

Yann Vergriete

**MODERNISATION DE LA CAFÉICULTURE ET BIODIVERSITÉ :
UNE ANALYSE DES PLANTATIONS DE CAFÉ
DU VILLAGE NAHUA DE SAN MIGUEL TZINACAPAN
(ÉTAT DE PUEBLA), AU MEXIQUE.**

Essai présenté pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M. Sc.)
dans le cadre du programme de maîtrise en agroforesterie.
Directeur : Alain Olivier, Département de phytologie.

**Département des sciences du bois et de la forêt
FACULTÉ DE FORESTERIE ET DE GÉOMATIQUE
UNIVERSITÉ LAVAL**

Juillet 2001

Résumé

Les agroforêts traditionnelles sont reconnues pour leur gestion intégrée d'une très haute richesse et d'une très grande diversité en espèces végétales. Elles constituent de plus un milieu complexe qui sert d'habitat, voire de refuge, à une faune variée. Dans la plupart des régions du globe, le mode d'exploitation des agroforêts est toutefois en transformation. Il semble que les tendances à la simplification et à l'intensification de ces systèmes agroforestiers se confirment sous l'influence de facteurs d'ordre économique et politique. C'est apparemment le cas dans la juridiction de San Miguel Tzinacapan, village nahua de la Sierra Norte de Puebla, au Mexique.

Les plantations de café de cette région révèlent une grande variabilité de structure et de composition, allant du modèle complexe traditionnel au modèle moderne et simplifié de production. La présente étude cherche à explorer l'impact des politiques d'intensification de la caféiculture sur la biodiversité dans ces agroécosystèmes. L'objectif est d'identifier, parmi une série de facteurs environnementaux et socio-économiques, ceux qui influencent le plus la richesse végétale de 23 plantations familiales de moins de 1,5 ha appartenant à 13 agriculteurs différents. Un échantillonnage standardisé, une prise de données environnementales et une enquête socio-économique ont été réalisées.

Les résultats obtenus semblent confirmer l'impact négatif de la modernisation des caféières sur la biodiversité végétale. Parmi les facteurs étudiés, les plus fortement liés à la richesse des arbres d'une hauteur de plus de 5 m sont, de façon positive, le degré de fermeture de la canopée et, de façon négative, la densité des plants de café. En ce qui a trait aux plantes d'une hauteur de 1,5 à 5 m, les principaux facteurs liés à leur richesse sont, de façon positive, le pourcentage de plants de café appartenant à la variété traditionnellement employée depuis les débuts de la caféiculture au Mexique et, de façon négative, l'intensité de la force de travail salariée employée pour désherber les caféières, ainsi que l'accès à une source de revenu autre que l'agriculture. Le potentiel de conservation de la biodiversité des caféières paraît donc menacé par les pratiques liées à l'intensification de la production.

Remerciements

Sincères remerciements à Alain Olivier (département de phytologie, Université Laval) pour ses conseils, son soutien et sa patience tout au long de la rédaction de cet essai. La collecte de données sur le terrain a été réalisée dans le cadre d'un projet de recherche financé par le Conseil de Recherche en Sciences Humaines (CRSH) dont Pierre Beaucage (département d'anthropologie, Université de Montréal) était coordonnateur. Merci à Catherine Potvin (département de biologie, Université McGill) pour son rôle de conseillère au sein du même projet, à Don Pablo Osorio (figure 1), notre assistant de recherche local, pour sa contribution considérable sur le terrain et à Susana Cruz Ramírez (Proyecto Sierra de Santa Marta, Xalapa) pour avoir mené à bien l'identification des plantes à l'Instituto de Ecología A.C. de Xalapa. Merci également à Sarah Paule Dale (département de biologie, Université McGill) et à Pierre Legendre (département de biologie, Université de Montréal) pour leurs précieux conseils concernant le traitement statistique des données.



Figure 1. Don Pablo Osorio, assistant de recherche nahua.
(Photo: Yann Vergriete, San Miguel Tzinacapan, Mexique, 1998)

Table des matières

Résumé.....	ii
Remerciements.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures.....	vi
CHAPITRE 1 : CAFÉICULTURE ET BIODIVERSITÉ.....	1
Agroforesterie, agroforêts et caféiculture.....	1
Introduction à la caféiculture.....	2
L’historique de la caféiculture au Mexique.....	5
Les aspects économiques de la caféiculture.....	7
L’importance de la structure végétale des caféières.....	10
Encadré 1. Rappel des concepts de base de la biodiversité.....	11
La diversité des arbres.....	15
La diversité des épiphytes.....	19
La diversité des herbacées.....	20
La diversité des microorganismes.....	23
La diversité des arthropodes.....	25
La diversité des oiseaux.....	32
La diversité des reptiles et des amphibiens.....	37
La diversité des mammifères.....	37
Conclusion.....	40
Références.....	44
CHAPITRE 2 : CAFÉICULTURE ET RICHESSE VÉGÉTALE À SAN MIGUEL TZINACAPAN, AU MEXIQUE.	52
Le cadre historique de San Miguel Tzinacapan.....	52
Modernisation de la caféiculture et richesse végétale : facteurs principaux structurant la richesse végétale de 23 plantations de café du village nahua de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), au Mexique.	58
Résumé.....	58
Introduction.....	59
Objectifs et hypothèses de recherche.....	60
Méthodologie.....	60
Démarche analytique.....	62
Résultats.....	62
Discussion.....	65
Remerciements.....	66
Références.....	66
Annexe 1 : Liste des plantes de plus de 1,5 m de hauteur répertoriées dans les 23 caféières étudiées à San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), au Mexique.	69

Liste des tableaux

Tableau 1. La productivité des grands types de caféières en Colombie.	8
Tableau 2. La dynamique de la composition de la canopée des caféières : nombre d'espèces d'arbre observées dans des caféières actives et abandonnées de Puerto Rico.	17
Tableau 3. Les caractéristiques de la canopée de quelques habitats, au Guatemala.	17
Tableau 4. Les caractéristiques de la canopée de 4 caféières, dans l'État de Veracruz, au Mexique.	18
Tableau 5. La relation entre le rang des caféières et l'ombre observée au sol.	19
Tableau 6. Les caractéristiques de la strate herbacée dans quatre milieux caféicoles.	21
Tableau 7. La richesse de la strate herbacée et le nombre d'individus des principales familles observées dans différents types de plantations de café.	22
Tableau 8. Le nombre d'espèces de macro-coleoptera de caféières ombragées et sans ombrage, au Mexique.	26
Tableau 9. La richesse et la dominance des espèces de Scarabaeidae selon le type d'habitat, au Mexique.	26
Tableau 10. Les caractéristiques des populations de fourmis s'alimentant sur le sol des caféières, au Costa Rica.	28
Tableau 11. Les caractéristiques des populations de fourmis observées sur les caféiers de différents types de plantations, au Costa Rica.	29
Tableau 12. La richesse des arthropodes sur les arbres et les caféiers de différents types de plantations de café.	30
Tableau 13. La structure des communautés d'oiseaux des agroforêts et de la forêt primaire de Sumatra.	33
Tableau 14. L'importance relative des guildes d'oiseaux dans la forêt primaire et les agroforêts de Sumatra.	34
Tableau 15. La richesse en espèces d'oiseaux de divers habitats, au Guatemala.	34
Tableau 16. Le nombre d'espèces de mammifères dans les caféières du Mexique, selon leur mode de locomotion.	38
Tableau 17. Les caractéristiques de la communauté de mammifères selon la complexité du milieu.	38
Tableau 18. Les principaux facteurs corrélés à la richesse des plantes de plus de 5 m de hauteur dans 23 caféières de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), au Mexique.	63
Tableau 19. Les principaux facteurs corrélés à la richesse des plantes de 1,5 à 5 m de hauteur dans 23 caféières de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), au Mexique.	64

Liste des figures

Figure 1. Don Pablo Osorio, assistant de recherche nahua.....	iii
Figure 2. La fructification du caféier.	3
Figure 3. Le contraste entre une caféière moderne sans ombrage (premier plan) et une caféière sous ombrage (second plan).	4
Figure 4. Les cinq grands types de caféières du Mexique.	4
Figure 5. Une caféière sous ombrage monospécifique.	6
Figure 6. Une caféière traditionnelle et la flore variée qui y pousse.....	13
Figure 7. La position géographique de San Miguel Tzinacapan.	53
Figure 8. Un exemple du recul de la forêt dans les zones les plus inaccessibles.....	55
Figure 9. Une rue du village de San Miguel Tzinacapan.....	55
Figure 10. Le retour à une caféiculture traditionnelle.	57
Figure 11. La reconversion des caféières en champs de maïs.	57
Figure 12. La localisation des 23 caféières dans la juridiction de San Miguel Tzinacapan.....	61
Figure 13. La richesse végétale dans 23 caféières de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), au Mexique.	62
Figure 14. Double dispersion de la richesse des plantes de plus de 5 m de hauteur dans 23 caféières de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), au Mexique.....	63
Figure 15. Double dispersion de la richesse des plantes de 1,5 à 5 m de hauteur dans 23 caféières de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), Mexique.....	64

CHAPITRE 1 : CAFÉICULTURE ET BIODIVERSITÉ

Agroforesterie, agroforêts et caféiculture

Sous les tropiques, la population rurale est de plus en plus nombreuse à tirer sa subsistance de surfaces réduites. Les terres encore disponibles à l'expansion de l'agriculture se font rares et se gagnent au prix d'un rythme de déforestation jamais égalé (environ 1 %/an ou 13 millions ha/an dans les pays en développement) (FAO, 1997; 1999). Ainsi, sans guère de possibilité d'accéder à de nouveaux espaces, les agriculteurs se voient contraints à intensifier l'exploitation des sols. La perte de productivité des parcelles agricoles qui s'ensuit repousse les populations plus loin encore aux confins de la pauvreté (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Parallèlement, la perte de forêts conduit à l'appauvrissement de la diversité biologique (Instituto de Recursos Mundiales et al., 1992). Cependant, la présence de systèmes agroforestiers complexes laisse espérer l'existence d'une voie alternative, un compromis entre la conservation de la biodiversité et la production agricole durable.

La gestion de la diversité biologique à des fins alimentaires est une activité transculturelle plus que millénaire (Wiersum, 1997). Si les espèces animales exercent une influence sur l'aménagement de leur environnement, les populations humaines des zones tropicales, elles, ont tôt fait de manipuler délibérément l'espace forestier afin de favoriser la concentration des plantes utiles à proximité de leurs lieux d'habitation. L'expression de cette réorganisation de la diversité végétale se trouve même en plein cœur de la forêt amazonienne (De Jong, 1996; Posey, 1985; 1992; Salick, 1989).

Les agroforêts, ces espaces forestiers aménagés à divers degrés d'intensité pour la production alimentaire, abritent une riche diversité biologique (Nair, 1993; Salafsky, 1994). Tel est le cas par exemple des cultures de cacao pratiquées par les Mayas depuis plusieurs milliers d'années au Mexique (Bergman, 1969, cité dans Perfecto et al., 1996; Gomez-Pompa et Kraus, 1990, cité dans Wiersum, 1997). Ces plantations contiennent encore de nos jours jusqu'à 300 espèces de plantes utiles (Alcorn, 1983, cité dans Moguel et Toledo, 1999). Toutefois, la diversité biologique des agroforêts ne saurait rivaliser avec celle des forêts naturelles (Van Noordwijk et al., 1998).

À l'heure actuelle, le mode d'exploitation des agroforêts de l'essentiel des régions du globe est en transformation. Il semble que sous l'influence de facteurs d'ordre économique et politique, une tendance à l'intensification de la fonction agricole et à la simplification structurale de ces systèmes se confirme (Muschler et Bonnemann, 1997; Perfecto et al., 1996; Taller de Tradición

Oral et Beaucage, 1997). En vue d'augmenter la rentabilité économique des agroécosystèmes, un processus global de réduction de la biodiversité est bel et bien en cours (Paoletti, 1999; Van Noordwijk et al., 1998). Cette tendance réduit de façon importante la proportion, déjà limitée, de refuges pour la biodiversité, et ce particulièrement dans les régions qui ont subi une très forte déforestation (Moguel et Toledo, 1999; Perfecto et al., 1996). Le cas des plantations de café forme sur le chapitre un exemple éloquent de la variabilité des modes de gestion des cultures et de leur impact sur l'environnement.

L'objectif de cet essai est d'explorer, dans un premier temps, au moyen d'une revue bibliographique, les divergences existant entre les différents types de plantations de café, ainsi que les implications qui en découlent en ce qui a trait à la diversité biologique qu'ils hébergent. Dans un deuxième temps, les résultats d'une recherche de terrain portant sur la diversité végétale des plantations de café du village de San Miguel Tzinacapan, au Mexique, seront présentés.

Introduction à la caféiculture

Le caféier (*Coffea arabica*) est un arbuste cultivé dans les milieux tropicaux humides qui, à l'état cultivé, atteint quelque 5 mètres de hauteur, mais est le plus souvent maintenu autour de 2 m de haut pour faciliter son exploitation (Heiser, 1990; Perfecto et al., 1996). Cet arbuste, aux rameaux et aux feuilles opposés, arbore un feuillage lustré d'un vert profond, ainsi que de petites fleurs blanches, dont la corolle soudée en un long tube se termine par cinq lobes étroits, qui apparaissent par groupe à l'aisselle des feuilles (Cambrony, 1989; Robbrecht, 1995). Les fruits rouges (cerises) contiennent deux graines dont l'apparence est bien connue des amateurs du célèbre breuvage que l'on en tire (figure 2). Après la récolte, un procédé de fermentation et de torréfaction est nécessaire afin de développer le parfum et la saveur caractéristiques du café. En l'an 2000, la production mondiale de café était dominée par le Brésil (25 %), la Colombie (10 %), et le Viêt-Nam (9 %), alors que les États-Unis constituaient le principal importateur de café de la planète (24 %) (FAO, 2001).



Figure 2. La fructification du caféier.
Tiré de Robbrecht, 1995.

Une plantation de café est un agroécosystème qui peut être exploité de diverses manières. Le caféier, naturellement adapté aux conditions de luminosité intermédiaires ou tamisées (16000 à 32000 lux, selon Yellapa Reddy, 1992), se cultive sous couvert arboré (système agroforestier), mais également en absence d'arbre (figure 3). Si les plantations prennent traditionnellement place sous la canopée originale de la forêt, il arrive également que leur couverture arborée soit créée de toutes pièces : des arbres sont alors replantés dans des sites défrichés et parfois même cultivés de longue date (Perfecto et al., 1996; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1987; 1997). Parallèlement, on a vu se développer des pratiques modernes de culture, soit une monoculture de café exposée en plein soleil ou une monoculture couverte d'une strate arborée ténue et essentiellement monospécifique (*Inga* spp., par exemple) (Perfecto et al., 1996). Moguel et Toledo (1999) définissent cinq classes de caféières (figure 4). On retrouve d'abord les caféières rustiques qui, sous une canopée forestière intacte, voient la strate arbustive remplacée intégralement par des plants de café. En second lieu viennent les polycultures traditionnelles, considérées comme le stade le plus complexe et le plus diversifié de la caféiculture, où la canopée forestière est manipulée pour favoriser la croissance de certaines espèces et où les strates inférieures sont composées d'une multitude de plantes utiles parmi lesquelles se trouvent les caféiers. On retrouve ensuite les polycultures commerciales, où la canopée originale est remplacée par une strate arborée moins haute, composée de quelques espèces non indigènes, soit à valeur commerciale (le poivrier, *Pimenta dioica*, par exemple) ou servant à la fertilisation du sol (*Erythrina* spp., par exemple). Sous cette canopée simplifiée, vient s'insérer un mélange d'espèces d'intérêt économique, souvent des arbres fruitiers, en plus des caféiers. Les deux derniers types de caféières sont les monocultures avec ou sans ombrage. Cependant, la typologie des plantations de café est plus variée et moins franche que ne le suggère cette classification et dépend également du point de vue particulier des chercheurs qui l'établissent (Bonilla et Somarriba, 2000; Llanderal et Somarriba, 1999; Perfecto et Snelling, 1995).



Figure 3. Le contraste entre une caféière moderne sans ombrage (premier plan) et une caféière sous ombrage (second plan). (Photo: Yann Vergriete, San Miguel Tzinacapan, Mexique, 1998)

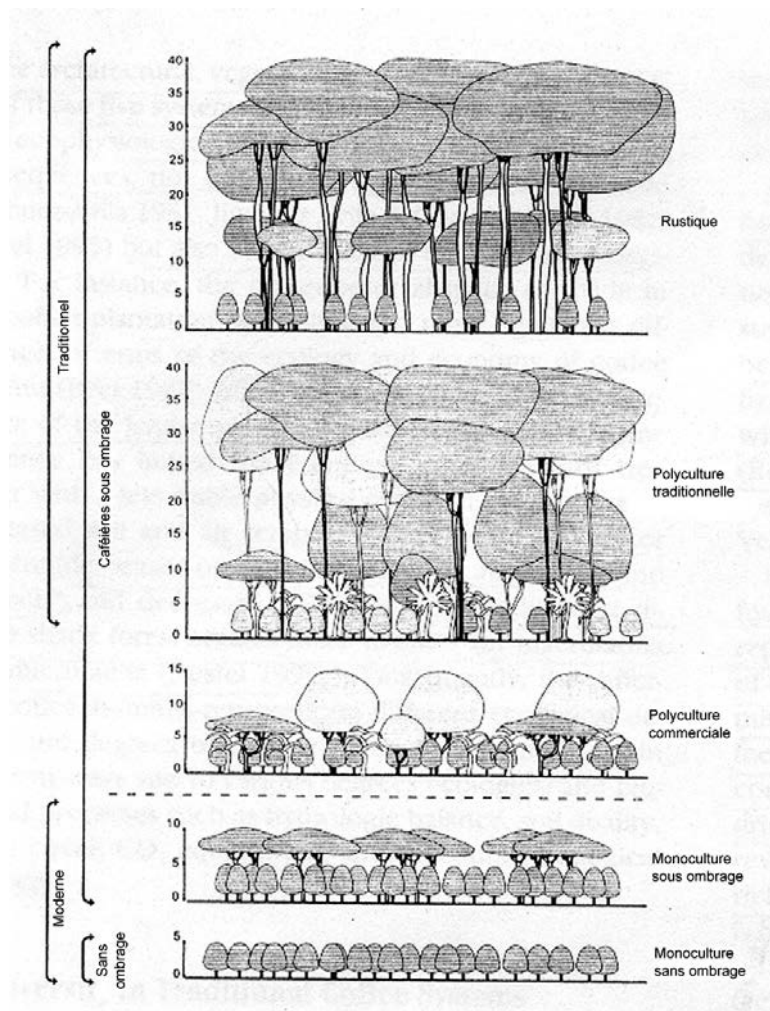


Figure 4. Les cinq grands types de caféières du Mexique. Adapté de Moguel et Toledo, 1999.

L'historique de la caféiculture au Mexique

Le café (*Coffea arabica*) origine des forêts tropicales éthiopiennes, où il se trouve encore à l'état sauvage (et avec sa plus grande diversité génétique) dans les hauts plateaux du sud du pays, ainsi que dans les régions avoisinantes, au Soudan et au Kenya (Heiser, 1990; Orozco-Castillo et al., 1994; Robbrecht, 1995). Deux autres espèces sont également cultivées (*Coffea canephora* et *Coffea liberica*), en raison de leur plus grande résistance aux maladies, mais leur saveur est moins raffinée et elles restent essentiellement confinées à l'Afrique (Robbrecht, 1995). L'Arabie, où le *Coffea arabica* a été implanté il y a 500 ans, en devint le principal producteur durant deux siècles (Heiser, 1990). La culture du café (*Coffea arabica*) fut introduite en Amérique latine, depuis le Yémen en passant par Java, par les Hollandais en 1723 (Orozco-Castillo et al., 1994; Perfecto et al., 1996). L'arbuste fut intégré sous le couvert forestier sans grande modification des pratiques agroforestières traditionnelles (comme celle du cacao) car il s'adaptait merveilleusement bien sous ces conditions (Perfecto et al., 1996). Au Mexique, pays à forte composante indigène, 60 % des 12 millions d'Amérindiens vivent dans les zones montagneuses propices à la caféiculture (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Cette culture s'y est développée après 1860, mais ce n'est qu'au début du XXe siècle que les communautés indigènes commencèrent réellement à l'intégrer à leur système de production traditionnel (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1987; 1997). Auparavant, la caféiculture se limitait aux grandes plantations des Métis où les Amérindiens n'avaient qu'un rôle d'ouvriers agricoles. Dans la plupart des régions, en effet, les Autochtones ont vécu des expropriations massives de leurs terres collectives (reconnues depuis le XVIe siècle) par les propriétaires terriens et les bourgeoisies locales, encouragés par le régime libéral de Porfirio Díaz (1876 à 1910), qui voulaient les mettre à profit (Beaucage, 1995; Mathieu, 1986). Mais dans certaines régions, les conditions socio-politiques ont plutôt conduit à la parcellisation des terres communales (*ejidos*), ce qui a entraîné une division sociale à l'intérieur des communautés et, en conséquence, la dépendance accrue des Autochtones envers les élites régionales métisses qui assumaient les fonctions d'intermédiaires commerciaux et de dirigeants politiques (*caciques*) (Beaucage, 1973; Moguel, 1997; Paré, 1987; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997).

Dès le milieu des années 1950, mais surtout à partir des années 1970, le gouvernement mexicain, alors en pleine crise agricole et financière, a décidé de promouvoir la monoculture du café dans les communautés indigènes afin d'intensifier sa production, source de devises étrangères (Beaucage, 1992; González, 1997; Paré, 1987). La stratégie visait la modernisation des petites exploitations indigènes, c'est-à-dire la transformation des caféières traditionnelles en caféières technifiées, par l'accès à des programmes de formation, à des crédits pour l'achat

d'intrants chimiques et à des variétés à haut rendement (figure 5) (Beaucage, 1992; Beaucage et al., 1982; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). L'INMECAFÉ (Institut Mexicain du Café), l'agence nationale qui devait s'avérer l'instrument de la réforme à partir de 1974, devint le principal acheteur de café à l'échelle du pays (González, 1997; Mathieu, 1986). Grâce à des cours favorables sur les marchés internationaux et à l'émergence d'une multitude d'organisations paysannes à finalité économique (des coopératives, par exemple), qui permettaient entre autres de contourner les intermédiaires commerciaux traditionnels, on assista à une hausse sensible du niveau de vie (Beaucage, 1992; Moguel, 1997; Olvera et al., 1997; Paré, 1987; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). L'existence des organisations paysannes, avec les nouvelles solidarités et les nouveaux clivages qu'elle a suscités, aura eu un impact profond sur la culture identitaire des peuples autochtones (Beaucage, 1995; Moguel, 1997; Olvera et al., 1997; Paré, 1987). Mais à la fin des années 1980, l'État mexicain, vivant une grave crise financière depuis 1982, retira son appui à l'agriculture paysanne, au moment même (entre 1989 et 1994) où les cours du café étaient au plus bas (Beaucage, 1992; González, 1997). Dans cette conjoncture, l'INMECAFÉ fut complètement dissoute (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997).



Figure 5. Une caféière sous ombrage monospécifique.
(Photo: Yann Vergriete, San Miguel Tzinacapan, Mexique, 1998)

La plupart des organisations paysannes succombèrent à la crise et les *caciques* reprirent souvent leur rôle prépondérant dans la vie des campagnes (Moguel, 1997; Olvera et al., 1997). Certaines organisations survécurent néanmoins et continuent, par exemple, à fournir un accès aux engrais et aux conseils d'agronomes. Mais d'autres profitent de la libération économique pour consolider leur assise et même prendre de l'expansion en intégrant de nouveaux espaces (en particulier le café « organique » dont le Mexique serait le premier exportateur mondial)

(Moguel et Toledo, 1999; Villagomez et Vasquez, 1993, cité dans Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Toutefois, si les petits paysans, happés dans l'engrenage de la mondialisation, bénéficient occasionnellement de conditions avantageuses, ils subissent plus souvent les effets dévastateurs des fluctuations internationales des cours du café (Beaucage, 1992; González, 1997; Yamazaki, 1996). Ainsi, les agriculteurs se trouvent confrontés à des contraintes et à des opportunités sans cesse changeantes qui les incitent à réorienter fréquemment leur stratégie d'exploitation de la terre (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Cette nouvelle instabilité ne saurait exister sans apporter son lot de conséquences au plan environnemental.

Les aspects économiques de la caféiculture

Les systèmes de production du café, comme c'est le cas de la plupart des agroforêts, ont perdu beaucoup de leur diversité biologique durant les deux dernières décennies, notamment en Amérique Latine (Muschler et Bonnemann, 1997). C'est une constatation fort simple qui a mené à la recommandation généralisée de moderniser la caféiculture en supprimant les arbres des plantations : lorsqu'une fertilisation y est associée, l'absence d'ombrage sur les variétés nouvelles de caféiers permet d'obtenir des rendements plus élevés que dans les plantations traditionnelles. Le rendement en grains passe, selon Simán (1991, cité dans Perfecto et al., 1996), de 317 kg/ha pour une plantation traditionnelle, à 953 kg/ha pour un niveau intermédiaire de technification, et atteint 1397 kg/ha pour une plantation moderne; selon Gabriel-Gomez (1979, cité dans Ridler, 1983), il passe de 380 à 3420 et 9840 kg/ha dans les conditions susmentionnées (tableau 1). Par contre, toutes les variétés de cafés ne réagissent pas aussi bien à ce traitement intensif. En fait, la production des caféiers de variété traditionnelle « criollo » diminue lorsqu'ils sont cultivés sans ombrage. Cette réduction est de l'ordre de 60 % s'ils sont exposés en plein soleil, quoiqu'elle puisse être ramenée à 20 % par l'usage compensatoire d'engrais (Beer et al., 1998). Cependant, même pour la variété moderne « caturra », la croissance des jeunes plants est significativement plus forte (hauteur, vigueur et poids sec) lorsqu'elle s'effectue sous ombrage (Castellón et al. 2000; Romero et al., 2000). De même, la production des caféiers est plus élevée si un certain ombrage est présent (Baggio et al., 1997; Caramori et al., 1996; Nolasco, 1985, cité dans Nestel et Altieri, 1992). La croissance des plantules s'avère elle aussi très variable selon le type d'amendement employé, mais les fertilisants chimiques peuvent avantageusement être remplacés par certains engrais biologiques (Castellón et al., 2000; Romero et al., 2000). De plus, la proportion de grains de qualité demeure plus faible dans les caféières sans ombrage (Beer, 1987; Weaver et Birdsey, 1986). Une étude récente de Salazar et al. (2000) confirme cette constatation. Les propriétés physiques des

grains (taille, uniformité, rainure, dureté, mais pas la couleur ni l'odeur), ainsi que les qualités organoleptiques (arôme, corps et acidité) de la boisson, ont été améliorées lorsque les caféiers croissaient sous une canopée, particulièrement lorsque celle-ci était relativement dense (60 à 80 % d'ombre), et ce à toutes les altitudes comprises entre 700 et 1300 mètres, pour les deux variétés de café étudiées.

Tableau 1. La productivité des grands types de caféières en Colombie.

	Traditionnel (diversifié)	Semi-ombragé (peu diversifié)	Moderne (sans ombre)
Densité (plants de café/ha)	1000	4400	10000
Main-d'œuvre (jour-Homme/an/ha)	62	375	469
Production en grains verts (kg/ha/an)	380	3420	9840

Adapté de Ridler, 1983.

La modernisation de la caféiculture peut donc, sous certaines conditions, apporter des avantages économiques pour la population rurale; l'exemple du Mexique des années 1980 le démontre bien (Beaucage, 1992). Mais parallèlement à l'amélioration des rendements engendrée par la modernisation des pratiques agricoles, les coûts réels de production augmentent eux aussi. Selon Simán (1991, cité dans Perfecto et al., 1996) il faut compter 1,24 \$US pour produire 1 kg de café « moderne », contre 1,14 \$US pour le café « semi-moderne » et 0,85 \$US pour le café « traditionnel », valeurs qui varient selon les fluctuations des taux sur le marché mondial. Dans des conditions d'instabilité des revenus et d'accès limité au crédit, l'usage d'intrants et d'une main-d'œuvre salariée entraîne un risque financier incontestablement restrictif, pour les paysans caféiculteurs, quant au type de plantation envisageable (Beer, 1987; Perfecto et al., 1996; Ridler, 1983; Simán, 1991, cité dans Perfecto et al., 1996). Le labour annuel nécessaire à l'entretien et à la récolte d'un hectare de café peut en effet dépasser largement les capacités individuelles d'investissement en travail dès que l'on sort du modèle traditionnel (tableau 1). De telles contraintes peuvent également être observées dans les plantations de café dites « organiques », qui n'atteignent en moyenne que 77 % de la production des caféières modernes, alors que l'investissement en travail y est supérieur, à cause de l'importance de la main-d'œuvre requise pour l'apport de l'amendement organique (Lyngbaek et al., 1999). Mais les coûts de production réels attachés à ce type de production paraissent variables. Selon certains auteurs (Akkerman et Van Baar, 1992, et Boyce et al., 1994, cités dans Perfecto et al., 1996) ils seraient significativement plus faibles que pour la caféiculture moderne, tandis que selon d'autres (Lyngbaek et al., 1999) ils seraient du même ordre de grandeur dans les deux cas. En opposition à ces pratiques coûteuses, la caféiculture traditionnelle connaît un coût de production très réduit puisque les intrants et la main-d'œuvre hors récolte sont pour ainsi dire inexistantes, ce qui réduit grandement les risques financiers encourus par les petits paysans (Perfecto et al., 1996).

Dans les plantations traditionnelles, la présence de nombreux produits dont la récolte s'étale tout au long de l'année, ainsi que le ralentissement de la maturation des grains de café, permettent de répartir le travail et le revenu sur une plus longue période, ce qui constitue un avantage considérable pour les paysans les plus pauvres (Beer, 1987; Salazar et al., 2000; Weaver et Birdsey, 1986). Ceux-ci sont aussi moins soumis aux aléas climatiques ou biologiques (on évite par exemple certaines invasions d'insectes) et les ressources naturelles sont mieux préservées (Altieri, 1999; Giller et al., 1997; Vandermeer et al., 1998; Weaver et Birdsey, 1986). Puisque la conservation des sols et de leur fertilité est plus efficace (la biodiversité assurant entre autres la pérennité de nombreuses fonctions biologiques), la production peut être soutenue plus longtemps, d'autant plus que la longévité des caféiers est supérieure dans les plantations traditionnelles (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1987; 1997; Weaver et Birdsey, 1986). Les frais de subsistance (alimentation, plantes médicinales, bois de feu et de construction, etc.) sont également réduits, ce qui limite la dépendance des agriculteurs vis-à-vis du marché (Moguel et Toledo, 1999; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997; Viquez, 1994). Enfin, la valeur de certains produits peut dépasser largement celle du café, dont les taux sur les marchés internationaux restent généralement peu favorables (Perfecto et al., 1996; Yamazaki, 1996). Par exemple, la production de fruits d'un seul avocatier peut valoir 100 jours de travail agricole au salaire minimum (Perfecto et al., 1996). La production de miel est également possible puisqu'on peut retrouver dans une seule plantation de café jusqu'à 90 espèces de plantes pollinisées par les abeilles (Chárazo-Bazañez, 1982, cité dans Moguel et Toledo, 1999). Le revenu potentiel associé à la production de bois de qualité peut lui aussi être élevé alors que les coûts et les contraintes de cette production restent relativement faibles à condition d'éviter les trop fortes densités d'arbres (Baggio et al., 1997; Beer et al., 1998; Somarriba et Beer, 1987; Tavares et al., 1999; Yellapa Reddy, 1992). Cependant, selon Weaver et Birdsey (1986), beaucoup d'arbres ne sont pas propres à l'exploitation commerciale de leur bois, à cause de leur élagage fréquent et du développement de branches basses, voire même de plusieurs troncs.

En définitive, on constate que les différents types de plantation de café que l'on retrouve chez les agriculteurs mexicains sont le reflet d'un certain clivage social. Les plantations diversifiées ayant des canopées bien développées sont caractéristiques des familles les plus pauvres, possédant de petits terrains sur des sols peu fertiles où sont cultivés des produits nécessaires à la famille. L'usage de l'espace et de la lumière y est plus intensif. Les fermiers les plus fortunés, quant à eux, possèdent des plantations d'une structure végétale simplifiée, sur des sites d'une plus grande superficie, dont les sols sont plus fertiles et où l'emploi d'engrais ainsi que d'une

haute intensité de travail sont généralisés (Beer et al., 1998; Bonilla et Somarriba, 2000; Jose et Shanmugaratnam, 1993; Llanderal et Somarriba, 1999; Muschler et Bonnemann, 1997; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997).

L'importance de la structure végétale des caféières

La diversité végétale est souvent considérée comme un indice de la diversité biologique globale des écosystèmes (encadré 1). En effet, elle constitue l'un des éléments qui structurent les communautés animales (Barbour et al., 1987). Les différents habitats semblent fortement conditionnés par les types de végétations et leur composition spécifique, principalement à cause de l'hétérogénéité des structures et des ressources qu'ils offrent (Altieri, 1999; Moguel et Toledo, 1999; Stork et al., 1997; Vandermeer et al., 1998). Les populations humaines influencent toutefois la composition de ces milieux dont elles bénéficient fortement. L'étendue des savoirs indigènes démontre hors de tous doute la multiplicité des usages (y compris les valeurs esthétiques, médicinales et spirituelles) que l'on peut tirer des plantes qui poussent dans les agroforêts (Gillespie et al., 1993; Herzog, 1994; Moguel et Toledo, 1999; Paoletti, 1999; Perfecto et al., 1996; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1987; 1997; Viquez et al., 1994; Weaver et Birdsey, 1986). L'absence de corrélation entre la richesse végétale et l'altitude dans les caféières traditionnelles révélerait elle aussi l'impact majeur des décisions humaines sur la richesse végétale (Moguel et Toledo, 1999). Ainsi, la biodiversité d'agroécosystèmes tels que les agroforêts dépend de la diversité végétale planifiée, et volontairement introduite, qu'ils contiennent; mais elle dépend aussi de la diversité non planifiée, et parfois non récoltée, qui s'y trouve associée, sans oublier la diversité qui est extérieure aux systèmes eux-mêmes. Le milieu forestier avoisinant garde en effet une influence sur la composition en espèces du milieu cultivé par le biais de la distribution de ses semences, en particulier dans les zones frontalières souvent floues qu'il partage avec les agroforêts (figure 6) (Altieri, 1999). Ainsi, sur les 92 à 132 espèces de plantes que comptent les caféières traditionnelles du Mexique, 55 à 82 sont utiles selon les traditions ethnobotaniques (Moguel et Toledo, 1999). Taller de Tradición Oral et Beaucage (1987; 1997) rapportent que 159 des 184 espèces de plante associées aux caféières d'un village mexicain sont utiles aux paysans autochtones. Parmi ces plantes, 18 % seulement sont plantées, 13 % sont sauvages mais entretenues, alors que les autres sont complètement spontanées. De Jong (1995) rapporte pour sa part que parmi les 92 espèces de plantes entretenues associés aux agroforêts d'une communauté villageoise d'Amazonie, seules 47 étaient réellement des espèces domestiquées, les autres étant spontanées et typiquement forestières.

Encadré 1. Rappel des concepts de base de la biodiversité.

Avant de poursuivre cette revue bibliographique sur l'état de la biodiversité dans les plantations de café sous l'influence de la modernisation des modes de gestion de leur espace, il est impératif de rappeler, du moins brièvement, certains grands concepts gravitant autour du terme de biodiversité. Les descriptions qui suivent sont essentiellement inspirées de Barbour et al. (1987), Legendre et Legendre (1998) et Somarriba (1999), qu'il est conseillé de consulter pour plus d'information.

La diversité dite « alpha (α) » représente celle qui est rencontrée au cœur d'un milieu bien défini ou d'une communauté donnée. L'étendue malheureusement très variable de ces unités assez arbitraires que représentent les milieux et les communautés rend la comparaison de la diversité qu'elles contiennent plutôt délicate. La diversité « bêta (β) » symbolise quant à elle la variation constatée dans la composition de deux communautés données. Plusieurs mesures sont utilisées pour caractériser la biodiversité d'un milieu. La richesse (S) concerne la diversité-alpha et se définit par le simple dénombrement taxonomique des espèces présentes au sein de l'espace déterminé. La régularité (J), ou « équitabilité », exprime la distribution des individus dans les différentes espèces répertoriées sur le site. La régularité est maximale lorsque toutes les espèces du milieu sont représentées par un nombre égal d'individus. Cette mesure s'apparente donc à la dominance des espèces. La diversité elle-même est certainement le concept le plus délicat à définir et plusieurs indices servent à la représenter. L'indice de diversité de « Shannon-Wiener (H) » en est certainement l'évaluation la mieux connue et la plus utilisée. Cet indice, qui sert lui aussi à exprimer la diversité alpha, combine la richesse et la régularité afin qu'elles se pondèrent mutuellement. L'indice Shannon-Wiener reprend donc la fréquence relative des espèces et se conçoit comme une mesure de l'incertitude de trouver la même espèce à plusieurs reprises lors de l'échantillonnage aléatoire d'un milieu donné.

L'indice Shannon-Wiener se définit comme suit :

$$H = - \sum_{i=1}^S (p_i) (\ln p_i)$$

où H : indice de diversité de Shannon-Wiener;

S : richesse;

p_i : fréquence relative (fréquence d'une espèce comme pourcentage de la fréquence totale des espèces).

D'autres indices de diversité sont également employés, parmi lesquels plusieurs sont des variantes de l'indice Shannon-Wiener, mais leur distinction ne sera pas entreprise ici. Ils seront plutôt regroupés sous le terme générique de diversité. Les indices de similarité, tout aussi variés, caractérisent quant à eux la diversité-bêta, en comparant essentiellement deux communautés données pour la présence d'espèces communes. Enfin, la complexité structurale d'un milieu décrit le développement des strates verticales dans l'habitat, tandis que l'hétérogénéité (*patchiness*) représente la variation horizontale, dans la physionomie de ce même habitat (Gallina et al., 1996).



*Figure 6. Une caféière traditionnelle et la flore variée qui y pousse.
(Photo: Yann Vergriete, San Miguel Tzinacapan, Mexique, 1998)*

Notons par ailleurs que si une relation claire était établie entre la diversité de l'espace végétal et celle de la faune, il deviendrait techniquement plus aisé de se servir de la première comme indicateur raisonnable de la seconde (Stork et al., 1997). Or, l'étude de la diversité structurale de l'habitat serait vraisemblablement plus significative que celle de la diversité des espèces végétales elle-même (Vandermeer et al., 1998). Parmi les facteurs structuraux, les auteurs font surtout référence au degré de fermeture de la canopée et à la hauteur des arbres (Stork et al., 1997; Thiollay, 1995).

De nombreux avantages sont liés à la gestion du degré d'ombrage dans une plantation de café. La présence d'une strate arborée bien développée crée un microclimat au sein duquel l'étendue des conditions environnementales est modérée, ce qui est plus propice à la survie des espèces vivantes (Beer et al., 1998; Nair, 1993). Les radiations solaires, par exemple, atteignent les strates intermédiaires et inférieures, ainsi que le sol, avec moins d'intensité, ce qui diminue la température des feuilles et, de ce fait, le taux d'évapotranspiration et la déshydratation des plantes (Beer et al., 1998). Les pertes de chaleur sont moins importantes et certains épisodes de froid intense peuvent ainsi être évités, réduisant les dégâts causés à la culture (Baggio et al., 1997; Boivin, 1988; Caramori et al., 1996). La vitesse du vent se trouve également réduite, ce

qui limite la perte d'humidité ambiante en même temps que le stress hydrique subi par les plantes. Ainsi, la présence d'arbres d'ombrage diminue le stress environnemental vécu par les caféiers et maintient pour ceux-ci des conditions de croissance favorables. L'ombrage optimal pour les caféiers serait celui qui correspond à l'interception de 40 et 70 % de l'intensité lumineuse (Beer et al., 1998; Romero et al., 2000; Salazar et al., 2000). Cependant, un couvert arboré trop important peut nuire à la croissance des caféiers à cause d'une compétition supplémentaire pour les ressources, surtout dans des écosystèmes relativement secs (Beer et al., 1998).

Les arbres d'ombrage et leur diversité permettent aussi un meilleur maintien de la fertilité du sol, ce qui stabilise la production (Altieri, 1999; Sánchez et al., 1997). Ainsi, la disponibilité d'azote pour les plantes est plus grande lorsqu'une canopée couvre la strate des caféiers, alors que les pertes de cet élément par lessivage sont réduites (Babbar et Zak, 1994; 1995). C'est d'ailleurs sur les sols pauvres que la présence d'une couverture arborée s'avère la plus utile (Amoah et al., 1997; Beer et al., 1998). Les arbres assurent le maintien d'une plus haute teneur en matière organique dans le sol à travers la production de litière et le renouvellement des racines (Beer et al., 1998; Vandermeer et al., 1998). Ils ont aussi l'avantage de stocker une partie du CO₂ atmosphérique (Sánchez et al., 1997; Schroeder, 1994). Certaines caractéristiques liées à la qualité du sol sont également influencées par la présence d'une strate arborée, telles que son aération, sa capacité d'infiltration d'eau, etc. (Giller et al., 1997; Nair, 1993; Sánchez et al., 1997; Vandermeer et al., 1998). L'impact de la pluie, qui occasionne une érosion substantielle, est lui aussi modéré grâce à l'interception des gouttes d'eau par la canopée et par la litière accumulée au niveau du sol (Beer, 1987; Beer et al., 1998; Rice, 1990, cité dans Perfecto et al., 1996; Sánchez et al., 1997; Weaver et Birdsey, 1986). Par contre, l'érosion peut être accrue en l'absence de strates intermédiaires ou lorsque la couverture du sol est insuffisante, car les gouttes d'eau canalisées par les feuilles des arbres de la canopée atteignent alors le sol avec une énergie cinétique supérieure à celle des gouttes plus petites et percutent le sol sans entrave (Plamondon, 1998; Tavares et al., 1999; Young, 1995). Enfin, la fixation de l'azote atmosphérique par les arbres de la famille des légumineuses peut avoir un impact important sur la fertilité du sol. Cependant, selon Beer et al. (1998), l'importance accordée à cette fonction est souvent surévaluée considérant la grande production de matière organique d'espèces ne faisant pas partie de cette famille. Cet élément rappelle une fois de plus que la composition idéale de la strate arborée est beaucoup fonction des objectifs particuliers de la production et des contraintes imposées par le milieu (Vandermeer et al., 1998; Weaver et Birdsey, 1986).

Hormis les inconvénients soulignés précédemment, d'autres inconvénients inhérents à la présence d'une strate arborée dans les caféières existent, particulièrement lorsque celle-ci arbore une diversité réduite. La présence d'arbres d'ombrage limite en effet la disponibilité des radiations lumineuses dans les strates inférieures et entre ainsi en compétition avec les caféiers (Beer et al., 1998). La perte de production subie par les caféiers pourrait d'ailleurs ne pas être compensée par le gain de croissance des arbres si leur utilité n'est autre que de produire de l'ombre (ce qui est rarement le cas). La compétition entre les espèces peut aussi concerner l'accès aux éléments nutritifs du sol (Beer, 1987; Sánchez et al., 1997). Mais dans la plupart des cas, la présence d'une canopée diversifiée parvient à réduire les effets négatifs envisageables. Ainsi, la variété des caractéristiques des arbres permet à la végétation d'accéder à des sources alternatives d'eau et d'éléments minéraux; et c'est d'ailleurs autour de cette complémentarité d'accès aux ressources que tourne le principe même de l'agroforesterie (Beer, 1987; Cannell et al., 1996). Fort est donc de constater, une fois de plus, la complexité des agroforêts et l'éventail de leurs types de gestion possibles.

La diversité des arbres

La diversité des arbres que l'on retrouve dans les plantations de café varie beaucoup selon le type de caféière. Dans leur revue bibliographique, Moguel et Toledo (1999) font référence à des études qui ont dénombré entre 13 et 58 espèces d'arbres par plantation dans les caféières sous ombrage au Mexique. Les plantations traditionnelles, sur l'ensemble de la côte pacifique mexicaine, ont en moyenne 22,9 arbres par caféière, sans compter les arbustes (Nuñez, 1987 et Rendón et Turrubiarte, 1985, cités dans Moguel et Toledo, 1999). Sur la côte du golfe du Mexique, par contre, les plantations sous ombrage accueillent 31,7 espèces d'arbres en moyenne, ce qui semble démontrer l'influence des zones géographiques sur la richesse des caféières (Márquez et al., 1976 et Molino, 1986, cités dans Moguel et Toledo, 1999). En fait, il n'est pas rare de voir des plantations traditionnelles, même créées hors des forêts et dont la canopée est complètement reconstituée, comprendre plus de 40 espèces d'arbres (Perfecto et al., 1996). Espinoza (1985, cité dans Beer et al., 1998) rapporte aussi l'existence de caféières comprenant plus de 50 espèces d'arbres. Une enquête à long terme de Taller de Tradición Oral et Beaucage (1987; 1997) a relevé 81 espèces d'arbres associés aux caféières d'un village mexicain de la Sierra Norte de Puebla. Nair (1993), quant à lui, mentionne la présence de 28 espèces de plantes ligneuses dans les jardins de case du sud-est mexicain, dont les caféières seraient une forme d'extension (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Dans tous les cas, les arbres des plantations de café sont d'une utilité reconnue par les paysans autochtones (ils procurent des aliments, du bois de feu et de construction, du matériel pour l'artisanat et

l'ornement, etc.) (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Márquez et al. (1976, cité dans Moguel et Toledo, 1999) ont par exemple dénombré 90 espèces d'arbres utiles sur un échantillon de 10 caféières traditionnelles dans la zone du golfe de Mexico.

Les études portant sur les plantations de café du continent africain montrent elles aussi des différences importantes, d'une plantation à l'autre, en ce qui a trait à leur biodiversité. Herzog (1994) a dénombré 41 espèces d'arbres d'ombrage dans les plantations de deux villages en Côte d'Ivoire; la richesse y varie entre 4 et 14 espèces par hectare de caféière. Teketay et Tegineh (1991) ont répertorié, pour leur part, 17 espèces d'arbres d'ombrage dans le cadre de leur étude dans l'est de l'Éthiopie. Enfin, Fernandes et al. (1983) ont relevé 39 espèces ligneuses en moyenne au sein des jardins de case en Tanzanie. Les données de ces différentes études restent en réalité difficilement comparables car les méthodes d'échantillonnage ainsi que la taille des parcelles agroforestières analysées sont loin d'être identiques (Legendre et Legendre, 1998). Par exemple, si la richesse des arbres était seulement de 7 à 9 espèces dans l'étude de Gillespie et al. (1993), c'est peut-être parce que l'échantillonnage ne s'est réalisé que sur un unique transect de 4 m de largeur par 30 m de longueur. Afin de caractériser avec plus de justesse les variations de diversité des arbres et arbustes observés dans différents types de caféières, il faudrait donc des études qui produisent elles-mêmes ce genre de comparaison.

Un premier exemple d'une telle démarche est le travail de Weaver et Birdsey (1986), qui porte sur la diversité végétale des plantations de café actives et abandonnées sur le territoire de Puerto Rico. Cette étude illustre bien le mécanisme naturel de succession végétale en œuvre dans les plantations abandonnées, ainsi que les différences qui existent entre ces plantations et celles qui sont toujours actives (tableau 2). Les résultats obtenus indiquent une plus grande richesse d'arbres, en moyenne, dans les plantations abandonnées de longue date (54 espèces). L'indice de diversité Shannon-Wiener (H) est aussi plus élevé dans les plantations abandonnées que dans les caféières actives, mais semble peu influencé par la durée de l'abandon.

Tableau 2. La dynamique de la composition de la canopée des caféières : nombre d'espèces d'arbre observées dans des caféières actives et abandonnées de Puerto Rico.

	Caféières actives	Caféières abandonnées 0-30 ans	Caféières abandonnées >30 ans
Richesse (S)			
Caféiers et arbres d'ombrage	9	9	7
Arbres fruitiers	10	9	7
Arbres d'abattage	13	16	19
Autres arbres	12	28	29
Richesse totale (S)	44	62	62
Richesse moyenne (S)	31	47	54
Diversité (H)	2,85	4,77	4,68

Adapté de Weaver et Birdsey, 1986.

En ce qui a trait à la dynamique des populations, les espèces fruitières tendent à disparaître progressivement au profit d'arbres de plus grande taille, comme c'est le cas dans les systèmes de jachère améliorée (De Jong, 1996). Les plantations de café abandonnées auraient même un important rôle à jouer dans la régénération de la forêt portoricaine, les forêts naturelles restant rarissimes à la suite de la déforestation (Perfecto et al., 1996). La richesse végétale observable dans les caféières actives est pour sa part, selon Weaver et Birdsey (1986), le fruit de la sélection d'espèces utiles opérée par les paysans, de même que de l'élimination, volontaire ou non, des jeunes pousses d'arbres lors du désherbage, traditionnellement réalisé de façon manuelle, puis à l'aide de machettes (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Le dépouillement de la canopée des plantations modernes peut aussi être aggravé par l'utilisation d'herbicides.

L'étude de Greenberg et al. (1997), au Guatemala, est plus détaillée. Ceux-ci ont déterminé plusieurs caractéristiques de la canopée de quelques types de plantations de café et d'autres écosystèmes (tableau 3).

Tableau 3. Les caractéristiques de la canopée de quelques habitats, au Guatemala.

	Richesse (S)	Densité (arbres/ha)	Ombrage (%)	Dominance (%)**
Friches (<i>matorral</i>)	2,2 (1,9)*	33 (28)	nd	nd
Monocultures de café	2,8 (1,5)	66 (33)	7 (7)	55 (37)
Caféiers sous <i>Gliricidia</i> sp.	3,7 (2,2)	245 (82)	35 (14)	83 (17)
Caféiers sous <i>Inga</i> sp.	3,8 (1,7)	153 (71)	50 (18)	60 (6)
Agroforêt traditionnelle	9,5 (4,4)	144 (51)	68,8 (13)	nd
Forêt	18,2 (17,8)	267 (103)	78,7 (19)	nd

Adapté de Greenberg et al., 1997.

* L'écart-type est présenté entre parenthèses.

** Nombre d'*Inga* sp. ou de *Gliricidia* sp. par rapport au nombre d'arbres total.

nd = donnée non disponible

Le tableau 3 met en évidence un gradient de richesse végétale partant des terrains en friche (2,2 espèces) jusqu'aux forêts résiduelles (18,2 espèces). La richesse végétale des monocultures de café y paraît très limitée, alors que celle de l'agroforêt traditionnelle étudiée est

relativement importante (9,5 espèces). La densité des arbres varie énormément; elle est presque aussi forte dans les plantations sous *Gliricidia* (245 arbres/ha) que dans les forêts (267 arbres/ha), mais l'ombrage qu'elles projettent y demeure fort peu prononcé en comparaison (35 % vs 78,7 %) et le milieu présente une faible hétérogénéité (Greenberg et al., 1997). En fait, la diversité est assez réduite, non seulement dans les monocultures de café sans ombrage, mais aussi dans les plantations avec canopées fortement dominées par l'*Inga* sp. et le *Gliricidia* sp. (tableau 3).

Gallina et al. (1996) ont quant à eux analysé quatre plantations de café présentant différents types d'ombrage (tableau 4). Si la tendance à l'accroissement en termes de richesse, de diversité et d'équitabilité est claire entre les transects A à D, celle-ci est plus incertaine pour la complexité (les valeurs basses représentent un score élevé), ainsi que pour l'hétérogénéité. En effet, le transect B, pourtant bien diversifié, arbore les résultats les plus faibles. En réalité, certains autres facteurs, dont les caractéristiques de la strate herbacée (tableau 7), affectent les valeurs obtenues. Il faut donc prendre garde à accorder une importance trop grande à la seule composition des strates arborées comme déterminant de la structure du milieu.

Tableau 4. Les caractéristiques de la canopée de 4 caféières, dans l'État de Veracruz, au Mexique.

	Transect A	Transect B	Transect C	Transect D
Richesse (S)	1,6	2,2	2,4	2,4
Équitabilité (<i>modified Hill's ratio</i> , E)	0,4	0,6	0,7	0,7
Diversité (<i>Simpson Index</i> , N ₂)	1,4	2,3	3,7	4,8
Complexité	0,36	0,58	0,30	0,07
Hétérogénéité	0,53	0,36	0,68	0,79

Adapté de Gallina et al., 1996.

Transect A = monoculture de café; Transect B = canopée dominé par le bananier; Transects C et D = canopée comprenant plusieurs espèces et plusieurs strates dominées par les *Inga* spp.

L'approche de Perfecto et Snelling (1995) est différente puisqu'ils ont déterminé un gradient de diversité structurale à priori, ce qui leur a permis de définir cinq types de plantations de café. Le rang 1 a été attribué aux monocultures de café (sans ombre) dont les plants étaient immatures ou massivement élagués. Le rang 2 représentait les monocultures matures ou dont la plantation étaient élaguée de façon non homogène. Le rang 3 était accordé aux plantations détenant une seule espèce d'arbre d'ombrage et où l'élagage des caféiers n'était pas régulier. Le rang 4 rassemblait quant à lui les caféières comprenant 2 à 4 espèces d'arbres d'ombrage et où chaque caféier était élagué individuellement, selon les besoins. Le rang 5, pour sa part, regroupait les plantations agroforestières jouissant de plus de 4 espèces d'arbres d'ombrage (les caféiers y étaient élagués au besoin). Le Tableau 5 résume le lien qui a été observé entre la richesse de la canopée et l'intensité de la couverture arborée.

Tableau 5. La relation entre le rang des caféières et l'ombre observée au sol.

	Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4	Rang 5
Richesse de la canopée (S)	0	0	1	2 à 4	>4
Ombre portée au sol (%)	31,5 (24-39)*	92 (92)	85 (82-88)	97 (97)	98,75 (98-99)

Adapté de Perfecto et Snelling, 1995.

* Le tableau présente la moyenne suivie de l'étendue, entre parenthèses.

La classification arbitraire s'harmonise plutôt bien avec les données recueillies sur la densité de l'ombrage au sol. De façon générale, on observe un lien entre la richesse de la canopée et son degré de fermeture. La très forte densité du feuillage des caféiers de la caféière du rang 2 a cependant entraîné une valeur très élevée pour cette catégorie (Perfecto et Snelling, 1995). Les données concernant l'ombre portée au niveau du sol ne permettent donc pas d'extrapoler adéquatement sur la complexité structurale du milieu, car la présence même des caféiers influence fortement les résultats. Pourtant, le rapport entre la richesse végétale de la canopée et l'interception lumineuse est généralement flagrant (Gillespie et al., 1993).

La diversité des épiphytes

La diversité structurale au sein de la canopée, et en particulier la présence de grands arbres, permet de supporter une vaste diversité d'épiphytes (Orchidaceae, Bromeliaceae, mousses et lichens, par exemple), ainsi que des plantes parasites (Perfecto et al., 1996). Trois exemples sont rapportés dans la revue bibliographique de Moguel et Toledo (1999). Un premier auteur (William-Linera et al., 1995) a répertorié 25 espèces d'orchidées se développant dans la canopée de deux sites de caféiculture sous ombrage. Un second auteur (Márquez et al., 1976) a identifié 90 espèces d'épiphytes dans dix sites caféicoles répartis dans la zone montagneuse de la côte du golfe du Mexique. La troisième référence (Valdivia, 1977) indique que 153 espèces d'épiphytes ont été observées sur seulement 45 espèces d'arbres en forêt tropicale, ce qui, sachant que de tels arbres sont présents dans les plantations traditionnelles, laisse à penser que celles-ci pourraient jouer un rôle très important dans la préservation de certaines populations d'épiphytes. Ainsi, selon Nir (1988, cité dans Perfecto et al., 1996), beaucoup d'Orchidaceae rares ont survécu à la déforestation qui a sévi à Puerto Rico grâce à leur présence dans les plantations de café.

Le temps nécessaire à la propagation et à la croissance des épiphytes est très élevé. Si l'on supprime la strate arborée ou si l'on ne laisse que quelques espèces d'arbres à croissance rapide et à durée de vie relativement brève (y compris les variétés modernes de caféiers), la présence d'épiphytes devient extrêmement réduite (observations personnelles, 1998). La présence d'épiphytes est donc liée au type de plantation de café, mais elle dépend également

de l'entretien effectué par les caféiculteurs. En effet, suivant les conseils des agronomes, les paysans ont tendance à enlever la mousse et les épiphytes qui poussent sur le tronc des caféiers. Selon les dires des paysans caféiculteurs, ces plantes étouffent les caféiers ou du moins leur causent préjudice (communication personnelle, 1998). L'absence de cette flore singulière dans les plantations modernes a un impact sur certaines populations animales (en éliminant des habitats et des ressources alimentaires) et prive les humains de certains produits à valeur esthétique, médicinale ou commerciale (Mathieu, 1986; Perfecto et al., 1996; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1987; 1997).

La diversité des herbacées

La densité de l'ombre des plantations limite le développement des populations d'herbacées (De Silva et Tisdell, 1990; Nestel et Altieri, 1992; Straver, 1999). Selon Nestel et Dickschen (1990), leur biomasse est 6 à 7 fois plus importante, en début de la saison de croissance, dans les plantations sans ombrage comparativement aux caféières possédant un couvert arboré. La biomasse des herbacées y demeure deux fois plus élevée à la fin de la saison des pluies (Nestel et Altieri, 1992). Selon Gallina et al. (1996), la biomasse des herbacées est en moyenne 3,5 fois plus importante dans les monocultures de café que dans les caféières sous ombrage (tableau 6). La réduction de la biomasse des herbacées due à la présence d'une strate arborée pourrait permettre d'allouer les ressources en lumière, en eau et en éléments minéraux, autrement soustraites par les herbacées, à une production plus utile, notamment celle des caféiers (De Silva et Tisdell, 1990; Nestel et Altieri, 1992). Cependant, Chacon et Gliessman (1982) soutiennent qu'en s'accaparant les ressources, la strate herbacée conserve les éléments nutritifs non puisés par les cultures, ce qui réduit leur lessivage. De plus, la strate herbacée protège le sol de l'érosion hydrique et favorise l'accumulation de matière organique, tout en améliorant le microclimat au niveau du sol.

Quoi qu'il en soit, il paraît plus aisé de contrôler la prolifération des mauvaises herbes en milieu ombragé. La littérature mentionne effectivement le lien qui existe entre le degré de technification des plantations et l'intensité du travail de désherbage, ainsi que les coûts qui y sont associés, assumés par les caféiculteurs. Les plus faibles fréquences de désherbage sont corrélées aux plus hauts degrés de fermeture de la canopée ainsi qu'aux niveaux d'ombrage les plus élevés (De Jong, 1996; De Silva et Tisdell, 1990; Nestel et Altieri, 1992; Nolasco, 1985 cité dans Nestel et Altieri, 1992; Straver, 1999). Tel que rapporté par Bonilla et Somarriba (2000), il existe donc une relation inverse entre la diversité des arbres d'ombrage et l'intensité du travail, elle-même fortement déterminée par la nécessité de désherber. Or, contrairement à ce que l'on observe

dans les plantations modernes, les plantations traditionnelles connaissent souvent des périodes durant lesquelles elles ne sont pas désherbées, par exemple lorsque les prix du café sont trop bas (Perfecto et al., 1996; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Ces épisodes contribuent d'ailleurs à l'accroissement de leur richesse végétale générale (Perfecto et al., 1996).

Les tendances quant à la composition de la strate herbacée sont néanmoins difficiles à cerner dans les conditions réelles sur le terrain. Elles paraissent plutôt suivre des voies incongrues, si l'on se réfère à l'étude de Gallina et al. (1996) (tableau 6). La diversité de la strate herbacée n'est pas, de toute évidence, une fonction inverse de la diversité de la canopée ou de la densité de l'ombrage, quoi que puissent laisser entendre les données du tableau 7 (Nestel et Altieri, 1992). Étrangement, la diversité des herbacées (1,5) et l'équitabilité entre les espèces (0,4) sont plus faibles dans la plantation dont la strate arborée est dominée par les bananiers (*Musa spp.*) que dans la plantation moderne, qui présente un indice de diversité de 5,8 et une équitabilité de 0,7 (tableau 6). Cette dernière représente même en la matière un milieu plus diversifié que les deux caféières possédant une canopée polyspécifique.

Tableau 6. Les caractéristiques de la strate herbacée dans quatre milieux caféicoles.

	Transect A	Transect B	Transect C	Transect D
Biomasse (g/m ²)	292,6 (34,3)*	70,1 (42,5)	110,6 (53,6)	70,6 (43,2)
Diversité (1/ <i>Simpson index</i>)	5,8	1,5	3,2	4,5
Équitabilité (<i>modified Hill's ratio</i> , E)	0,7	0,4	0,6	0,7

Adapté de Gallina et al., 1996.

* L'écart-type est présenté entre parenthèses.

Transect A = monoculture de café; Transect B = canopée dominé par le bananier; Transects C et D = canopée comprenant plusieurs espèces et plusieurs strates dominées par les *Inga spp.*

L'effet de la qualité de l'ombrage sur la composition de la strate herbacée a été étudié avec précision par Nestel et Altieri (1992). Quoique les résultats de l'analyse de variance ne soient guère concluants, les auteurs considèrent que la strate herbacée, dans les plantations sans ombre, est dominée par la famille des Compositae, tandis que dans celles qui sont sous ombrage, les Commelinaceae dominant (tableau 7). Les caractéristiques physiologiques des familles d'herbacées, en réaction à l'interception lumineuse, semblent en être la cause. Sous les conditions lumineuses observables dans les caféières modernes (longueurs d'ondes et quantité de radiations), la germination des Compositae est favorisée, tandis que la germination des Commelinaceae est facilitée dans les conditions ombragées. L'allopédie constitue un second facteur en mesure d'expliquer la variation dans la composition de la strate herbacée. En effet, les *Inga spp.* et les *Musa spp.*, ainsi que d'autres espèces, auraient un effet inhibiteur sur la germination et l'élongation des racines de plusieurs mauvaises herbes (Anaya et al., 1982, cité dans Nestel et Altieri, 1992; De Silva et Tisdell, 1990; Straver, 1999). Cette conséquence paraît

plus marquée pour les Compositae et les Gramineae, ce qui favoriserait l'établissement d'une population de Commelinaceae dominante dans les caféières avec ombrage. Les connaissances traditionnelles des paysans considèrent d'ailleurs les Compositae comme une famille fortement envahissante et compétitive vis-à-vis des cultures (Nestel et Altieri, 1992). Beer et al. (1998) confirment que l'ombrage limite la prolifération des mauvaises herbes et modifie la composition de la strate herbacée vers des espèces moins envahissantes, ce qui réduit le désherbage nécessaire et les coûts qui lui sont associés. La structure des plantations traditionnelles procurerait par conséquent un avantage certain en limitant la place qu'occupent les herbacées les plus envahissantes, bien qu'aucune preuve quant à l'influence d'une composition mono ou polyspécifique de la canopée n'ait été rapportée (Nestel et Altieri, 1992).

Tableau 7. La richesse de la strate herbacée et le nombre d'individus des principales familles observées dans différents types de plantations de café.

	Témoin (sans ombre ni café)	Monoculture (sans ombre)	Ombrage simple (<i>Inga</i> spp.)	Ombrage complexe (<i>Inga</i> spp., <i>Musa</i> spp. et <i>Citrus</i> spp.)
Richesse (S)	12	14	10	9
Abondance (N)				
Compositae	50,3 a (15,4)*	26,7 ab (5,9)	4,3 b (1,8)	15,3 ab (2,4)
Gramineae	7,7 b (2,3)	29,0 a (5,0)	20,3 ab (2,3)	17,3 ab (1,2)
Commelinaceae	3,3 c (0,8)	14,7 b (4,4)	26,7 a (0,8)	28,0 a (2,6)
Autres	25,3	13,6	9,0	8,7

Adapté de Nestel et Altieri, 1992.

* L'erreur-type est présentée entre parenthèses.

abc Les valeurs d'une même ligne suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de $P < 0,05$ (*non-parametric one-way Anova*).

Les plantes herbacées sont souvent perçues comme des mauvaises herbes, sans distinction concernant les différentes familles et les différentes espèces qui composent ce grand ensemble. Or, la diversité de la strate herbacée peut représenter un intérêt pour certaines populations humaines dont les savoirs botaniques et agricoles traditionnels sont bien développés (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1987; 1997). Chacon et Gliessman (1982) rapportent par exemple que les fermiers mayas considèrent certaines espèces présentes dans les friches comme étant bénéfiques et les conservent donc, tandis qu'ils en éliminent d'autres. Les herbacées sont reconnues par eux pour leurs propriétés alimentaires ou médicinales (nocives dans certains cas), mais également pour leur rôle écologique. Leur compétitivité envers les plantes vivrières, ainsi que leur impact sur les conditions du sol, sont parfois décrites avec une précision surprenante. La gestion de l'ombrage, selon son effet sur les herbacées, est donc un aspect important de la gestion des plantations de café.

La diversité des microorganismes

La réduction de la densité de l'ombrage résultant du processus de modernisation de la caféiculture devait, selon les dires de divers agronomes, libérer les producteurs de la crainte persistante de plusieurs maladies fongiques néfastes au rendement de la culture (en particulier la rouille des feuilles) (Agrios, 1982, cité dans Perfecto et al., 1996). La baisse du niveau d'humidité ambiante semble effectivement réduire le taux de germination des champignons et leur capacité d'infestation, mais l'effet de l'ombre sur l'incidence des maladies est en réalité fort variable (Beer et al., 1998; Samayoa et Sánchez, 2000?). Ainsi, Samayoa et Sánchez (2000) ont démontré que l'incidence et la sévérité des infestations de *Cercospora coffeicola* étaient plus fortes dans les plantations modernes en raison d'un plus faible ombrage. Cependant, la même étude a démontré que l'incidence et la sévérité des infestations de *Mycena citricolor*, quoique peu sévères, étaient plus fortes dans les plantations organiques à cause de la densité supérieure de l'ombrage. Castellón et al. (2000) ont pour leur part évalué que l'incidence du *Cercospora coffeicola*, ainsi que la défoliation qui en découle sur les jeunes plants, étaient plus importantes sous conditions ombragées dans les milieux de haute altitude (1300 m), mais que cette différence n'était plus significative à basse altitude (600 m). En définitive, ce seraient donc les variations de climat dues à l'altitude, ainsi que les différents types d'amendements apportés, qui auraient l'influence la plus déterminante sur l'influence de cette maladie, et non la présence d'ombrage elle-même.

Les informations disponibles sur les réactions des microorganismes aux transformations survenues dans les caféières sont peu claires en raison de leur complexité. Selon Giller et al. (1997), l'intensification des cultures est associée à un remplacement progressif des fonctions écosystémiques des microorganismes par un contrôle chimique et mécanique. Pourtant aucun lien d'ordre causal entre la diversité des microorganismes du sol et le maintien de sa fertilité n'a été vraiment établi. Il est par contre évident que les pratiques agricoles sont en mesure d'affecter les formes de vie résidant dans le sol et par conséquent les fonctions biologiques qu'elles opèrent, même si une certaine redondance des fonctions des microorganismes ne les rend vraisemblablement pas tous indispensables (Giller et al., 1997; Paoletti, 1999; Vandermeer et al., 1998). Alors que l'intensification agricole entraîne la réduction de la diversité et de la complexité spatiale et temporelle des composantes végétales propres aux agroécosystèmes, il n'est pas sûr que cela réduise pour autant la diversité des microorganismes du sol. Pourtant, Moguel et Toledo (1999) rapportent que l'élimination de la couverture arborée des caféières est liée à une réduction de l'abondance et de la diversité de ces microorganismes. Taller de

Tradición Oral et Beaucage (1987;1997) soulignent d'ailleurs la présence de champignons comestibles dans les caféières traditionnelles.

Les conséquences probables de l'intensification de la culture du café seraient donc sérieuses. La réduction de la diversité végétale affecte les organismes fixateurs d'azote et ceux qui solubilisent le phosphore, qu'ils soient libres ou symbiotiques (Giller et al., 1997; Sánchez et al., 1997). Babbar (1993, cité dans Perfecto et al., 1996) rapporte que l'absence d'ombre perturbe le cycle de l'azote lié à la décomposition des feuilles et affecte l'action des bactéries fixatrices d'azote associées aux légumineuses. Par ailleurs, une litière ou un paillis composé de feuilles de plusieurs espèces d'arbres se décompose plus rapidement qu'un paillis monospécifique (Montagnini et al., 1993; Salazar et al., 1993). La fertilisation et l'application de pesticides, courantes dans les caféières modernes, ont également un impact sur la décomposition des résidus végétaux et le cycle des éléments minéraux, par leur action sur les micro-organismes. L'emploi de fongicides, par exemple, est reconnu pour diminuer l'activité de décomposition de la litière des feuilles (Jepson, 1989, cité dans Perfecto et al., 1996). Ainsi, si toutes les évidences ne sont pas accumulées quant à l'effet de la modernisation agricole sur la diversité des microorganismes du sol, les connaissances existantes incitent à la prudence face à l'application aveugle des pratiques de production intensives (Paoletti, 1999).

Par contre, il est démontré que la biodiversité végétale que l'on retrouve dans les systèmes agroforestiers peut augmenter la biodiversité du sol (via la matière organique apportée au sol, par exemple) et donc améliorer la durabilité du système productif (Altieri, 1999). Le maintien de la biodiversité du sol demeure une stratégie pertinente pour les agriculteurs qui ne sont pas près d'avoir accès aux divers fertilisants; et un système de culture comportant une bonne diversité végétale est l'outil le plus sûr pour faire croître la biodiversité du sol qui lui est associée (Giller et al., 1997). Le choix des espèces végétales introduites est toutefois important. Ainsi, les *Inga* spp. peuvent constituer des hôtes pour certains nématodes (Beer et al, 1998). Afin d'éviter l'émergence de maladies ou de ravageurs des cultures, Altieri (1999) recommande donc le mélange des produits dans l'espace et dans le temps; le maintien d'une diversité génétique élevée; le maintien d'une production pérenne (ou d'une couverture arborée); une faible perturbation du milieu ainsi qu'une plus grande diversité structurale; et enfin, la conservation d'une mosaïque de différents types de terrains dans le paysage.

La diversité des arthropodes

Certains auteurs conseillent l'utilisation de la biodiversité des arthropodes, qui est phénoménale, comme bioindicateur de l'état de dégradation de l'environnement dans les systèmes agricoles (Paoletti, 1999). Les études qui se sont attardées à comparer les plantations modernes et traditionnelles pour la présence d'insectes sont parmi les mieux documentées et les données s'accumulent rapidement, bien qu'elles insistent essentiellement sur les insectes rencontrés au niveau du sol. Les difficultés techniques liées à l'échantillonnage des canopées rendent en effet cette opération ardue. Perfecto et Snelling (1995) rappellent par exemple que les conclusions de leur étude portant sur les communautés de fourmis ne s'appliquent véritablement qu'à celles se nourrissant au niveau du sol.

Le corps de données actuel laisse supposer qu'une réduction de la diversité des espèces d'insectes, ainsi que celle d'autres invertébrés, s'opère au fur et à mesure de l'intensification des cultures (Paoletti, 1999). Par exemple, la diversité des homoptera et des coléoptera est plus élevée dans les plantations de café où l'ombre est présente que dans celles qui en sont dépourvues (Bonilla et Somarriba, 2000; Nestel et al., 1993; Perfecto et al., 1996; Perfecto et Snelling, 1995; Rojas et al., 1999). Hanson (1991, cité dans Perfecto et al., 1996) rapporte quant à lui que la diversité des hyménoptera dans les monocultures de café, bien qu'élevée, reste moindre que dans les plantations traditionnelles. Mais les espèces que l'on peut rencontrer dans les divers habitats varient beaucoup en fonction de leur composition végétale particulière, de leur localisation géographique et de la saison en cours (Rojas et al., 1999).

Par ailleurs, il est intéressant de constater qu'on retrouve parfois, dans les agroforêts, une diversité d'arthropodes équivalente voire même supérieure à celle que l'on observe dans les forêts naturelles (Perfecto et al., 1999). Ainsi, Torres (1984, cité dans Perfecto et al., 1996) rapporte qu'il existe une plus grande diversité de fourmis dans les caféières portoricaines que dans les forêts de moyenne montagne environnantes. Moguel et Toledo (1999) et Nestel et al. (1993) rapportent pour leur part que la structure des communautés d'arthropodes observée dans les forêts tropicales et les plantations traditionnelles est similaire. Somme toute, la diversité des caféières traditionnelles est appréciable. Par exemple, Ibarra-Nuñez (1990, cité dans Moguel et Toledo, 1999) a dénombré 609 espèces d'arthropodes appartenant à 258 familles dans une seule caféière.

Nestel et al. (1993) ont dénombré les espèces de macro-coléoptera que l'on retrouve dans la litière jonchant le sol des caféières ombragées et sans ombrage. La communauté de macro-

coléoptera des caféières sous ombrage était composée de près deux fois plus d'espèces qu'en absence de couvert arboré (tableau 8). Cette tendance reste inchangée durant la saison sèche alors que le nombre d'espèces et d'individus diminue globalement. De plus, l'équitabilité entre les espèces est mieux répartie dans les plantations possédant une canopée (*Inga* sp. en l'occurrence) qu'en présence exclusive des plants de café (Nestel et al., 1993).

Tableau 8. Le nombre d'espèces de macro-coleoptera de caféières ombragées et sans ombrage, au Mexique.

	Monoculture de café (sans ombrage)	Café sous ombrage (<i>Inga</i> sp.)
Richesse totale (S)	15	29
Richesse des guildes (S)		
Détritivores	4	7
Phytophages	4	9
Prédateurs	6	10
Autres	1	3

Adapté de Nestel et al., 1993.

Les résultats obtenus montrent aussi une plus grande diversité des espèces dans chaque guildes si une strate arborée est présente (tableau 8), ce qui suggère l'existence d'une chaîne alimentaire plus complexe dans les caféières sous ombrage. La meilleure représentation des prédateurs et des phytophages laisse croire que le maintien d'une canopée permette de contrôler plus aisément les invasions d'insectes nuisibles et de plantes envahissantes (Altieri, 1999; Moguel et Toledo, 1999; Paoletti, 1999).

Les auteurs ont ensuite concentré leur recherche sur la famille des Scarabaeidae. La diversité des scarabées est hautement influencée par le degré de perturbation du couvert arboré. La richesse et l'équitabilité des scarabées sont effectivement corrélées à la diversité des arbres qui constituent l'ombrage des caféières (Nestel et al., 1993). Leur richesse diminue dramatiquement depuis la forêt originelle (19 espèces) jusqu'à la monoculture (3 espèces) et l'équitabilité passe de très hétérogène à la dominance hégémonique d'une seule espèce (tableau 9).

Tableau 9. La richesse et la dominance des espèces de Scarabaeidae selon le type d'habitat, au Mexique.

	Forêt tropicale	Caféière diversifiée (10 espèces d'arbres)	Caféière peu diversifiée (< 3 espèces d'arbres)	Monoculture (sans ombrage)
Richesse en espèces (S)	19	5	6	3
Dominance des espèces (%)				
La plus abondante	39	79	81	99
La 2e en nombre	16	13	15	0,5
La 3e en nombre	16	7	1	0,5
Autres espèces	29	1	3	nd

Tiré de Nestel et al., 1993.

nd = donnée non disponible.

La diversité végétale, en particulier celle des arbres de la canopée, apporte en effet une grande variété de ressources alimentaires qui, pour les différentes guildes (nectarivores, frugivores, etc.) peuvent être fondamentales. Puisque la floraison et la fructification de toutes les espèces n'est pas simultanée, la diversité des arbres réduit par ailleurs les vides phénologiques, qui peuvent avoir un impact particulièrement néfaste pour les espèces spécialistes (Perfecto et al., 1996). De plus, la perte d'habitat due à l'absence de troncs d'arbres, de feuillage et d'épiphytes, peut aussi avoir un effet néfaste sur bien des espèces. Or, les espèces exclusivement arboricoles représentent jusqu'à 73 % des espèces de fourmis rencontrées dans une caféière (Perfecto et al., 1996). C'est le cas du *Tetramorium* sp., qui construit son nid au sein de la canopée même des arbres (Nestel et al., 1993). En forêt tropicale, on trouve de 38 à 62 espèces de fourmis sur un seul arbre (Perfecto et al., 1996). Par contre, certaines espèces d'insectes peuvent maintenir une grande densité de population malgré des proies plus rares au sein des monocultures. Les fourmis de l'espèce *Solenopsis geminata*, par exemple, se nourrissent alternativement des sucres produits par les parasites de certaines herbacées qui ne se trouvent pas en milieu ombragé (Perfecto et Snelling, 1995). Les ressources disponibles constituent donc un facteur limitant et certaines d'entre elles ne sont présentes en quantité suffisante, si ce n'est exclusivement, qu'en milieu diversifié.

Nestel et Dickschen (1990) ont étudié le taux de découverte d'appâts chez des fourmis. Il était sensiblement plus fort dans les caféières sans ombrage, mais aucune différence significative n'a été observée en fonction de la composition de la canopée. De plus, il n'existe apparemment pas de lien significatif entre la biomasse des herbacées et le taux de découverte des appâts. Perfecto et Snelling (1995) ont mené une étude similaire. Ils ont observé la diversité alpha (α) des fourmis à l'intérieur de l'habitat et la diversité bêta (β) entre les habitats. Les résultats obtenus ont montré que la diversité, la richesse et l'équitabilité des fourmis au niveau du sol décroissaient significativement en même temps que la réduction de la couverture arborée (tableau 10). En fait, la richesse des espèces de fourmis diminuait parallèlement à la réduction de la diversité végétale, de la complexité structurale et du pourcentage d'ombrage des caféières (Perfecto et Snelling, 1995). Si l'équitabilité présentait pour sa part une distribution moins uniforme le long du gradient de diversité de la canopée, ce n'était sans doute qu'en raison de l'influence d'une donnée extrême ($J = 0,91$) parmi le rang 1 (tableau 10), qui était le fruit de la relative équivalence de taille des populations des deux seules espèces recensées sur le site. En rejetant cette valeur, on obtient une moyenne de 0,51, ce qui correspondrait à la tendance révélée par les autres indices.

Tableau 10. Les caractéristiques des populations de fourmis s'alimentant sur le sol des caféières, au Costa Rica.

	Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4	Rang 5
Richesse de la canopée (S)	0	0	1	2 à 4	> 4
Ombre portée au sol (%)	31,5 (24-39)*	92 (92)	85 (82-88)	97 (97)	98,75 (98-99)
Richesse (S)	3,25 (2-4)	4,67 (4-6)	5,00 (4-6)	7,33 (6-10)	9,33 (8-10)
Diversité (H)	0,65 (0,56-0,78)	0,86 (0,79-0,90)	0,99 (0,83-1,19)	1,49 (1,21-1,65)	1,79 (1,60-1,94)
Équitabilité (J)	0,61 (0,45-0,91)	0,57 (0,50-0,64)	0,62 (0,58-0,66)	0,79 (0,68-0,92)	0,80 (0,69-0,93)

Adapté de Perfecto et Snelling, 1995.

* L'étendue est présentée entre parenthèses.

Rang 1 = monoculture élaguée ou jeune; Rang 2 = monoculture mature; Rang 3 = caféière comprenant une espèce d'arbre d'ombrage; Rang 4 = caféière comprenant 2 à 4 espèces d'arbres d'ombrage; Rang 5 = caféière comprenant plus de 4 espèces d'arbres d'ombrage (traditionnelle).

La diversité alpha (indice Shannon-Wiener, H) et bêta (indice de similarité, I) des populations de fourmis est par ailleurs plus forte sous les canopées diversifiées que dans les systèmes plus simples. L'indice de similarité montre un haut degré de ressemblance entre les communautés de fourmis de différentes monocultures de café en opposition à un bas niveau de similarité entre les communautés de plantations à canopée diversifiée (Perfecto et Snelling, 1995). Ainsi, la diversité des fourmis est non seulement accrue dans les milieux structurellement complexes, mais la variation de composition entre les communautés de fourmis de différentes caféières est également plus grande. En d'autres termes, on observera souvent les mêmes espèces dans les monocultures de café, alors que les communautés d'espèces seront différentes d'une caféière à l'autre dans les plantations traditionnelles, ce qui ajoute à la biodiversité totale du territoire en question.

Il est nettement plus risqué d'établir une relation claire entre le degré de diversité structurale de la végétation et la richesse, la diversité ou l'équitabilité des communautés de fourmis, lorsqu'on ne considère que les insectes capturés sur les caféiers eux-mêmes. Le fait que la densité et la diversité de la canopée ne semblent pas affecter la diversité des fourmis (tableau 11) provient sans doute d'une mauvaise stratégie d'échantillonnage (Perfecto et Snelling, 1995). Les fourmis font en effet peu usage des caféiers, tandis qu'elles sont très actives sur les arbres, où leur diversité est élevée (Perfecto et al., 1996; Wilson, 1987, cité dans Perfecto et al., 1996). Cependant, il semble que les homoptera bénéficient davantage des ressources se trouvant sur les caféiers que de celles provenant de la canopée de l'*Erythrina poeppigiana* ou du *Cordia alliodora* (Rojas et al., 1999).

Tableau 11. Les caractéristiques des populations de fourmis observées sur les caféiers de différents types de plantations, au Costa Rica.

	Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4	Rang 5
Richesse de la canopée (S)	0	0	1	2 à 4	> 4
Ombre portée au sol (%)	31,5 (24-39)*	92 (92)	85 (82-88)	97 (97)	98,75 (98-99)
Richesse (S)	9,00 (8-10)	9,00 (9)	nd	9,67 (9-11)	10,33 (9-12)
Diversité (H)	1,94 (1,81-2,07)	1,91 (1,91)	nd	2,00 (1,94-2,05)	2,05 (1,90-2,31)
Équitabilité (J)	0,89 (0,87-0,90)	0,87 (0,87)	nd	0,88 (0,85-0,91)	0,88 (0,85-0,93)

Adapté de Perfecto et Snelling, 1995.

* L'étendue est présentée entre parenthèses.

nd = données non disponibles.

Rang 1 = monoculture élaguée ou jeune; Rang 2 = monoculture mature; Rang 3 = caféière comprenant une espèce d'arbre d'ombrage; Rang 4 = caféière comprenant 2 à 4 espèces d'arbres d'ombrage; Rang 5 = caféière comprenant plus de 4 espèces d'arbres d'ombrage (traditionnelle).

Selon Perfecto et Snelling (1995), le microclimat, les caractéristiques du milieu et la compétition interspécifique jouent un rôle majeur dans la distribution des populations, leur abondance, leur diversité, leur nidification, et leur collecte de nourriture. Nestel et Dickschen (1990) vont même jusqu'à dire que l'existence d'un microclimat spécifique semble forger la communauté. La température est en effet un facteur qui affecte de façon majeure le développement des larves, le niveau d'activité des colonies et leur combativité (Perfecto et Snelling, 1995). L'espèce *Solenopsis geminata*, très présente dans les monocultures de café, est cependant plus performante sous des températures élevées qu'à des températures plus douces, contrairement à la plupart des espèces de fourmis (Nestel et Dickschen, 1990). L'humidité ambiante élevée que l'on retrouve dans les plantations ombragées est quant à elle favorable aux espèces non adaptées à la sécheresse relative qui règne dans les monocultures de café (Perfecto et Snelling, 1995). L'interaction entre les espèces a aussi un important rôle à jouer dans la structure des communautés d'insectes. Ainsi, l'espèce *Solenopsis geminata*, très belliqueuse, ne laisse pas de place à la présence simultanée d'individus d'autres espèces de fourmis. Ce comportement d'exclusion affecte également d'autres types d'insectes. Nestel et Dickschen (1990) rapportent, par exemple, que les termites sont moins présents dans les plantations sans ombrage en raison de l'établissement de colonies de fourmis dominantes et agressives.

Les fourmis et les coléoptera ne sont évidemment pas les seuls arthropodes à être affectés par la structure de l'habitat. Perfecto et al. (1996) ont échantillonné quelques arbres et plants de café dans des milieux à diversité structurale variée. L'élimination des arbres d'ombrage, qui supportent plus d'une centaine d'espèces d'insectes grâce à leurs fleurs, leurs fruits et leurs feuilles, résulte en la chute dramatique de la diversité des insectes. La perte des espèces spécialisées de la canopée (exclusivement dépendantes des arbres), comme c'est le cas de nombreux scarabées et d'une bonne proportion des fourmis, est inévitable en monoculture (tableau 12). Mais les hyménoptera autres que les fourmis, ainsi que les araignées, sont également plus variés et mieux représentés dans les plantations diversifiées. On retrouve par

exemple quelque 52 % d'espèces d'araignées en plus sur les caféiers en agroforêt qu'en monoculture (tableau 12).

Tableau 12. La richesse des arthropodes sur les arbres et les caféiers de différents types de plantations de café.

		Fourmis (S)	Autres Hyménoptera (S)	Scarabées (S)	Araignées (S)
Traditionnelle	Arbres	22,3 (10-30)*	75,7 (61-103)	118,0 (110-126)	nd
	Caféiers	14	34	39	44
Technifiée avec ombrage	Arbres	5	46	48	nd
	Caféiers	9	31	29	nd
Technifiée sans ombrage	Caféiers	8	30	29	29

Adapté de Perfecto et al., 1996.

* L'étendue est présentée entre parenthèses.

nd = données non disponibles

La perte des arbres d'ombrage entraîne la diminution des ressources de nombreuses espèces détritatives, en particulier les saproxiles et les arthropodes de la litière. Les arbres morts offrent un habitat essentiel à divers arthropodes saproxiles (Coleoptera, Diptera, Hymenoptera ou Collembola). Il s'en trouve jusqu'à 78 familles dans une plantation de café traditionnelle (Moron et Lopez-Mendez, 1985, cité dans Perfecto et al., 1996). Le moins grand nombre de termites présents dans les monocultures caféières nous éclaire sur ses conséquences probables sur la bioturbation du sol (Perfecto et Snelling, 1995). Cependant, les arthropodes ne réagissent pas tous de la même façon au gradient d'ombrage et de diversité végétale des caféières (Perfecto et Snelling, 1995). Quoique la plupart des groupes voient leur diversité atteindre un maximum dans des milieux à diversité structurale intermédiaire ou élevée (Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera et mites), certains groupes sont mieux représentés dans des milieux moins complexes. Par exemple, si le nombre de Blattidea, de Coleoptera et de Collembola augmente significativement en même temps que la diversité structurale des caféières, le nombre d'Orthoptera, lui, diminue. Il n'est par ailleurs guère possible d'établir une relation aussi claire pour des groupes comme les araignées, les Lepidoptera, les Hemiptera et les Homoptera à partir de l'étude de Perfecto et Snelling (1995). Rojas et al. (1999) ont observé que la richesse des homoptera était plus grande dans les plantations de café sous ombrage monospécifique d'*Erythrina poeppigiana* (88 espèces) que dans les plantations sans ombrage (60 espèces). Mais elle y était aussi, étonnamment, plus importante que dans les plantations à ombrage polyspécifique d'*Erythrina poeppigiana* et de *Cordia alliodora* (74 espèces). Un tel résultat pourrait être dû au fait que les ressources alimentaires sont peu importantes dans des strates arborées aussi simples (Rojas et al., 1999). Soulignons enfin la rencontre de nombreuses espèces de papillons dans les caféières sous ombrage. Les zones où l'endémisme et la richesse spécifique des papillons sont

importants coïncident d'ailleurs avec des régions où de telles caféières sont largement implantées (Moguel et Toledo, 1999).

Il reste donc beaucoup à faire pour bien comprendre la valeur de la biodiversité des arthropodes. Cependant, certains aspects sont assez clairement établis. Ainsi, les insectes affectent peu les caféiers. En effet, les espèces herbivores sont apparemment contrôlées par les défenses chimiques de cet arbuste (Frischnecht et al., 1986, cité dans Perfecto et al., 1996). Les jeunes feuilles contiennent un taux élevé d'alcaloïdes et les vieilles feuilles sont mécaniquement fort résistantes (Perfecto et al., 1996). De plus, l'Amérique latine est relativement dépourvue de prédateurs naturels de cette plante originaire d'Afrique (Heiser, 1990). Par ailleurs, les plantations traditionnelles, qui disposent d'une diversité floristique et structurale importante, contiennent une grande quantité de prédateurs et de parasitoïdes, ce qui limite les populations d'insectes nuisibles (Nestel et Dickschen, 1990; Paoletti, 1999; Perfecto et al., 1996; Perfecto et Snelling, 1995). Les fourmis et les araignées, qui font partie de ces grands prédateurs, ont des populations plus diversifiées dans les plantations ombragées et réduiraient ainsi plus efficacement les populations d'insectes nuisibles (Moguel et Toledo, 1999; Perfecto et al., 1996). Hanson (1991, cité dans Perfecto et al., 1996) a tout de même relevé la présence de quelque 80 espèces de parasitoïdes dans les monocultures de café. Leur population, cependant, est plus vaste dans les plantations traditionnelles.

En fait, la réduction de l'ombre aboutit à l'augmentation des infestations d'insectes ravageurs à cause de l'absence de prédateurs capables de contrôler leurs populations. Cette tendance est accrue dans les plantations modernes qui emploient des insecticides et des fongicides, dont l'effet néfaste sur la diversité des insectes (parmi lesquels de nombreux prédateurs) est certain (Paoletti, 1999; Perfecto et al., 1996). D'ailleurs, la suppression de la canopée dans le but de favoriser l'établissement d'une espèce d'insecte dominante et belliqueuse pour contrôler les infestations d'autres insectes risque de ne pas produire les effets escomptés. Par exemple, certaines espèces de fourmis sont considérées nuisibles, parce qu'elles sont envahissantes ou que leur piqûre est douloureuse (Perfecto et al., 1996; Robbrecht, 1995). Afin de lutter contre les insectes néfastes, il semble donc plus sage de maintenir une diversité structurale importante que d'employer des pesticides, par exemple (Altieri, 1999). La présence d'insectes variés, si elle est avantageuse pour la décomposition des résidus végétaux et le contrôle d'infestations diverses, peut par ailleurs représenter des avantages au point de vue alimentaire ou économique pour les populations humaines (chenilles, abeilles, etc.) (Vandermeer et al., 1998). Rappelons par exemple qu'on peut compter jusqu'à 90 espèces de plantes pollinisées par les

abeilles mellifères dans une seule plantation de café (Chárazo-Bazañez, 1982, cité dans Moguel et Toledo, 1999).

La diversité des oiseaux

La littérature disponible décrit les populations d'oiseaux dans les plantations de café modernes comme ayant une diversité moindre et des effectifs réduits par rapport à leur contrepartie des plantations traditionnelles (Perfecto et al., 1997). La diversité de l'avifaune des plantations traditionnelles est même parfois considérée comme étant équivalente ou supérieure à celle des forêts naturelles qui les entourent, quoique d'autres auteurs la décrivent comme étant inférieure (Aguilar-Ortiz, 1982, cité dans Moguel et Toledo, 1999; Greenberg et al., 1997; Thiollay, 1995). Quoi qu'il en soit, le grand nombre d'oiseaux présents dans les caféières traditionnelles indique la présence de ressources clés dans ces milieux modifiés par l'Homme (Greenberg et al., 1997). Le taux d'extinction relativement faible des oiseaux à Puerto Rico serait d'ailleurs lié, selon Brash (1987, cité dans Perfecto et al., 1996), à l'existence des plantations de café qui comptent encore pour 9 % du territoire alors qu'il ne reste que 1 % de la forêt originale. En fait, les plantations de café sous ombrage supportent une densité relativement élevée de certains oiseaux qui dépendent de forêts à canopée bien développée (Wunderle et Waide, 1993, cité dans Perfecto et al., 1996). Il ne faut toutefois pas perdre de vue que les espèces d'oiseaux locales (en comparaison avec les espèces migratrices) sont plus sensibles à la fragmentation excessive de l'habitat naturel (Andrén, 1994; Lovejoy et al., 1986, cité dans Perfecto et al., 1996). Ainsi, une étude de Martinez et Peters (1996, cité dans Moguel et Toledo, 1999) démontre la dépendance de certaines espèces d'oiseaux vis-à-vis des espaces forestiers. Si l'on trouve 184 espèces d'oiseaux dans une caféière traditionnelle qui est jointe à la forêt, une caféière similaire, mais isolée, ne comporte plus que 82 espèces.

Dans une étude réalisée à Sumatra, Thiollay (1995) a comparé la diversité des oiseaux dans les forêts primaires à celle de différents types d'agroforêts plutôt complexes et diversifiées, où le café, entre autres, se trouvait cultivé. L'auteur a observé l'existence d'un gradient dans la richesse et la diversité, mais aussi dans l'équitabilité entre les espèces d'oiseaux, parmi les différents types de plantations; ces trois indices étaient toutefois significativement plus faibles en agroforêt qu'en forêt naturelle (tableau 13). Thiollay (1995) mentionne également que les caféières qu'il qualifie de « pures et extensives » ont une diversité d'oiseaux intermédiaire entre les agroforêts étudiées et les plantations industrielles (monocultures d'arbres souvent exotiques), qui en abritent rarement plus de 3 espèces. L'observation permet, en effet, de

remarquer la quasi-absence d'oiseaux dans les plantations de café sans ombrage (Borrero, 1986, cité dans Perfecto et al., 1996).

Tableau 13. La structure des communautés d'oiseaux des agroforêts et de la forêt primaire de Sumatra.

	Forêt primaire	Agroforêt d'hévéa	Agroforêt de damar	Agroforêt de durian
Richesse totale observée (S)	180	105	92	69
Richesse par échantillon (S)	26,4 (2,0)*	18,5 (2,8)	15,5 (3,4)	15,1 (2,3)
Diversité (H)	4,559	3,991	3,566	3,285
Équitabilité (J)	0,884	0,858	0,789	0,776
Dominance (% de la richesse totale)				
Les 2 espèces les plus abondantes	5,3	18,5	24,1	24,1
Les 10 espèces les plus abondantes	21,5	43,1	56,3	62,6
Espèces rares	80,0	72,3	75,0	62,3

Tiré de Thiollay, 1995.

* L'écart-type est présenté entre parenthèses.

D'après Thiollay (1995), même si les agroforêts sont hautement diversifiées en termes de végétation, moins de la moitié (49 %) des espèces d'oiseaux propres au milieu forestier de la région s'y rencontrent. Des 216 espèces répertoriées dans son étude, 56 % voient leur population décroître significativement dans les agroforêts, par rapport à leur habitat naturel, ou y sont complètement absentes. Par contre, 22 % des espèces observées y améliorent leur représentation ou y font apparition alors qu'elles sont absentes du milieu forestier. En fait, la similarité entre les communautés d'oiseaux de la forêt naturelle et celles des trois types d'agroforêts étudiées est relativement faible (de 0,43 à 0,55).

Pour ce qui est de la structure des guildes (tableau 14), les grands oiseaux (carnivores, frugivores et insectivores) sont les plus atteints par le passage d'une forêt naturelle à une forêt aménagée; c'est également le cas de nombreuses espèces spécialistes des forêts. Les guildes des granivores, des nectarivores et des omnivores étaient cependant mieux représentées, en nombre relatif d'espèces, dans les agroforêts que dans les forêts primaires (tableau 14). Les espèces les plus fréquentes dans les agroforêts sont en fait de petits frugivores, insectivores ou nectarivores, normalement associés aux trouées ou aux lisières des forêts. Wunderle et Latta (1993, cité dans Perfecto et al., 1996) ont eux aussi noté une réduction de la diversité générale, de même qu'une transformation dans la composition des communautés d'oiseaux des caféières, comparativement à la forêt. Cette composition passe d'un assemblage d'espèces représentatives des forêts, lorsqu'un ombrage est présent (même monospécifique), à des espèces associées aux zones de régénération (forêts secondaires, tout au plus), lorsque la plantation est dépourvue d'arbres.

Tableau 14. L'importance relative des guildes d'oiseaux dans la forêt primaire et les agroforêts de Sumatra.

	Forêt primaire	Agroforêts	Variation (%)
Richesse des guildes (S)			
Carnivores	6 (0,6)*	3 (0,1)	-50 (-83)
Insectivores	98 (39,9)	74 (29,6)	-24 (-26)
Nectarivores	12 (6,2)	13 (10,5)	+8 (+69)
Granivores	1 (0,5)	5 (1,6)	+400 (+220)
Frugivores	27 (18,1)	14 (8,7)	-48 (-52)
Omnivores	39 (34,7)	34 (49,5)	-13 (+43)
Richesse totale (S)	183 (100,0)	143 (100,0)	-22 (0)

Adapté de Thiollay, 1995.

* La valeur entre parenthèses représente le pourcentage que constitue le nombre d'espèces de la guildes concernée sur le nombre total d'espèces.

Greenberg et al. (1997) ont étudié les communautés d'oiseaux des plantations de café possédant une canopée monospécifique ainsi que de celles où toute ombre était absente, puis les ont comparées aux communautés d'oiseaux des habitats naturels et des plantations traditionnelles. Les caféières où l'ombrage est formé par l'*Inga* sp. recèlent une plus grande diversité d'oiseaux que celles où il est dominé par le *Gliricidia* sp. (tableau 15); ces dernières n'étaient pas plus diversifiées que les monocultures. Toutes trois ont par ailleurs une population nettement plus faible, plus pauvre en espèces que les parcelles de forêt, que les agroforêts et, parfois même, que les terrains en friche (*matorral*). La diversité des oiseaux dans les plantations dominées par une seule espèce d'arbres d'ombrage (fortement élagués) ne représente que 53 % de celle des plantations traditionnelles et est nettement moindre que celle de l'habitat forestier (Greenberg et al., 1997). Greenberg et al. (1997) ont aussi remarqué une réduction de moitié de la densité et de la richesse d'oiseaux entre les plantations traditionnelles et les monocultures. La littérature illustre d'ailleurs bien le gradient qui existe entre les types de caféières. Ainsi, au Mexique, on trouve 136 espèces dans les plantations traditionnelles, 104 à 107 dans les polycultures commerciales (canopée diversifiée), environ 50 dans les caféières à ombrage monospécifique et de 6 à 12 dans les caféières exposées au plein soleil (Moguel et Toledo, 1999).

Tableau 15. La richesse en espèces d'oiseaux de divers habitats, au Guatemala.

	Espèces résidentes		Espèces migrantes		Richesse totale (S)
	Richesse (S)	Espèces communes (S)	Richesse (S)	Espèces communes (S)	
Friches (<i>matorral</i>)	45 (4,4)*	20	22 (3,2)	13	67 (7,6)
Monocultures de café	37 (2,0)	11	24 (2,0)	9	61 (4,0)
Caféiers sous <i>Gliricidia</i> sp.	36 (2,5)	13	23 (2,4)	10	59 (4,9)
Caféiers sous <i>Inga</i> sp.	45 (3,2)	11	26 (2,5)	8	71 (5,7)
Agroforêt traditionnelle	93 (4,9)	37	29 (4,4)	16	122 (9,3)
Forêt	63 (5,8)	32	23 (2,9)	9	86 (8,7)

Adapté de Greenberg et al., 1997.

* La valeur entre parenthèses représente la moyenne par échantillon.

Selon Greenberg et al. (1997), on observe une grande similitude (*Index of Dice*) dans la composition des populations d'oiseaux des plantations de café technifiées, tous types confondus. Les espèces qu'on y observe sont d'ailleurs toutes présentes dans les environnements non forestiers de la région. En opposition, la similarité des espèces d'oiseaux des plantations technifiées avec les espèces des plantations traditionnelles est faible, mais elle l'est plus encore avec les espèces de forêts. En fait, les espèces spécialistes, et en particulier les frugivores, sont pratiquement absentes de ces caféières. Par contre, les espèces généralistes, ainsi que les espèces de lisières ou de forêts secondaires, sont particulièrement bien représentées dans les caféières technifiées. Pour leur part, les plantations traditionnelles accueillent davantage d'espèces d'oiseaux spécialistes (ainsi que généralistes) que les autres environnements de la région, souvent même en plus forte densité que dans les forêts naturelles (Greenberg et al., 1997). Cependant, Aguilar-Ortiz (1982, cité dans Moguel et Toledo, 1999) décrit la composition de l'avifaune des caféières traditionnelles comme étant formée de 70 % d'espèces généralistes et de seulement 30 % d'espèces spécialistes.

Greenberg et al. (1997) ont pour leur part constaté que le nombre d'espèces d'oiseaux résidents diminue dans les plantations technifiées (*Inga* sp., *Gliricidia* sp. et monoculture), par rapport aux forêts et aux agroforêts, de façon plus importante que celui des oiseaux migrants. Les oiseaux migrants semblent donc trouver plus facilement refuge dans les caféières avec ombrage que les espèces locales, probablement parce qu'elles sont moins exigeantes en termes d'habitat que ces dernières (Vannini, 1994, cité dans Perfecto et al., 1996). En fait, Wunderle et Latta (1994, cité dans Perfecto et al., 1996) ont démontré que de nombreuses espèces d'oiseaux migrants survivent presque aussi bien dans les caféières sous ombrage que dans les forêts naturelles. Les caféières sous ombrage peuvent constituer un refuge important pour nombre d'espèces d'oiseaux en saison sèche, alors que certaines ressources se font rares dans d'autres environnements. Les plantations traditionnelles et celles qui sont sous un ombrage peu diversifié voient leurs populations d'oiseaux augmenter grandement durant la saison sèche, qu'il s'agisse de résidents ou de migrants. Cette augmentation est particulièrement liée à l'arrivée d'oiseaux omnivores et nectarivores (plus de 45 % des oiseaux présents), plutôt qu'à celle d'insectivores dont la population reste stable. Les fleurs, les fruits et les insectes qui y sont présents, durant cette période, exercent un attrait certain pour l'avifaune (Brash, 1987, cité dans Perfecto et al., 1996). Les espèces d'oiseaux migrantes (altitudinales et latitudinales) mettent particulièrement à profit l'asynchronie de floraison que l'on y retrouve (Vannini, 1994, cité dans Perfecto et al., 1996). Cependant, l'attrait du milieu pour les oiseaux migrants peut varier de façon importante, selon la composition de la canopée. Par exemple, si leur abondance, entre la saison sèche et la

saison des pluies, diminue seulement de 20 % dans les plantations avec *Inga* sp., elle décroît de 50 % dans celles dont la strate arborée est composée de *Gliricidia* sp. (Greenberg et al., 1995).

Les facteurs qui entraînent une diminution de la biodiversité des oiseaux dans les plantations de café sont la réduction de la hauteur des arbres, la simplification de la diversité structurale (nombre de strates verticales), la diminution du volume du feuillage de la canopée (à cause de l'émondage fréquent, par exemple), ainsi que la perte de richesse floristique et des ressources alimentaires associées, ce qui forme en définitive un habitat peu attrayant pour les oiseaux (Greenberg et al., 1997; Perfecto et al., 1996; Thiollay, 1995). Ces auteurs soulignent que la chasse effectuée dans les agroforêts contribue également à la raréfaction de certaines espèces d'oiseaux. En réalité, les oiseaux sont bien plus présents dans les arbres que sur les plants de café eux-mêmes (Greenberg et al., 1997). Perfecto et al. (1996) relie ce fait à la faible densité d'arthropodes sur les plants de café, qui attirent donc peu les insectivores, ainsi qu'au très faible usage que font, des fleurs et des fruits du caféier, les oiseaux nectarivores et frugivores. L'émondage, en supprimant plusieurs sites d'alimentation (parmi lesquels les épiphytes et les plantes parasites semblent jouer un rôle important) et de nidification, risque aussi d'entraîner la disparition de certains oiseaux spécialistes (Greenberg et al., 1997). En définitive, les caféières n'auront vraiment un rôle significatif, pour la conservation des oiseaux, qu'à condition que la canopée demeure riche et complexe, avec des arbres de grande taille (Greenberg et al., 1997; Thiollay, 1995). Les caféières traditionnelles peuvent donc être considérées dans plusieurs régions comme un habitat important pour la pérennité de l'avifaune (Moguel et Toledo, 1999; Perfecto et al., 1996).

L'avantage que procurent la densité et la diversité des oiseaux provient avant tout de leur rôle dans la régulation des populations d'insectes, ainsi que de leur contribution à la pollinisation et à la distribution des graines dans le paysage. Cependant, les oiseaux prélèvent une partie de la production fruitière. Mais les paysans sauraient-ils récolter la totalité de cette production (Gallina et al., 1996)? Certains oiseaux peuvent aussi faire partie de l'alimentation familiale ou être vendus sur les marchés (Thiollay, 1995). Enfin, les oiseaux revêtent une importance culturelle certaine dans de nombreuses traditions (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1990). Les espèces d'oiseaux sont généralement bien connues des paysans, phénomène qui illustre l'intérêt réel que ceux-ci leur portent (observations personnelles, 1998). La perte de la diversité de l'avifaune pourrait donc avoir des conséquences non négligeables.

La diversité des reptiles et des amphibiens

Peu d'information semble disponible sur la diversité des amphibiens et des reptiles dans les plantations de café. Seib (1986, cité dans Perfecto et al., 1996) a rapporté que dans les caféières à canopée mixte, on peut rencontrer jusqu'à 50 % de la diversité de serpents existante au sein de la forêt originale. La disparition des serpents peut sembler un avantage et les paysans n'hésitent pas à éliminer tous ceux qu'ils croisent (observations personnelles, 1998), mais ceux-ci peuvent aussi rendre des services en tant que prédateurs, particulièrement pour le contrôle des petits rongeurs. Rendón-Rojas (1994, cité dans Moguel et Toledo, 1999) a dénombré 11 espèces de reptiles et 5 espèces d'amphibiens (les épiphytes se révèlent d'ailleurs l'habitat de certains batraciens) dans des caféières ombragées par des arbres indigènes. Si l'on compare ces observations à celles qui ont été effectuées dans les forêts non modifiées (77 à 94 espèces), la perte d'herpétofaune est plus que significative (Moguel et Toledo, 1999). Ainsi, plus de la moitié de la diversité des reptiles et des amphibiens risque d'être perdue au cours du processus d'intensification de la caféiculture, sans compter son effet sur le contrôle des populations de certaines espèces, notamment des insectes (Perfecto et al., 1996).

La diversité des mammifères

Les caféières sous ombrage supportent une diversité de vertébrés passablement élevée par rapport à d'autres types d'habitats exploités par l'Homme. Selon Sibuea et Herdimansyah (1993, cité dans Sánchez et al., 1997) presque tous les mammifères des forêts de Sumatra sont présents dans les agroforêts locales. Estrada et al. (1993, cité dans Perfecto et al., 1996) notent, par exemple, une diversité et une densité de chauve-souris relativement grandes dans les plantations où les espèces d'arbres sont nombreuses. Mais cette diversité demeure beaucoup plus faible que dans les forêts naturelles. Une grande proportion des espèces de chauve-souris est frugivore ou nectarivore, ce qui laisse croire que dans un milieu dépourvu ou pauvre en arbres, celles-ci seraient pratiquement absentes. Cependant, grâce à leur mobilité, les chauve-souris ont l'opportunité de se nourrir dans les caféières ainsi que dans les fragments de forêts, tout en conservant des sites de nidification éloignés. Néanmoins, les habitats propices à leur survie et leur reproduction se raréfient à mesure que la déforestation progresse. Il semble donc préférable de conserver une complexité structurale élevée dans les plantations de café si l'on veut, malgré leur piètre réputation, préserver ces mammifères qui sont de grands consommateurs d'insectes et des pollinisateurs importants (Brigham et Schalk, 1994; Howell, 1979).

Dans une étude sur la diversité des mammifères au sein des caféières du Mexique, Gallina et al. (1996) ont décelé une corrélation très forte entre la présence d'une canopée à grande diversité structurale et la diversité des mammifères terrestres de taille intermédiaire. Les espèces dépendantes de la canopée y représentent en fait plus de la moitié de toutes les espèces de mammifères présentes. Environ 67 % de ces espèces incluent des fruits dans leur diète (tableau 16). Estrada et al. (1994, cité dans Perfecto et al., 1996) ont obtenu des résultats similaires. De plus, à mesure que se simplifie la structure du couvert arboré et que diminuent les ressources alimentaires associées, la diversité des guildes chute de 45 %, tandis que disparaissent 43 % de la richesse et de la diversité des mammifères et 24 % de l'équitabilité entre les espèces (tableau 17).

Tableau 16. Le nombre d'espèces de mammifères dans les caféières du Mexique, selon leur mode de locomotion.

Locomotion	Guildes						Total
	H-G	F-G	F-O	I-O	M	C	
Terrestre	1	2	2	3	0	4	12 (50)
Scansoriale	0	0	5	1	0	0	6 (25)
Arboréale	0	2	1	0	1	1	5 (21)
Aquatique	0	0	0	0	0	1	1 (4)
Richesse totale (S)	1 (4)*	4 (17)	8 (33)	4 (17)	1 (4)	6 (25)	24 (100)

Adapté de Gallina et al., 1996.

* La valeur entre parenthèses est le pourcentage de la richesse totale représenté par la guildes concernée.

H-G = Herbivore; F-G = Frugivore-Granivore; F-O = Frugivore-Omnivore (> 50 % fruits); I-O = Insectivore-Omnivore (> 50 % invertébrés); M = Myrmécophage; et C = Carnivore.

Tableau 17. Les caractéristiques de la communauté de mammifères selon la complexité du milieu.

	Grande complexité	Faible complexité	Diminution (%)
Nb guildes occupées	11	6	45
Richesse (S)	23	13	43
Diversité (H)	0,95	0,54	43
Équitabilité (<i>Pielous Index</i> , J')	0,92	0,69	24

Tiré de Gallina et al., 1996.

Quelques espèces de carnivores de grande taille sont rencontrées occasionnellement, dans les caféières traditionnelles, quoique leur nombre soit réduit en raison de la dégradation générale de l'environnement, de la chasse et de la réduction du nombre de proies (Gallina et al., 1996). Dans certaines régions, des singes sont observés régulièrement et ils se rencontrent alors dans les caféières où les arbres fruitiers composent une certaine fraction de la canopée (Estrada et al., 1994, cité dans Perfecto et al., 1996). Sibuea (1995, cité dans Sánchez et al., 1997) décrit même que l'espèce locale de rhinocéros est présente dans les agroforêts de Sumatra. Gallina et al. (1996) rappellent, comme d'autres auteurs, que la fragmentation de l'habitat a une influence

marquée sur la diversité de la faune. Si la multiplicité des niches écologiques dans un même territoire offre autant de potentiel d'accueil, la taille des fragments et la facilité d'échange entre ces derniers doivent cependant rester suffisantes pour permettre la survie des populations de mammifères, particulièrement si ces derniers sont de grande taille (Andrén, 1994; Gallina et al., 1996).

Enfin, s'il est vrai que certains mammifères ont un impact néfaste sur les cultures (certains rongeurs, notamment) ou peuvent nuire à l'occasion aux humains (de rares jaguars, par exemple), ils représentent en même temps une ressource complémentaire en viande, en fourrure et en éléments de l'ethnopharmacopée (Gallina et al., 1996; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). D'autre part, l'existence de nombreux prédateurs (carnivores et insectivores) facilite le contrôle des populations de petits mammifères et d'insectes néfastes (Moguel et Toledo, 1999). Ainsi, le maintien de la diversité structurale dans les caféières permet de réduire les risques d'infestations. De plus, de par leur alimentation frugivore ou nectarivore, beaucoup de mammifères facilitent la pollinisation et la dispersion de graines dans l'environnement (Gallina et al., 1996). Finalement, il ne faut pas négliger la valeur symbolique de certains de ces animaux pour plusieurs sociétés (le cerf et le tatou, par exemple) et l'importance que revêt alors le maintien de leur population dans l'environnement (Beaucage, 1994; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1990).

Conclusion

La revue bibliographique a permis de mettre en relief de nombreux avantages liés à la diversité des organismes biologiques présents au sein des agroécosystèmes et ce, tant sur le plan de la durabilité de ces systèmes, que sur le plan économique et culturel. La biodiversité joue, entre autres, un rôle dans la sécurité de la production, dans le niveau de productivité des cultures et dans la conservation de la fertilité du sol (Altieri, 1999). Ainsi, l'utilisation de plantes pérennes (tels que les arbres et les arbustes) améliore la protection du sol contre l'érosion, en plus de donner accès à des ressources autrement inatteignables par les cultures et sinon lessivées vers des couches inférieures du sol (Sánchez, 1997; Young, 1995). La diminution de la diversité végétale affecte par contre certains processus écologiques comme la redistribution des éléments nutritifs, ainsi que de la matière organique, et altère le processus d'agrégation du sol à cause de la présence réduite des racines, des mycorhizes et de la faune du sol (Babbar et Zak, 1995; Beer et al., 1998; Sánchez, 1997). De plus, les mécanismes de contrôle des populations animales nuisibles par les prédateurs, les parasites et les agents pathogènes sont déstabilisés lorsqu'on procède à une simplification excessive de la structure du milieu (Giller et al., 1997; Paoletti, 1999). En réalité, certains auteurs, comme Gillespie et al. (1993), soutiennent que les agroécosystèmes complexes que sont les agroforêts et les jardins de case maximisent la productivité du milieu, grâce, entre autres, à l'interception efficace de l'intensité lumineuse par les multiples strates de végétation et à l'utilisation de ressources complémentaires. Ewel (1999) va même jusqu'à conseiller d'imiter les écosystèmes naturels lors de l'établissement de systèmes agricoles, car, grâce à leur complexité, ils sont durables et résistent bien aux stress biotiques et abiotiques. Cependant, un système agricole efficace ne doit pas, selon le même auteur, tenter de répliquer la complexité des écosystèmes naturels. Autant il serait imprudent d'imposer la simplicité dans un environnement complexe, autant il reste préférable de garder suffisamment simples les agroécosystèmes pour qu'il soit aisé de les gérer. Néanmoins, puisque des systèmes agroforestiers complexes existent dans toutes les régions tropicales du globe, ces systèmes, dont la plasticité est reconnue, ne sont certainement pas si difficiles à maîtriser (Vandermeer et al., 1998; Wojtkowski, 1993). En définitive, tout comme les écosystèmes naturels, qui sont en évolution constante, les agroécosystèmes doivent impérativement être maintenus dans un état dynamique afin qu'ils restent adaptés aux conditions changeantes de l'environnement et des besoins des populations (Main, 1999).

Le processus de simplification en cours dans les agroécosystèmes tels que les plantations de café se voit, lui aussi, confirmé dans la documentation consultée (Moguel et Toledo, 1999;

Muschler et Bonnemann, 1997; Perfecto et al., 1996; Vandermeer et al., 1998; Van Noordwijk et al., 1998). Par exemple, pour le nord de l'Amérique Latine, soit dans la région qui s'étend de la Colombie au Mexique, en passant par les Caraïbes, 41 % des 2,75 millions d'hectares de caféières (d'où provient 29 % de la production mondiale de café) ont déjà été convertis en monoculture sans ombrage (FAO, 2001; Perfecto et al., 1996). La proportion de ce type de caféière varie néanmoins beaucoup de pays en pays. En effet, si la Colombie a transformé de la sorte 60 % des surfaces allouées à cette culture, le Mexique ne l'a fait que pour quelque 15 % de ses 756 758 ha de caféières (FAO, 2001; Perfecto et al., 1996). Dans leur étude sur la caféiculture au Mexique, Moguel et Toledo (1999) ont ainsi distingué 13 % de caféières de type « rustique », 26 % de type « polyculture traditionnelle », 8 % de type « polyculture commerciale », 42 % de type « monoculture sous ombrage monospécifique » et 11 % de type « monoculture de plein soleil ». Dans l'unique dessein d'en augmenter la rentabilité économique, la transformation du milieu qui accompagne la modernisation de la caféiculture vient réduire la complexité des agroforêts (en termes de structure) et leur diversité végétale (en termes de composition). Ce phénomène restreint l'étendue des ressources disponibles, ainsi que les niches écologiques potentielles, limitant par conséquent l'épanouissement des populations d'espèces spécialistes, qui laissent place à des espèces plus généralistes. Cela mène à terme à la perte de diversité de la faune (Altieri, 1999; Perfecto et al., 1996; Vandermeer et al., 1998). Une corrélation évidente existe, en effet, entre les différents types de plantations de café, caractérisées en particulier par la qualité de leur strate arborée, et la diversité de l'ensemble des formes de vie qu'elles supportent. La biodiversité d'un agroécosystème semble dépendre essentiellement de la diversité végétale planifiée qui se trouve à l'intérieur du système (entre autres de la permanence de diverses productions agricoles et de la végétation naturelle conservée), de la biodiversité associée (la fraction non récoltée de la production et de la biomasse offrent, par exemple, habitats et ressources à une flore et à une faune variées), de la biodiversité qui se trouve dans le voisinage du système (l'isolement relatif de celui-ci vis-à-vis des écosystèmes naturels, par exemple), ainsi que de l'intensité de la gestion agricole (émondage, usage d'engrais et de pesticides, etc.) (Altieri, 1999; Vandermeer et al., 1998).

La tendance actuelle de modernisation des caféières limite donc le potentiel de ces systèmes quant à leur rôle de conservation de la biodiversité. Mais doit-on pour autant chercher à maintenir la biodiversité dans les caféières? En dehors de la valeur intrinsèque de la biodiversité elle-même (souvent éthique, bien que parfois estimée en termes économiques (Pimentel et al., 1997, cité dans Paoletti, 1999), la question subsiste à savoir laquelle, entre l'intégration et la ségrégation des fonctions de production et de conservation de l'espace, est la meilleure stratégie pour la conservation de la biodiversité! Si les agroforêts, selon Van Noordwijk et al.

(1998), présentent l'option la plus efficace en termes de production conservatrice, celles-ci visent surtout la production et ne peuvent pas rivaliser avec les forêts naturelles pour ce qui est du maintien de la diversité biologique. Le degré de diversité biologique que l'on considèrera suffisant dans ces systèmes dépendra donc essentiellement, selon Main (1999), des objectifs spécifiques de gestion (stabilité de la production, protection contre l'érosion et le lessivage des éléments nutritifs, contrôle des herbacées envahissantes et des insectes nuisibles, etc.). Néanmoins, si les agroforêts ne sont pas en mesure de remplacer les forêts naturelles, les espaces où les agroforêts sont nombreuses coïncident avec ceux dont la biodiversité est particulièrement riche, mais où, bien souvent, la déforestation progresse de façon importante (Perfecto et al., 1996). Au Mexique, par exemple, la zone caféière s'étend entre 300 et 2000 m d'altitude et chevauche, par conséquent, la zone écologique des basses terres tropicales (riche en biodiversité) et celle des hautes terres tempérées (où résident beaucoup d'espèces endémiques). Ainsi, 14 des 155 régions prioritaires pour la conservation de la biodiversité au Mexique se situent dans les grandes régions productrices de café, où les plantations traditionnelles dominent encore le paysage, mais qui ont subi une très forte déforestation (Moguel et Toledo, 1999). Selon ces derniers, l'incapacité des seuls espaces naturels à conserver efficacement la biodiversité justifie le maintien d'une grande diversité dans les agroécosystèmes tels que les caféières.

En définitive, le modèle de caféiculture traditionnel se révèle somme toute fort avantageux. Il représente, dans bien des situations, un excellent compromis entre la préservation de l'environnement naturel et les besoins de production des paysans (Thiollay, 1995). Pourtant, la valorisation commerciale des produits provenant de ces environnements complexes que constituent les plantations traditionnelles - sans oublier la somme des plantes médicinales et des savoirs traditionnels associés qu'on y trouve, ainsi que les bénéfices environnementaux qu'ils prodiguent - est trop déficiente pour espérer renverser prochainement la tendance à leur modernisation (High et Shackleton, 2000; Paoletti, 1999; Perfecto et al., 1996). En effet, l'espoir d'obtenir de meilleurs prix permettant de compenser la production inférieure de ces systèmes reste mince pour la plupart des agriculteurs, car les procédures de certification des produits par un label dit « écologique » ou « équitable » sont difficiles et laborieuses (Perfecto et al., 1996). De plus, les crédits bancaires ou institutionnels ne sont généralement pas accessibles aux paysans qui en ont besoin pour la commercialisation de leurs produits et, lorsqu'ils sont disponibles, demandent souvent, en contrepartie, l'application de paquets technologiques (incluant l'usage d'engrais et de variétés de café améliorées) (Perfecto et al., 1996; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Il reste malgré tout préférable, selon Ewel (1999), d'accepter l'éventualité de rendements plus faibles s'ils sont, par ailleurs, stables et écologiquement

sécuritaires. Pour permettre le maintien des agroforêts traditionnelles, les gouvernements doivent donc cesser, d'une part, les programmes de modernisation de cette culture tels qu'ils sont conçus actuellement et, d'autre part, accorder des allègements fiscaux ou d'autres incitatifs en faveur des petits producteurs, ou faire payer une partie des coûts sociaux et environnementaux liés aux productions intensives en taxant, par exemple, l'utilisation ou la production des pesticides (Perfecto et al., 1996). En ce sens, les gouvernements et les agences d'aide humanitaire des pays occidentaux (tels que l'USAID, par exemple) devraient cesser tout financement de projet qui fait encore la promotion de la modernisation de la caféiculture (Perfecto et al., 1996).

Références

- Altieri M.A. (1999), The ecological role of biodiversity in agroecosystems, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19-31.
- Amoah F.M., Osei-Bonsu K. et Opong F.K. (1997), Response of improved robusta coffee to location and management practices in Ghana, *Experimental Agriculture* 33: 103-111.
- Andrén H. (1994), Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review, *Oikos* 71: 355-366.
- Babbar L.I. et Zak D.R. (1994), Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 48:107-113.
- Babbar L.I. et Zak D.R. (1995), Nitrogen loss from coffee agroecosystems in Costa Rica: leaching and denitrification in the presence and absence of shade trees, *Journal of Environmental Quality* 24:227-233.
- Baggio A.J., Caramori P.H., Androcioli Filho A. et Montoya L. (1997), Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*, *Agroforestry Systems* 37: 111-120.
- Barbour M.G., Burk J.H. et Pitts W.D. (1987), *Terrestrial Plant ecology*, 2nd edition, The Benjamin Cummings Publishing Company, Inc., Menlo Park, California, 634 p.
- Beaucage P. (1995), Un débat à plusieurs voix au Mexique, Les amérindiens et la Nation, *Recherches Amérindiennes au Québec* 25(4): 15-30.
- Beaucage P. (1992), Crise des subsistances ou crise des modèles explicatifs? À propos d'un mouvement indigène et de ses interprétations, *Anthropologie et Sociétés* 16(2): 67-90.
- Beaucage P. (1973), Anthropologie économique des communautés indigènes de la Sierra Norte de Puebla (Mexique): 1- Les villages de basse montagne, *Revue canadienne de sociologie et d'anthropologie* 10(1): 114-133.

Beaucage P., Gobeil M., Montejo M.E. et Vityé F. (1982), Développement rural et idéologie paysanne: "ce qui se passe au village", *Anthropologie et Sociétés* 6(1): 131-174.

Beer J. (1987), Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea, *Agroforestry Systems* 5: 3-13.

Beer J., Muschler R., Kass D. et Somarriba E. (1998), Shade management in coffee and cacao plantations, *Agroforestry Systems* 38: 139-164.

Boivin P. (1988), *Les paysages de la basse montagne du versant nord-oriental de la Sierra Norte de Puebla (Mexique)*, Thèse de l'Institut de Géographie, Université Toulouse Le Mirail, Toulouse, 164 p.

Bonilla G. et Somarriba E. (2000), Tipologías cafetaleras del Pacífico de Nicaragua, *Agroforestería en las Américas* 7(26): 27-29.

Brigham R.M. et Schalk G.V. (1994), Prey selection by insectivorous bats: is polyunsaturated fat an important currency?, *Bat Research News* 35(4): 95.

Cambrony H.R. (1989), *Le caféier*, Maisonneuve et Larose, Paris, 166 p.

Cannell M.G.R., Van Noordwijk M. et Ong C.K. (1996), The central agroforestry hypothesis: the tree must acquire resources that the crop would not otherwise acquire, *Agroforestry Systems* 34: 27-31.

Caramori P.H., Androcioli Filho A. et Leal A.C. (1996), Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in Southern Brazil, *Agroforestry Systems* 33: 205-214.

Castellón J.U., Muschler R. et Jiménez (2000), Abonos orgánicos: efecto de sombra y altitud en almácigos de café, *Agroforestería en las Américas* 7(26): 30-33.

Chacon J.C. et Gliessman S.R. (1982), Use of the "non-weed" concept in traditional tropical agroecosystems of south-eastern Mexico, *Agro-Ecosystems* 8: 1-11.

De Jong W. (1996), Swidden-fallow agroforestry in Amazonia: diversity at close distance, *Agroforestry Systems* 34: 277-290.

De Silva N.T.M.H. et Tisdell C.A. (1990), Evaluating techniques for weed control in coffee in Papua New Guinea, *The International Tree Crops Journal* 6: 31-49.

FAO (2001), *Bases de données statistiques*, <http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture&language=FR>

FAO (1999), *Situation des forêts du monde*, <http://www.fao.org/forestry/FO/SOFO/SOFO99/sofo99-f.stm>

FAO (1997), XI Congrès Forestier Mondial, 13-22 Octobre 1997, Antalya, Turquie, www.fao.org/forestry/foda/wforcong/publi/

Fernandes E.C.M., Oktingati A. et Maghembe J. (1983), The Chagga home gardens: a multi-storeyed agro-forestry cropping system on Mt. Kilimanjaro, northern Tanzania, *Agroforestry Systems* 1(3): 269-273.

Gallina S., Mandujano S. et Gonzalez-Romero A. (1996), Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of central Veracruz, Mexico, *Agroforestry Systems* 33: 13-27.

Giller K.E., Bear M.H., Lavelle P., Izac A.-M.N. et Swift M.J. (1997), Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function, *Applied Soil Ecology* 6: 3-16.

Gillespie A.R., Knudson D.M. et Geilfus F. (1993), The structure of four home garden in Petén, Guatemala, *Agroforestry Systems* 24: 157-170.

Greenberg R., Bichier P., Cruz Angon A. et Riesma R. (1997), Bird population in shade and sun coffee plantations in central Guatemala, *Conservation Biology* 11(2): 448-459.

Heiser C.B.Jr. (1990), *Seeds to civilisation, the story of food*, Harvard University Press, Cambridge, 228 p.

Herzog F. (1994), Multipurpose shade trees in coffee and cocoa in Côte d'Ivoire, *Agroforestry Systems* 27: 259-267.

High C. et Shackleton C.M. (2000), The comparative value of wild and domestic plants in homegardens of South African rural village, *Agroforestry Systems* 48: 141-156.

Howell D.J. (1979), Flock foraging in nectar-feeding bats: advantages to the bats and to the host plant, *The American Naturalist* 114(1): 23-49.

Instituto de Recursos Mundiales (WRI), Union Mundial para la Naturaleza (UICN) et Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (1992), *Estrategia global para la biodiversidad: pautas de acción para salvar, estudiar y usar en forma sostenible y equitativa la riqueza biótica de la tierra*, WRI, UICN et PNUMA, 244 p.

Legendre P. et Legendre L. (1998), *Numerical Ecology*, 2nd English Edition, Elsevier, Amsterdam, 853 p.

Llenderal T. et Somarriba E. (1999), Tipologías de cafetales en Turrialba, Costa Rica, *Agroforestería en las Américas* 6(23): 30-32.

Mathieu D. (1986), *Mutation de l'organisation rurale dans un village de la Sierra Norte de Puebla (México)*: San Miguel Tzinacapan, Thèse de l'Institut de Géographie, Université Toulouse Le Mirail, Toulouse, 152 p.

Moguel J (1997), La vía campesina de desarrollo en México (crisis del modelo farmer, pervivencia y reproducción del modelo indio-comunitario), In S. Zermeno (éd.), *Movimientos sociales e identidades colectivas (México en la década de los noventa)*, Ed. La Jornada et Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades/UNAM, México, pp.108-123.

Moguel P. et Toledo V.M. (1999), Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico, *Conservation Biology* 13(1): 11-21.

Montagnini F., Ramstad K. et Sancho F. (1993), Litterfall, litter decomposition and the use of mulch of four indigenous tree species in the Atlantic lowland of Costa Rica, *Agroforestry Systems* 23: 39-61.

Muschler R.G. et Bonnemann A. (1997), Potentials and limitations of agroforestry for changing land-use in the tropics : experiences from Central America, *Forest Ecology and Management* 91: 61-73.

Nair P.K.R. (1993), *An introduction to agroforestry*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Pays-Bas, 499 p.

Nestel D. et Altieri M.A. (1992), The weed community of Mexican coffee agroecosystems: effect of management upon plant biomass and species composition, *Acta Oecologica* 13(6): 715-726.

Nestel D, Dickschen F. et Altieri M.A. (1993), Diversity patterns of soil macro-Coleoptera in Mexican shaded and unshaded coffee agroecosystems : an indicator of habitat perturbation, *Biodiversity and Conservation* 2: 70-78.

Nestel D. et Dickschen F. (1990), The foraging kinetics of ground ant communities in different mexican coffee agroecosystems, *Oecologica* 84: 58-63.

Olvera A., Hoffman O. et Millan C. (1997), Identidades fragmentadas: formas, actores y espacios de la modernisation en el campo. El caso de la caféicultura veracruzana, In S. Zermeno (éd.), *Movimientos sociales e identidades colectivas (México en la década de los noventa)*, Ed. La Jornada et Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades/UNAM, Mexico, pp.155-187.

Orozco-Castillo C., Chlamers K.J., Waugh R. et Powel W. (1994), Detection of genetic diversity and selective gene introgression in coffee using RAPD markers, *Theoretical and Applied Genetics* 87: 934-940.

Paoletti M.G. (1999), Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 1-18.

Paré L. (1987), Le mouvement paysan au Mexique (1976-1984), *Anthropologie et Sociétés* 11(2): 65-82.

Perfecto I. et Snelling R. (1995), Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem : ants in coffee plantations, *Ecological applications* 5(4): 1084-1097.

Perfecto I., Rice R.A., Greenberg R. et Van Der Voort M.E. (1996), Shade coffee : a disappearing refuge for biodiversity, *Bioscience* 46(8): 598-608.

Plamondon A.P. (1998), *Érosion et sédimentation*, Notes de cours, Université Laval, Québec, 145 p.

Posey D.A. (1985), Indigenous management of tropical forest ecosystems: the case of the Kayapó Indians of Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems* 3: 139-157.

Posey D.A. (1992), Los Kayapó y la naturaleza, In J.E. Juncosa (éd.), *Los Guardianes de la Tierra: Los indígenas y su relación con el medio ambiente*, Colección 500 Años 14: 35-49.

Ridler N.B. (1983), Labour force and land distributional effects of agricultural technology : a case study of coffee, *World Development* 11(7): 593-599.

Robbrecht E. (1995), *Kawa. Les secrets du café: du caféier à la tasse*, Jardin botanique national de Belgique, Bruxelles, 127 p.

Rojas L., Godoy C., Hanson P., Kleinn C. et Hilje L. (1999), Diversidad de homópteros en plantaciones de café con diferentes tipos de sombra, en Turrialba, Costa Rica, *Agroforestería en las Américas* 6(23): 33-35.

Romero A.c., Jiménez F. et Muschler R. (2000), Crecimiento de almácigo de café con abono tipo bocashi y follaje verde de *Erythrina poeppigiana*, *Agroforestería en las Américas* 7(26): 37-39.

Salafsky N. (1994), Forest gardens in the Gunung Palung region of West Kalimantan, Indonesia, *Agroforestry Systems* 28: 237-268.

Salazar E., Muschler R., Sánchez V. et Jiménez F. (2000), Calidad de coffee arabica bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica, *Agroforestería en las Américas* 7(26): 40-42.

Salick J. (1989), Ecological basis of Amuesha agriculture, Peruvian Upper Amazon, In D.A. Posey et W. Balée (éd.), *Resource Management in Amazonia: indigenous and folk strategies*, *Advances in Economic Botany* 7: 189-212.

Samayoa J.O. et Sánchez V. (2000), Importancia de la sombra en la incidencia de enfermedades en café orgánico y convencional en Paraíso, Costa Rica, *Agroforestería en las Américas* 7(26): 34-36.

Sánchez P.A., Buresh R.J. et Leakey R.R.B. (1997), Trees, soils, and food security, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B* 352(1356): 949-961.

Schroeder P. (1994), Carbon storage benefits of agroforestry systems, *Agroforestry Systems* 27: 89-97.

Somarriba E. et Beer J.W. (1987), Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems, *Forest Ecology and Management* 18: 113-126.

Stork N.E., Boyle T.J.B., Dale V., Eeley H., Finegan B., Lawes M., Manokaran N., Prabhu R. et Soberon J. (1997), *Criteria and indicators for assessing the sustainability of forest management: conservation and biodiversity*, Working Paper n°17, CIFOR, Jakarta, 29 p.

Straver C. (1999), Managing ground cover heterogeneity in coffee (*Coffea arabica* L.) under managed tree shade : from replicated plots to farmer practice, In L.E. Buck, J.P. Lassoie et E.C.M. Fernandes (éd.), *Agroforestry in sustainable agricultural systems*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 416 p.

Taller de Tradition Oral del CEPEC et Beaucage P. (1997), Integrating innovation : The traditional nahua coffee-orchard (Sierra Norte de Puebla, Mexico), *Journal of Ethnobiology* 17(1): 45-67.

Taller de Tradition Oral del CEPEC et Beaucage P. (1990), Le bestiaire magique: Caractérisation du monde animal par les Maseuals (Nahuats) de la Sierra Norte de Puebla, *Recherches Amérindiennes au Québec* 20 (3-4): 3-18.

Taller de Tradition Oral del CEPEC et Beaucage P. (1987), Catégories pratiques et taxonomies: Notes sur les classifications et les pratiques botaniques des Nahuas (Sierra Norte de Puebla, Mexique), *Recherches Amérindiennes au Québec* 16(4): 17-36.

Tavares F.C., Beer J., Jiménez F., Schroth G. et Fonseca C. (1999), Experiencia de agricultores de Costa Rica con la introducción de árboles maderables en plantaciones de café, *Agroforestería en las Américas* 6(23): 17-20.

Thiollay J.M. (1995), The role of traditional agroforests in the conservation of rain forest bird diversity in Sumatra, *Conservation Biology* 9(2): 335-353.

Vandermeer J., Van Noordwijk M., Anderson J., Ong C. et Perfecto I. (1998), Global change and multi-species agroecosystems: concepts and issues, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 67: 1-22.

Van Noordwijk M., Tomich T.P., De Foresta H. et Michon G. (1997), To segregate or to integrate? The question of balance between production and biodiversity conservation in complex agroforestry systems, *Agroforestry Today* 9(1): 6-9.

Viquez E., Prado A., Oñoro P. et Solano R. (1994), Caracterización del huerto mixto tropical "La Asunción", Masatepe, Nicaragua, *Agroforestería en las Américas* Abril-Junio: 5-9.

Weaver P.L. et Birdsey A. (1986), Tree succession and management opportunities in coffee shade stands, *Turrialba* 36(1): 47-58.

Wiersum K.F. (1997), Indigenous exploitation and management of tropical forest resources: an evolutionary continuum in forest-people interactions, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 63: 1-16.

Yamazaki F. (1996), Potential erosion of trade preferences in agricultural products, *Food Policy* 21(4/5): 409-417.

Yellapa Reddy A.N. (1992), *Grevillea robusta* in coffee plantations of Karnataka, In C.E. Harwood (éd.), *Grevillea robusta in agroforestry and forestry*, Proceedings of an International Workshop, ICRAF, Nairobi, 190 p.

Young A. (1995), *L'agroforesterie pour la conservation du sol*, Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA) et ICRAF, Wageningen, 194 p.

CHAPITRE 2 : CAFÉICULTURE ET RICHESSE VÉGÉTALE À SAN MIGUEL TZINACAPAN, AU MEXIQUE.

Le cadre historique de San Miguel Tzinacapan

Afin d'apporter une contribution à la problématique de la modernisation de la caféiculture et de son effet sur la biodiversité dans les plantations de café, une recherche a été réalisée dans le terroir du village de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), au Mexique. La présente section cherche à tracer le cadre géographique et historique de ce village en guise d'avant-propos au bref article qui sert de deuxième chapitre au présent essai.

La juridiction de San Miguel Tzinacapan (21°04'30" de latitude Nord et 97°30'19" de longitude Ouest) se situe dans l'une des zones du Mexique où la culture du café est très répandue, la Sierra Norte de Puebla (figure 7). Cette région, densément peuplée par une population essentiellement indigène, fait partie de la chaîne de montagnes qui longe la côte caraïbe (la Sierra Madre Oriental) (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1987; 1997). La juridiction de San Miguel Tzinacapan, qui compte actuellement 3000 à 5000 habitants (Nahuas, pour la plupart), voit croître rapidement sa population, ce qui accentue la pression sur les ressources de ses quelque 3000 hectares (Boivin, 1988; Mathieu, 1986; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1987; 1997). Son territoire, à flanc de montagne, s'étend entre 500 et 1200 mètres d'altitude et chevauche la frontière entre les écosystèmes de la forêt tropicale et des hauts plateaux (Moguel et Toledo, 1999; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). La zone reçoit plus de 4000 mm de pluie par an, répartis sur un peu plus de huit mois de saison humide (de la mi-juin à la fin février), sous forme de violents mais brefs orages presque quotidiens de juin à août, puis de bruine et de brouillard jusqu'à février (Boivin, 1988; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1987). La forte pluviosité de la région, qui atteint jusqu'à 90 mm/h et même 5 mm par minute, entraîne de sérieux problèmes d'érosion, particulièrement lorsque les pentes raides sont cultivées (Boivin, 1988).



Figure 7. La position géographique de San Miguel Tzinacapan.
Adapté de www.nationalgéographique.com, 2000.

La juridiction de San Miguel Tzinacapan, comme l'ensemble de la bande de moyenne montagne, a pour activité principale une agriculture de subsistance, largement dominée par le maïs (une seule récolte par an, sur la majeure partie du territoire). On y retrouve en complément une agriculture marchande, essentiellement la caféiculture (le plus souvent sous couvert arboré). Quelques aires de pâturage sont également présentes, mais elles ne sont guère étendues et restent peu intensives. Par ailleurs, il ne reste aujourd'hui que des vestiges de la culture de canne à sucre qu'on pratiquait, il n'y a pas si longtemps, jusqu'à 900 mètres d'altitude. La raréfaction du bois de chauffage dans toute la zone a en effet entraîné son déclin (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1987).

Les terres familiales sont éparpillées en petits fragments dans l'ensemble du territoire, et se trouvent réparties en différents points le long d'un gradient altitudinal. Cet arrangement spatial permet aux paysans de profiter des divers domaines bioclimatiques de la région, afin d'obtenir une production diversifiée et d'étaler le calendrier des travaux agricoles sur une période plus étendue (Mathieu, 1986; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Les parcelles servant à la culture du maïs, qui prennent généralement place sur des sols plutôt riches, sont sous usage permanent (on y pratique de moins en moins la jachère) et, défiant toute prudence, reposent sur des pentes de plus en plus raides à mesure que le défrichement progresse (Beaucage et al., 1982; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Les caféières sont généralement moins à

risque en matière d'érosion et de perte de fertilité des sols, bien qu'elles soient souvent situées sur des pentes parmi les plus raides (Boivin, 1988; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997; Young, 1995). La plantation de café permet à la famille de combler certains besoins monétaires urgents et de compléter son alimentation grâce aux productions associées (divers fruits, par exemple) ou aux plantes non cultivées qui y poussent (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1987; 1997). Cependant, pour les paysans dont les surfaces agricoles sont trop réduites pour produire le maïs nécessaire à l'alimentation familiale, la culture du café représente une stratégie spéculative qui vise à dégager les moyens financiers pour atteindre cet objectif (Beaucage, 1992; Mathieu, 1986).

Dans toute la région, la structure de la propriété est extrêmement morcelée. La grande majorité des paysans (70 %) possède moins de 2 hectares de terre et la quasi-totalité (90 %) en possède moins de 5 hectares, sans compter les paysans sans terre, de plus en plus nombreux, qui se tournent vers une multitude d'alternatives économiques relativement infructueuses (Mathieu, 1986; Santoyo et al., 1995, cité dans Moguel et Toledo, 1999; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Ce mode de tenure des terres, dominé par la petite propriété, a pris naissance après la Réforme de 1856, puis s'est affirmé à la suite des récompenses offertes aux vétérans autochtones de la région qui ont repoussé l'invasion franco-autrichienne de 1862-1867 (Beaucage, 1992; 1995; Mathieu, 1986). La création de municipalités indigènes, qui ont remplacé les « républiques d'Indiens » instaurées sous la Couronne espagnole, a ensuite consolidé cette structure où la terre est un bien privé, mais a également permis de limiter les expropriations. D'autre part, au début du XXe siècle, l'entrée en scène du capitalisme agraire et marchand s'est manifestée de façon particulière dans la zone propice à la culture du café. La bourgeoisie métisse, plutôt que d'établir de grandes propriétés comme dans le cas de l'élevage et de la plupart des cultures commerciales, a encouragé les Indigènes à planter du café, puisque le commerce de celui-ci était plus lucratif que sa production (Beaucage, 1973). Depuis, la structure agraire a peu changé dans la région, même avec la Révolution (1910-1917) qui a pourtant permis la réappropriation de quelques *haciendas* par les communautés indigènes, mis à part la poursuite du processus de fragmentation de la propriété, menant à ce que l'on appelle aujourd'hui le « minifundisme », en opposition au « latifundisme » des grands propriétaires terriens (Beaucage, 1995; Mathieu, 1986).

De toute évidence, l'organisation sociale traditionnelle n'est pas, selon Mathieu (1986), en mesure de répondre aux besoins des nouvelles générations. Cette forme de crise entraîne, comme ailleurs, une émigration vers les villes et une restructuration importante du mode de vie rural. Elle se traduit avant tout par une augmentation du nombre de terres cultivées aux dépens

des dernières parcelles de forêt, que les San-Migueleros et les habitants des communautés avoisinantes se disputent (Boivin, 1988; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Seuls quelques ravins particulièrement inaccessibles échappent désormais au travail de l'Homme (figure 8). Mais les mutations sociales liées à l'entrée dans le monde moderne sont importantes dans le village de San Miguel Tzinacapan. La proximité avec la ville de Cuetzalan et l'accès aux infrastructures routières le rendent plus fortement soumis à cette influence que les hameaux plus reculés. Ainsi, le village bénéficie de l'eau courante et de l'électricité (ainsi que de la télévision), ce qui est loin d'être partout réalité (figure 9) (Mathieu, 1986). Il s'y trouve également une école, ainsi qu'une clinique médicale.



Figure 8. Un exemple du recul de la forêt dans les zones les plus inaccessibles.

(Photo: Yann Vergriete, San Miguel Tzinacapan, Mexique, 1998)



Figure 9. Une rue du village de San Miguel Tzinacapan.

(Photo: Yann Vergriete, San Miguel Tzinacapan, Mexique, 1998)

Comme ailleurs au Mexique, la région, assise sur une agriculture et une structure sociale traditionnelles, a d'abord vécu, au cours des vingt-cinq dernières années, une phase de modernisation agricole sous l'impulsion de l'État (par l'intermédiaire de l'INMECAFÉ), accompagnée de l'apparition d'organisations de paysans caféiculteurs. Elle a ensuite vécu une phase de libéralisation des marchés où les petits producteurs, dont les organisations et les groupes de pression se sont trouvés affaiblis, doivent affronter un contexte commercial globalement défavorable (Beaucage, 1973; González, 1997; Paré, 1987; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997; Yamazaki, 1996). Le domaine agricole reflète bien l'influence de ces différentes phases. Ainsi, les modes de production traditionnels se mêlent, dans le paysage, à une agriculture plus moderne et commerciale ainsi qu'à toutes sortes de modèles composites, ce qui donne lieu à une mosaïque complexe, où les nuances quant au choix des pratiques semblent infinies. Cependant, dans les villages plus retirés, l'influence des nouveaux modèles semble moins forte et l'agriculture traditionnelle y reste mieux implantée. La région de Cuetzalan, qui regroupe 7 *municipios* dont celui de San Miguel Tzinacapan, compte aujourd'hui 116 448 hectares de caféières, dont 85 % sont de type traditionnel, 5 % sont des polycultures commerciales, 5 % sont des monocultures sous ombrage, et 5 % sont des monocultures de plein soleil (Moguel et Toledo, 1999).

Depuis la chute des prix du café de 1989 et le démantèlement de l'INMECAFÉ, la plupart des organisations impliquées dans les activités de commercialisation du café ont succombé à la crise (Olvera et al., 1997). La TOSEPAN TITATANISKE (une coopérative agricole de Cuetzalan) continue cependant à fournir des intrants chimiques et d'autres services aux agriculteurs qui souhaitent poursuivre la voie de l'intensification agricole (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Beaucoup d'agriculteurs réduisent cependant l'investissement alloué à leur plantation (en termes de capital financier et de travail) et y laissent croître une diversité de plantes qui correspondent davantage à leurs besoins fondamentaux (figure 10). Par contre, nombre de plantations de café sont actuellement reconverties en champs de maïs, puisque les revenus qui sont associés à la caféiculture ne permettent plus d'acheter suffisamment de ressources alimentaires au prix du marché (figure 11) (Beaucage, 1992; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Il semble d'ailleurs que le milieu naturel de la région, dont l'ensemble des forêts a été transformé par l'activité humaine, et où les plantations de café composent souvent ce qui reste de plus complexe comme habitat, a subi un profond impact de ces changements périodiques de stratégies agricoles (Moguel et Toledo, 1999; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Si le remplacement progressif des cultures de subsistance par des caféières, accentué dès les années 1950, ralentissait la dégradation environnementale dans les zones aux prises, comme la Sierra Norte de Puebla, avec une croissance démographique rapide, il pourrait

toutefois y avoir un coût environnemental aux politiques de modernisation de la caféiculture mises sur pied par l'État à partir des années 1970 et à plus d'une décennie de libéralisation économique (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Depuis, la Sierra Norte de Puebla est devenue une zone prioritaire pour la conservation de la biodiversité et les cultures traditionnelles de café sont considérées, en raison de leur complexité, comme un refuge des plus importants pour celle-ci (Moguel et Toledo, 1999; Perfecto et al., 1996). C'est pourquoi, devant les contradictions nouvelles auxquelles font face les systèmes de productions actuels et dans le but d'orienter les pratiques agricoles futures, il est essentiel de cerner les enjeux relatifs aux différentes modalités d'usage de ce système agroforestier d'intérêt crucial, tant pour les ressources qu'il prodigue aux populations humaines que pour la diversité biologique qu'il abrite.

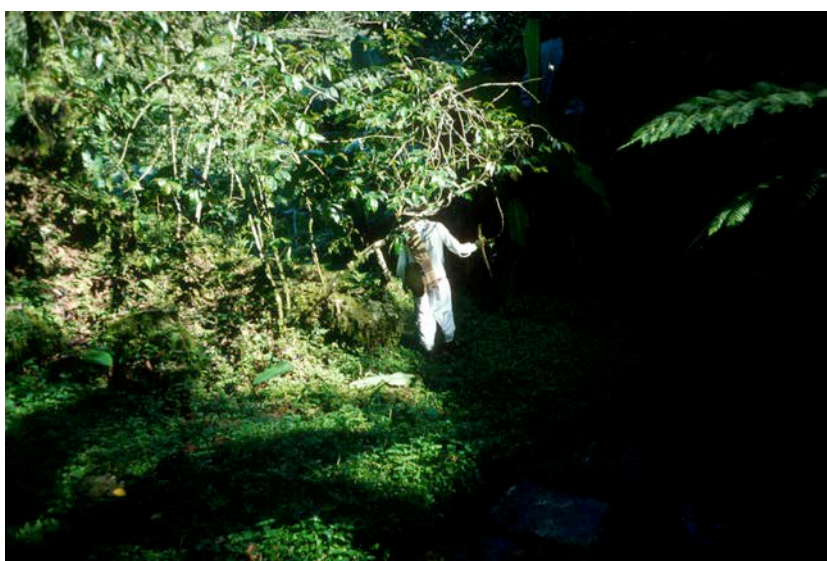


Figure 10. Le retour à une caféiculture traditionnelle.
(Photo: Yann Vergriete, San Miguel Tzinacapan, Mexique, 1998)



Figure 11. La reconversion des caféières en champs de maïs.
(Photo: Yann Vergriete, San Miguel Tzinacapan, Mexique, 1998)

MODERNISATION DE LA CAFÉICULTURE ET RICHESSE VÉGÉTALE : FACTEURS PRINCIPAUX STRUCTURANT LA RICHESSE VÉGÉTALE DE 23 PLANTATIONS DE CAFÉ DU VILLAGE NAHUA DE SAN MIGUEL TZINACAPAN (ÉTAT DE PUEBLA), AU MEXIQUE.

Yann Vergriete^{1,*} et Alain Olivier²

¹ Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Québec, Canada.

² Département de phytologie, Université Laval, Québec, Canada.

* Auteur de correspondance. courriel: yannvergriete@visto.com

Une version préliminaire de cet article a été présentée sous forme d'affiche : Vergriete Y. et Olivier A. (2001), Principaux facteurs structurant la richesse végétale de 23 plantations de café du village nahua de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla) au Mexique, *In* S. Duchesne, F. Duchesneau et M. Hénault (éd.), *La diversité biologique : enjeux pour la prochaine décennie. Actes du 25e Congrès de l'Association des biologistes du Québec*, Québec, 2-3 novembre 2000, Collection Environnement de l'Université de Montréal (sous presse).

Résumé

Les agroforêts traditionnelles sont reconnues pour leur gestion intégrée d'une très haute richesse et d'une très grande diversité en espèces végétales. Elles constituent de plus un milieu complexe qui sert d'habitat, voire de refuge, à une faune variée. Dans la plupart des régions du globe, le mode d'exploitation des agroforêts est toutefois en transformation. Il semble que les tendances à la simplification et à l'intensification de ces systèmes agroforestiers se confirment sous l'influence de facteurs d'ordre économique et politique. C'est apparemment le cas dans la juridiction de San Miguel Tzinacapan, village nahua de la Sierra Norte de Puebla, au Mexique.

Les plantations de café de cette région révèlent une grande variabilité de structure et de composition, allant du modèle complexe traditionnel au modèle moderne et simplifié de production. La présente étude cherche à explorer l'impact des politiques d'intensification de la caféiculture sur la biodiversité dans ces agroécosystèmes. L'objectif est d'identifier, parmi une série de facteurs environnementaux et socio-économiques, ceux qui influencent le plus la richesse végétale de 23 plantations familiales de moins de 1,5 ha appartenant à 13 agriculteurs différents. Un échantillonnage standardisé, une prise de données environnementales et une enquête socio-économique ont été réalisées.

Les résultats obtenus semblent confirmer l'impact négatif de la modernisation des caféières sur la biodiversité végétale. Parmi les facteurs étudiés, les plus fortement liés à la richesse des arbres d'une hauteur de plus de 5 m sont, de façon positive, le degré de fermeture de la canopée et, de façon négative, la densité des plants de café. En ce qui a trait aux plantes d'une hauteur de 1,5 à 5

m, les principaux facteurs liés à leur richesse sont, de façon positive, le pourcentage de plants de café appartenant à la variété traditionnellement employée depuis les débuts de la caféiculture au Mexique et, de façon négative, l'intensité de la force de travail salariée employée pour désherber les caféières, ainsi que l'accès à une source de revenu autre que l'agriculture. Le potentiel de conservation de la biodiversité des caféières paraît donc menacé par les pratiques liées à l'intensification de la production.

Introduction

L'étendue des espaces naturels diminuant chaque année davantage, la diversité subsistant dans les agroécosystèmes suscite un intérêt grandissant. Les systèmes de production du café sont au cœur de ces préoccupations, en raison non seulement de la grande diversité biologique qu'arborent certains d'entre eux, mais aussi de la place considérable qu'ils occupent dans plusieurs régions du globe. Au Mexique, la culture du café (*Coffea arabica*) fut introduite au XIX^e siècle. Le commerce du café connut une réelle expansion à partir des années 1950, ce qui poussa beaucoup de populations indigènes à adopter sa culture. Dès les années 1970, le gouvernement mexicain, alors en pleine crise agricole et financière, lançait, par l'intermédiaire de l'INMECAFÉ (Institut Mexicain du Café), un programme de modernisation et d'intensification de la caféiculture afin de favoriser l'entrée de devises étrangères (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). Puisque des rendements de café plus élevés pouvaient être obtenus avec de nouvelles variétés de café, un ombrage réduit ou nul, ainsi que l'ajout de fertilisants, on a recommandé aux paysans de revoir leur mode de production et de supprimer les arbres de leurs caféières ou de les remplacer par une mince strate arborée dominée par une seule espèce de la famille des légumineuses (*Inga* sp., par exemple) (Moguel et Toledo, 1999; Muschler et Bonnemann, 1997; Perfecto et al., 1996; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997).

Parmi les zones importantes de production de café au Mexique, on retrouve la sierra Norte de Puebla, une région densément peuplée où la presque totalité des forêts a été affectée par cette activité. La région est aujourd'hui considérée par le gouvernement mexicain comme une aire prioritaire pour la conservation de la biodiversité et, dans ces conditions, certains font valoir que les cultures de café traditionnelles constituent un refuge important pour la diversité biologique (Moguel et Toledo, 1999; Perfecto et al., 1996). De nombreux auteurs mentionnent en effet une dichotomie très nette entre les plantations modernes et traditionnelles en ce qui a trait à la faune et à la flore. L'ombrage des plantations de café traditionnelles provient souvent de plus d'une trentaine d'espèces d'arbres (Moguel et Toledo, 1999). Une grande diversité d'épiphytes, qui dépendent des arbres de la canopée, y est observée (Moguel et Toledo, 1999). Nestel et al. (1993) rapportent que la diversité et l'équitabilité des scarabidés est corrélée à celle des arbres qui constituent l'ombrage des caféières. La diversité des homoptères et des coléoptères est elle aussi plus élevée dans les plantations de café avec ombrage (Bonilla et Somarriba, 2000; Nestel et al., 1993). La richesse en espèces de fourmis augmente pour sa part avec l'augmentation de la diversité végétale et du pourcentage d'ombrage (Perfecto et Snelling, 1995). Les oiseaux ont également une

population plus élevée et plus diversifiée dans les plantations traditionnelles que dans les plantations modernes (Perfecto et al., 1996). Le nombre d'espèces d'oiseaux est corrélé positivement au degré de fermeture de la canopée, au nombre d'espèces d'arbres et à leur hauteur (Greenberg et al., 1997). La richesse et la diversité des populations de mammifères sont elles aussi corrélées à la complexité de la structure végétale des caféières (Gallina et al., 1996). En considérant les résultats des différentes études réalisées sur la biodiversité dans les plantations de café, on constate donc que la structure et la composition végétale des caféières ont un effet sur l'ensemble de la biodiversité qu'elles supportent, en raison de la diversité des habitats et des ressources qu'elles apportent (Altieri, 1999; Perfecto et al., 1996; Stork et al., 1997; Vandermeer et al., 1998).

Dans la réalité villageoise, les caféières ne montrent cependant pas une dichotomie aussi nette entre les plantations modernes et traditionnelles, et les processus influençant la biodiversité ne sont pas évidents. La connaissance des facteurs qui jouent le plus grand rôle dans la richesse végétale des plantations de café est pourtant essentielle si l'on veut prévoir l'avenir qui est réservé à la biodiversité qu'elles abritent (Stork et al., 1997). Cet avenir est d'autant plus incertain que la chute du cours du café en 1989 et le démantèlement progressif de l'INMECAFÉ qui s'en est suivi ont eu un effet marquant sur l'ensemble de la caféiculture mexicaine. En effet, les caféières ne représentent plus la manne promise et les stratégies individuelles de subsistance se multiplient (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997).

Objectifs et hypothèses de recherche

La présente étude cherche à explorer l'impact des politiques mexicaines d'intensification de la caféiculture sur la biodiversité des agroécosystèmes producteurs de café. De façon plus spécifique, il s'agit d'identifier, parmi une série de facteurs environnementaux et socio-économiques, ceux qui influencent le plus la richesse végétale des caféières de San Miguel Tzinacapan, afin de déceler l'impact éventuel des politiques de modernisation sur la structure actuelle des plantations.

Méthodologie

Un plan d'échantillonnage standardisé, développé en collaboration avec Catherine Potvin (Département de Biologie, Université McGill), a été appliqué, en mai, juin et juillet 1998, à 23 plantations de café d'apparence variée réparties dans diverses zones du territoire aux alentours du village de San Miguel Tzinacapan (figure 12) (21°04'30" de latitude Nord et 97°30'19" de longitude Ouest), dans l'État de Puebla, au Mexique. Ce plan consistait en la sélection aléatoire, dans chaque caféière, de deux transects parallèles et distancés d'au moins 20 m. Le long de chacun d'eux, quatre quadrats de 3 m de rayon ont été établis a priori pour répertorier les espèces végétales d'une première classe de taille comprise entre 1,5 et 5 m de hauteur (Stork et al., 1997). Deux quadrats de 10 m de rayon y ont également été établis pour l'étude des plantes de plus de 5 m de hauteur.

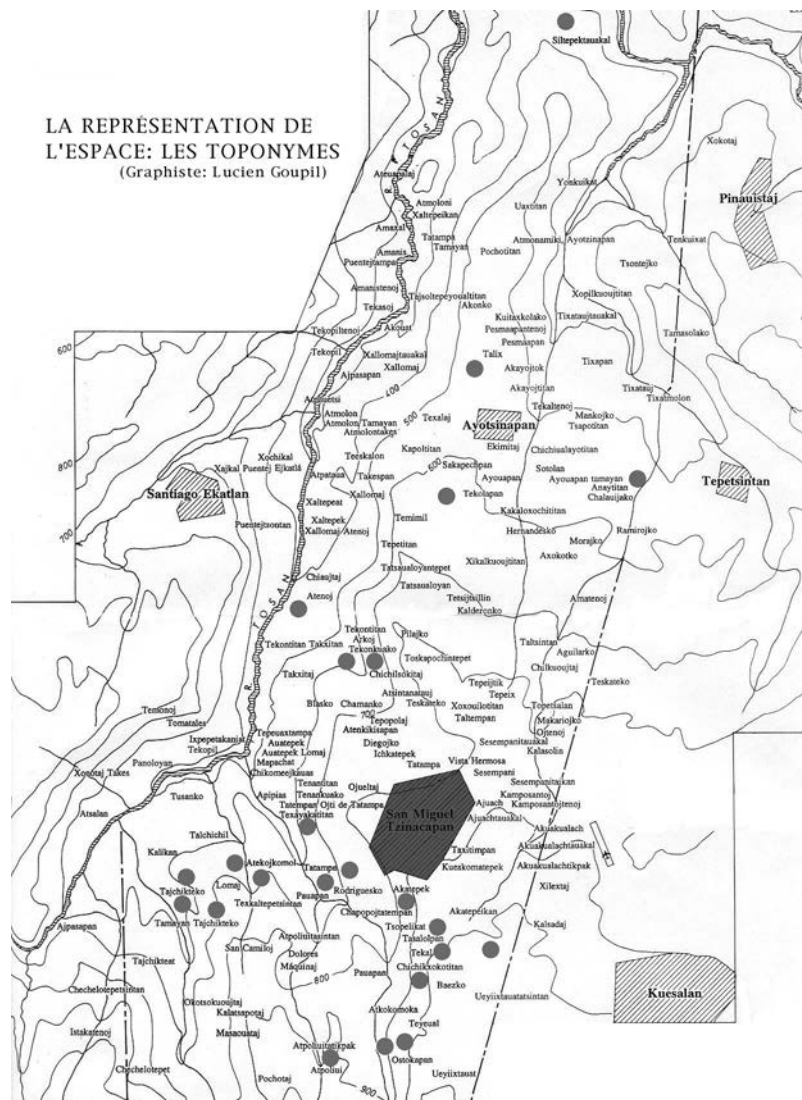


Figure 12. La localisation des 23 caféières dans la juridiction de San Miguel Tzinacapan.

Les espèces végétales rencontrées ont été identifiées par leur nom en langue nahuat (grâce à un villageois ayant une grande connaissance des plantes locales) et leur présence dans chaque quadrat a été notée. Un herbier a été constitué et transmis pour identification à l'Instituto de Ecología A.C., à Xalapa.

Dans chaque quadrat, plusieurs données environnementales ont été évaluées sur une échelle ordinaire (1 à 4) : le degré de la pente, la pierrosité du sol, l'humidité du sol, le degré de fermeture de la canopée, ainsi que la fraction du sol recouverte par des feuilles mortes. L'altitude de chaque plantation et sa distance du village ont aussi été mesurées.

Afin de compléter ces informations, une enquête a été réalisée auprès des propriétaires des plantations sélectionnées. Celle-ci a permis de recueillir les informations suivantes : la surface précise de la plantation; la densité des plants de café par hectare; le pourcentage de plants de café appartenant à la variété traditionnelle, dite « *criollo* »; l'âge réel de la plantation; la quantité de travail salarié employée pour

le désherbage; l'usage, ou non, d'engrais et de pesticides; l'âge du propriétaire, ainsi que son niveau de scolarisation; l'accès de celui-ci, ou non, à un emploi rémunéré; l'étendue de ses propriétés foncières; et le nombre d'enfants vivant au foyer familial.

Démarche analytique

Afin de connaître les facteurs le plus fortement corrélés à la richesse végétale de chacune des deux classes de taille, les données globales de chaque caféière ont été soumises à une régression multiple du nombre d'espèces (puis du nombre de familles) végétales, face à l'ensemble des facteurs environnementaux et socio-économiques. Au moyen de la fonction de sélection progressive de variables (*forward selection*), les facteurs les plus reliés à la richesse végétale ont été ajoutés un à un. La même procédure de régression multiple a permis une analyse spatiale des résidus des données, en utilisant un polynôme du troisième degré tiré des coordonnées géographiques de chaque plantation de café. Le logiciel employé était CANOCO V3.15, dont la procédure d'analyse de redondance (RDA) produit des régressions multiples lorsqu'une seule variable dépendante lui est fournie (Legendre et Legendre, 1998; Ter Braak et Smilauer, 1998). Les résultats ont ensuite été soumis à un test par permutations de Monte-Carlo (999 permutations) afin d'en déterminer la fiabilité.

Résultats

La figure 13 résume les données globales de richesse végétale de chaque caféière pour les deux classes de taille étudiées. La variation de richesse entre les différentes plantations est visiblement importante et les deux classes de taille ne semblent pas suivre une tendance parallèle, ce qui illustre la grande hétérogénéité des diverses plantations quant à leur structure et à leur composition.

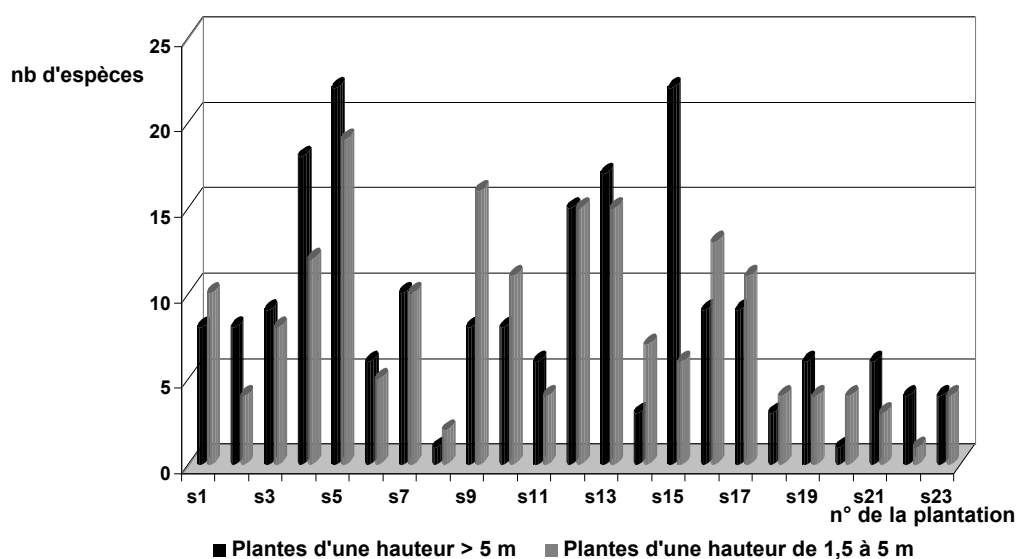


Figure 13. La richesse végétale dans 23 caféières de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), au Mexique.

Le tableau 18 et la figure 14 présentent les résultats de la régression multiple pour la richesse des plantes de plus de 5 m de hauteur et montrent l'effet hautement significatif des deux facteurs principaux sur cette richesse. Deux facteurs principaux expliquent 82,3 % de la variance pour cette variable, soit le degré de fermeture de la canopée, qui a une influence positive sur la richesse végétale, et la densité des caféiers, qui exerce sur elle une influence négative. Une analyse similaire réalisée sur la richesse en familles de plantes révèle l'importance des deux mêmes facteurs. La densité des plants de café compte alors pour 67 % de la variance et le degré de fermeture de la canopée pour 14 %, expliquant à eux deux 81,4 % de la variance.

Tableau 18. Les principaux facteurs corrélés à la richesse des plantes de plus de 5 m de hauteur dans 23 caféières de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), au Mexique.

Facteur sélectionné par la régression	Variance supplémentaire expliquée (%)	Coefficient de régression	Valeur de P (999 permutations)
Degré de fermeture de la canopée	65	0,531	0,001
Densité des plants de café	16	-0,504	0,001
Variance expliquée par le modèle (%)	82,3		0,001

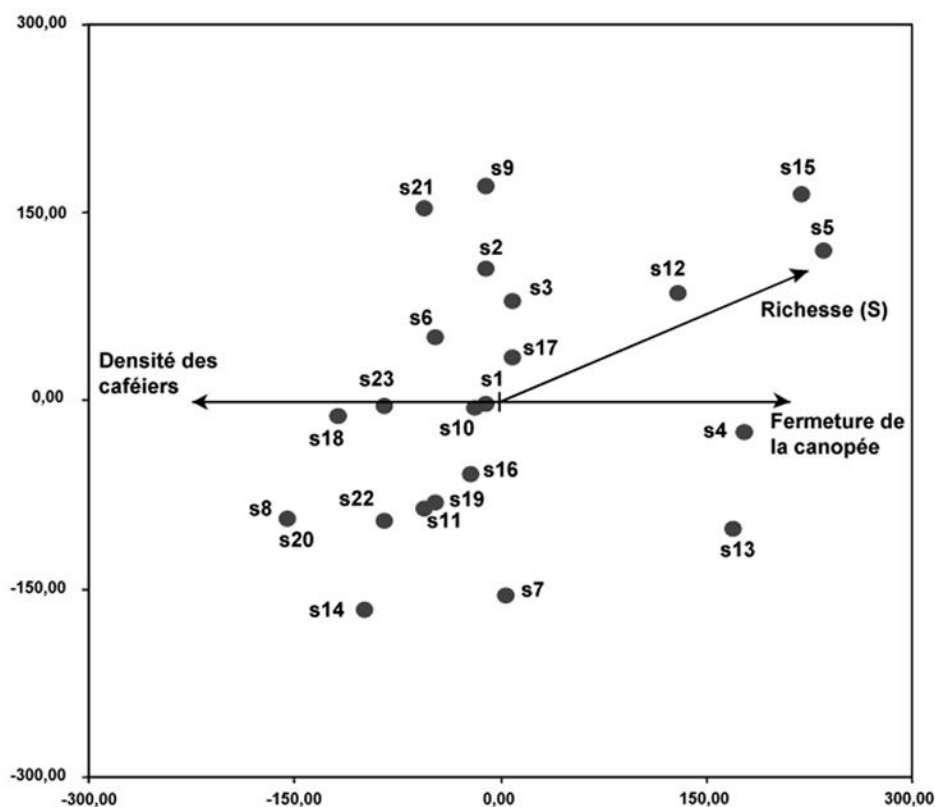


Figure 14. Double dispersion de la richesse des plantes de plus de 5 m de hauteur dans 23 caféières de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), au Mexique.

Le tableau 19 et la figure 15 présentent pour leur part les résultats de la régression multiple pour les plantes de 1,5 à 5 m de hauteur. Trois facteurs principaux expliquent 65,3 % de la variance pour la

richesse végétale des plantations, soit le désherbage salarié et l'accès à un emploi rémunéré, qui ont un impact négatif sur cette variable, et le pourcentage de caféiers de la variété traditionnelle « *criollo* », qui a un impact positif. Dans le cas de l'analyse des familles de plante, le désherbage réalisé par une main-d'œuvre salariée explique 49 % de la variance et le pourcentage de caféiers « *criollo* » compte pour 10 % de la variance supplémentaire. L'accès à un emploi salarié n'a cependant plus d'effet significatif ($p = 0,175$).

Tableau 19. Les principaux facteurs corrélés à la richesse des plantes de 1,5 à 5 m de hauteur dans 23 caféières de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), au Mexique.

Facteur sélectionné par la régression	Variance supplémentaire expliquée (%)	Coefficient de régression	Valeur de P (999 permutations)
Travail de désherbage salarié	49	-0,491	0,001
Pourcentage de caféiers "criollo"	11	0,325	0,026
Accès à un emploi rémunéré	5	0,543	0,108
Variance expliquée par le modèle (%)	65,3		0,001

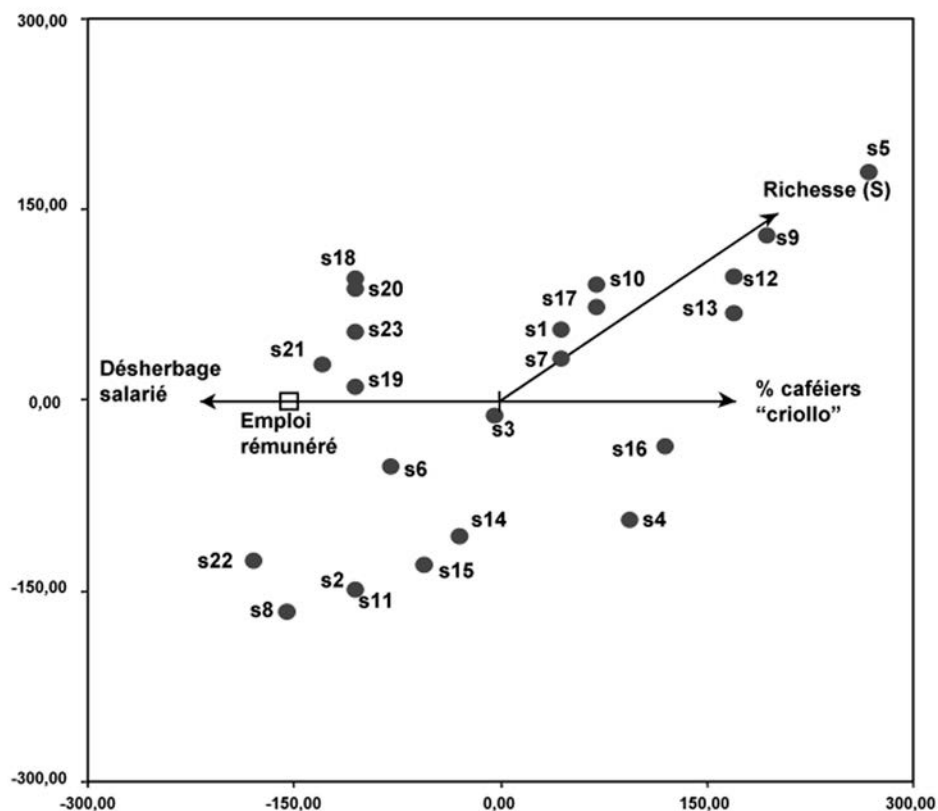


Figure 15. Double dispersion de la richesse des plantes de 1,5 à 5 m de hauteur dans 23 caféières de San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), Mexique.

Les résultats des analyses spatiales ne révèlent pour leur part aucune corrélation significative entre la richesse des différentes plantations, en espèces ou en familles végétales, et leur emplacement géographique (altitude, éloignement du village, etc.).

Discussion

Les résultats obtenus indiquent que la richesse végétale des plantations de café ne serait pas associée à leur position géographique, mais plutôt à des facteurs qui sont sous dépendance anthropique (Moguel et Toledo, 1999). La richesse végétale dans les deux classes de taille ne paraît toutefois pas associée aux mêmes facteurs. Si, pour les plantes de plus de 5 m de hauteur, les facteurs explicatifs relèvent avant tout de la structure de la plantation (degré de fermeture de la canopée et densité des plants de café), pour la classe de taille comprise entre 1,5 et 5 m de hauteur, c'est un facteur d'ordre socio-économique qui domine (le désherbage salarié). Ces différents facteurs semblent néanmoins révéler une même influence : celle de la modernisation de la caféiculture.

Pour ce qui est de la richesse végétale des arbres dépassant 5 m de hauteur, l'influence du degré de fermeture de la canopée ainsi que de la densité des plants de café expriment à eux seuls 82,3 % de la variance. En fait, ces facteurs reflètent deux facettes d'une même réalité (ils sont d'ailleurs fortement intercorrélés, $r = -0,57$) et représentent un choix antagoniste concernant l'intensité de la production du café. Augmenter le nombre de caféiers sur une surface donnée et accroître le rayonnement lumineux qui leur est disponible constituent en effet à première vue la voie la plus simple pour obtenir de plus hauts rendements (Beer et al., 1998).

Quant à la richesse végétale des plantes comprises entre 1,5 et 5 m de hauteur, elle est négativement liée à la quantité du travail de désherbage effectué par une main-d'œuvre salariée. Il est sans doute possible d'associer un tel résultat à la méthode de désherbage peu sélective employée par ce type de main-d'œuvre, en opposition à celle qui est traditionnellement effectuée par les paysans (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997). De plus, les caféières modernisées, moins ombragées, nécessitent un plus grand travail de désherbage, en raison d'une croissance supérieure de la strate herbacée (Beer et al., 1998; Bonilla et Somarriba, 2000; Llanderal et Somarriba, 1999; Nestel et Altieri, 1992).

Le pourcentage de plants de café appartenant à la variété dite « *criollo* », utilisée depuis l'introduction de la caféiculture au pays, est le deuxième facteur d'influence sur la diversité des plantes de 1,5 à 5 m de hauteur. Ce facteur semble lui aussi pouvoir être lié à la modernisation de la caféiculture. En effet, les plans de modernisation de l'INMECAFÉ incluent le remplacement de la variété de café traditionnelle par des variétés améliorées qui sont performantes en conditions de lumière plus intense et répondent bien à l'ajout de fertilisants (Moguel et Toledo, 1999; Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997).

Enfin, la contribution de l'accès du propriétaire de la plantation à un emploi rémunéré, quoique moins significative ($p = 0,11$), permet de relever un lien important entre la richesse végétale des caféières et les décisions stratégiques des propriétaires. Les agriculteurs qui bénéficient d'une source de revenu stable sont moins dépendants des caféières pour combler l'ensemble des besoins (économiques et alimentaires)

familiaux et seraient ainsi plus à même de risquer le pari de l'intensification de la culture du café sur leurs parcelles, même si cela doit se faire au détriment d'autres types de production (Bonilla et Somarriba, 2000; Muschler et Bonnemann, 1997).

En définitive, il semble que l'attention portée à la fonction économique de la production de café (et par conséquent l'intensification de la production souhaitée par les gouvernements) se fait aux dépens de la richesse végétale et limite par conséquent le potentiel des plantations de café à jouer un rôle important dans la conservation de la biodiversité (Van Noordwijk et al., 1997). Les systèmes agroforestiers complexes sont dynamiques; ils répondent à des objectifs multiples et les décisions individuelles peuvent les faire changer rapidement selon les contraintes et les opportunités nouvelles qui se présentent (Vandermeer et al., 1998).

Dans un contexte où le café n'a plus sa valeur d'autrefois, trois voies majeures paraissent s'ouvrir aux caféiculteurs : retourner à un modèle traditionnel valorisant une production diversifiée (ce qui profite à l'ensemble de la biodiversité), reconvertir les caféières en champs de maïs ou poursuivre l'intensification de la production des parcelles vouées à la culture du café (Taller de Tradición Oral et Beaucage, 1997).

Remerciements

La collecte de données a été réalisée dans le cadre d'un projet de recherche financé par le Conseil de Recherche en Sciences Humaines (CRSH) dont Pierre Beaucage (département d'anthropologie, Université de Montréal) était coordonnateur. Merci à Catherine Potvin (département de biologie, Université McGill) pour son rôle de conseillère au sein du même projet, à Don Pablo Osorio, notre assistant de recherche local, pour sa contribution considérable sur le terrain et à Susana Cruz Ramírez (Proyecto Sierra de Santa Marta, Xalapa) pour avoir mené à bien l'identification des plantes à l'Instituto de Ecología A.C. de Xalapa. Merci également à Sarah Paule Dale (département de biologie, Université McGill) et à Pierre Legendre (département de biologie, Université de Montréal) pour leurs précieux conseils concernant le traitement statistique des données.

Références

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

Beer J., Muschler R., Kass D., Somarriba E. (1998), Shade management in coffee and cacao plantations, *Agroforestry Systems* 38: 139-164.

Bonilla G., Somarriba E. (2000), Tipologías cafetaleras del Pacífico de Nicaragua, *Agroforestería en las Américas* 7(26): 27-29.

- Gallina S., Mandujano S., Gonzalez-Romero A. (1996), Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of central Veracruz, Mexico, *Agroforestry Systems* 33: 13-27.
- Greenberg R., Bichier P., Cruz Angon A., Riesma R. (1997), Bird population in shade and sun coffee plantations in central Guatemala, *Conservation Biology* 11(2): 448-459.
- Legendre P. et Legendre L. (1998), *Numerical Ecology*, 2nd English Edition, Elsevier, Amsterdam, 853 p.
- Llanderal T., Somarriba E. (1999), Tipologías de cafetales en Turrialba, Costa Rica, *Agroforesteria en las Americas* 6(23): 30-32.
- Moguel P., Toledo V.M. (1999), Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico, *Conservation Biology* 13(1): 11-21.
- Muschler R.G., Bonnemann A. (1997), Potentials and limitations of agroforestry for changing land-use in the tropics : experiences from Central America, *Forest Ecology and Management* 91: 61-73.
- Nestel D., Altieri M.A. (1992), The weed community of Mexican coffee agroecosystems: effect of management upon plant biomass and species composition, *Acta Oecologica* 13(6): 715-726.
- Nestel D, Dickschen F., Altieri M.A. (1993), Diversity patterns of soil macro-Coleoptera in Mexican shaded and unshaded coffee agroecosystems : an indicator of habitat perturbation, *Biodiversity and Conservation* 2: 70-78.
- Perfecto I., Rice R.A., Greenberg R., Van Der Voort M.E. (1996), Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity, *Bioscience* 46(8): 598-608.
- Perfecto I. et Snelling R. (1995), Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem : ants in coffee plantations, *Ecological applications* 5(4): 1084-1097.
- Stork N.E., Boyle T.J.B., Dale V., Eeley H., Finegan B., Lawes M., Manokaran N., Prabhu R., Soberon J. (1997), Criteria and indicators for assessing the sustainability of forest management: conservation and biodiversity, *Working Paper n°17*, CIFOR, Jakarta, 29 p.
- Taller de Tradición Oral del CEPEC et Beaucage P. (1997), Integrating innovation : The traditional nahua coffee-orchard (Sierra Norte de Puebla, Mexico), *Journal of Ethnobiology* 17(1): 45-67.

Ter Braak C.J.F. et Smilauer P. (1998), *CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: software for canonical community ordination (version 4)*, Microcomputer Power, Ithaca, New York, 351 p.

Vandermeer J., Van Noordwijk M., Anderson J., Ong C., Perfecto I. (1998), Global change and multi-species agroecosystems: concepts and issues, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 67: 1-22.

Van Noordwijk M., Tomich T.P., De Foresta H., Michon G. (1997), To segregate or to integrate? The question of balance between production and biodiversity conservation in complex agroforestry systems, *Agroforestry Today* 9(1): 6-9.

Annexe 1 : Liste des plantes de plus de 1,5 m de hauteur répertoriées dans les 23 caféières étudiées à San Miguel Tzinacapan (État de Puebla), au Mexique.

Nom en nahuat	Famille	Espèce
Ajkokuouit	Ulmaceae	<i>Celtis</i> spp.
Alauakuouit	Lauraceae	(plusieurs espèces)
Atsitsikaskouoit	Urticaceae	<i>Urera caracasana</i> (Jacq.) Griseb
Auakakuouit	Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.
Auakatsitsin	Lauraceae	<i>Nectandra sanguinea</i> Roth.
Auakuouit	Fagaceae	<i>Quercus</i> spp.
Ayakachkuouit	Meliaceae	<i>Swietenia macrophylla</i> King.
Chakaykuouit	Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.
Chalauij	Fabaceae	<i>Inga vera</i> Willd, subsp. <i>spuria</i> (Willd.) Leon
Chamakijisuat	Musaceae	<i>Heliconia bihai</i> L. F.
Chechelotexokokuouit	Moraceae	<i>Trophis</i> spp.
Chichiualayokuouit	Apocynaceae	<i>Tabernaemontana alba</i> Mill.
Chikikiskuouit	Cecropiaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.
Chilkuouit	Myrsinaceae	<i>Rapanea myricoides</i> (Schlecht.) Lundell
Chochopilkuouit	Fabaceae	<i>Bauhinia rubeleruziana</i> Donn Smith.
Eskuouit	Euphorbiaceae	<i>Croton draco</i> Schlecht.
Istauakuouit	Actinidaceae	<i>Saurauia aspera</i> Turcz.
Iyakuouit	Asteraceae	<i>Verbesina turbacensis</i> H.B.K
Jengibrej	Zingiberaceae	<i>Zinziber officinale</i> Roscoe
Kajfenkuouit	Rubiaceae	<i>Coffea arabica</i> L.
Kakajfenkuouit	Myrsinaceae	<i>Ardisia</i> spp.
Kakasakani	Rhamnaceae	<i>Rhamnus</i> spp.
Kakatekuouit	Anacardiaceae	<i>Tapiria Mexicana</i> Marchand
Kanoneskuouit	Annonaceae	<i>Annona cherimolla</i> Mill. (var.)
Kekejxikilit	Araceae	<i>Xanthosoma robustum</i> Schott
Kouachkuouit	Euphorbiaceae	<i>Rincinus communi</i> L.
Kuakuitejkuouit	Fabaceae	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp.
Kuesalkouoit	Sapindaceae	<i>Cupania dentata</i> DC.
Kuitakuouit	Solanaceae	<i>Cestrum nocturnum</i> L.
Kuoujkamojkuouit	Euphorbiaceae	<i>Manihot esculenta</i> Crantz
Kuoujtsapot	Sapotaceae	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H. B. Moore & Stern
Limajkuouit	Rutaceae	<i>Citrus limetta</i> Risso
Limonkuouit	Rutaceae	<i>Citrus aurantifolia</i> (Chrism.) Swingle
Makadamiajkuouit	Proteaceae	<i>Macadamia integrifolia</i> F. Muell.
Mankoskuouit	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.
Mimientajkuouit	Myrtaceae	<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill

Nexkijitusuat	Zingiberaceae	<i>Renealmia mexicana</i> Klotzch ex O. G. Petersen
Nexkokokisuat	Cannaceae	<i>Canna indica</i> L.
Nextikkuouit	Solanaceae	<i>Solanum schlechtendalianum</i> Walp.
Ojtat	Poaceae	<i>Guadua angustifolia</i> Kunth
Okma	Asteraceae	<i>Vernonia patens</i> HBK.
Okot	Pinaceae	<i>Pinus patula</i> Schlecht et Cham.
Okuilkuouit	Verbenaceae	<i>Cornutia grandiflora</i> (Schlecht. & Cham.) Schauer
Olokuouit	Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.
Pajpataisuat	Musaceae	<i>Musa</i> spp.
Papayajkuouit	Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L.
Pauakuouit	Icasinaceae	<i>Calatola mollis</i> Standley.
Pesmakuouit	Cyatheaceae	<i>Cyathea mexicana</i> Schlecht. & Cham.
Pinauits	Fabaceae	<i>Mimosa albida</i> Humb. et Bompl.
Pitskuouit	Rosaceae	<i>Prunus tetradenia</i> Koehne
Pochnekuouit	Bignoniaceae	<i>Parmentiera aculeata</i> (H.B.K.) Seem.
Pomarrosajkuouit	Myrtaceae	<i>Sizigium jambos</i> (L.) Alston
Taolkuouit	Flacourtiaceae	<i>Pleuranthodendron lindenii</i> (Turcz) Sleumer
Tekuouit	Myrtaceae	<i>Eugenia capuli</i> (Cham. & Schldl.) O. Berg.
Tepechillkuouit	Palmae	<i>Chamaedorea oblongata</i> Mart.
Tesuakuouit	Melastomataceae	<i>Miconia</i> spp.
Tiltsapot	Ebenaceae	<i>Diospyros digyna</i> Jacq.
Tiokuouit	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.
Totokuouit	Ulmaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume
Tototsapot	Malpighiaceae	<i>Bunchosia biocellata</i> Schlechtendal
Tsiuajkaltiokuouit	Non identifié	
Tsontotoyakuouit	Fabaceae	<i>Calliandra houstoniana</i> (Mill.) Standl.
Turasnojkuouit	Rosaceae	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch
Uaxkuouit	Mimosaceae	<i>Leucaena leucocephala</i> (Schlecht.) De Wit
Uitsikitempilkuouit	Rubiaceae	<i>Hamelia patens</i> Jacq.
Ulejkuouit	Moraceae	<i>Castilla elastica</i> Cerv.
Xalkapolij	Melastomataceae	<i>Conostegia xalapensis</i> (Bonpl.) D. Don
Xalkuouit	Fabaceae	<i>Rhynchosia</i> spp.
Xalxokokuouit	Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.
Xikalkuouit	Euphorbiaceae	<i>Alchornea latifolia</i> Swartz
Xokoklavokuouit	Rutaceae	<i>Citrus reticulata</i> Blanco
Xokokuouit	Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i> Osbeck
Xomekuouit	Caprifoliaceae	<i>Sambucus mexicana</i> Presl.
Xonekuilkuouit	Fabaceae	<i>Inga jinicuil</i> (Schlecht.) Vatke
Xonokuouit	Tiliaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz
Yajyauixiuit	Araceae	<i>Syngonium</i> spp.
