

Colloque juin 2011- Viet Nam.

CULTURES ASSOCIEES MULTI-ETAGEES TRADITIONNELLES INNOVANTES.

Services écologiques : résilience et durabilité des éco-agro-systèmes.

Dr. Valet S.¹

Consultant. PASSERELLES, 9, rue du Bât d'Argent, 69001, Lyon France ; valet.serge2@wanadoo.fr Tél. : 0478391266.

Résumé

Les cultures associées multi étagées et en relais traditionnelles innovantes sont encore pratiquées dans les régions tropicales en toutes conditions géo-pédoclimatiques. Ces associations offrent de nombreux « *services écologiques* » (micro)biologiques, physiques, hydriques et nutritionnels complexes qui renforcent/réhabilitent l'aggradation des sols et assurent la résilience des éco(agro)systèmes. Elles permettent l'obtention de revenus supérieurs à ceux des systèmes mono, bi et tri spécifiques (Révolution verte, SCI et SCV). Ce système doit servir à remplacer le système actuel d'intensification monoculturale qui a failli. Il reste à concevoir le « *feed-back* » entre les « *savoirs empiriques* » traditionnels innovants, logiques et stratégiques des paysan(ne)s et les « *savoirs savants* » analytiques et prédictifs des scientifiques pour conceptualiser les meilleurs sous-systèmes adaptables aux divers éco-agro-systèmes. L'« *intensification écologique* » devra éviter un nouveau forçage de ces associations par des IOS trop forts, des intrants excessifs, des associations concurrentes, des plantes d'exportation au détriment du vivrier et des rendements miniers. Ces systèmes agraires innovants devront être choisis par les paysan(ne)s et non subis.

Mots- clés : *Associations culturelles, agroforesterie, service écologiques, aggradation, , biodiversité, zone tropicale.*

I. OBJECTIF

Le défi du XXIème siècle est de nourrir une population grandissante sans dégrader l'environnement. Mais pour cela il faut réhabiliter les terres érodées et polluées et faire face à une modification des conditions pluviométriques et éoliennes dues au changement climatique, à une forte croissance démographique et à la « *mondialisation* ». Le Viet Nam n'échappe pas à ces contraintes. Le double échec de l'intensification monoculturale scientifique (*Révolution verte*) et aussi des techniques physiques de lutte contre l'érosion en toute région est reconnue par une grande part de la collectivité scientifique (Roose et al., 1993 ; Valet, 1999 ; Maleyzieu et al, 2009). Griffon (2007) a déclaré « *Les agronomes ont été formés pour éradiquer les écosystèmes pour créer un système artificiel, simplifié et forcé par l'introduction d'une grande quantité d'engrais et de pesticides* ». Quel système agricole devra-t-on concevoir pour réussir une véritable révolution technologique et sociétale qui assure un écodéveloppement soutenu ? Pour répondre à la recommandation de Trenbath (1975) « *Diversify or be damned* », la reconnaissance et l'étude des systèmes cultureux traditionnels paraît un préalable incontournable. Les cultures associées multi-étagées traditionnelles innovantes semblent le système le plus accompli pour assurer une intensification écologique et préserver les écosystèmes. Elles recouvrent toujours de grandes surfaces dans le monde et sont pratiquées par plus d'un milliard de paysan(ne)s, du Sahel aux forêts tropicales (Hecq, 1958 ; Baldy, 1963 ; Valet, 1985). Dans les zones tropicales de plaine et

¹ *Hydropédologie & Environnement, MCF, retraité de l'Université Fondamentale & Appliquée de Poitiers, Consultant PASSERELLES Bmaf, France.*

d'altitude, les espèces et variétés cultivées, de même que leur nombre par unité de surface, varient avec l'altitude, de même qu'avec les habitudes alimentaires traduisant l'adaptation aux potentialités multiples des écosystèmes (Valet, 2004; Dupriez, 1980a). Elles ont été longtemps considérées comme primitives et peu efficaces par les agronomes. Toutefois il apparaît qu'elles ont maintenus également un ensemble de techniques biophysiques de lutte efficace contre l'érosion. La conception d'un écodéveloppement soutenu oblige à associer les techniques biophysiques traditionnelles innovantes de lutte contre l'érosion et les systèmes de cultures associées multiétagées et multi-usages traditionnelles et nouvelles adaptées à chaque éco(agro)système.

L'objectif de cette étude est pour concevoir cet écodéveloppement soutenu :

- 1) d'identifier les techniques biophysiques traditionnelles innovantes de lutte contre l'érosion ;
- 2) de recenser les types d'associations multiétagées traditionnelles innovantes ;
- 3) d'expliquer les principaux services écologiques fournis par les associations ;
- 4) de présenter leurs avantages socio économiques.

II. RESULTATS

Nous présentons quelques exemples pris en milieu tropical, mais surtout les résultats obtenus dans la région des hauts plateaux et montagnes de l'Ouest Cameroun. Cette région offre le meilleur exemple de cultures associées multi stratifiées et en relais car le plus complexe et le plus complet conceptualisé empiriquement depuis plusieurs siècles par des paysan(ne)s illettré(e)s.

1. Les cultures associées multiétagées traditionnelles innovantes

Le regain d'intérêt pour les cultures associées traditionnelles est patent ce due à la remise en cause de la « *révolution verte* ». Ces cultures ont été très peu étudiées jusqu'à ce jour (Valet, 1985 ; Valet et al., 2007).

1.1. Variabilité des cultures associées multi étagées

Le Cameroun a un climat équatorial de mousson à une saison des pluies :

A- Zone tropicale de plaine : seules les plantes tropicales peuvent pousser sur des sols uniformément de faible qualité, ce qui limite leur nombre dans l'association à 5 à 10 comme dans les autres pays tropicaux (Hecq, 1958 ; Dupriez, 1980b ; Rishirumuhirwa, 1993 ; Le Courier, 2002).

B- Zone tropicale des hauts plateaux et montagnes : les microclimats favorisent la culture de plantes tempérées et d'altitude (Valet S., 1967ab & 1976). Située entre 1000 et 3100m d'altitude (de 9° à 11°E et entre 5° à 6°N). Elle se caractérise par de nombreux microclimats, types de sols et géomorphologies qui déterminent des paysages agro-géologiques contrastés (Valet, 1985). Ceci explique la richesse particulière et variable de ses agro(éco)systèmes. 46 plantes sont utilisées de cycle de longueur et de rendement différents : Etage arboré : 11 (Colatier, safoutier, avocatiers, palmier raphia, banane douce et plantain...) ; Etage arbustif : 5 (Café, Ndolé, piment, goyavier, et manioc) ; Etage bas : 29 : 16 plantes maraîchères (Gombo, tomate, épinard, choux, oignons...), 2 céréales (Maïs et canne à sucre), 5 légumineuses, 5 tubercules ; 2 fruits (ananas, melon). Dans les jardins-forêt de Java 200 plantes peuvent être cultivées, plus de 300 dans ceux de Vera Cruz et plus de 50 arbres voisinent avec le vivrier au Bendaglesh (Torquebiau, 1992) (Annexe 1).

1.2. Typologie

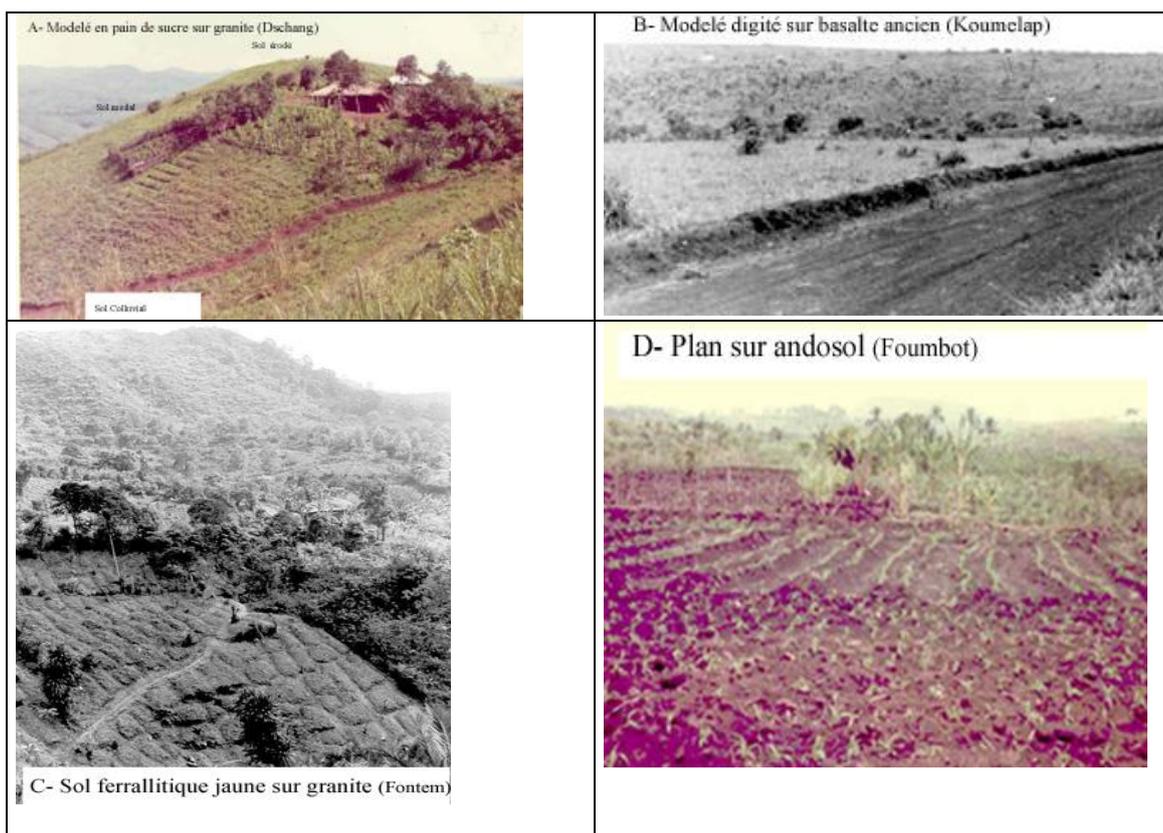
Ces associations constituent des mailles unitaires agro-bio-physiques qui ont été conceptualisées empiriquement. Elles structurent le paysage à différentes échelles (billon, champ, bassin versant).

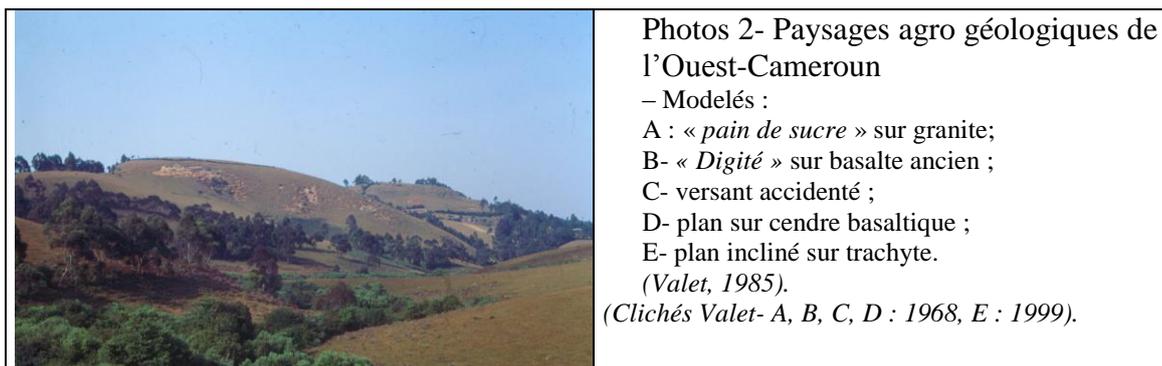
A- A l'échelle du billon : la disposition des pieds, ordonnée ou en désordre, tient compte de leur taille respective et de leur concurrence, principalement pour la lumière et l'eau. Différents modèles existent : Mixed cropping ; Intercropping, decay ou alley cropping, Sequential cropping et Agroforesterie. Beaucoup d'autres arrangements sont utilisés compte-tenu du nombre élevé d'espèces et de variétés. Certaines ignames ne sont cultivées que par les femmes des chefs ou le voandzou par les femmes mariées.

B- A l'échelle du champ : Les paysan(ne)s font varier qualitativement (densité ou IOS= *Indice d'Occupation du Sol*= densité de la 1^{ère} culture en association/densité de la monoculture + densité de la 2^{ème} culture en association/densité de la monoculture + etc...) et quantitativement (nombre des espèces), hors les arbres, entre les champs mais aussi entre les deux régions de l'Ouest (Bamiléké et bamoun). Les IOS croissent de 1,04 à 9, avec les arbres et arbustes (50 à 250 par hectare) avec une valeur moyenne de 3,2, une médiane de 2 et un quartile faible de 1,1 (Valet, 1976 ; Autfray. 1995). (Annexe 2).

C- A l'échelle du Bassin Versant unitaire ou écorégions :

Trois sous-systèmes agricoles traditionnels dominants, Jachère vs Pâturage (PA+JA), Cultures associées Vivrières évolutives (CV) et Cultures associées Vivrières évolutives plus Café (CV+Co) sont implantés selon les conditions géo-pédoclimatiques et démographiques (Fig. 5 & photos 2A, B, C, D, E). Auxquels il faut ajouter le maraîchage irrigué pratiqué soit dans les thalwegs à côté ou à la place des *raphiaies* soit en grande parcelle en altitude (>1800m).





Photos 2- Paysages agro géologiques de l'Ouest-Cameroun

– Modelés :
 A : « pain de sucre » sur granite;
 B- « Digité » sur basalte ancien ;
 C- versant accidenté ;
 D- plan sur cendre basaltique ;
 E- plan incliné sur trachyte.

(Valet, 1985).

(Clichés Valet- A, B, C, D : 1968, E : 1999).

On observe une bonne corrélation entre les formes géomorphologiques, le substratum géologique et les sols (Valet, 1985). Les paysan(ne)s ont su adapter leurs systèmes agricoles traditionnels enrichis de plantes introduites comme le café, le maraîchage à chaque paysage agro-géologique (Fig. 5).

Paysages agro-géologiques sur

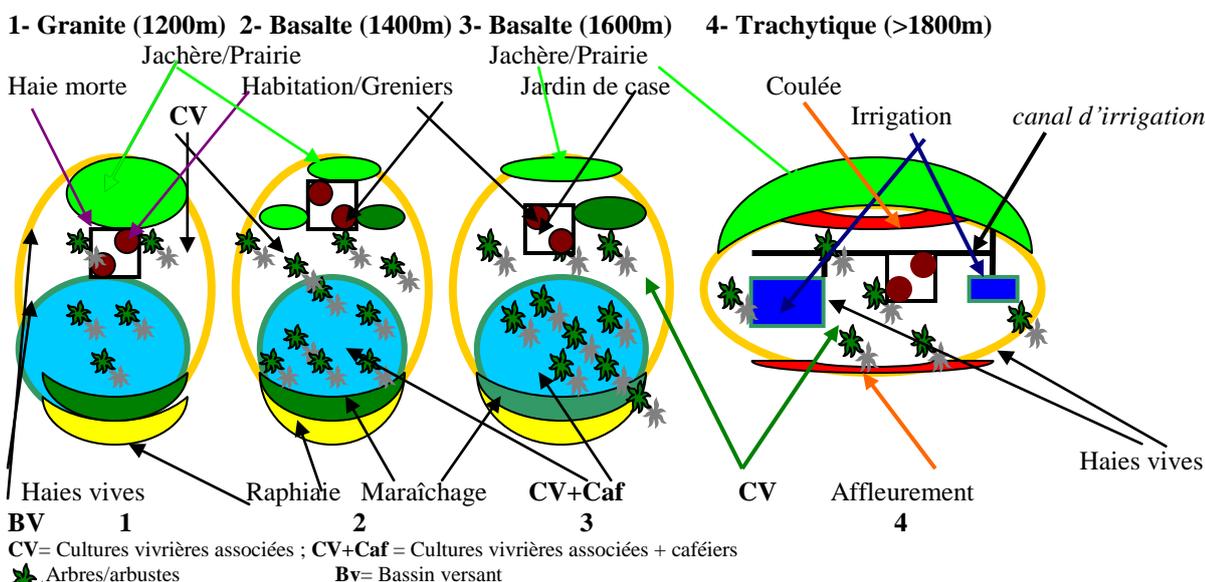


Figure 5– Schéma de la répartition des types de systèmes agricoles traditionnels et innovants en fonction des paysages agro-géologiques.

La répartition des sous systèmes en %, est étroitement dépendante de celle de la fertilité des sols des versants et de l'importance du ruissellement qui est bien représentées par le degré de déclivité des pentes (Fig. 6). Le pourcentage de prairie et jachère (PA+JA) diminue du haut au bas des versants mais aussi des bassins les plus élevés aux plus bas alors que les surfaces des cultures vivrières avec (CV+Caf) et sans café (CV) augmentent proportionnellement. Les surfaces des cultures vivrières avec café sont plus étendues à même altitude sur le basalte plus fertile que sur le granite à mi et bas versant.

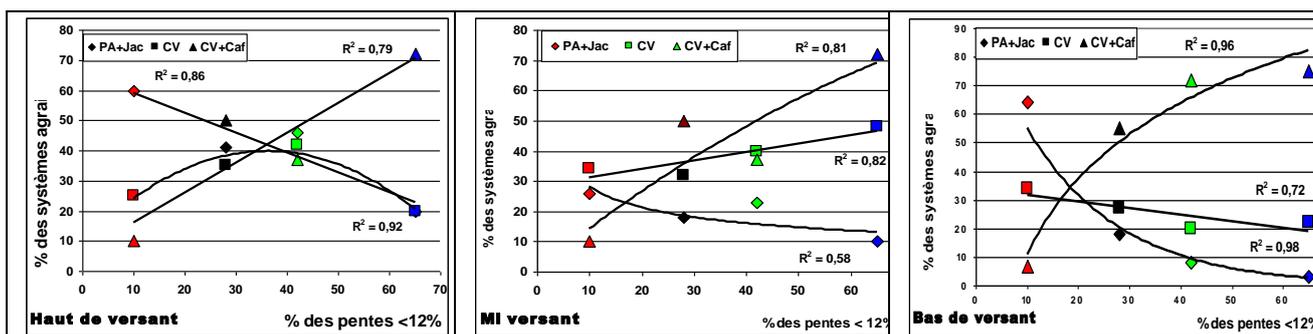
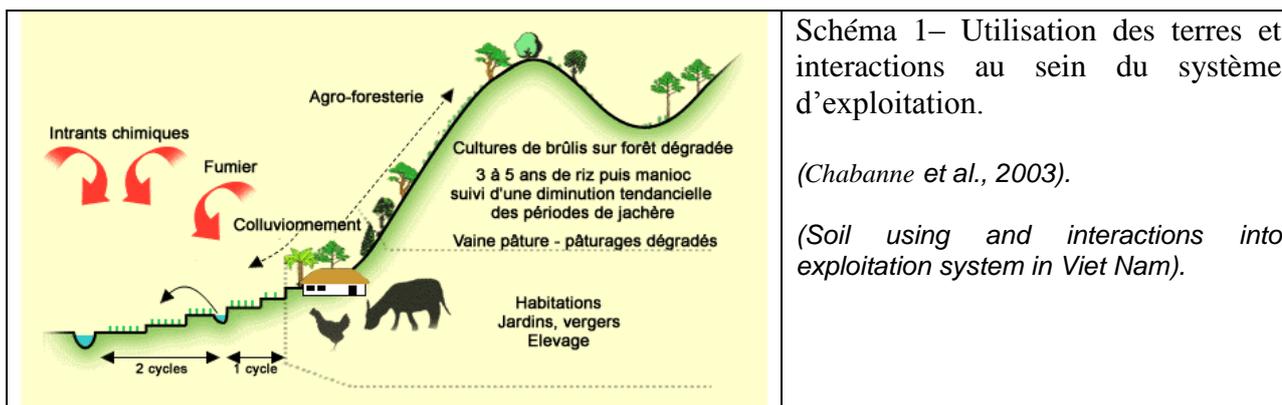


Figure 6- Corrélation entre la répartition des pentes $\le 12\%$ et les systèmes de cultures selon la fertilité des paysages agrogéologiques : A : haut de versant ; B : mi versant et C : bas de versant. De gauche à droite :

Rouge : $>2000\text{m}$, trachytes et roches acides ; **Noir** : $1600-2000\text{m}$, Basalte ; **Vert** : $1400-1600\text{m}$, Granite ; **Bleu** : $1400-1600\text{m}$, Basalte. (Valet, 1985 & 1999).

Au Viet Nam, un projet « **Système Agraire de Montagne** » propose un développement intégré agro-forestier et élevage sur versant associant intensification et SCV en remplacement des cultures traditionnelles sur brûlis et en conservant la riziculture intensive dans la plaine (Chabanne et al., 2003) (Schéma 1). Toutefois ce système raisonné d’agriculture SCV associée qui est facile à



mettre en œuvre en grande culture avec un minimum de matériel agricole faisant un minimum de passages dans les champs, est plus difficile à introduire en agriculture familiale (Affholder and al., 2008). Elle révèle la faible attractivité économique des SCV proposés en raison du surcroît de travail et d’intrants que ces nouveaux systèmes requièrent (40% d’herbicides de plus qu’en monocultures).

1.3. Facteurs discriminants de la variabilité des associations culturelles

- La géomorphologie

57% des superficies s’étagent de 1040 à 1520m d’altitude et 10% de 1520 à 2500m . La morphogénèse commandée ainsi par la tectonique, le climat, la nature pétrographique et chimique des roches et leur ancienneté de mise en place est à l’origine des nombreux géo-faciès ou « *portion d’espace physionomiquement homogène* » où les facteurs de l’environnement sont dynamiquement liés entre eux (Valet, 1985). Ces géo-faciès s’individualisent en autant de bassin versant englobant un type de réseau hydrologique spécifique. Ces bassins versants forment des « *paysages agro-géologiques* » (photos 2A, B, C, D, E). A l’intérieur desquels il est possible de caractériser plus de 30 « *strates homogènes* » ou écosystèmes dont une douzaine sont agro intéressants.

- La fertilité du sol

Les paysan(ne)s augmentent fortement l’IOS total avec la fertilité actuelle du sol : en zone Bamiléké selon les Cations échangeables et en zone Bamoun selon le C% (Fig. 7).

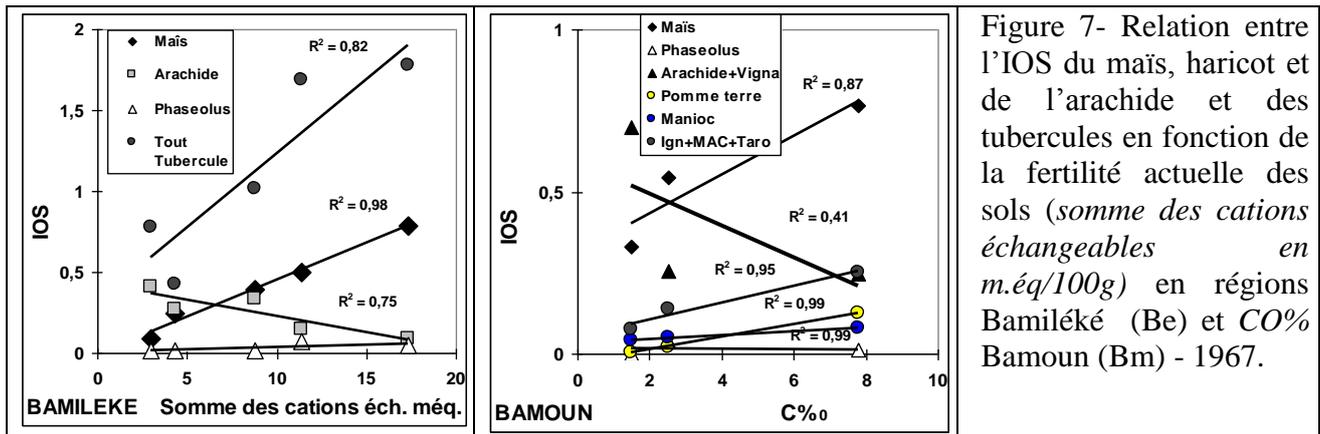


Figure 7- Relation entre l'IOS du maïs, haricot et de l'arachide et des tubercules en fonction de la fertilité actuelle des sols (*somme des cations échangeables en m.ég/100g*) en régions Bamiléké (Be) et CO% Bamoun (Bm) - 1967.

La répulsion maïs-arachide résulte de la concurrence pour la lumière. Ce type de répulsion existe aussi entre le Maïs et le Soja (Valet, 1999 & 2007).

2. Services écologiques

Les « services écologiques » ou coopérations entre plantes à différents stades sont particulièrement bien représentés dans les conditions de l'Ouest Cameroun. Ces services sont favorisés par les travaux culturaux de préparation du sol et par les associations modulables qualitativement (espèces) et quantitativement (Densité) créés empiriquement par les paysan(ne)s et empruntés récemment par les agronomes. Les services des systèmes écologiques and les stocks de capital naturel qu'ils produisent sont critiques du fonctionnement de système de support de la vie de la terre. Ils contribuent au bien-être humain à la fois directement et indirectement, et pour cela, représentent une part de la valeur totale économique de la planète (Costanza et al. 1997).

2.1. Lutte contre l'érosion hydrique et éolienne et les tempêtes

La préparation manuelle du sol en gros billons ou buttes dans le sens des pentes à forte déclivité et parallèlement sur les pentes faibles assure une meilleure porosité (61% contre 49/51%) et une plus forte infiltrabilité sur une plus grande profondeur (0.70cm) qu'en sol labouré et billonné mécaniquement (0.40cm). Ceci permet un enracinement étagé plus rapide et plus profond des diverses espèces. L'abondance de l'épaisse couverture foliaire des vivriers et des arbres et le paillage de leurs résidus corrigent la fragilité des sols et évitent la formation de l'encroûtement et le ruissellement qu'accélère l'intensification monoculturelle (Photo 3) (Valet, 1999). (Annexe 3).

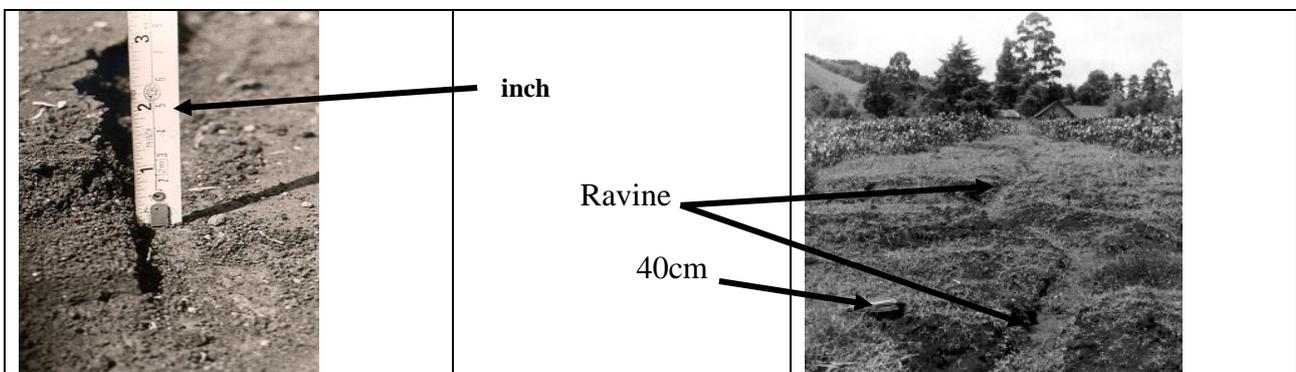


Photo 3- Erosion sous monocultures : empilement de « croûtes de ruissellement » entre les planches de tomates à Dschang sur pente très faible (Ouest-Cameroun).

Photo 4- Début de ravinement quelques mois après le semis du maïs en monoculture à Bambui Station (Ouest-Cameroun). (Clichés Valet, 1968).

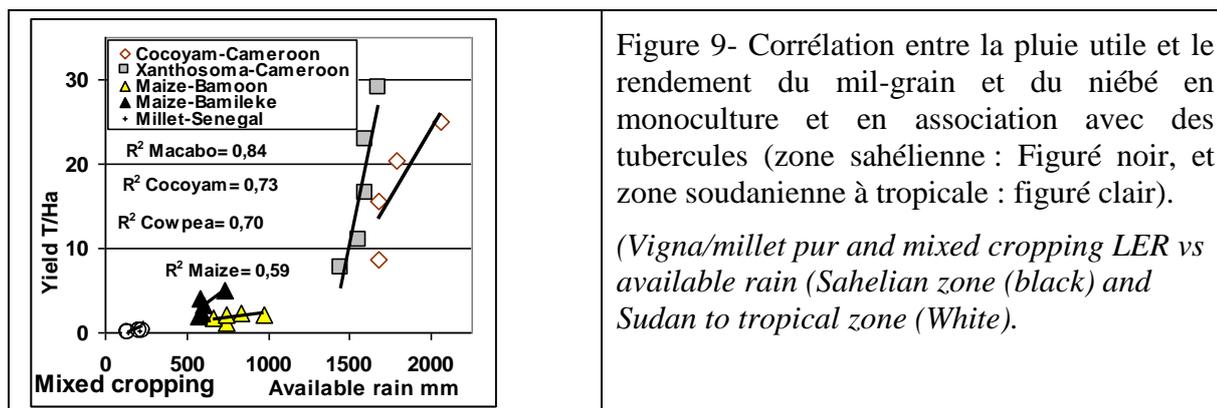
Ainsi à Bambui Station, la monoculture intensifiée de maïs provoque dès les premiers mois une forte érosion incisante sur sol ferralitique humifère (Photo 4). Au Costa Rica, Gomez Delgado and al. (2009) ont vérifié l'effet des arbres contre l'érosion hydrique dans une cafeieraie de l'échelle de la parcelle à celle du bassin versant. Les arbres en haies ou en parc jouent de plus un rôle important pour réduire la force érosive du vent (Hauggard-Nielsen and Jensen, 2005).

2.2. Module l'ambiance ombro-thermique

Il y a atténuation des variations des températures extrêmes médianes par baisse de l'albédo, de la radiation solaire avec maintien d'un microclimat plus humide spécifique ambiant et de celle du sol (Valet, 1974) (Annexe 4). L'effet de l'étagement des populations de plantes complexes sur la modification de la photosynthèse à la baisse résulte de l'importance des radiations solaires directes ou indirectes reçues (Valet, 1974 ; Baldy et Durand, 1970).

2.3. Limite le risque de sécheresse édaphique et climatique

Le couvert des végétaux ainsi que le mulch qui limitent l'évaporation directe du sol, assurent une meilleure alimentation hydrique aux associations de plantes à cycles différents. Ainsi Reddy et Willey (1981) ont démontré que deux plantes consomment seulement 10% de plus par unité d'hectare que chaque monoculture et Sinha et al., (1985) quatre plantes seulement 28% de plus. L'augmentation de l'efficacité hydrique en association conduit à accroître l'usage des autres ressources (Hook and Gascho, 1988). Ceci est une bonne réponse au changement climatique qui sévit, quelques années sur dix, depuis 1970 dans l'Ouest-Cameroun. En zone tropicale comme



ailleurs, l'importance de l'offre hydrique paraît déterminante pour expliquer la variabilité des rendements (Fig. 9).

2.4. Lutte contre les attaques/maladies/adventices

Le contrôle des maladies et des parasites est réalisé grâce à l'effet de barrière horizontale et verticale, à celui de masquer les plantes aux insectes, de diluer le vecteur et de modifier les températures et l'insolation favorables à la montée dans la tige (Listenger and Mody, 1976 ; Baldy, 1986 ; Singh and al., 1990 ; Hauggard-Nielsen and al., 2001). L'association crée des niches qui abritent les parasites (coccinelle, carabe, araignées, parasitoïde...) des prédateurs agricoles (limaces,...). La multiplicité des pollens et des nectars attirerait les prédateurs des parasites (Bukovinszky and al., 2005). L'asphyxie des adventices est d'autant plus efficace que la densité d'occupation du sol est plus élevée (Saucke and Ackermann, 2005).

2.5. Transfert de fertilisation

- Fertilisation azotée : Une bonne alimentation azotée s'explique ainsi :

- les légumineuses permettent un transfert continu d'azote atmosphérique vers le maïs sans réduire l'efficacité de l'utilisation du N du sol (Trenbath, 1976 ; Masson and al., 1986).

- une réduction du lessivage de N et des nutriments (Njoku and al. 1984). L'association coffee-Erythrina diminue la lixiviation du N de 14 à 2 NO₃-N (mg NL⁻¹) par rapport à la monoculture conventionnelle.

- Nutriments : les arbres permettent la remontée des nutriments lessivés en profondeur, facteur de bonne productivité et par la biomasse produite, 102 à 124kg ha⁻¹ an⁻¹ de N, 6 à 9kg ha⁻¹ an⁻¹ de P₂O₅ et 18kg ha⁻¹ an⁻¹ de K (Ndayzigiye, 1993 ; Dupraz et Liagre, 2008). Ils sont aussi dans les sédiments piégés. Les haies limitent l'entraînement des nutriments par ruissellement jusqu'à 95% de la charge solide (Boukong, 2000).

- Fertilisation phosphatée : Une céréale (durum wheat) et deux légumineuses (*Pea & fababeen*) en système intercalaire ont un accès à des formes différentes de source de P, notamment le P organique par suite d'une baisse du pH (Betencourt and al., 2010) qui pourrait se transmettre de racine à racine (Isaac and al. 2010). En culture intercalaire (LER=1.5) une part du léger apport de P provient du stock des bactéries récupéré ensuite après leur prédation.

Ce transfert de fertilité qui assure un « *turn over* » organo-minéral s'explique par :

- L'abondance des résidus culturaux des associations et des arbres/haies; le piégeage des sédiments organo-minéral par les haies vives et mortes et les BRF. De plus, le décalage des semis et les longueurs de cycle différents déplaceraient les besoins nutritionnels et hydriques qui ne se font pas aux mêmes époques et réduit la compétition entre plantes (Baldy and Stigter, 1997). L'agroforesterie maintient la fertilité de l'environnement et une haute productivité sous les cacaoyers supérieure à celle sous monocultures. En systèmes agro-forestiers on observe une augmentation de la SOM (Kowal and Tiker, 1959) sauf en cacaoyers sur sols sableux du littoral ivoirien déficitaire en OM.

2.6. Foisonnement racinaire

La forte densité racinaire avec un meilleur étagement (l'enracinement de deux plantes est plus importante de 20 à 50% qu'en monoculture) assure une plus efficace utilisation complémentaire des nutriments et de l'eau de surface et de profondeur (Hulugalle and Willatt, 1987 ; Autfray, 2005). Ceci renforce un large éventail de services écologiques biochimiques par les facilités d'interconnexions des mycorhizes et d'une plus forte nodulation (Hauggaard and Jensen, 2005). Ils luttent plus efficacement que les monocultures contre l'effet de serre et la régénération des sols (Peichl and al., 2006).

2.7. Amélioration de la qualité organoleptique

On enregistre également un meilleur rendement protéiques dont les valeurs, selon les cultures, sont de 30 (Maize) à 48% (Sweet potato) supérieures en association qu'en monocultures (Dupriez, 1980a & 2006 ; Caballero and al., 1995). 6 *Nérés* dans un champ de millet apportent 1.4 de calories, 1.1 de glucides, 4.3 de graisses et 2 de protéines et avec 60 *acacia albida* la quantité protéiques est multipliée par 3.4 (Dupriez, 2006). Dupriez et de Leener (2003) ont calculé qu'un *Néré* produit annuellement en graines le même équivalent nutritif qu'un élevage de plus de 50 poulets. En plus, les extraits protéiques et vitaminiques des feuilles des nombreuses espèces vivrières et autres peuvent servir à la surnutrition des enfants, malades et femme enceintes car elles sont presque aussi riches que la *spiruline* (Micro-algue bleue) (Soynica-Annexe 5).

2.8. Prolifération de la biodiversité et de la réserve génétique

Le vaste éventail des pratiques d'agroforesterie favorise le plus fortement la potentialité de la conservation/réhabilitation de la biodiversité (Lamanda, 2005). La variété des mécanismes bio-

chimiques et bio-physiques grâce notamment aux *Fungi* améliore la formation de la structure du sol (Genèse structurale) directement ou indirectement (Ritz and Young, 2004). L'efficacité biologique et la création d'habitats et de niches nutritionnelles favorisent une meilleure stabilité et conservation de cette biodiversité (Francis, 1989).

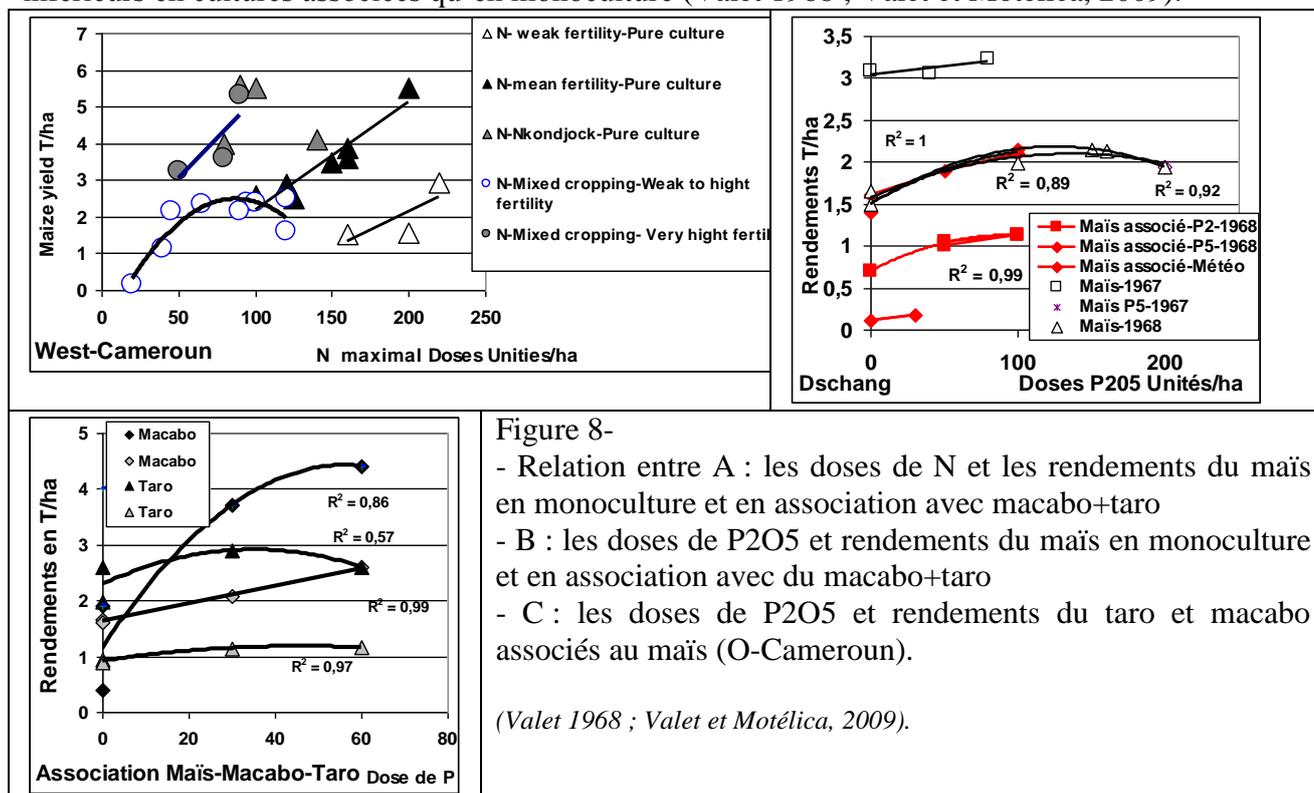
2.9. Energie renouvelable

L'abondance de biomasse végétale permet d'envisager de produire du biogaz soit au niveau villageois (Transpaille) soit au niveau familial (Latrine) avec formation de compost (CIRAD, 2007).

3. Conséquences socio économiques

3.1. Economie des intrants (biocides & engrais minéraux)

- Fertilisation minérale : Les essais de fertilisation conduits dans l'Ouest-Cameroun, de 1966 à 1972, sur l'association ternaire basique (Maïs, taro et macabo), montrent une corrélation positive entre les doses de N et P₂O₅ et l'accroissement du rendement (Fig. 8A, B et C). Les doses de N pour des rendements très voisins et de P₂O₅, pour des rendements inférieurs sont de 30 à 50 % inférieurs en cultures associées qu'en monoculture (Valet 1968 ; Valet et Motélica, 2009).



- Fertilisation organique

- Ecobuage

L'écobuage est couramment pratiqué de préférence en sol hydromorphe sur grosse butte tous les 5 ans. Cette technique libère brutalement beaucoup de P₂O₅ assimilable (2030ppm P₂O₅ contre Témoin = 30ppm) et de potasse. Il maintient de plus l'azote dans le sol (Autfray, 1995). Il provoque une augmentation de 2,8 à 5,2 Tha⁻¹ (+79,5%) de maïs grain avec une dose de 200 unités ha⁻¹ de N (Valet et Motélica, 2009). Sur macabo blanc Schaefer (1999) a obtenu une augmentation de 9,6Tha⁻¹ (±3,1) à 12,6Tha⁻¹ (±4,7) soit +31,3% en absence de fertilisation minérale complémentaire.

- Fumier (bovin porcin, caprin, de volailles)

A dose de nutriments égale à la fumure minérale, le fumier a un effet identique sur le rendement du maïs ; de plus il majore l'effet des apports de N (Urée) de +27,3% avec 200 U ha⁻¹ (Valet et Motélica, 2009).

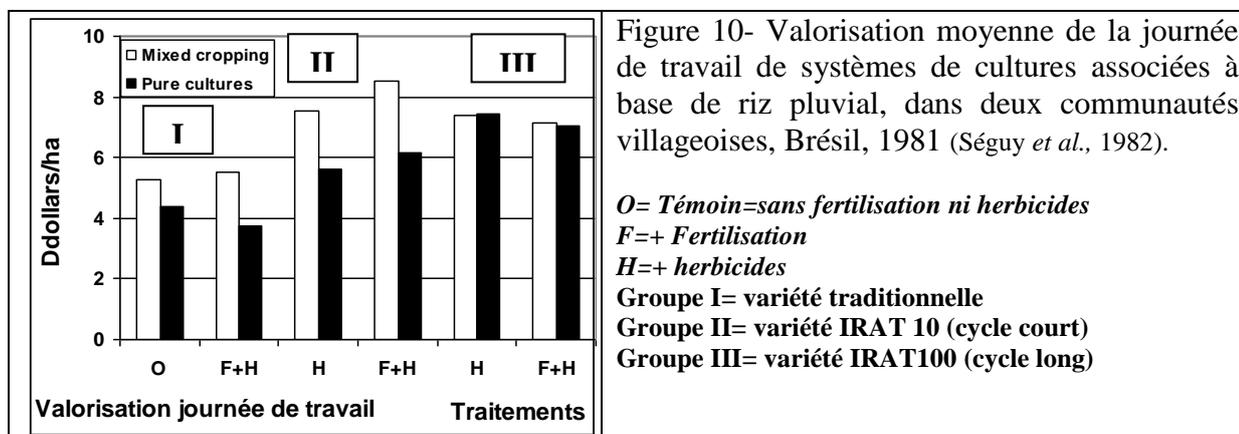
- Jachère

La forte production de biomasse et le maintien de la jachère assurent efficacement la restauration physique et chimique de la fertilité du sol. A Koumelap sur un sol ferrallitique rouge sur basalte ancien, la jachère de 5 ans a permis au sol de recouvrer une fertilité minérale et organique équivalente à l'enfouissement de *stylosanthes*, en cations nettement supérieure, en phosphore légèrement inférieur à un apport de 200 unités ha⁻¹ de P₂O₅ et une stabilité structurale supérieure à la monoculture intensifiée sur 20-40cm (Valet, 1999).

- BRF ou Bois Raméaux Fragmentés (Ramial Chipped Wood or RCW) : Il aggrave les sols par l'augmentation de la matière organique stable dont l'effet est deux fois supérieur au compost et trois fois supérieur au fumier (Barral & Sagnier, 1888 ; Noël, 2005). Au Cameroun, l'utilisation d'émondes d'arbustes a augmenté significativement le rendement du niébé cultivé en couloir avec ces arbustes (Kalemba et Ndoki, 1995).

3.2. Valorisation du travail

Elle porte non seulement sur le travail de défriche initial mais aussi sur la quantité de travail par unité de surface cultivée (de Ravignan, 1969). Les systèmes de culture à base de riz pluvial, dans deux communautés villageoises du Brésil en 1981, ont fourni une valorisation moyenne de la journée de travail nettement plus intéressante en cultures associées qu'en monocultures (Figures 10) (Séguy *et al.*, 1982 in Séguy *et al.*, 2008). Cela est comparable au jardin vivrier mélanésien et « *créole* » où l'efficacité du travail est élevée (Baker and Norman, 1975).



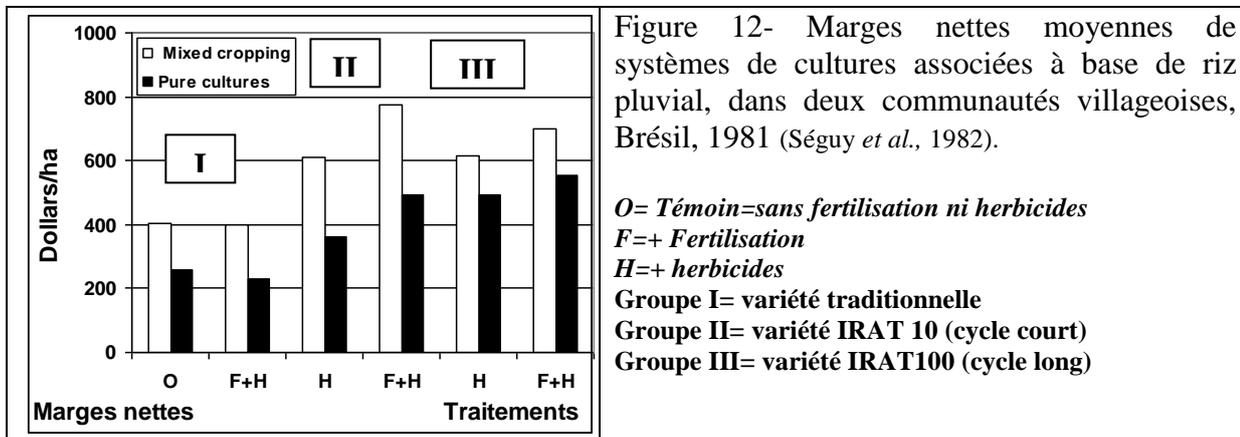
3.3. Valorisation spatio-temporelle

Grâce aux fortes densités les rendements accrus par une meilleure utilisation de l'espace qui permet de tirer le maximum de l'eau et des nutriments disponibles verticalement et horizontalement des terroirs est complémentaire de l'utilisation temporelle par les semis en relais (Hecq, 1958 ; Baker and Norman, 1975).

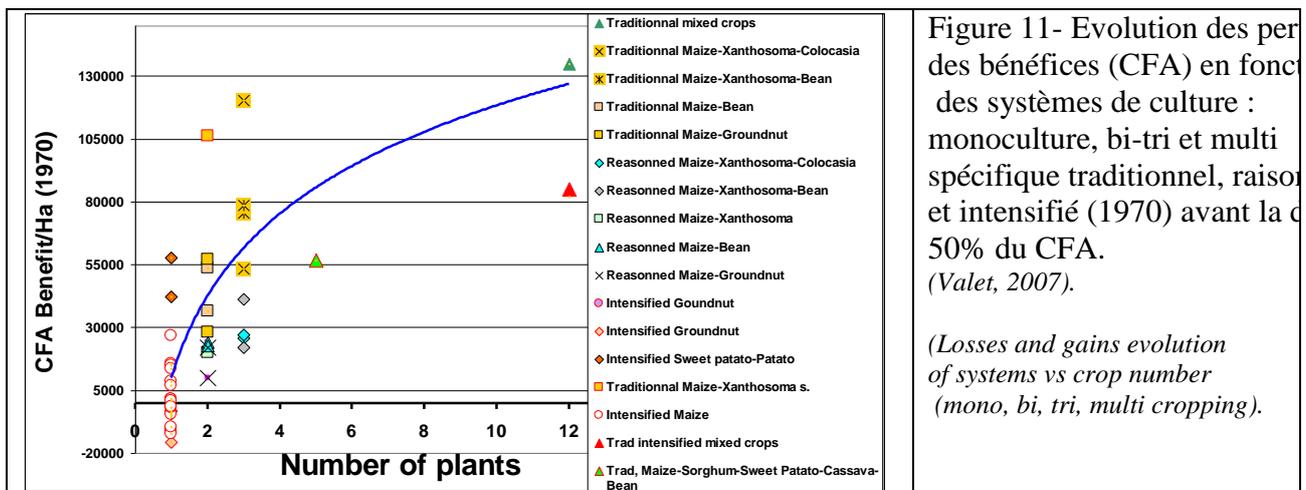
3.4. Valorisation monétaire

En valeur monétaire, dans les zones où l'intrant majeur est la main d'œuvre familiale (non rémunérée), les cultures associées produisent en moyenne 62% de plus, en revenu brut, que les monocultures intensifiée/unité de surface (Norman, 1973). En plus, les bénéfices de divers systèmes de cultures associées traditionnelles et raisonnées comparés aux monocultures

intensifiées sont toujours supérieures à ceux des plantes seules par unité de surface. Ces bénéfices sont très fortement proportionnels au nombre de plante de l'association (Valet, 2004) (Fig. 11). Au Brésil, en 1981, les systèmes de culture à base de riz pluvial, dans deux communautés villageoises, ont donné des marges brutes moyennes nettement plus intéressantes en cultures associées qu'en monocultures (Figure 12) (Séguy *et al.*, 1982 in Séguy *et al.*, 2008).



Au Cameroun, alors qu'en monoculture les pertes sont quasi constantes sur les légumineuses et le maïs, mais pas les tubercules, les bénéfices croissent exponentiellement à partir de deux plantes jusqu'à douze pour atteindre 122000 CFA (au cours de 1970) ; ceci avant la dévaluation du franc CFA de 50% et la suppression des subventions agricoles et la baisse des barrières douanière.



Le total de la production globale nationale est autour de 18 trillions par an. L'économie des pesticides, des herbicides, des engrais et de l'outillage lourd agricole de même que les rendements supérieurs expliquent aisément ces excellents bénéfices. Dans le jardin vivrier mélanésien, l'efficacité du travail est aussi très élevée. Le SCV peu adapté et risqué en sols pauvres, engorgés/submergés présente une bonne rentabilité sur sol riche (Séguy, 2008). Costanza *et al.* (1997) ont estimé la valeur courante de 17 services éco-systémiques pour 16 écorégions, basés sur des études publiées et quelques calculs originaux. Pour la biosphère entière la valeur (la plus part hors du marché) est estimée dans un éventail de 16-54 trillions de dollars US (10¹²) par an avec une moyenne de 33 trillions par an. A cause de la nature des incertitudes, ceci peut être considéré comme une estimation minimum.

3.5. Stratégie anti-risque socio économique

La prise en compte des différents niveaux de risques socio-économiques par une stratégie paysanne minimise la variance des revenus, sous contrainte du foncier et de la main-d'œuvre (Dury and Zoa, 2001). Le choix des cultures, lié aux habitudes alimentaires explique la réponse à la différence de pression démographique. Ainsi Camara et al. (2010) ont démontré que l'association basée sur le riz pluvial en forêt guinéenne a une emprise spatiale bien supérieure (0.91ha/habitant) à celle observée au Cameroun (0.15ha/habitants) à base de tubercules et de bananiers qui ont un bien meilleur rendement. Les plantes d'exportation locale ou internationale (café, cacao, hévéa, avocat, maraîchage...) tend à accroître cette pression. À côté de logiques anti risques (entre la recherche de risque nul et la maximisation du revenu minimum), la diversification au niveau de l'exploitation peut être interprétée comme une réponse aux difficultés d'accès au crédit, les cultures de cycle court permettant de financer des cultures de cycle plus long selon les potentiels climatiques, topographiques et pédologiques (Ellis, 1998 ; Dury and Zoa, 2001). La logique des prises de décision agricole par les paysan(ne)s concernant ces associations agro forestières conjugue les impératifs alimentaires (autosuffisance, qualité organoleptique, conservation et étalement des récoltes), économiques (cours, revenu et capitalisation) et les contraintes du milieu (roches, sols, climat et géomorphologie) Il minimise aussi les variations des cours nationaux et mondiaux. Ce système permet de maintenir les jeunes diplômés ou non au pays et de baisser la pression démographique dans les villes. Ceci renforce le maintien de la cohésion sociale (Lamanda, 2005).

III. CONCLUSION

Les cultures associées multi étagées traditionnelles innovantes de maximisation du milieu bien mieux que les systèmes de conservation (SCI et SCV) sont capables d'assurer une résilience satisfaisante qui assure aux agro(éco)systèmes une durabilité réelle face à une perturbation ou à une série de perturbations avec un minimum d'effet sur sa productivité Ceci est vérifié même dans des zones à fort relief et forte démographie. En effet les différents services écologiques qu'apportent ces associations, au contraire des monocultures, contrecarrent les risques climatiques, parasitaires, d'épuisement organo-minéral, sociologiques, économiques. De fait, ils assurent les besoins familiaux essentiels et monétaires (nutritionnels, fourragers, bois de chauffe et de construction, fruitiers, industriels, de pharmacopées et d'exportation). Son rôle est un excellent régulateur sociopolitique. Mais le choix des associations les plus productives (tubercules et banane sur les céréales) desserrent le mieux les pressions démographiques sur le sol. Les services systémiques fournis par la biodiversité issu des pratiques traditionnelles paysan(ne)s (la plus part hors du marché) ont été estimés pour la biosphère entière dans un éventail de 16-54 trillions de dollars US (10^{12}) par an avec une moyenne de 33 trillions par an. Ce système doit servir à remplacer le système actuel d'intensification monoculturelle qui a failli. Il reste à concevoir le « *feed-back* » des « *savoirs empiriques* » traditionnels innovants, logiques et stratégiques des paysan(ne)s et des « *savoirs savants* » analytiques et prédictifs des scientifiques pour conceptualiser les meilleurs sous-systèmes adaptables aux divers éco-agro-systèmes. Ceci permettra d'ériger les paysan(ne)s en experts. L'« *intensification écologique* » devra éviter un nouveau forçage de ces associations par des IOS trop forts, des intrants excessifs, des associations concurrentes, des plantes d'exportation au détriment du vivrier et des rendements miniers. Ces systèmes agraires innovants devront être choisis par les paysan(ne)s et non subis.

IV. BIBLIOGRAPHIE

Affholder F., D. Jourdain, M. Morize, Dan Dinh Quang, A. Ricome. 2008. Eco-intensification dans les montagnes du Vietnam. Contraintes à l'adoption de la culture sur couvertures végétales (= *Ecological intensification in the mountains of Vietnam: Constraints to the adoption of cropping systems based on mulches and cover crops*). *Cahiers Agricultures*, 17 (3): 289-296.

Autray P., 2005. Effets de litières sur l'offre en azote d'origine organique dans des systèmes de culture de maïs à couvertures végétales Etude de cas dans la zone à forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat en Sciences du Sol. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France.

Autray P., 1995. Systèmes de cultures associées sur les hauts plateaux bamilékes de l'Ouest Cameroun. Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides. Actes du séminaire, 13-17 nov. 1995. p: 310-317.

Baker, E.F.I. and E.W. Norman, 1975. Cropping system in northern Nigeria. Proceeding of the Cropping System Workshop, March 18-20, IRRI, Los Branos, Philippines, pp: 334-361.

Baldy Ch., 1963. Cultures associées et productivité de l'eau. *Ann. Agro.* 14 (4) :484-534.

Baldy Ch. et R. Durand, 1970. Evapotranspirations potentielles calculées et humidités relatives sous forêt et en clairière à Zernizea (Tunisie) *Ann. INRF-Tunisie*, 4. 17p.

Barral J.A. et H. Sagnier, 1888. Dictionnaire d'Agriculture: Encyclopédie agricole complète. Librairie Hachette & Cie. 70 Bd St Germain, France. 4 volumes, 3900p.

Betencourt E., B. Colomb, F. Cordier, C. Guilleré, E. Juste, G. Souche, P. Hinsinger, 2010. Soil phosphorus pool differ when *durum wheat* is grown alone or intercropped with *pea* or *fababean* in low versus high-input conditions. AGRO2010. XIth Congress, Montpellier, August 29-September 3, 2010. 169-170.

Boukong A., 2000. Influence des pratiques culturales sur la perte en terre, le ruissellement et le rendement de maïs sur un oxisol des hauts plateaux de l'Ouest Cameroun. *Bull. Réseau Erosion*, N°20, IRD, GTZ, BP 5035, Montpellier, 34032, France. p :388-398.

Bukovinsky T., J. C. van Lenteren; L. E. M. Vet. Functioning of Natural Enemies in Mixed Cropping Systems. Taylor and Francis group.

Camara A., P. Dugué, J-m. Kalms, C. T. Soulard, 2010. Systèmes de culture, habitudes alimentaires et durabilité des agro-systèmes forestiers en Afrique (Guinée, Cameroun) : une approche géoagronomique. ISDA 2010. 28-30 juin 2010. 12p.

Cattet R., 1996. La légumineuse arbustive *Calliandra calothyrsus* comme protection des Andosols à la Réunion. *Cahiers d'Agricultures et d'Etudes et de Recherches francophones. Aupelf-Uref* (John Libbey Edit.). Vol. 5 N° 3.157-160.

Chabanne A. Marin, G. Da, 2003. Systèmes agraires de montagne – Volet „Systèmes de culture“. Rapport de synthèse (Octobre 1999-2002). Projet d' Appui à l'Organisation de la Production Agricole (PAOPO). CIRAD, réseau <http://agroecologie.cirad.fr>. 19p.

CIRAD, 2007. Transpaillage et agrifiltre. Valorisation agro-énergétique des déchets.

Costanza R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. O'Neill, J. Paruelo, R. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253 - 260 (15 May 1997).

Duchaufour H., Ph. Guizol, M. Bizimana, 1996. Avantage et inconvénients comparatifs de la haie mixte *Calliandra/Setaria* et du mulch comme dispositif anti-érosif en milieu rural burundais. *Bull. EROSION* N°16, IRD BP 5045, 34032 Montpellier Cedex1 France. Pp132-151.

Dupraz Ch. Et F. Liagre, 2008. Agroforesterie : des arbres et des cultures. Editions France Agricole

Dupriez H., 1980a. Paysans d'Afrique noire. Terre et Vie. Bruxelles. 256 p.

Dupriez H., 1980b. Cultures associées ou monocultures ? Validité du savoir paysan. Cahier d'Etude du milieu et d'Aménagement du territoire. Environnement africain et Développement du Tiers-monde (ENDA). Bp 3370 Dakar. Sénégal. 24p.

Dupriez H. et Ph. de Leener, 2003. Arbres et agricultures multiétagées d'Afrique. CTA, Terres et Vie. L'Harmattan, 7, rue de l'école Polytechnique, 75005, Paris. 280p.

Dupriez H., 2006. Agriculture tropicale et exploitations familiales d'Afrique. Terre & Vie. Belgique. CTA. Coopération Belge. Diobass. Ecologie et Société. 480p.

Dury S, Zoa JM., 2001. Modélisation économique des associations de cultures pérennes. Test du modèle de portefeuille sur des données réelles (systèmes cacao-palmiers-agrumes) au Cameroun. Communication à la journée « *Diversification fruitière* ». Réunion annuelle 2001 Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement-Productions fruitières et horticoles (Cirad-Flhor). Montpellier : 7 p.

Ellis F. 1998. Household strategies and rural livelihood diversification. *J. Dev. Stud.* : 35: 1-38.

Francis, C.A., 1986. Distribution and importance of Multiple Cropping Systems. Macmillan, New York, pp: 1-10.

Gomez Delgado F., R. Moussa, B. Rapidel, O. Rouspard, 2009. Impacts des arbres d'ombrage sur les services hydrologiques et l'érosion dans un AFS de café du Costa Rica, la mise à l'échelle de la parcelle au bassin versant. In : 2nd World Congress of Agroforestry. In: 2nd World Congress of Agroforestry. Agroforestry, the future of global land use: 23-28 August 2009, Nairobi, Kenya (book of abstracts) p. 101. 101.

Griffon J., 2007. Lettre d'Information, N°22, octobre 2007. CIRAD. 1p.

Grosclaude Jean-Yves, Jean-Christophe Deberre, Marc-Antoine Martin, Gérard Matheron, 2008. An alternativ to conventional systems in developing countries. FFEM, Groupe Agence Française de Développement. 65p.

Hauggaard-Nielsen and A.B. Jensen, Jensen, 2001. Interspecific competition, N use an interference with weed in pea-barley intercropping. *Field Crop Res.* 70 :101-109.

Hauggaard-Nielsen. & E.S. Jensen, 2005. Facilitate root interactions in intercrops. *Plant and Soil*. 274: 237-250.

Heqç, 1958. Le système des cultures Bashis et ses possibilités- Bull. Agric. du Congo belge. XLIX. n°4. p969.

Hook, J.E. and G.J. Gascho, 1988. Multiple Cropping for Efficient use Water and Nitrogen. In: Cropping Strategies for Efficient use of Water and Nitrogen, Hargrove, W.L. (Ed.). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, Madison, pp: 7-20.

Hulugalle N. R. and S.T. Willatt, 1987. Seasonal variation in the water uptake and leaf water potential of intercropped and monocropped chillies. *Expl. Agric.* 23: 273-282.

Kalembe L. et N. Ndoki, 1995. Effets d'émonces arbustives et d'engrais minéraux sur le rendement du niébé en cultures en couloirs. Symposium régional sur la recherche et le Développement dans les zones tropicales humides d'Afrique Centrale et de l'Ouest, Yaoundé 1995. CIRAD, BP 5035, Montpellier, 34032, France. p231-237.

Kowal J.M.L. and P.B.H. Tinker, 1959. Soil changes under a plantation established from high secondary forest. *Journal West African Institute Oil Palm Research*. 2 : 376-389.

Lamanda N., 2005. Caractérisation et évaluation agroécologique de systèmes de culture agro-forestiers : une démarche appliquée aux systèmes de culture à base de cocotiers (*Cocos nucifera* L.) sur l'île de Malo, Vanuatu. Institut National Agronomique Paris-Grignon. Discipline : Science Agronomique. 230p.

Le Courrier, 2002. Le système de production agricole de Machobane. Comment faire face à la crise alimentaire au Lesotho. *Le Courrier* N° 194, Sept-Oct. 2002. 2p.

Leplaideur A., 1978. Les travaux agricoles chez les paysans du Centre-Sud Cameroun. IRAT, BP 5035, 34032, Montpellier. Multigr.

Listenger J.A. and K. Mody, 1976. Intergraded pest management in multiple cropping systems. In *Multiple cropping*. SA spec. publi. 27:273-316.

Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier Lafontaine H., Rapidel B., De Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. *A review Agronomy for sustainable development*, 28 : 43-62.

Masson S.C., D.E. Leinher, and J.J. Vorst, 1986. Cassava-cowpea and cassava-peanut inter cropping. III. Nutrient concentrations and removal. *Agron. J.* 78, 441-444.

Ndayizigiye F., 1993. Effets des haies arbustives (*Calliandra* et *leucena*) sur l'érosion, le ruissellement et les rendements (Rwanda) *Bull. Erosion*, N°13, BP 5045, 34032 Montpellier, France. 41-51.

Njoku B.O., Igbokwe M.C. and Ohiri A.C., 1984. Leaching losses and recovery of fertilizer nitrogen in cassava/maize intercrop grown in lysimeter. *Proc. 6th Symposium Int. Soc. Trop. Root Crops*. 288p.

Noël B., 2005. Le Bois Raméal Fragmenté – Plus de carbone pour nos sols. CTA de Strée, Belgique.

Norman M. J. T., Pearson C. J. et P. G. E. Searl, 1984. *The Ecology of tropical Food Crops*. Cambridge Univ. Press. (Second Ed. 1995). 369p.

Peichl M., N.V. Thevathasan, A.M. Gordon, J. Huss, R.A. Abohassan, 2006. Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 66: 243-257.

Ravignan de, 1969. Etude de la production vivrière dans la ZAPI de Menguémé (Centre Sud du Cameroun). Doc. ronéoté . D 206. 24p.

Reddy M.S. and R.W. Willey, 1981. Growth and resources use studies in an intercrop of pearl millet/groundnut. *fields Crops Res.* 4: 13-24. Projet Bututsi.

Rishirumuhirwa Th., 1993. Potentiel du bananier dans la gestion et la conservation des sols ferrallitiques du Burundi. *Cahier ORSTOM, Pédologie* vol. XXVIII, n°2: 367-383.

Ritz K. & I. M Young, 2004. Interactions between soil structure and fungi. *Mycologist*, Volume 18, Part 2 Cambridge University Press Printed in the United Kingdom. 52p.

Salako et Tian , 2001. Litter and biomass from planted and natural fallows on a degraded soil in southwestern Nigeria. *Agroforestry Systems*. 51. 239-251.

Schafer J-L, 1999. Amélioration du système de culture du Macabo *Xanthosoma sagittiflora* (L.) en pays Bamiléké (Ouest Cameroun). *Cahiers d'Agricultures*. Vol. 8, N°1, Pp : 9-20.

Saucke H., and K. Ackermann, 2005. Weed suppression in mixed cropped grain peas and false flax (*Camelina sativa*). *Weed Research* 46, 453-461.

Séguy L., S. Bouzinac, et brésiliens, 2008. La symphonie inachevée du semis direct dans le Brésil central : Le système dominant dit de « semis direct ». Limite et dégâts, éco-solutions et perspectives : la nature au service de l'agriculture durable. Cirad-Uepg-Embrapa-Facual- 214 p.

Sinha A. K., Nathan A. K., et Singh A. K., 1985. Radiation climate and water-use studies in intercropping systems. *J. Nuclear Agric. Biol.* 14(2) : 64-69.

SOYNICA- Nicaragua. CD sur la technique de la fabrication des extraits foliaires : jacques.subtil@yahoo.fr

Torquebiau E., 1992. Are tropical agroforestry home gardians sustainable? *Agriculture, Ecosystems, and Environment*. Volume 41, Issue 2, Pages 189-207.

Trenbath, B.R., 1975. Diversify or be damned. *Ecologist*. 5: 76-83.

Trenbath B. R., 1976. Plant interactions in mixed crop communities. In : *Multiple Cropping* Papendick, Sanchez and Triplett Eds. ASA spec. Publ. 27 :129-170.

Valet S., 1967. Principe d'organisation des régions naturelles en strates homogènes et son application à l'Ouest-Cameroun. (Premiers résultats). Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux. Tananarive, 19-25 nov.1967. p:355-380.

Valet S., 1968. Premiers résultats de la fertilisation minérale dans les conditions pédoclimatiques de l'Ouest Cameroun. Miméo IRAT-Dschang Cameroun.55p.

Valet S., 1974. Note sur des observations et mesures de quelques facteurs climatiques, physiques et pédologiques et de leur incidence sur la production agricole à la station de Dschang (Cameroun). Agro. Trop. vol. XXIX, n° 12, 1266-1287.

Valet S., 1976. Observations et mesures sur des cultures associées traditionnelles en pays Bamiléké et Bamoun.(Essais de fertilisation et de pré vulgarisation de fumures-Cameroun). IRAT, BP 99 Dschang-Cameroun. IRAT, BP 5045, 34032, Montpellier. France. 38p.

Valet S., 1985. Notice explicative des cartes du climat, des paysages agro-géologiques et des propositions d'aptitude à la mise en valeur des paysages agro-géologiques de l'Ouest Cameroun (1/200000ème.). IRAT-CIRAD-DEVE.BP 5045, 34032, Montpellier, France.118p, 7 cartes

Valet S., 1999. L'aménagement traditionnel des versants et le maintien des cultures associées traditionnelles : cas de l'Ouest Cameroun. Colloque International " *L'homme et l'Erosion* ". IRD-CIRAD. BP 5045, Montpellier, 34032, France. 12-15/12/1999. Yaoundé, Cameroun. 17p.

Valet S., 2004. Effet de la sécheresse sur les associations culturales vivrières de l'Ouest Cameroun. SECHERESSE (J. Libbey Eurotext, 127, av. De la République, 92120). N°4, Vol. 11 :239-247.

Valet S., Ph. Le Coustumer, M. H. Motélica, 2007. Les techniques de contrôle du ruissellement et du report hydrique comme outils de gestion et de valorisation agro-forestières : séquestration du carbone et augmentation de la biomasse. COLLOQUE INTERNATIONAL : «LES REMANENTS EN FORESTERIE ET AGRICULTURE- LES BRANCHES : MATERIAU D'AVENIR!». LYON, 1 ET 2 FEVRIER 2007. UNIVERSITE DE SAVOIE. 14P.

Valet S. et M. Motelica-Heino, 2010. Les cultures associées traditionnelles à l'échelle du champ : Une technique biophysique raisonnée de lutte contre les tempêtes et la dégradation des agro-systèmes. Colloque international : *Effets des techniques antiérosives sur la productivité des terres tropicales*- Port-au-Prince (Haïti), 19-24 octobre 2010. (accepté).

ANNEXES

1. Variabilité des écosystèmes

Les nombreux écosystèmes de l'Ouest Cameroun sont dus aux microclimats et aux roches très variés (Tableau 1).

Tableau 1- Classification et caractéristiques climatiques des régions étudiées- période de 1921 à 1970 (Valet, 1968).

Provinces géo-climatiques	Zones homo-climatiques	Altitude moy m	Pluie moy mm	Temp moy C°	Insolation moyenne (heures)	Indice d'aridité	Nbre mois à caractéristiques*			
							T	A	Trop M H	E
II- Bas plateaux	IIa- pluvieuse, chaude	500	3900	24,9	1450	117	-	2	1 4	5
	IIc- Pluvieuse, douce	700	2926	21,8	1550	80	-	2	1 8	1
	IIb- pluvieuse, rel. douce	750	2497	21,1		80	3	-	1 8	
-----	II-III- intermédiaire	800	2200	20,2	1650	102	1	2	1 8	
III- Hauts plateaux et montagnes	IIId-Douce, relativ. sèche	1400	1900	20.2	1900	62	2	2	1 7	
	IIIh- Très fraîche, très brumeuse	2000	2000	<19						
	IIIe- Fraîche et brumeuse	>1600	2400	19.6	1700	68	1	3	0 8	
	IIIb-Très chaude, très ensoleillée	1100	1675	21.7	2400	55	-	3	2 7	

* Caractéristiques T : tempérées ; A : arides ; Tropicales M : modérées, H : humides ; E : équatoriales

Ainsi, les régions les moins arrosées correspondent à celles qui sont les plus chaudes, à plus fort pouvoir évaporant, ce qui conduit à des risques de sécheresse climatique (Tableau 2).

Tableau 2- Types de sol et fertilité actuelle des sites étudiés (Valet, 1967). (*Soil types and actual fertility of studied sites*).

Régions	Roche-mère	Types de sol	Sites	Somme cations méq/100 g	M.O . %	Carences minérales en		
						P ⁽¹⁾	K	S
II	Basalte ancien	Ferrallitiques jaunes	NKondjok	8,6	3,3	F	F	-
III Bamiléké	Granite	Ferrallitiques remaniés	Dschang Météo	4,3	3,8	F	F	F
	Id	Ferrallitiques érodés	Fotetsa haut	3	4,1	F	F	m
	Colluvion	Ferrallitiques colluviaux	Fotetsa bas	8,8	6,5	F	F	-

	Cendres basaltiques	Ferrallitiques complexes	Bafou/Befang Dschang- P4/G3 - G7 -P2 (Hydromorphe) Bansoa Bambui station Bansoa	11,4 10,8 16,1 15,4 17,3 1,8 17,3	8,4 2,8 7,7 4,95 6,6 9,3 7,4	f m f f f f f	f m f f f f f	
III Bamoun	Basalte ancien Pouzzolane Cendres	Ferrallitiques rouges Bruns Noirs Bruns, bruns complexe Brun rouge complexes	Fosset Koumelap Babungo/Weh/ Bamendjou Foumbot Kouoptamo Galim	1,7 2,2 10 11,7 31,5 31,4 22	4,4 2,7 2,4 3,1 13,4 15,8 10	F - - -	F - f f	f f f

⁽¹⁾ P : phosphore ; K : potasse ; S : soufre ; Carence : F : forte ; M : moyenne ; f : faible.

2. Variabilité des associations

Tableau 3- Indice d'occupation du sol (IOS)* des espèces dans les associations culturales en régions Bamiléké et Bamoun en 1967. (Soil Occupancy Ratio of species mixed-crops in Bamileke and Bamoun regions during 1967).

Régions	Bamiléké					Bamoun		
	Fotetsa Haut de versant	Dschang	Fotetsa Bas	Bafou Plan	Bansoa	Fosset	Kouoptamo Plan	Foumbot
Maïs	0.09	0.25	0.40	0.50	0.79	0.33	0.77	0.55
Phaseolus	0.013	0.02	0.014	0.05	0.07	0.004	0.02	0.04
Arachide	0.41	0.27	0.34	0.15	0.09	0.27	0.24	0.25
Macabo+taro	0.26	0.38	0.95	0.12	1.34	0.05	0.25	0.06
Igname	0.52	0.05	0.04	0.29	0.30	0.02	-	0.08
Pomme / terre	-	0.004	0.013	0.08	0.01	0.004	0.13	0.02
Courge	-	0.002	0.003	0.01	0.02	0.008	0.008	0.02
Vigna sinensis	-	0.005	-	-	-	0.43	0.004	0.006
Manioc	-	0.02	0.04	0.04	-	0.04	0.08	0.05
Banane ⁽¹⁾	-	0.004	0.08	0.44	0.08	0.11	-	-
Gombo	-	-	-	0,003	-	0.04	0.05	0.11
Patate douce	-	0.05	-	-	-	-	-	-
Choux ⁽²⁾	-	-	-	0,003	-	-	-	-
Voandzou	0,02	-	-	-	-	-	-	-
Café	-	-	1.01	1.23	-	0.44	0.16	0.24
Total IOS	1,31	1,04	2,89	2,91	2,70	1,74	1,69	1,44

* IOS= densité de la 1^{re} culture en association/densité de la culture pure + densité de la 2^{eme} culture en association/densité de la culture pure + etc... ⁽¹⁾ Les bananes douces et plantains n'ont pas été différenciées ;

⁽²⁾ légumes divers.

L'éventail de la fertilité des paysages agro-géologiques oblige les paysan(ne)s à faire varier qualitativement (Espèces) et quantitativement (IOS) les associations culturales (Tableau 3).

3. Dégradation superficielle

- Sur planches légumières, Le ruissellement entraîne des sédiments de nature et d'importance différente selon le type de croûtes (Tableau 4).

Tableau 4- Analyse texturale de différentes croûtes sous culture légumière sur sol ferrallitique à profil complexe (Dschang) (valet, 1999).

Etat de la surface	Horiz cm	Argiles%	Limons %		Sables%	
			Fins	Grossiers	Fins	Grossiers
Grumeleux (<i>témoi</i>).	0-20	28.7	23.5	8.0	12.5	22.5

Croûte structurale	0-2	26.2	24.9	9.1	11.8	23.1
Croûte de ruissellement	0-2	21.6	29.8	7.3	12.2	21.7
Croûte de décantation	0-4	30.3	28.9	8.8	9.7	17.5

- Sous monoculture intensifiée de maïs, sur sol ferrallitique rouge sur basalte ancien, et sur pente inférieure à 0.5% (à Koumelap) un labour mécanisé a provoqué après deux années de culture (1967-1968) une érosion en nappe importante qui a pratiquement stérilisé le sol. Le résultat de cette érosion est de provoquer la formation de différents types de croûtes. La redistribution affecte prioritairement les éléments fins, argiles et limons fins (Tableau 5). La baisse du taux des argiles et l'augmentation de celui des limons a été aussi constaté au Burundi sur sol ferrallitique (Rishirumuhirwa, 1996). A observer que la croûte structurale en début de dégradation présente les valeurs les plus proches de celles du témoin.

Tableau 5- Analyse de la composition des croûtes d'un sol ferrallitique rouge sur basalte, après 2 ans (Koumelap, Bamoun).

Etat de la surface	Horiz. cm	Argiles %	Limons		Sables	
			Fins	Grossiers	Fins	Grossiers
Grumeleux (<i>Témoin</i>).	0-10	26.1	24.5	7.6	15.9	25.9
Croûte structurale	0-2	24.8	20.2	8.0	20.2	26.7
Croûte de ruissellement	0-8	29.2	14.4	3.6	22.6	30.2
Croûte de décantation	0-18	50.0	16.1	4.2	13.6	16.1

Mais l'érosion affecte encore plus la répartition de la matière organique, des cations échangeables et du phosphore qui sont très labiles et exportés hors de la parcelle. Le pH varie selon les types de croûtes (Tableau 6).

Tableau 6- Analyse de la composition chimique et organique des croûtes sur sol ferrallitique rouge sur basalte, après 2 ans de labour mécanisé (Koumelap, Bamoun).

Etat de la surface	Horiz. cm	Somme cations échangeables.	pH	CO %	P ₂ O ₅ ass. %0	Is (Hénin)
Grumeleux (<i>Témoin</i>)	0-10	4.16	5.5	10.0	0.43	0.05
Croûte structurale	0-25	0.35	5.0	5.0	0.15	0.35
Croûte de ruissellement	0-8	0.61	4.8	1.0	0.16	0.14
Croûte de décantation	0-18	2.18	5.7	2.7	0.10	1.00

L'instabilité structurale, mesurée par l'indice d'Hénin, tend à croître avec l'érosion tout en restant dans des limites acceptables ($I_s < 3$). L'érosion affecte la productivité de ce sol par une perte en nutriments qui s'ajoute à l'épuisement normal par les cultures. Cette érosion a donc un coût. L'indice (I_s) "d'instabilité structurale" (HENIN *et al.*, 1969), mesuré au laboratoire sur échantillon remanié (0-2mm), a été souvent utilisé dans les travaux de l'ORSTOM. Dans une étude très détaillée, MOREL et QUANTIN (1972) montrent que 2 années de jachère derrière des cultures continues suffisent à améliorer notablement les stabilités structurales des sols ferrallitiques sablo-argileux en surface. De même, VALENTIN *et al.* (1990), pour des systèmes paysans traditionnels du nord de la Côte-d'Ivoire, retrouvent les mêmes tendances. Des effets similaires, voire accentués, s'observent aussi avec des jachères améliorées ou des prairies artificielles, aussi bien sur des sols ferrallitiques sableux (TALINEAU *et al.*, 1975, Côte-d'Ivoire), sous soles fourragères de 3 à 4 ans, que sur vertisols ou sols ferrallitiques argileux (ALBRECHT et RANGON, 1988, Antilles) sous prairies à *Digitaria*.

4. Effet du paillage

Le paillage est reconnu pour son amélioration du turnover nutritif et de nombreux effets écologiques (baisse du risque d'érosion, quelle qu'en soit sa nature, graminées (*pennisetum p.*, *andropogon g.*, *hyparrhenia sp.*, *imperata c.*, *setaria*) légumineuse arbustive (*leucenas*,

gliricedia, sepium, callandra), bananier (Valet, 1974 ; Collinet et Mazariego, 1993 ; Rishirumuhirwa, 1996). Son action :

- limitation de l'évaporation.
- abaissement de la température du sol, et augmentation de l'humidité du sol : Par contre, en zone tropicale, le mulch n'est positif qu'en saison sèche avec des gains de 150% pour le soja, de 172% pour les haricots et de 44% pour les haricots verts (Valet, 1999). En effet, en saison des pluies, on enregistre une baisse de rendement du maïs de 19% et 7% respectivement sans et avec engrais minéral. Car la baisse de la température du sol et l'augmentation de son humidité provoque l'engorgement du profil et bloque ainsi la minéralisation de l'azote.
- gain en carbone du sol : Au Ghana, il est fortement dépendant de l'épaisseur du mulch, de 2 à 6T ha⁻¹, avec le *Guinea grass* (Quansah et al., 1999). Dans l'Ouest-Cameroun, son effet est plus complexe. En saison pluvieuse et fraîche le paillage peut avoir un effet dépressif sur le maïs. Ainsi à Dschang en 1968 le paillage (3-5 cm d'épaisseur de *pennisetum p.*) provoque, en première saison, une baisse significative de rendement du maïs de 19.4% et de 7.3% respectivement sans et avec engrais minéral (Tableau 7).

Tableau 7- Effet du paillage sur la baisse de la production du maïs en première culture à Dschang avec ou sans fumure minérale (1968) (Valet, 1974).

Traitements		Rendement grains Qx ha ⁻¹	Effet	
Paillage	Fumure ⁽¹⁾		De l'engrais	Du paillage
Sans	non	10.8	-	-
	oui	22.0	+11.2 (+104%)	-
Avec	non	8.6		- 2.2 (-19.4%)
	oui	20.4	+11.8 (+137%)	-1.7 (-7.3%)

⁽¹⁾ 120 U ha⁻¹ de N, 80 u ha⁻¹ de P₂O₅ ; Moyenne des 6 répétitions: 15.51 qx ha⁻¹, E-T : 306 kg et CV : 9.2%.

Par contre, en deuxième saison sur légumineuses, le paillage favorise l'économie de l'eau et améliore le rendement, avec fumure, du soja de 150%, de 172% pour un haricot sec et de 44% pour des haricots verts (Valet, 1974). Ce comportement inverse s'explique par un double effet du paillage en première saison sur 30 cm de profondeur : un maintien d'une forte humidité supérieure à la capacité de rétention en eau du sol provoquant un engorgement et vraisemblablement une asphyxie racinaire et une température basse bloquant la minéralisation de l'azote (Tableau 8).

Tableau 8- Effet du paillage sur la température et l'humidité pondérale du sol en première culture à Dschang (1968).

Paillage	Températures à 12 h.		Humidité du sol en % à		
	2 cm	20 cm	-2 cm	-10 cm	-20 cm
Sans	31.9	28.5	37.1	41.2	37.3
Avec	23.0	22.2	52.8	48.0	40.6

Son rôle de protection du sol est dû à l'interception totale des faibles pluies et partielle, de 42 %, des pluies violentes observée en 1967 et en 1968 (Valet, 1974). Il dissipe ainsi l'énergie cinétique des pluies et réduit leur effet destructeur des agrégats. Il crée une rugosité qui ralentit le ruissellement et favorise l'infiltration et améliore la macroporosité.

Ces résultats à Dschang démontrent que le paillage ne joue un rôle positif qu'en saison sèche. Une telle étude mériterait d'être initiée en pays bamoun à influence tropicale. L'impossibilité de protéger toute l'année le sol par un paillage conforte la nécessité du maintien des cultures associées traditionnelles (Valet, 1976), comme maintenant Roose et al. (1996) le conseillent.

5. Extraits foliaires

L'IRD (BP 5040, Montpellier 34032) donne la liste des plantes utilisables cultivées et naturelles par écosystèmes mondiaux.

- Soja, Medicago sativa, vigna unguiculata, trifolium alexandrium, clitoria ternatea, brassica juncea/oleracea, amaranthus spp, beta vulgaris, carica papaya/condarmacensis, chenopodium album/lambsquarters/fat hen, curcubita maxima/moshata/pepo, daucus carota, manihot esculenta, phaseolus vulgaris, psidium guayava, radícula armoracea, sechium edule, spincea oleracea, spondias mombin/purpurea, tamarindus indica.

La production est de 10g d'extrait par kg de feuilles en frais et 2g/kg en sec. Les résidus sont donnés au petit bétail.

Tableau 9- Composition nutritionnelle comparée de la spiruline et de l'extrait de luzerne.

COMPOSITION	Spiruline	Extrait luzerne
Composition générale :		
Humidité	3-7%	8%
Protéine	55-70%	50-60%
Lipides	4--7%	8-10%
Glucides	15-25%	6%
Minéraux	7-13%	13-14%
Fibres	4--7%	1-2%
Odeur	Douce-poisson	-
Couleur	Vert sapin	Brun
Vitamines :		
A	2330000 U kg ⁻¹	600 mg kg ⁻¹
Béta-Carotène	1400 mg kg ⁻¹	300 mg kg ⁻¹
E (Tocophérol)	100 mg kg ⁻¹	
B1 (Thiamine)	35 mg kg ⁻¹	
B2 (Riboflavine)	40 mg kg ⁻¹	
B3 ou PP (Niacine)	140 mg kg ⁻¹	
B6 ou G (Pyridoxine)	8 mg kg ⁻¹	
B12 (Cobalamine)	3,2 mg kg ⁻¹	
Inositol	640 mg kg ⁻¹	
B9 (Acide folique)	0,1 mg kg ⁻¹	3 mg kg ⁻¹
B5 ou H (Biotine)	0,05 mg kg ⁻¹	
B5 (Ac. Panthoténique)	1 mg kg ⁻¹	
K (Phylloquinone)	22,4 mg kg ⁻¹	30 mg kg ⁻¹
Sels minéraux :		
Calcium	10000 mg kg ⁻¹	32000
Phosphore	8000 mg kg ⁻¹	7000
Magnésium	4g kg ⁻¹	1300 mg kg ⁻¹
Fer	1800 mg kg ⁻¹	700 mg kg ⁻¹
Zinc	30 mg kg ⁻¹	20 mg kg ⁻¹
Cuivre	12 mg kg ⁻¹	8 mg kg ⁻¹
Manganese	50 mg kg ⁻¹	60 mg kg ⁻¹
Chrome	2,8 mg kg ⁻¹	
Sodium	9000 mg kg ⁻¹	50 mg kg ⁻¹
Potassium	14000 mg kg ⁻¹	7000 mg kg ⁻¹
Acides aminés :		
Alanine	47g kg ⁻¹	
Arginine	43	
Acide aspartique	61	
Acide glutamique	91	
Cystine*	6	5,9 g kg ⁻¹
Glycine	32	
Histidine	10	
Isoleucine*	35	24,2
Leucine*	54	44
Méthionine*	29	32,1

Sản xuất nông nghiệp: làm sao để kết hợp môi trường và hiệu quả kinh tế? – Production agricole: pour une réconciliation entre durabilité et rentabilité économique

Phenylalanine*	14	11,2
Proline	28	25
Sérine	27	
Thréonine*	32	23,9
Tryptophane*	9	10
Tyrosine	30	24,2
Valine*	40	30,8
Acides gras :		
linoléique	8 g kg ⁻¹	13 g kg ⁻¹
Gamma- linoléique	10 g kg ⁻¹	33
Pigments :		
Phycociamine	150g kg ⁻¹	
Chlorophylle	11g kg ⁻¹	
Caroténoïde	3,7 g kg ⁻¹	
Enzymes	2330 Unités kg ⁻¹	

* Acides aminés essentiels.