

Conservation du milieu naturel tropical avec des plantes de couverture et des arbres d'ombrage

Charles Baldy

Les régions tropicales et équatoriales humides et subhumides ont des caractères pédoclimatiques communs. Une forêt multistrate* comporte de nombreuses espèces aux ports variés, qui renouvellent leurs feuillages à des périodes différentes et captent presque tout le rayonnement solaire global incident* plus efficacement qu'une forêt monostrate équienne* [1] et, surtout, que des cultures annuelles qui laissent plusieurs mois par an le sol exposé au rayonnement solaire et aux érosions éolienne et hydrique, comme le montre la télédétection spatiale* [2, 3]. La destruction des forêts modifie le bilan énergétique local et aussi la circulation générale* de l'atmosphère [4]; leur disparition entraîne à court terme celle des sols qu'elles protégeaient [5]. Ces effets d'origine anthropique amènent à promouvoir des méthodes de restauration des sols, peu efficaces quand elles sont imposées sans concertation ni explications préalables.

La conservation à long terme des sols est parfois mal perçue car leur dégradation relativement lente est peu visible à court terme; faire admettre que l'effort concerne les responsables politiques autant que les populations est difficile. La croissance démographique actuelle

provoque l'extension concomitante de cultures de rente* et des jachères de plus en plus courtes, au détriment des forêts [6]. Agriculteurs et planteurs sont souvent accusés d'être les acteurs de cette dégradation, alors qu'ils sont les victimes de systèmes de production* qui obligent à exploiter sans cesse plus les ressources existantes, sans souci du long terme.

Les sociétés d'exploitation forestières et les grands élevages extensifs (en Amérique latine surtout) sont les vrais responsables de cette exploitation minière* des espaces tropicaux, dont les petits agriculteurs sont les victimes. Pour réduire les coûts d'entretien des forêts, des feux contrôlés* nettoient les sous-bois mais stérilisent progressivement l'horizon superficiel, en échauffant fortement le sol.

Quand la forêt primaire disparaît, des techniques agricoles simples peuvent ralentir notablement la détérioration des sols, fragilisés du fait de leurs caractéristiques structurales. L'érosion hydrique et le rayonnement solaire inhibent rapidement toute vie microbienne dans l'horizon de surface [7]: une pluie de 60 mm/heure d'intensité, tombant pendant une demi-heure sur un sol nu, en pente de 10 %, peut provoquer une érosion en nappe de plus de 100 t/ha de sol [8], et des griffes d'érosion qui dépassent 10 cm de profondeur et 20 à 50 cm de largeur, partout où le sol présente des

faiblesses structurales locales (sillons ou trous d'arrachage d'arbres). Dans le centre de la Côte d'Ivoire (où vingt pluies de ce type, ou plus, peuvent se produire chaque année), les pertes en sol atteignent 1 000 t/ha/an l'année qui suit la coupe à blanc-étoc* de la forêt. Le sol peut se stériliser en moins de 2 ans [9, 10].

Plantes et arbres d'ombrage

Comment assurer la conservation à long terme du milieu naturel sans se ruiner? Les exemples présentés ici sont pris sur différents continents, car plusieurs systèmes de cultures pluriétagés, avec des arbres d'ombrage au dessus de la plantation et des plantes de couverture sous celle-ci, ont prouvé de longue date leur efficacité pour conserver les sols [2, 3]. Les plantes d'ombrage peuvent être de tailles très différentes. Il peut s'agir de bananiers, crotalaires ou flémingia (pour l'ombrage temporaire de jeunes cacaoyères), d'arbres à croissance rapide en allées* (*Cassia*, *Acacia* ou *Leucaena* p. ex.) ou d'arbres de la forêt primaire* (plantés ou conservés lors du défrichage). Ces derniers se rencontrent fréquemment dans les plantations caféières et cacaoyères d'Afrique et d'Amérique (photo 1). Dans le Pacifique et en Asie du Sud-Est, les cacaoyers et beaucoup d'autres espèces fruitières sont ombragés par de grands cocotiers.

C. Baldy: La Combe verte, 98, allée de Bresse, 73000 Chambéry-le-Haut.

Tirés à part: C. Baldy

* Les astérisques renvoient au glossaire p. 275.



Photo 1. Plantation de caféiers sur une graminée de couverture du sol, sous arbres d'ombrages. On remarquera le port en parasol de ceux-ci (Mont Meru, Tanzanie).

Photo 1. Coffee plantation with a cover crop of grasses, under shade trees. Note the sunshade habit of the trees.

Caractéristiques des arbres d'ombrage

Un peuplement multistrate cultivé protège le milieu naturel de différentes façons. Les arbres étagés captent mieux le rayonnement solaire que les plantations monostrates ; ils simulent un peu les forêts naturelles. Plusieurs centaines d'espèces forestières sont utilisées comme arbres de couverture [11-13]. Certaines ont une longue durée de vie, d'autres fournissent un ombrage temporaire et sont faciles à supprimer ou à recéper, telle *Leucaena leucocephala*. [14]. Ces arbres doivent avoir : des houppiers* assez réduits, un feuillage assez léger (ou au moins une forte timidité des cimes*), et supporter un isolement relatif, sans émettre trop de branches le long du fût, ni de rejets du pied. À faible densité de plantation, grâce au déplacement apparent du soleil, leur ombrage moyen modéré améliore le fonctionnement photosynthétique d'espèces sciaphiles* comme les cacaoyers ou les caféiers. Ils réduisent aussi les dégâts dus aux coups de vent, créent un microclimat plus stable dans la plantation et limitent les transports éoliens de spores pathogènes [15]. Enfin, même quand les arbres sont relativement isolés, leur système racinaire doit résister aux tornades. Peu d'espèces de la forêt primaire répondent à ces critères, et la méconnaissance du comportement des espèces autochtones amène à introduire des allochtones*, plus ou moins adaptées.

Pour obtenir un ombrage, on peut conserver des arbres adultes lors du défrichage, intercaler des essences forestières à grand développement dans la plantation, ou choisir des essences à croissance rapide, qui ombragent temporairement les jeunes plantations. Des brise-vent jouent

aussi un rôle secondaire d'ombrage. Enfin, on intercale parfois de jeunes arbres fruitiers dans de vieux vergers. Dans tous les cas, l'espace occupé par ces arbres devrait être déduit des calculs de rendement des plantations, car il peut dépasser 20 % de la surface [16].

Avantages et inconvénients des arbres d'ombrage

L'utilité des arbres d'ombrage est souvent discutée car ils occupent une portion notable de la surface cultivée. Comme pour toute technique agronomique, il faut étudier et pondérer leurs avantages et inconvénients.

Ainsi, l'ombrage reste indispensable les premiers mois de plantation des variétés actuelles de caféiers et de cacaoyers. Il est utile pour les cacaoyers adultes sous des climats à forte insolation et assez utile pour les théiers. Très courant en Colombie et en Amérique centrale, il est de plus en plus rare dans les caféières d'*arabica* du Sud-Est du Brésil, ou de *robustacanephora* hybrides d'Afrique de l'Ouest. Les premiers mois, des ombrières* sèches ou des bananiers plantains peuvent suffire. Sur de fortes pentes, des arbres plantés en courbes de niveau sont indispensables. La littérature en fournit de très nombreux exemples [2, 12, 16]. Complétés par une couverture herbacée du sol, ils défendent au moindre coût ceux-ci contre l'érosion hydrique. Des légumineuses ligneuses autochtones peuvent fournir une partie de l'azote minéral par décomposition des litières et renouvellement des racines, ce qui libère l'azote organique produit par les nodosités. D'autres familles sont également utilisées (*encadré 1*).

Interactions entre arbres d'ombrage et plantations industrielles

Le cas de cultures stimulantes (caféiers, cacaoyers, théiers) sera pris comme exemple. Selon les durées d'insolation, l'intensité de l'ombre portée et les caractéristiques des arbres, l'ombrage agit sur la physiologie du cacaoyer et du caféier, notamment sur la migration des photosynthétats vers les racines. Les feuilles ombragées, plus minces, ont souvent de plus fortes teneurs en chlorophylles par unité de surface ; les chloroplastes captent plus activement l'énergie photosynthétiquement active.

L'ombrage du caféier et du cacaoyer est nécessaire pendant les mois suivant la plantation des plants venant de pépinière. Selon les cultivars, il restera utile ou non par la suite. Sous *Terminalia*, le rendement du cacaoyer dépend de la densité des arbres d'ombrage et de la fertilisation. Un essai de longue durée réalisé au Ghana en climat peu ensoleillé a montré que, quelle que soit la fertilisation, le rendement par rapport au témoin sans ombrage est réduit de 17 % à 70 pieds/ha, et de 21 % à 135 pieds/ha (*tableau 1*). Le cacaoyer ombragé réduit la fréquence et la durée des *flushings**. Ces effets sont dus aux modifications des températures des feuilles, de l'humidité du sol, de la durée d'insolation et de l'intensité de l'ombrage pendant les phases de *flushing*. Un fort ombrage du théier réduit la qualité technologique des pousses : elles croissent trop rapidement et leur teneur en polyphénols diminue ; mais ces effets dépendent des cultivars utilisés, du climat local et du taux de réduction du rayonnement visible dû à l'ombrage (*tableau 2*).

L'implantation des systèmes racinaires est fonction du type de sol et du régime des pluies. Il est souhaitable que les arbres d'ombrage occupent surtout les couches profondes du sol, car leur concurrence pour l'eau et les fertilisants avec la culture en sera réduite. Le recyclage de nutriments puisés en profondeur par les racines se fait grâce à la litière. On a cru longtemps que les systèmes racinaires superficiels des cacaoyers, caféiers et théiers étaient peu concurrencés par ceux, plus profonds, des arbres d'ombrage. En fait, l'enracinement de ces cultures dépend beaucoup de l'existence, même temporaire, d'horizons saturés en eau.

Quelques espèces d'ombrage

L'espèce doit être choisie en fonction des caractéristiques de son feuillage, du rayonnement solaire, de la culture à protéger, et de ses besoins en nutrition azotée.

Légumineuses : plusieurs *Albizia* sont utilisées (de 50 à 100 plants/ha), en Asie, dans le Pacifique, en Amérique latine et en Afrique de l'Ouest.

Erythrina poeppingiana (Poró), originaire du Panama, est multipliée par boutures de tige (150 à 300 tiges/ha) dans les caféières (surtout d'*arabica*) et les cacaoyères.

Erythrina glauca (syn. *fusca*) (jusqu'à 200 arbres/ha) assure un recyclage important des nutriments grâce à ses feuilles caduques. Ses rameaux, taillés chaque année, sont broyés et épandus sur le sol. Elle est efficace pour limiter diverses plantes adventices. La taille provoque un renouvellement partiel des racines et libère l'azote des nodosités [17, 18].

Grevillea robusta se rencontre en Amérique latine, en Asie du Sud et en Afrique de l'Est. Son ombre est assez forte et sa densité de plantation dépend du rayonnement solaire incident local.

Inga edulis et *I. leptolaba* sont abondamment cultivés en Amérique latine, car leur fort système racinaire lutte efficacement contre l'érosion et la perte de fertilité des sols. Ils se rabattent et se taillent bien, et donnent un bon bois de feu.

Leucaena leucocephala, très utilisé en agroforesterie, ombrage souvent le cacaoyer au Brésil et le théier en Afrique de l'Est. Des coupes fréquentes permettent de moduler l'ombrage avec précision au cours de l'année, pour éviter de ralentir la différenciation des cabosses de cacaoyer ou les *flushings** des feuilles de théiers [19].

Glyricidia sepium se comporte comme *Erythrina* et *Leucaena*. Les rameaux de ces espèces sont utilisés pour pailler les interlignes ; ils fournissent de l'azote et de la matière organique au sol, par décomposition des feuilles et renouvellement partiel du système racinaire, et du bois de feu.

Autres familles : *Cordia alliodora* (le laurél), originaire d'Amérique centrale, a des feuilles marcescentes*. La cime ouverte est assez étroite ; bon bois d'œuvre, à croissance rapide, il atteint 50 cm de diamètre à 25 ans, son âge d'exploitation. Les branches s'auto-élaguent partiellement.

Gmelina arborea a une croissance rapide ; bois tendre utilisé en caisserie ; feuilles larges et minces caduques en saison sèche longue. Donne un ombrage léger, si les branches sont régulièrement taillées.

Plusieurs *Terminalia* sont utilisés en Afrique de l'Ouest. La littérature agronomique distingue mal des espèces de ports différents, et les données sont parfois difficiles à comparer. *Terminalia superba* est un arbre de première grandeur, de grande valeur forestière, à l'ombrage assez léger.

Some shading trees

Modifications du microclimat dues aux arbres d'ombrage

Selon l'insolation saisonnière locale, un même taux d'ombrage réduit la production de cacao de 8 à 79 % [18]. Sous des climats peu ensoleillés, des arbres à fort ombrage sont donc à déconseiller. La phénologie de l'arbre d'ombrage doit être adaptée au rythme biologique* de la culture : ainsi, une espèce à feuilles caduques modèlera fortement l'énergie solaire reçue par la plantation au cours de l'année. Si les arbres sont faciles à tailler, l'insolation de la culture pourra être modulée au cours de l'année ; selon l'espèce et la disposition spatiale de la plantation, les techniques d'entretien à appliquer pour obtenir un ombrage moyen donné différeront : les arbres d'ombrages peuvent être plantés à une densité calculée, ou être répartis au hasard dans la plantation, avec des arbres conservés de la forêt préexistante.

Un même taux d'ombrage est obtenu avec des arbres nombreux, à l'ombre peu épaisse, ou avec des arbres espacés, à l'ombre dense. Mais leur effet est différent car le PAR* transmis au cours de la journée dépend de la disposition spatiale des houppiers [2, 3]. Des arbres peu nombreux, à feuilles épaisses et à cime étroite, absorbent presque tout le rayonnement incident, mais leurs houppiers créent de vastes taches mobiles de lumière. Leur ombre est dite bleue* car le PAR reçu par la plantation est peu différent du rayonnement incident. Ainsi, sous un couvert d'*Albizia*, des caféiers reçoivent jusqu'à 98 % du rayonnement visible dans les taches de soleil. Sous des caféiers à haute densité, moins de 5 % parvient à la plante de couverture. De nombreux travaux ont montré que les processus photosynthétiques sont favorisés par des alternances d'ombre et de lumière [3, 7]. Des arbres à port en parasol à feuilles minces, aux cimes presque jointives, ont une ombre verte*, pauvre en bleu et rouge. Ils filtrent donc le rayonnement visible, mais absorbent peu d'infrarouge solaire, ce qui affecte la photosynthèse et l'ETP* des cultures. Ces modifications du rayonnement solaire visible agissent sur la floraison et la croissance du feuillage [15, 22]. Les limbes sont plus grands, plus minces et plus fragiles. Ceci explique pourquoi, en Afrique de l'Ouest et centrale, sous un fort ennuagement moyen, les agronomes utilisent moins l'ombrage que les planteurs latino-américains, asiatiques ou d'Afrique de l'Est.

Tableau 1

Rendements moyens du cacaoyer sous *Terminalia* d'ombrage au Ghana (1964-1970)

Témoin	Sous <i>Terminalia</i>	
Sans ombrage	70 arbres/ha	135 arbres/ha
1 810 kg/ha	1 500 kg/ha	1 425 kg/ha

Average yields of cocoa trees under *Terminalia* shade, in Ghana

Tableau 2**Rendements de pousses de thé (en kg/ha par trimestre) sous des ombrages d'intensité croissante, en Tanzanie**

Ombrages	1 ^{er} trimestre	2 ^e trimestre	3 ^e trimestre	4 ^e trimestre
Sans ombre	502	433	80	180
Ombrage 1	528	420	106	264
Ombrage 2	490	403	135	256
Ombrage 3	522	385	126	277

Quarterly tea leaf yields with increasing shade levels

Dans des cacaoyères du Ghana, de Côte d'Ivoire et de Trinidad (Antilles), le maintien de la température des feuilles de ces plantes en C3* au dessous de 30 °C améliore la photosynthèse nette, en réduisant les pertes par respiration. L'ombrage réduit de 25 % en moyenne les amplitudes thermiques nyctémérales [2, 23]. Pour le caféier (*Coffea arabica*), et le théier cultivés en altitude en Afrique de l'Est, cette réduction améliore la qualité des récoltes, pendant des périodes de fortes insolation, avec des maximums diurnes supérieurs à 35 °C [12]. Par ailleurs, selon le port des cimes, et pour des conditions identiques de sol et de pluviosité, le bilan hydrique de l'espèce cultivée diffère. Avec deux saisons sèches annuelles, l'ombrage d'espèces dont les feuilles sont caduques pendant une des deux saisons est à préférer.

Effets de l'ombrage sur le fonctionnement écologique des plantations

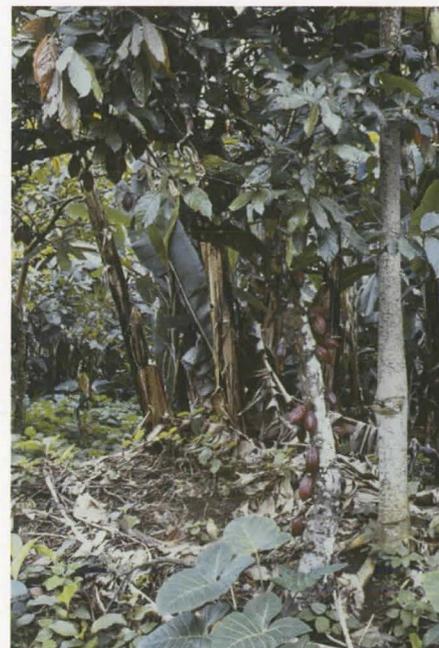
Le choix de la densité des arbres d'ombrage est essentiel. S'ils sont trop nombreux dans une caféière, ils compliquent les opérations culturales ; s'ils sont trop rares, ils ombragent peu et protègent mal du vent (*photo 2*). La protection d'une culture dépend de ses caractéristiques, du type de sol et du climat lumineux local, qui modifient fortement le fonctionnement du biotope* de la plantation : ainsi, on a cru longtemps que la lutte contre le capside du cacaoyer était facilitée par la présence de *Terminalia* ; ceci est remis en cause avec les variétés actuelles, moins sensibles, ou mieux adaptées aux produits de traitement. En Asie du Sud-Est et dans le Pacifique, cocotiers et cacaoyers cohabitent bien. En revanche, certains arbres sont à pro-

hiber : ainsi, en Afrique de l'Ouest, les colatiers (*Piptadeniastrum africanum* ou *Pentaclethra macrophylla*) ne peuvent cohabiter avec les cacaoyers car ils hébergent les mêmes capsides.

En zones très pluvieuses, le *Cyperus* pose de graves problèmes dans les caféières. L'ombrage réduit son développement mais aussi le rendement de la culture quand les durées d'insolation sont inférieures à 4 h par jour, car la photosynthèse et le fonctionnement des phytochromes sont perturbés : on observe alors le développement de *Hypothenemus hampei*, le térébrant de la cerise du caféier, de la maladie des cabosses noires du cacaoyer, etc. Dans ce cas, un paillage sera plus efficace que des plantes de couverture, car les légumineuses végètent mal sous ce faible éclaircissement.

Techniques d'entretien des arbres d'ombrage

La pratique de la taille des arbres (*Erythrina poeppigiana*, *Cordia alliodora*, etc.) est générale dans les caféières d'Amérique centrale et les théiers en Thaïlande. Elle permet de moduler l'ombrage en fonction de la saison. Une taille annuelle du houppier réduit ses dimensions, mais elle donne aux arbres un port en boule, et l'ombrage devient plus dense. Plusieurs méthodes permettent de réduire le volume ou la fertilité des arbres d'ombrage. Certaines sont traditionnelles (on parle de phytopratiques*), d'autres ont été mises au point récemment. Ainsi, la coupe de grosses branches donne du bois de feu. Mais il faut des échelles, ou de bons grimpeurs... Des tailles raisonnées de racines sont très pratiquées sur les *Casuarinas* et les *Eucalyptus* plantés en brise-vent. Pour éviter diverses maladies

**Photo 2.** Envahissement d'adventices dans une cacaoyère âgée.**Photo 2.** An old cocoa grove overrun with weeds in.

(nématodes, pourridiés, etc.), un traitement phytosanitaire des racines est à effectuer. Chaque phytopratique est donc adaptée : à un environnement local, à une espèce particulière d'arbre d'ombrage et à une espèce cultivée donnée. L'annelage, ou incision annulaire* contrôlée des branches ou des troncs, peut être utile. L'incision doit être partielle, ou très étroite, pour laisser subsister des assises libéro-ligneuses. Elle provoque le ralentissement de la croissance puis, ultérieurement, une forte mise à fruit sans provoquer la mort de l'arbre ; elle peut être pratiquée aussi sur les racines [20].

Alimentations minérale et organique des plantations

Des arbres légumineux tels que *Erythrina*, *Leucaena* ou *Gleditschia* sont très utilisés ; les *Cordia* peuvent fournir jusqu'à 5 t/ha/an de litière. Elle assure le recyclage des nutriments et crée un mulch qui réduit les températures au niveau du sol et l'érosion par les pluies. Le *tableau 3* présente les biomasses fournies à 4 ans par deux espèces d'acacias plantés en bandes dans des caféiers recépés, et le *tableau 4* les productions de feuilles de thé, avec des apports crois-

Tableau 3

Production (kg/arbre) de bois récupérable et apports au sol de biomasse due aux petites branches, feuilles, fruits et litières après un recépage à 4 ans : légumineuses plantées à 450 tiges/ha

Productions	<i>Acacia mangium</i>		<i>Acacia auriculiformis</i>	
	Biomasse	Écart type	Biomasse	Écart type
Troncs, branches	56,0	13,9	39,0	9,3
Petits bois	14,3	3,9	11,0	3,8
Feuilles	10,8	2,4	7,6	2,1
Fruits	1,8	0,7	2,8	2,0
Litières	30,4	6,1	31,0	3,3
Production de bois fort	83,5		125,0	

Production (kg/tree) of wood and branch, fruits and litter biomass, after cut back 4-yearly

Tableau 4

Production du théier (kg/ha de feuilles séchées) avec plusieurs fertilisations azotées et différents arbres d'ombrage (Afrique de l'Est, 1962-1971)

Ombrage	Kg N	Moyenne	Écart type	Max	Min
Témoin non ombragé	45	1 687	405	2 338	1 006
	90	2 042	440	2 645	1 312
	135	2 165	409	2 678	1 503
	180	2 383	434	2 996	1 762
	45	1 594	310	2 106	1 257
<i>Glyciridia</i>	90	1 764	323	2 254	1 452
	135	1 703	296	2 149	1 446
	180	1 727	333	2 337	1 367
	45	1 496	330	2 109	1 026
<i>Grevillea</i>	90	1 486	372	2 117	983
	135	1 649	410	2 337	1 079
	180	1 517	391	2 239	1 016
	45	903	186	1 337	657
<i>Albizzia</i>	90	884	221	1 404	600
	135	938	214	1 416	660
	180	870	222	1 397	601

Tea yields (dry leaves, kg/ha) under four different nitrogen fertilisation levels and shade trees

sants d'azote sous différents arbres d'ombrage. Sous *Grevillea*, l'effet des engrais azotés est toujours moins marqué que sous *Glyciridia*.

En climat peu ensoleillé, au sud du Ghana, l'ombrage de *Terminalia* sur des cacaoyers réduit la production de fèves de près de 50 %, même avec des apports d'engrais NPK optimums (tableau 5). L'ombrage est à éviter dans ce cas ; les forts effets de compétition dus aux *Terminalia* peut expliquer en partie la baisse du rendement.

Les arbres d'ombrage modifient donc utilement le microclimat pendant les années de croissance des jeunes plantations. En climat peu lumineux, un ombrage temporaire est utile les premiers mois, ou les premières années. Il peut être supprimé ensuite, si les risques de tornades sont faibles, avec des cultivars qui supportent le plein soleil. Avant de le supprimer, il faut estimer les risques dus à l'érosion et la fertilité du sol à long terme.

Comment choisir les plantes de couverture ?

Critères pédologiques et climatiques

Les réserves en eau des sols tropicaux sont souvent limitées par leurs caractéristiques physiques et/ou leur profondeur. La réserve facilement utilisable peut varier de 30 mm/m (en sol sableux peu profond) à près de 200 mm/m (en sol sablo-limono-argileux profond). En conséquence, selon l'intensité des pluies, la vitesse d'infiltration de l'eau, le type de couverture du sol et les techniques culturales, des plantations voisines souffriront d'un stress ou supporteront aisément la période sèche [21]. Des stress hydriques surviennent chaque fois que pluie moyenne mensuelle (RR) et évapotranspiration (ETP*) moyenne sont analogues, si leurs coefficients de variation* sont élevés. La quantité de pluie un mois donné varie beaucoup d'une année à l'autre, et certains mois sont déficitaires. Quand le rapport RR/ETP est $\leq 0,66$, ou que le coefficient de variation des pluies est ≥ 50 %, un stress hydrique est à craindre, sauf si le sol a stocké suffisamment d'eau grâce aux pluies précédentes [22].

Par exemple, à Douala (Cameroun), (tableau 6) on a un déficit pluviométrique entre novembre et février, et des pluies excédentaires le reste de l'année. Le stress des forêts et des cultures est d'autant plus marqué qu'on a affaire à des espèces ou variétés mal adaptées à des périodes prolongées de sécheresse. À Trivandrum (Inde), (tableau 7) pluies et ETP sont équivalentes en moyenne de mai à novembre. Leurs coefficients de variation de mai à juillet, puis d'octobre à novembre, indiquent que, un an sur trois au moins, des cultures exigeantes en eau souffriront. En revanche, les pluies sont généralement supérieures aux besoins en eau des cultures de décembre à avril.

Effets des plantes de couverture

Une plante de couverture bien implantée modifie le microclimat dans le sol, à son voisinage, mais aussi celui de l'air situé

Tableau 5

Effets de l'ombrage et des nutriments sur les rendements en cacao sec (kg/ha) (Ghana, 1961-1969)

Années	Ombrage		Sans ombrage	
	Sans engrais	Avec engrais	Sans engrais	Avec engrais
1961	788	1 088	2 750	3 901
1962	555	763	1 702	2 735
1963	758	1 168	2 350	3 307
1964	1 163	1 570	2 266	3 395
1965	1 329	1 842	2 537	3 678
1966	1 130	1 727	1 973	3 283
1967	977	1 424	1 352	2 696
1968	1 063	1 706	1 340	2 679
1969	999	1 800	1 222	2 366
Moyenne	974	1 454	1 944	3 116
Écart type	238	373	566	518

Effects of shade and nutrients on dry cocoa yields (kg/ha)

sous le couvert de la plantation [23] (*encadré 2*). Cet effet est plus accentué avec des arbres d'ombrage (*photo 3*). L'enherbement diminue la température dans le sol de plusieurs degrés. À Adiopodoumé (Sud de la Côte d'Ivoire), un mélange de *Pueraria phaseoloides* et de *Calopogonium mucunoides* limite l'échauffement du sol à 25-30 °C en surface, et 26 °C à 10 cm de profondeur (contre plus de 35 °C à la surface du sol nu). Des essais réalisés à Yangambi (Zaïre) montrent que les pertes du sol en humus et en azote dépendent directement des températures à sa surface pendant les périodes les plus chaudes et les plus sèches de l'année. La couverture la meilleure est celle de *Pueraria* ; *Indigofera* est médiocre, mais supérieure au sol nu sarclé. Entre traitements, les écarts thermiques en surface ont atteint 16 °C !

En Afrique de l'Est, dans des cultures en courbes de niveau entre des haies de *Cassia siamea*, on a mis en évidence les modifications des températures avec ou sans mulch avec une culture de doliques (*Dolichos lablab*) [25]. Le mulch est fourni par les rameaux coupés de *Cassia* (*tableau 8*). Des différences importantes de températures sont observées entre les lignes dans la culture en haies avec mulch, alors que le mulch seul (sans arbres d'ombrage) diffère peu du sol nu témoin.

Si les pluies sont assez régulières toute l'année, et sont supérieures certains mois aux besoins en eau des plantations, on privilégiera des espèces pérennes qui ne demandent qu'un minimum d'entretien ; quand une saison sèche marquée existe, des plantes annuelles (qui se ressèment bien et lèvent aisément en conditions ombragées) sont à préférer. Leur arrêt de végétation doit se situer pendant la saison la plus sèche. Ces considérations d'ordre général sont à moduler car il faut tenir compte des travaux à réaliser dans la plantation. Les plantes de couverture (pérennes pour la plupart) retenues ont des ports couchés ou rampants ; leur masse végétale se limite naturellement (ou peut être réduite facilement) (*tableau 9*).

La comparaison de deux légumineuses (*Centrosema* sp. et *Desmodium* sp.) sur quatre types de sols de Côte d'Ivoire : sableux très léger à Adiopodoumé, sableux légers à Bouaké, Gagnoa et Akandjé, sablo-limoneux à Azaguié et argilo-sableux à Sérédou, a mis en évidence que ces deux espèces maintiennent bien les taux de matière organique et la fertilité dans ces sols et que *Centrosema* améliore la rétention de l'eau par le sol.

Encadré 2

Quelques plantes de couverture utiles

On utilise surtout des légumineuses et des graminées, dont il faut étudier la capacité d'enracinement dans le sol considéré. Si plusieurs sols coexistent, des espèces adaptées à chacun seraient nécessaires, mais cela complique la conduite de la plantation [24].

Le système racinaire* des légumineuses est souvent extensif* et profond ; certaines espèces peuvent atteindre 2 mètres de profondeur en quelques mois, mais moins de 20 centimètres en un an, si le sol ne leur convient pas. Des légumineuses ensemencées en rhizobium, ou capables d'utiliser ceux du sol, libèrent des quantités notables d'azote à la fin de leur vie (ou après chaque coupe, quand elles renouvellent, partiellement, leurs racines). Quand elles croissent à l'ombre, leurs nodosités produisent généralement peu d'azote. Enfin, l'alimentation azotée n'est assurée par des Légumineuses que si des rhizobiums adaptés existent dans le sol. Il est rare que ce soit le cas avec des espèces introduites.

Les biomasses aériennes des graminées sont importantes, et leur système racinaire est généralement volumineux et dense* dans les trente premiers centimètres du sol. Mais elles concurrencent les cultures pour l'azote. Peu d'espèces se développent correctement sous couvert forestier ; quelques Graminées produisent pourtant des biomasses importantes, utiles pour un paillage ou un mulch : des citronnelles (vivaces grâce à leurs rhizomes), *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf, et *C. nardus* (L.) Rendle, peuvent atteindre 1,8 m de haut ; *Tripsacum laxum* (*Guatemala grass*) est une pérenne dressée à grandes feuilles, adaptée aux sols alluvionnaires, peu évolués mais profonds, de Madagascar [2]. Le vétiver, *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash, originaire d'Asie orientale, s'associe bien au kudzu (*Pueraria phaseoloides*).

Des graminées fourragères comme *Panicum maximum*, *Pennisetum purpureum*, *Brachiaria (mutica = Herbe de Para ; ruzizensis = Congo grass)* permettent de réaliser des enherbements de courte durée, quand les plantations sont pâturées.

D'autres espèces, annuelles ou pérennes, herbacées ou arbustives, appartenant à de nombreuses familles, sont également utilisées comme plantes améliorantes.

Some useful cover crops

Tableau 6

Douala (Cameroun) : pluies, ETP et variabilité des pluies mensuelles 1951-1979 Lat. 4°00 N ; Long. 9°44 E ; Alt. 9 m
Données annuelles : pluie : 4 341 mm ; ETP : 1 245 mm

	Jv	Fv	Ms	Av	Ma	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
RR MOY	54	73	188	236	293	535	750	824	723	430	163	45
ETP	108	111	122	119	111	95	86	89	95	104	101	104
CV RR	91	77	39	25	20	30	24	31	21	20	62	82
ETP/RR	2,00	1,52	0,65	0,50	0,38	0,18	0,11	0,11	0,13	0,24	0,62	2,31

Monthly rainfall, PET, and rainfall variability

Tableau 7

Trivandrum (Inde) : pluies, ETP ; variabilité des pluies mensuelles 1853-1980. Lat. 8°29 N ; Long. 76°57 E ; Alt. 64 m
Données annuelles : pluie : 1 729 mm ; ETP : 1 479 mm

Mois	Jv	Fv	Ms	Av	Ma	Jn	Jl	Ao	Sp	Oc	Nv	Dc
RR MOY	23	22	40	114	209	331	210	132	132	270	181	65
ETP	126	124	155	141	135	107	114	127	128	119	108	115
CV RR	142	130	95	59	82	50	49	64	80	46	68	96
ETP/RR	5,47	5,64	3,87	1,24	0,65	0,32	0,54	0,96	0,97	0,44	0,60	1,77

Monthly rainfall, PET, and rainfall variability

Tableau 8

Températures dans le sol pour huit périodes successives sous culture de doliques

Traitements	Périodes							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Témoin	19,7	22,3	21,3	22,6	22,2	20,2	20,8	19,7
Mulch	19,3	21,7	21	22,5	22,7	20,7	21,3	21,2
C+mulch1	19,1	20,8	20	20,7	20,5	19,5	19,8	19,3
C+mulch3	19,3	22	23	22,8	20,4	20,9	20,7	21,3

Soil temperatures under a *Dolichos lablab* crop



Photo 3. Couverture de *Pueraria* sous un jeune peuplement d'hévéas en Côte d'Ivoire.

Photo 3. *Pueraria* cover crop under a young natural rubber plantation in Côte d'Ivoire.

À Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) les enracinements de six espèces ont été comparés ; sauf *Flemingia*, ils sont très profonds dès le sixième mois de culture [26, 27] (tableau 10).

Mise en place des plantes de couverture

Les doses de semis dépendent du type de sol, de l'arbre cultivé et des techniques culturales utilisées. Selon les auteurs, les pays et les sols, les doses varient du simple au triple pour une même espèce. Ainsi, une variété sélectionnée de *Stylosanthes*, inoculée avec son rhizobium spécifique, couvrira efficacement le sol avec une dose de semis de l'ordre du tiers d'une semence tout venant, comportant beaucoup de graines dures.

Préparation, aménagement et entretien de plantations pluriétagées

Densités de plantation, techniques de mise en place et d'entretien et rythmes des récoltes diffèrent selon qu'il s'agit de plantations (Cocotiers, *Elaeis*, Cafésiers, Cacaoyers, *Citrus*, etc.) ou de forêts (Hévéas, *Eucalyptus*, *Gmelinas*, etc.). Pour faire son choix, le planteur comparera les espèces ou variétés en les semant côte à côte à plusieurs densités sur de petites surfaces de chaque type de sol. Il retiendra l'espèce et la densité qui couvrent le mieux le sol, en quelques mois et aux moindres frais. Elles sont à mettre en place avant ou au plus tard au moment de la plantation (encadré 3).

Alimentations minérale et azotée des plantes de couverture

Une fertilisation est nécessaire, car peu de sols permettent de s'en passer durablement ; l'inoculation des semences de légumineuses avec des rhizobiums adaptés est indispensable. La plupart des légumineuses possèdent peu de nodosités réellement utiles. Il faudrait mettre au point

des rhizobiums adaptés aux sols et aux espèces utilisées, comme cela a été fait pour le soja. Sans modification notable du bilan hydrique, les rendements en azote fixé peuvent tripler avec des inoculums bien adaptés. Même si les légumineuses assurent partiellement l'alimentation azotée de la plantation pendant la phase de croissance des arbres, des apports localisés de fertilisants au pied de ceux-ci sont nécessaires ensuite. Quand la production débute, la fumure azotée favorise l'induction florale et le développement des fruits ou la production du latex (pour l'hévéa).

À la plantation, les fertilisations minérales des arbres et de la plante de couverture dépendent de la richesse naturelle du sol. Celle-ci se recycle en grande partie, puisque la plante de couverture coupée est laissée sur place. Des amendements sont nécessaires quand le sol de la plantation s'acidifie. Ils sont épanchés dans les interlignes de la plantation (tant que le volume des arbres permet de circuler dans celle-ci). Le *tableau 11* compare les rendements pluriannuels de caféiers, cultivés avec cinq plantes de couverture et un témoin. Toute compétition entre les arbres et les plantes de couverture produit un retard de mise à fruit. La réduction de la production fruitière par un enherbement naturel gyrobroyé ou fauché est généralement plus forte qu'avec un enherbement artificiel de légumineuses [28]. C'est pourquoi le pâturage n'est à envisager qu'avec une pluviosité suffisante, des sols riches, et seulement si une forte pression démographique l'impose. Une fertilisation adéquate doit compenser ces exportations (P, K, Mg en particulier).

Préparation et aménagement des sols

Avec ou sans plantes de couverture, rendement et qualité des produits dépendent du travail du sol, car il est impossible de replanter avant d'avoir amorti les frais (il faut éviter les fausses économies). Une bande de protection est utile en zone fortement peuplée, boisement naturel, ou haie périphérique. En climat à saison sèche prononcée, cette zone fera office de brise-vent et réduira l'effet d'oasis*. Des arbres d'ombrage plantés en même temps que la plante de couverture, avant les arbres cultivés, sont à recommander. Le maintien d'arbres forestiers provoque des variations spatiales importantes de croissance et de fer-

Encadré 3

Mise en place de la couverture

Premier cas : les plantes de couvertures sont semées ou plantées sur toute la surface, et ne laissent libre que l'espace des trous de plantation. Elles assurent une couverture du sol complète et rapide. Cette méthode convient en sols riches et profonds, bien alimentés en eau, ou encore avec des arbres à développement rapide ; elle se conçoit aussi sur des sols en pente, où les risques d'érosion hydrique sont maximaux les premières années après la plantation.

Deuxième cas : la couverture est mise en place dans les interrangs ; un espace d'au moins un mètre de part et d'autre des rangs facilite le désherbage. Que les plantes proviennent de graines ou de boutures, un travail préalable du sol est nécessaire pour créer un lit de semence*. Si la vigueur de l'espèce est suffisante, un semis en lignes permet d'éliminer rapidement les adventices qui germent.

La plante de couverture doit toujours être semée parallèlement à la pente, pour limiter le ruissellement des pluies, les pertes en sol et donner un couvert aussi continu que possible. Si les arbres sont à moins de 3 m sur le rang, avec des interrangs d'au moins 6 mètres, on sèmera les plantes de couverture dans l'interrang ; sur de fortes pentes, on suivra les courbes de niveau. Si les interrangs sont suffisants (> 6 m), elles seront implantées dans les deux sens.

Sowing of cover crops

Tableau 9

Légumineuses pérennes à port érigé couvrant le sol dès la première année

<i>Cajanus cajan</i>	<i>D. nicaraguense</i>	<i>D. salicifolium</i>
<i>Desmodium umbellatum</i>	<i>D. cuneatum</i>	<i>D. barbatum</i>
<i>D. cephalotes</i>	<i>D. lasiocarpum</i>	<i>D. gyroides</i>
<i>D. discolor</i>	<i>D. canum</i>	<i>Mimosa scabrella</i>
	<i>D. uncinatum</i>	
<i>Cassia siamea</i>	<i>Flemingia congesta</i>	<i>Stylosanthes erecta</i>
<i>C. alata</i>		
<i>Clitoria terneata</i>	<i>I. suffruticosa</i>	<i>Tephrosia Vogelli</i>
<i>C. laurifolia</i>	<i>I. sumatrana</i>	<i>T. candida</i>
<i>Indigofera arrecta</i>	<i>I. tinctoria</i>	
<i>Crotalaria anagyroides</i>	<i>Leucaena glauca</i>	

Erect perennial Legumes, covering the soil within the first year

tilité, obère finalement le rendement de la plantation et rend la fertilisation plus difficile, tandis que leur abattage risque de provoquer des dégâts. Avec les caféiers et les cacaoyers, un bananier plantain ou un papayer fournissent une protection adéquate, avec un revenu notable [2].

Si le sous-bois défriché est envahi par *Chromolaena odorata*, ou par d'autres espèces agressives, des désherbants sont à appliquer pendant au moins 2 ans, pour détruire le stock de graines. Si le défrichement a comporté un travail mécanique profond (souhaitable avec des sols ferrallitiques ou sableux profonds à forte

cohésion) ou si des réseaux de drainage ou d'irrigation sont à installer, le maintien d'arbres de la forêt complique le travail à l'excès. Une culture dérobée, ou une plante de couverture du sol à croissance rapide, éliminera ou au moins limitera les repousses de plantes adventices. Elle est à faire pendant un an au moins (si possible deux) avant de mettre les arbres en place. La replantation de la même espèce sur le même sol est souvent inévitable, mais il faut analyser auparavant les taux d'infestation du sol sous la culture, réaliser un traitement curatif, prévoir une fertilisation de fond qui rééquilibre la fertilité, et des apports

Glossaire des expressions utilisées

Allochtone : espèce étrangère à la zone étudiée.

Arbre d'ombrage : arbre ombrageant des plantes plus ou moins sciaphiles* ; il peut avoir un rôle de brise-vent, mais ce n'est pas le but principal.

Biomasse : quantité de matière organique produite en un temps donné (ou un cycle de végétation). Biomasse aérienne : partie aérienne des plantes ; biomasse totale : production des parties aériennes et des racines.

Biotope : ensemble des facteurs écologiques existant en un lieu donné. Le terme englobe l'ensemble des interactions entre organismes.

Blanc-étoc (coupe à) : expression de forestiers, signifiant que la totalité des arbres (et arbustes) présents sur le terrain est abattue.

C3 : mode de photosynthèse de la majorité des espèces, où le premier corps créé est une molécule en C3.

Circulation générale : ensemble dynamique des configurations des différents mouvements de l'atmosphère autour du Globe.

Climat humide équatorial : la pluviométrie moyenne mensuelle couvre une partie au moins des besoins en eau de la végétation pendant toute l'année ; la variabilité des pluies fait que, certains mois, un déficit ou un excédent marqué se produit.

Compétition : concurrence qui s'établit entre plusieurs organismes vis à vis d'une même source d'énergie ou de matière.

Culture associée : espèces cultivées de façon plus ou moins ordonnées sur un même espace de sol ; **de rente** : culture faite dans un but commercial ; **en allée** : arbres à croissance rapide alignés dans la plantation.

Défriche : remise en culture d'un sol après repos (différent d'une jachère).

Densité d'ombrage ou **densité de l'ombre portée** : fraction de l'énergie solaire interceptée par l'ombrage.

Dépressage : éclaircie d'un semis (ou d'une jeune plantation) pour réduire le nombre de tiges par unité de surface.

Distribution des pluies unimodale : une seule saison des pluies dans l'année, avec un maximum marqué ; **bimodale** : deux saisons des pluies dans l'année, séparées par deux saisons sèches marquées.

Effets allopathiques : effets contraires à ceux qu'on voudrait produire.

Effet d'oasis : augmentation locale de l'ETP*, due à la présence périphérique d'une zone aride.

Enliement : envahissement des arbres par une plante de couverture à tiges volubiles formant des lianes.

Espèce caducifoliée ou **à feuilles caduques** : espèce dont les feuilles tombent et se renouvellent chaque année.

Espèce sciaphile : espèce d'ombre qui pousse mal en plein soleil. Les arbres forestiers, souvent sciaphiles aux stades juvéniles, deviennent ensuite héliophiles. Ne pas confondre avec ombrophile (qui aime la pluie).

Évapotranspiration potentielle, ETP : quantité d'eau que peut évaporer et/ou transpirer un couvert végétal (et le sol) sous l'effet des facteurs énergétiques si aucune contrainte n'intervient.

Exploitation minière : système de culture qui exporte tous les constituants utiles d'un sol et provoque la désertification de celui-ci.

Feuillage léger : feuillage laissant filtrer une fraction importante du rayonnement solaire vers le sol.

Feux contrôlés : technique permettant la mise à feu d'espèces herbacées ou sub-frutescentes, sans incendier l'espèce arborée.

Flushing : apparition de bourgeons (à bois ou à fleurs) ou production périodique de rejets et de feuilles. Terme employé pour le cacaoyer, le théier. Phénomène lié à des modifications climatiques ou à des seuils d'accumulation de produits biologiques.

Forêt multistrate : voir système forestier multistrate.

Forêt primaire : forêt installée en un lieu qui n'a jamais été défriché et qui comporte l'ensemble des espèces autochtones.

Houppier : ensemble des branches feuillues d'un arbre.

Incision annulaire : phytotechnique qui limite ou bloque la migration de la sève élaborée vers les racines d'une plante ligneuse en incisant tout ou partie du phloème. 1. Une incision de quelques millimètres provoque l'induction florale de l'arbre. 2. Une incision large provoque la mort de la plante. 3. Une incision sur les racines induit le départ de bourgeons latents à la base du tronc et facilite le recépage.

IRHO : institut de recherche sur les huiles et oléagineux tropicaux.

IDEFOR-DPO : institut ivoirien de développement dans la région forestière – direction des productions oléicoles.

Lit de semence : couche superficielle du sol arable préparée finement pour faciliter la germination des semences.

Marcrescentes (feuilles) : les feuilles sèchent en saison sèche, mais demeurent fixées sur l'arbre jusqu'au débourrement des nouvelles.

Masse d'air : volume de la troposphère dans lequel les propriétés de l'air n'évoluent que lentement et progressivement.

Microclimat : climat local. Les échelles représentées par ce terme diffèrent, selon que le mot est employé par des météorologues ou des écologues. Il définit ici une échelle d'espace de quelques mètres carrés à un kilomètre carré, et moins de cent mètres en altitude.

Mousson : alternance saisonnière de deux types de temps contrastés, l'un très sec, l'autre très humide.

Mulch : paillage (naturel ou plastique) du sol, destiné à isoler celui-ci, à le protéger, à modifier ses échanges énergétiques avec l'atmosphère et parfois à assurer un apport de matière organique en surface.

Mulching : apport d'une couverture du sol.

Ombre bleue : ombre portée par une végétation à feuilles épaisses, ou par un obstacle tel qu'un mur blanc, qui ne modifie pas ou que peu la composition spectrale du rayonnement visible incident, mais en réduit notablement la quantité énergétique.

Ombre verte : rayonnement solaire transmis à travers des feuilles minces.

PAR : sigle anglais généralement utilisé en matière de photosynthèse : rayonnement d'origine solaire photosynthétiquement actif (entre 400 et 750 nm). On écrit aussi PhAR.

Phytopratiques : méthodes de traitement des plantes qui modifient leurs conditions de vie. Exemple : une greffe est une phytopratique.

Plantation monostrate : plantation (d'arbres ou d'une végétation quelconque) qui ne comporte qu'un seul niveau de végétation par rapport au sol. Voir aussi : système forestier multistrate.

Plantation : systèmes de culture comportant un ensemble d'arbres cultivés, fruitiers, forestiers ou à usage industriel.

Pluriétagé ou multistrate : système végétal à plusieurs étages.

Rayonnement global incident : rayonnements ultra-violet, visible et infrarouge atteignant le sol.

Rythmes biologiques : succession des phases de croissance, de développement et de repos végétatif d'une espèce.

Sciaphile : plante qui aime l'ombre.

Système racinaire extensif : les racines se répartissent dans un grand volume, mais sont peu nombreuses par unité de volume ; **intensif** : beaucoup de racines par unité de volume.

Système de culture : ensemble des pratiques (dans le temps et dans l'espace) qui caractérise l'exploitation agricole d'un sol et les rendements qu'il fournit. Système de production. Mode de combinaison entre terres, forces et moyens de travail commun à un ensemble d'exploitations.

Système forestier multistrate : forêt développée sur plusieurs niveaux, en utilisant les taches de lumière pénétrant la strate supérieure pour installer une ou plusieurs strates inférieures.

Taungya (système) : méthode du Myanmar ; réalisation d'un reboisement par des paysans-plantiers autorisés à produire des cultures vivrières intercalaires entre les arbres pendant 2 à 5 ans.

Télé-détection spatiale : ensemble de méthodes d'étude des caractéristiques de la surface terrestre en utilisant des données fournies par des satellites d'observation de la terre.

Timidité des cimes : les houppiers ne s'interpénètrent pas.

d'engrais qui compensent les exportations.

L'aménagement des sols en pente constitue une priorité absolue, sous peine de désertifier progressivement la zone. Les politiques en la matière devraient toujours tenir compte des risques d'érosion hydrique et de perte de fertilité. Des arbres d'ancrage (mis en place avant la plantation) et des haies en courbes de niveau sont nécessaires. Ils pourront être éliminés une fois le couvert bien établi. On arrachera les souches avec précaution, et la mise à feu des souches en place assurera leur élimination, tout en dégradant peu le sol, ce qui est essentiel [29]. Un an avant l'arrachage, une large incision annulaire* à la base des troncs empêchera toute migration de sève élaborée vers les racines. Le dessouchage sera facilité et les racines appauvries en sucres attireront moins les termites.

L'entretien des plantes de couverture est à réaliser avec un broyeur à axe vertical, ou tout autre outil qui dilacère les résidus sans travailler le sol (rouleau à lames ou faucheuse tractée, si l'espèce semée supporte leur emploi). Mais ces outils ne passent que dans les interrangs des plantations à grand écartement : en caféière ou cacaoyère, l'entretien est généralement manuel, du fait des fortes densités de plantation (*encadré 4*).

Encadré 4

Entretien des plantes de couverture

Au Sud de la Côte d'Ivoire, *Stylosanthes gracilis* est maintenu en bon état par un passage croisé annuel de barre de coupe, réglée à 20-25 cm au-dessus du sol (à préférer au gyrobroyeur), pour que les bourgeons de la base repartent. *Pueraria javanica* nécessite un passage de barre de coupe (ou de gyrobroyeur) tous les 2 mois. Dans les deux cas, deux désherbages manuels et cinq désherbages chimiques sont nécessaires chaque année autour des arbres. Au Nord de la Côte d'Ivoire, sur sol sableux, *Stylosanthes hamata* fournit 4 à 6 tonnes de biomasse par an. Il est maintenu en état par un gyrobroyeur passé une ou deux fois en saison pluvieuse. *S. hamata* est moins sensible à l'anthracnose que *S. gracilis*.

Le recépage des *Flemingia* est à effectuer une ou deux fois par an, selon la richesse du sol. Une débroussailluse à fléaux est à préférer à un appareil à lames tournantes. Le broyage mécanique est rendu nécessaire par l'important volume de biomasse, qui fournit un mulch pour les arbres. L'espèce est peu conseillée en plantation paysanne, car chaque coupe à la machette exige 10 h/jour/ha. Les crotalaires (*Crotalaria* spp.) sont à rabattre plusieurs fois par an et le broyage des résidus est indispensable. Leur coupe manuelle exige une forte main-d'œuvre. *Sesbania rostrata*, mis en place un à deux ans avant de planter les arbres dans les sols déjà cultivés auparavant, améliore leur état, apporte des masses importantes de matière organique et d'azote biologique, et couvre bien le sol. Pour éviter l'envahissement des plantations, le gyrobroyage est à effectuer avant la maturité des graines. Comme *Leucaena leucocephala*, elle est utilisée en cultures en allées, pour l'ombrage précoce des cacaoyers. Parmi les Graminées pérennes, *Tripsacum laxum* (*Guatemala grass*), qui se multiplie par fragments de boutures, est à gyrobroyer à 25 cm au-dessus du sol, quatre ou cinq fois par an, ou à faucher. Elle permet de pailler le sol des plantations et des bananeraies [14, 24, 25].

Maintenance of cover crops

Tableau 10

Enracinement en un an de quelques légumineuses, en sol sableux, au Sud de la Côte d'Ivoire

Espèces	Profondeur	Espèces	Profondeur
<i>Leucaena glauca</i>	2,30 m	<i>Cassia occidentalis</i>	1,70 m
<i>Crotalaria anagyroides</i>	1,90 m	<i>Tephrosia candida</i>	1,60 m à 2,90 m
<i>Flemingia congesta</i>	1,50 m	<i>Crotalaria juncea</i>	0,20 m

Rooting of some Legumes, after one year, in a sandy soil (South of Côte d'Ivoire)

Tableau 11

Rendements comparatifs des caféiers pendant 4 ans (kg/ha de café marchand) avec différentes plantes de couverture

Couverture	1 ^{re} année	2 ^e année	3 ^e année	4 ^e année	Rendements, en pourcentage du témoin
<i>Mimosa</i>	1 676	962	1 622	704	162
<i>Flemingia</i>	1 601	803	1 339	973	154
<i>Stylosanthes</i>	1 607	621	1 185	475	127
<i>Pueraria</i>	1 477	600	1 227	513	125
<i>Tithonia</i>	1 377	335	1 040	502	106
Moyenne	1 504	635	1 210	600	129
Témoin	1 289	487	844	436	100

Comparative yields of coffee trees over 4 years (kg/ha of commercial coffee) with different cover crops species

Summary

Natural environmental conservation enhanced by cover crops and shade trees

Ch. Baldy

The vanishing of tropical forests gradually alters the soils they once covered (Plates 1, 2, 3). Moreover, the progressive reduction of forested areas in the tropics modifies radiation exchange between the soil and the atmosphere to such an extent that global atmospheric circulation is substantially modified. Preserving the natural environment means avoiding desertification caused by the extension of crops over large areas. Multiple cropping systems offer suitable solutions to this problem. Intercropping of cover crops and shade trees within a plantation promotes positive interactions between species in the grove, depending upon local soil and climate conditions (Tables 6, 7). Cover crops complicate farm labour, i.e. fertilizer application, plant pest control, and grove harvesting. Shade trees are only efficient when there is no incompatibility with cultivated trees. Some examples of intercropping within orchards are analysed (Tables 1, 2). Multistoried crops can solve this problem: cover crops (Table 10) and shade trees (Tables 4, 5) modify the soil temperature (Table 8), reduce fertilizer loss in soils, allow better rainwater management and facilitate access into plantations throughout most of the year, as well as maintenance, treatments, and harvesting, while often improving yields. Yields can apparently be reduced by partial occupation of the field by shade trees. Some examples of suitable shade trees and cover crops, including pulse crops, cultivated in different countries, are given in Frames 1, 2, 3 and 4.

Cahiers Agricultures 2000 ; 9 : 267-78.

Conclusion

La conservation du milieu naturel tropical exige une diminution des zones désertifiées par l'intensification des cultures. Les systèmes pluriétagés de cultures fournissent un moyen assez commode de lutte contre cette forme de désertification. L'association de plantes de couverture et d'arbres d'ombrage à des plantations commerciales d'arbres nécessite une bonne adaptation mutuelle des espèces entre elles, ainsi qu'aux conditions locales de climat et de sol. Dans la plantation, la gêne due à la plante de couverture pour réaliser les apports de fertilisants, les traitements phytosanitaires et les récoltes sont à prendre en compte. Une plante de couverture doit être réellement cultivée, c'est-à-dire coupée au stade le plus favorable à son maintien durable, puis broyée pour faciliter son enfouissement et sa transformation en humus. La biomasse coupée doit rester sur le sol de la plantation, et non en être exportée, comme on le constate trop souvent. Enfin, tout arbre de couverture efficace doit cohabiter sans créer trop de contraintes à l'espèce cultivée dans la plantation ■

Références

- Hallé F. *Un monde sans hiver*. Paris : Le Seuil, 1993 ; 360 p.
- Huxley PA, Akunda E, Repollo A. Climate and plant response : the use of phenological data to help with the choice of woody species for agroforestry systems. In : *Meteorology and agroforestry*. ICRAF, 1989 : 99-114.
- Baldy C, Stigter RJ. *Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes*. Versailles : INRA, 1993 ; 250 p.
- Sadourni R. L'homme modifie-t-il le climat ? *La Recherche* 1992 ; 23(242) N° spécial : 522-31.
- Kadomura H, Kiyonaga J. Origin of grassfields-landscape in the West Cameroon Highlands. In : *Savannization processes in Tropical Africa 2*. Tokyo : H. Kadomura, 1994 : 47-86.
- Lal R. *Soil erosion research methods*. 1994 ; 342 p.
- Dean de Abreu Sa Diniz T. Meteorology applied to agroforestry systems in the Brazilian Amazon region. In : *Meteorology and agroforestry*. ICRAF, 1989 : 245-57.
- Lamachère JM. Variabilité spatio-temporelle des états de surface en zones sahéliennes et soudaniennes (Burkina Faso) : effets sur le ruissellement et sa modélisation. *Journées Hydrologiques ORSTOM* 1994 ; 12 p.
- Roose E. Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. *Travaux et Documents ORSTOM* 1977 ; 108 p.

10. De las Salas. Agroforestry systems: a production/protection land use strategy for steep land in the tropics. In : *Meteorology and agroforestry*. ICRAF, 1989 ; 131-40.
11. Letouzey R. *Manuel de botanique forestière : Afrique tropicale* (3 tomes). CIRAD-CTFT, 1982-3 ; 348 p.
12. Nair PKR (édit.). *Agroforestry systems in the tropics*. ICRAF/Kluwer Forestry sciences series N° 31, 1989 ; 660 p.
13. Kemp R (coord.). *Conservation des ressources génétiques dans l'aménagement des forêts tropicales. Principes et concepts*. Étude FAO Forêts N° 107, 1994 ; 102 p.
14. Godefroy J. Contribution à l'étude de *Leucaena leucocephala* (LAM) de WIT en régions tropicales. *Fruits* 1987 ; 42 : 703-8.
15. Varlet-Grancher C, Bonhomme R, Sinoquet H. *Crop structure and light microclimate Characterization and application*. Paris : Science Update INRA, 1993 ; 518 p.
16. Dupriez H, DeLeener P. *Arbres et agricultures multiétagées d'Afrique*. CTA/Terres et Vie, 1993 ; 280 p.
17. Glover N, Beer J. *Spatial and temporal fluctuation of litterfall in the agroforestry associations Coffea arabica var. caturra, Erythrina poeppingiana, et C. arabica var Caturra, Cordia alliodora*. CATIE Turrialba Costa Rica, 1984 ; 54 p.
18. Russ RO, Budowski G. Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppingiana* as a coffee shade tree. *Agroforest Syst* 1986 ; 4 : 145-62.
19. Willey RW. The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Hort Abstr* 1975 ; 45 : 791-8.
20. Ameeruddy, Pinglo. *Phytopratiqes en régions tropicales*. Programme UNESCO-MAB, Institut botanique de Montpellier, 1988 ; 71 p.
21. Ruellan A, Dosso M. *Regards sur le sol*. Paris : AUPELF, 1993 ; 192 p.
22. Rounsevell MDA, Loveland PJ (édit.). *Soil responses to climate changes*. NATO ASI Series I ; Global environment change Vol 23. 1994 ; 310 p.
23. Squire GR. *The physiology of Tropical crop production*. Oxford : CAB, 1990 ; 236 p.
24. Godefroy J. Observations de l'enracinement du stylosanthes, de la crotalaire et du flémingia dans un sol volcanique du Cameroun. *Fruits* 1988 ; 43 : 79-86.
25. Stigter CJ. Mulching as a traditional method of microclimate management. *Arch Met Geoph Biocli* 1984 ; Sér. B 35 : 147-54.
26. Godefroy J. Action des plantes améliorantes en culture d'ananas. (II) Bilan pédologique. *Fruits* 1969 ; 24 : 241-6.
27. Tisseau MA. Action des plantes améliorantes en culture d'ananas. (I) Bilan agronomique. *Fruits* 1969 ; 24 : 380.
28. Schilizzi S, Rey B, Galina-Hidalgo MA. *Fonctionnement des systèmes agraires. État de Colima (Mexique)*. INRA, 1994 ; 359 p.
29. Roose E. Comptes rendus annuels des « journées érosion » publiés par l'ORSTOM. Années 1985 à 1998.

Résumé

Détruire les forêts tropicales provoque la disparition rapide des sols qu'elles protégeaient, modifie notablement les échanges radiatifs entre le sol et l'atmosphère, et agit sur la circulation atmosphérique générale jusqu'aux hautes latitudes. Des systèmes de cultures multi-étagés peuvent fournir des méthodes appropriées de lutte contre la désertification due à l'extension généralisée des cultures. Associer à une *plantation** une plante de couverture et (ou) un arbre d'ombrage ne peut se faire que si ces différentes espèces peuvent cohabiter et si les conditions locales de climat et de sol sont favorables. La plante de couverture complique la réalisation des apports de fertilisants, des traitements phytosanitaires et des récoltes dans la plantation. Et l'arbre de couverture n'est efficace que s'il cohabite sans trop de problème avec l'arbre cultivé. Des exemples de ces associations dans des vergers sont analysés et montrent que des couverts végétaux cultivés multi-étagés peuvent apporter une réponse à ce problème. Ils permettent : de réduire les pertes d'éléments fertilisants par les sols ; de mieux gérer l'utilisation des pluies ; de faciliter l'accès aux plantations un plus grand nombre de jours de l'année ; de faciliter les travaux d'entretien, de traitements et de récoltes dans celles-ci, et souvent d'améliorer les rendements sur le long terme, même si la production à l'hectare peut être temporairement réduite par l'occupation partielle du sol par les arbres d'ombrage.
