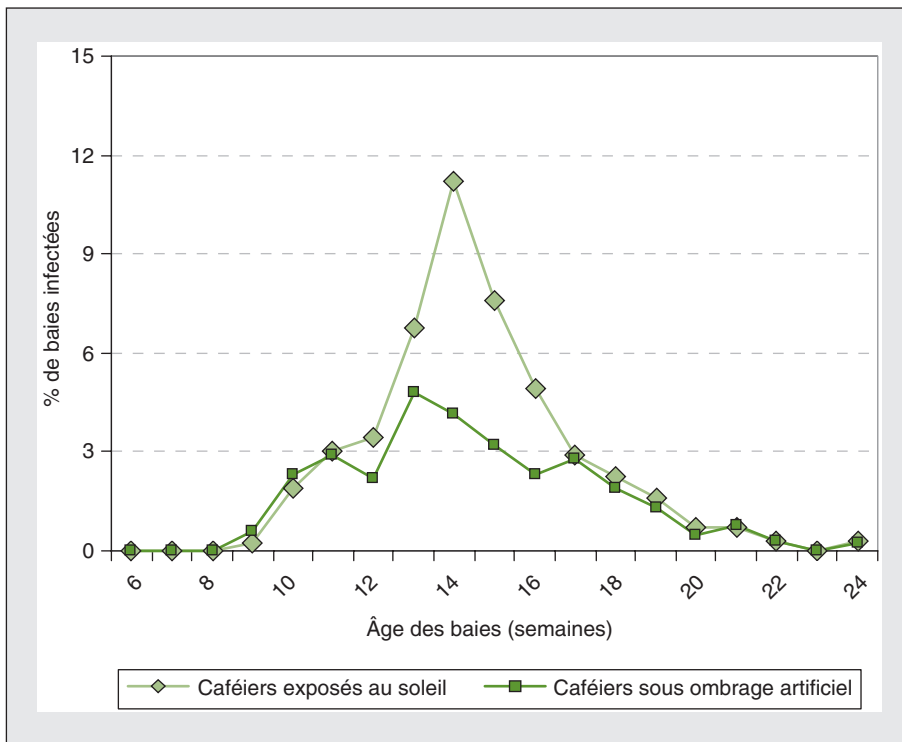


Figure 3. Dynamique temporelle des infections de CBD en fonction de l'exposition des cafésiers.

Figure 3. Temporal dynamics of CBD infections according to the exposure of the coffee-trees.

résultats présentés ici montrent l'effet bénéfique des plantes d'ombrage dans le contrôle de l'antracnose.

## Conclusion

Dans l'ensemble, la diversité végétale associée à la culture du caféier dans le but de produire de l'ombrage, participe à la protection et la fertilisation naturelle des sols, et permet de contribuer durablement à la nutrition des cafésiers. De fait, les cafésiers résistent mieux aux attaques des bioagresseurs. La diversité végétale favorise également l'augmentation des espèces animales dont certaines jouent un rôle dans le parasitisme ou la prédation des bioagresseurs. Le choix des espèces d'arbres constitue sans doute la principale difficulté si l'on veut éviter des associations pouvant présenter des risques sanitaires, notamment avec des espèces reconnues pour être des hôtes alternatifs ou des réservoirs de ravageurs ou de pathogènes.

L'ombrage en tant que tel joue un rôle beaucoup plus complexe que la diversité végétale sur le cortège des bioagresseurs du caféier. On a évoqué le cas de la rouille orangée dont le développement est favorisé par un ombrage dense, générateur de microclimat à tendance humide, mais qui peut être freiné par ses hyperparasites également actifs en milieu humide et par la réduction de la charge fructifère résultant des effets de l'ombrage sur la photosynthèse. On a décrit le cas du scolyte des baies, pour le développement duquel l'ombrage serait globalement favorable mais favoriserait par ailleurs celui des champignons entomopathogènes tels que *B. bassiana* qui comptent parmi les principaux ennemis naturels de ce ravageur.

Dans l'état actuel de nos connaissances, faut-il encourager les planteurs à introduire ou non des arbres d'ombrage dans les plantations de café, avec le seul objectif de contribuer à la lutte contre les bioagresseurs ? Dans le cas de l'antracnose des baies, il est clair que l'ombrage défavorise la maladie. Il convient donc de recommander le développement de systèmes agroforestiers pour la culture du caféier dans les zones où le *C. kahawae* est présent. Il s'agit maintenant de déterminer les espèces à



Figure 4. Cafés protégés de la pluie à l'aide de bâches de plastique transparent.

Figure 4. Coffee trees protected from the rain.

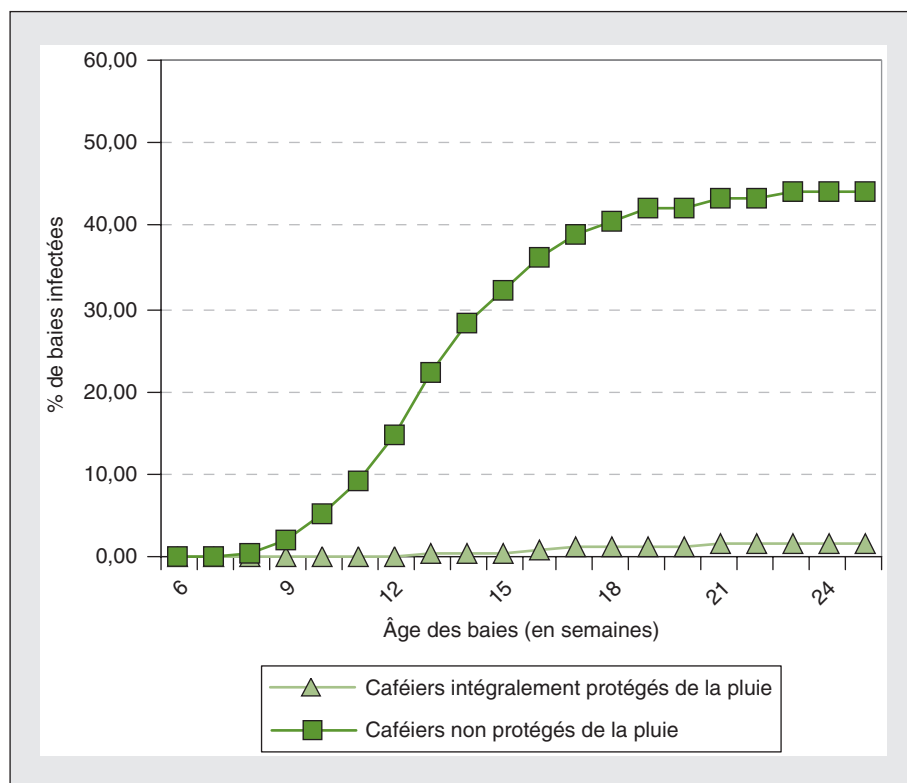


Figure 5. Évolution temporelle des infections en fonction de la protection des cafés contre la pluie.

Figure 5. Temporal evolution of the infections.

associer aux cafés pour obtenir des systèmes performants, c'est-à-dire des systèmes permettant un accroissement des revenus des producteurs et un accroissement des services environnementaux comme la réduction des pesticides.

Dans le cas de la rouille orangée et du scolyte qui sont des bioagresseurs de dissémination mondiale, une gestion régulière de l'ombrage existant est *a priori* une pratique à promouvoir mais qu'il faut accompagner de méthodes de lutte adéquates. Toutefois, dans ce contexte de lutte contre les bioagresseurs, il n'est pas inutile d'encourager les planteurs à introduire des arbres d'ombrage dans des plantations de plein-soleil sachant que cet apport génère d'autres avantages d'ordre écologique pour cette culture (Ratnadass *et al.*, 2012) ainsi qu'une amélioration de la qualité organoleptique du café (Guyot *et al.*, 1996 ; Vaast *et al.*, 2006). Pour le chercheur, il est important de mieux comprendre les effets de l'ombrage en fonction des espèces de bioagresseurs et des conditions agroécologiques rencontrées. La modélisation peut contribuer à expliquer les différences observées entre parcelles ayant des ombrages différents ou l'hétérogénéité rencontrée au sein des parcelles, à l'aide de modèles spatiaux (Babin *et al.*, 2010). La modélisation peut également permettre d'intégrer les effets de l'ombrage pour différents bioagresseurs de façon à rechercher un ombrage optimum pour maîtriser l'ensemble du cortège parasite du caféier dans diverses écologies. ■

### Références

Altieri MA, 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74 : 19-31.

Andow DA, 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36 : 561-86.

Arcila PJ, Jaramillo RA, Baldion RJV, Bustillo PAE, 1993. La floración del café y su relación con el control de la broca. *Avances Técnicos Cenicafe (Colombia)* (193) : 1-6.

Armbrecht I, Gallego MC, 2007. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 124 : 261-7.

Avelino J, Bouvret ME, Salazar L, Cilas C, 2009. Relationships between agro-ecological factors and population densities of *Meloidogyne exigua* and *Pratylenchus coffeae* sensu lato in coffee roots, in Costa Rica. *Applied Soil Ecology* 43 : 95-105.



- Avelino J, Cabut S, Barboza B, Barquero M, Alfaro R, Esquivel C, *et al.*, 2007. Topography and crop management are key factors for the development of American leaf spot epidemics on coffee in Costa Rica. *Phytopathology* 97 : 1532-42.
- Avelino J, Willocquet L, Savary S, 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. *Plant Pathology* 53 : 541-7.
- Avelino J, Zelaya H, Merlo A, Pineda A, Ordóñez M, Savary S, 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological Modelling* 197 : 431-47.
- Babin R, ten Hoopen GM, Cilas C, Enjalric F, Yede M, Gendré P, *et al.*, 2010. Impact of shade on the spatial distribution of *Sahlbergella singularis* in traditional cocoa agroforests. *Agricultural and Forest Entomology* 12 : 69-79.
- Baker PS, Rivas A, Balbuena R, Ley C, Barrera JF, 1994. Abiotic mortality factors of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 71 : 201-9.
- Barrera JF, 1994. *Dynamique des populations du scolyte des fruits du caféier*, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera : Scolytidae) et lutte biologique avec le parasitoïde *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera : Bethyloidea), au Chiapas, Mexique. Mémoire de thèse, université P. Sabatier, Toulouse, France.
- Beer J, Muschler R, Kass D, Somarriba E, 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38 : 139-64.
- Benchimol RL, Poltronieri LS, Trindade DR, Albuquerque FC, 2001. White-thread blight : five new hosts in the state of Para, Brazil. *Fitopatologia Brasileira* 26 : 778.
- Bianchi F, Booij CJH, Tschirntke T, 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes : a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences* 273 : 1715-27.
- Bosselmann AS, Dons K, Oberthur T, Olsen CS, Raebild A, Usma H, 2009. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agriculture Ecosystems and Environment* 129 : 253-60.
- Burdon JJ, Chilvers GA, 1982. Host density as a factor in plant disease ecology. *Annual Review of Phytopathology* 20 : 143-66.
- Bustillo AE, 2005. El papel del control biológico en el manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera : Curculionidae : Scolytinae). *Revista Académica Colombiana de Ciencias* 29 : 55-68.
- Bustillo AE, 2006. Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera ; Curculionidae : Scolytinae), en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 32 : 101-16.
- Campbell CL, Madden LV, 1990. *Introduction to plant disease epidemiology*. New York : Wiley and Sons.
- Cannell MGR, 1985. Physiology of the coffee crop. In : Clifford MN, Wilson K, eds. *Coffee : Botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London : Croom Helm.
- Cheatham MR, Rouse MN, Esker PD, Ignacio S, Pradel W, Raymundo R, *et al.*, 2009. Beyond yield : plant disease in the context of ecosystem services. *Phytopathology* 99 : 1228-36.
- DaMatta FM, 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee : a review. *Field Crops Research* 86 : 99-114.
- DaMatta FM, 2007. Ecophysiology of tropical tree crops : an introduction. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19 : 239-44.
- Damon A, 2000. A review of the biology and control of the coffee berry borer, 1 *Hypothenemus hampei* (Coleoptera : Scolytidae). *Bulletin of Entomological Research* 90 : 453-65.
- Decazy B, 1990. *Le scolyte du fruit du caféier Hypothenemus hampei Ferr. : considérations sur la lutte intégrée contre ce ravageur*. Actes du XIII colloque scientifique international sur le café, Paipa, Colombie, 21-25 août 1989. Paris : ASIC.
- Dufour B, Decazy B, 1997. *Mise place d'une lutte intégrée contre le scolyte des fruits du caféier en Amérique centrale*. Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, 6-8 jan. 1997, Montpellier, France. Paris : ANPP.
- Echandi E, 1969. La casparria de los cafetos causada por el hongo *Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke. *Turrialba* 9 : 54-67.
- Ferrandino FJ, 2008. Effect of crop growth and canopy filtration on the dynamics of plant disease epidemics spread by aerially dispersed spores. *Phytopathology* 98 : 492-503.
- Giordanengo P, 1992. *Biologie, éco-éthologie et dynamique des populations du scolyte des grains de café, Hypothenemus hampei Ferr. (Coleoptera, Scolytidae), en Nouvelle Calédonie*. Mémoire de thèse, université de Rennes.
- Gordon CE, McGill B, Ibarra-Núñez G, Greenberg R, Perfecto I, 2009. Simplification of a coffee foliage-dwelling beetle community under low-shade management. *Basic Applied Ecology* 10 : 246-54.
- Greenberg R, Bichier P, Cruz-Angón A, Reitsma R, 1997. Bird populations in shade and sun coffee plantation in Central Guatemala. *Conservation Biology* 11 : 448-59.
- Guyot B, Manez JC, Perriot JJ, Giron J, Villain L, 1996. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés Arabica. *Plantation Recherche Développement* 3 : 272-80.
- Hargreaves H, 1926. Notes on the coffee berry borer (*Stephanoderes hampei*, Ferr.) in Uganda. *Bulletin of Entomological Research* 16 : 347-54.
- Hargreaves H, 1935. *Stephanoderes hampei* Ferr., coffee berry borer, in Uganda. *East African Agricultural Journal* 1 : 218-24.
- Hergoualc'h K, Skiba U, Harmand JM, Henault C, 2008. Fluxes of greenhouse gases from Andosols under coffee in monoculture or shaded by Inga densiflora in Costa Rica. *Biogeochemistry* 89 : 329-45.
- Kellermann JL, Johnson MD, Stercho AM, Hackett SC, 2008. Ecological and Economic Services Provided by Birds on Jamaican Blue Mountain Coffee Farms. *Conservation Biology* 22 : 1177-85.
- Larsen A, Philpott S, 2010. Twig-nesting ants : the hidden predators of the coffee berry borer in Chiapas, México. *Biotropica* 42 : 342-7.
- Li WB, Pria WD, Teixeira C, Miranda VS, Ayres AJ, Franco CF, *et al.*, 2001. Coffee leaf scorch caused by a strain of *Xylella fastidiosa* from citrus. *Plant Disease* 85 : 501-5.
- Lott JE, Ong CK, Black CR, 2009. Understorey microclimate and crop performance in a *Grevillea robusta*-based agroforestry system in semi-arid Kenya. *Agricultural and Forest Meteorology* 149 : 1140-51.
- Lovell DJ, Parker SR, Van Peteghem P, Webb DA, Welham SJ, 2002. Quantification of raindrop kinetic energy for improved prediction of splash-dispersed pathogens. *Phytopathology* 92 : 497-503.
- Malezieux E, Crozat Y, Dupraz C, Laurans M, Makowski D, Ozier-Lafontaine H, *et al.*, 2009. Mixing plant species in cropping systems : concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29 : 43-62.
- Monzon AJ, Guharay F, Klingen I, 2008. Natural occurrence of *Beauveria bassiana* in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera : Curculionidae) populations in unsprayed coffee fields. *Journal of Invertebrate Pathology* 97 : 134-41.
- Mouen Bedimo JA, Bieysse D, Njiyouom I, Deumeni JP, Cilas C, Notteghem JL, 2007. Effect of cultural practices on the development of Arabica Coffee Berry Disease, caused by *Colletotrichum kahawae*. *European Journal of Plant Pathology* 119 : 391-400.
- Mouen Bedimo JA, Bieysse D, Nyassé JL, Notteghem JL, Cilas C, 2010. Role of rainfall in the development of coffee berry disease in *Coffea arabica* caused by *Colletotrichum kahawae* in Cameroon. *Plant Pathology* 59 : 324-9.
- Mouen Bedimo JA, Njiyouom I, Bieysse D, Nkeng MN, Cilas C, Notteghem JL, 2008. Effect of shade on arabica coffee berry disease development : toward an agroforestry system to reduce disease impact. *Phytopathology* 98 : 1320-5.
- Muller RA, Berry D, Avelino J, Bieysse D, 2004. Coffee diseases. In : Wintgens JN, ed. *Coffee : growing, processing, sustainable production : A guidebook for growers, processors, traders, and researchers*. Weinheim (Allemagne) : Wiley-VCH Verlag.
- Olasantan FO, Ezumah HC, Lucas EO, 1996. Effects of intercropping with maize on the micro-environment, growth and yield of cassava. *Agriculture Ecosystems and Environment* 57 : 149-58.
- Ong CK, Subrahmanyam P, Khan AAH, 1991. The microclimate and productivity of a groundnut millet intercrop during the rainy season. *Agricultural and Forest Meteorology* 56 : 49-66.
- Perfecto I, Vandermeer J, 2002. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape : Ants in coffee plantations in southern Mexico. *Conservation Biology* 16 : 174-82.
- Perfecto I, Vandermeer J, 2006. The effect of an ant-hemipteran mutualism on the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in southern Mexico. *Agriculture Ecosystems and Environment* 117 : 218-21.
- Perfecto I, Rice RA, Greenberg R, Van der Voort ME, 1996. Shade coffee : a disappearing refuge for biodiversity. *Bioscience* 46 : 598-608.
- Perfecto I, Mas A, Dietsh T, Vandermeer J, 2003. Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems : tri-taxa comparison in Southern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 12 : 1239-52.
- Perfecto I, Vandermeer JH, Bautista GL, Nunez GI, Greenberg R, Bichier P, *et al.*, 2004. Greater predation in shaded coffee farms : The role of resident neotropical birds. *Ecology* 85 : 2677-81.
- Philpott SM, Armbricht I, 2006. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. *Ecological Entomology* 31 : 369-77.



- Philpott SM, Arendt WJ, Armbrrecht I, Bichier P, Diestch TV, Gordon C, *et al.*, 2008. Biodiversity loss in Latin American coffee landscapes : review of the evidence on ants, birds and trees. *Conservation Biology* 22 : 1093-105.
- Plantegenest M, Le May C, Fabre F, 2007. Landscape epidemiology of plant diseases. *Journal of the Royal Society Interface* 4 : 963-72.
- Ratnadass A, Fernandes P, Avelino J, Habib R, 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems : a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32 : 273-303. doi : 10.1007/s13593-011r-r0022-4.
- Roux J, Coetzee MPA, 2005. First report of pink disease on native trees in South Africa and phylogenetic placement of *Erythricium salmonicolor* in the homobasidiomycetes. *Plant Disease* 89 : 1158-63.
- Sánchez E, 2011. *Efecto de la sombra y del manejo del café sobre la dinámica poblacional de Hypothenemus hampei Ferrari en frutos nuevos y remanentes en Turrialba*. Memoria de magister scientiae, CATIE, Turrialaba, Costa Rica.
- Schroth G, Krauss U, Gasparotto L, Aguilar JAD, Vohland K, 2000. Pests and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. *Agroforestry Systems* 50 : 199-241.
- Sequeira L, 1958. The host range of *Mycena citricolor* (Berk C Curt) Sacc. *Turrialba* 8 : 136-47.
- Soto-Pinto L, Perfecto I, Caballero-Nieto J, 2002. Shade over coffee : its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 55 37-45.
- Staver C, Guharay F, Monterroso D, Muschler RG, 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems : shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems* 53 : 151-70.
- Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S, 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418 : 671-7.
- Vaast P, Bertrand B, Perriot JJ, Guyot B, Génard M, 2006. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86 : 107-204.
- Vélez PE, Montoya EC, 1993. Supervivencia del hongo *Beauveria Bassiana* bajo radiación solar en condiciones de laboratorio y campo. *Cenicafé* 44 : 111-22.
- Walters DR, Bingham IJ, 2007. Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens : implications for plant disease control. *Annals of Applied Biology* 151 : 307-24.
- Wardle DA, Yeates GW, Watson RN, Nicholson KS, 1995. *The detritus food-web and the diversity of soil fauna as indicators of disturbance regimes in agro-ecosystems*. International Symposium on Soil Biodiversity, E Lansing, Mi, May 03-06. *Plant and Soil* 170 : 35-43. doi : 10.1007/BF02183053.