

ABREVIATIONS ET SYMBOLES SCIENTIFIQUES OU TECHNIQUES

ARA : Activité réductrice d'acétylène

C : Carbone

Cal : Calorie et MCal : 10^6 calories

° C : Degré Celsius

ha : hectare

JAS : Jours après semis

meq : milliéquivalent

N, P, K : Azote, phosphore, potassium

Rdt : Rendement

S, NS : Significatif, non significatif.

SOMMAIRE

RESUME ABSTRACT

INTRODUCTION	1
------------------------	---

CHAPITRE I ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE 7

1.1	Présentation	9
1.2	Définitions préalables	9
1.3	Principaux avantages des cultures associées	10
1.4	Contenu et tendances des recherches	12
1.5	Les interférences biologiques dans l'association	17
1.6	Cas des associations incluant une légumineuse	18

CHAPITRE II MILIEU EXPERIMENTAL 21

2.1	Morphologie et végétation	23
2.2	Climat	23
2.3	Sols	25
2.4	Paysages agraires	28
2.5	Evolution des systèmes agraires	28
2.6	Aperçu des systèmes de culture	30

CHAPITRE III METHODOLOGIE 37

3.1	Stratégie d'expérimentation	39
3.2	Choix des dispositifs expérimentaux	40
3.3	Conditions générales de réalisation des essais	41
3.4	Prélèvements, mesures et analyses	44
3.5	Les termes de comparaison des systèmes	46
3.6	Traitement statistique des résultats	52

CHAPITRE IV	VOIES D'AMELIORATION DES ASSOCIATIONS MAIS- LEGUMINEUSE	55
4.1	Comparaison de divers arrangements spatiaux	57
4.1.1	Systèmes de culture intercalaire maïs-soja	57
4.1.2	Systèmes mixtes et intercalaires maïs-soja	60
4.1.3	Systèmes mixtes et intercalaires maïs-haricot	62
4.1.4	Conclusion	63
4.2	Choix de variétés et densités de peuplement adaptées	64
4.2.1	Densités et variétés de maïs en association maïs-soja	64
4.2.2	Comportement de quatre variétés de soja	68
4.2.3	Associations incluant des haricots déterminés et semi-déterminés	71
4.2.4	Conclusion	73
4.3	Effet des dates de semis sur la production de l'association	75
4.3.1	Echelonnement du semis dans l'association maïs-soja	75
4.3.2	Retard de semis du haricot dans l'association maïs-haricot	77
4.3.3	Conclusion	78
4.4	Fertilisation des associations maïs-légumineuse	79
4.4.1	Effets des fumures N et NP sur l'association maïs-soja	79
4.4.2	Apports fractionnés d'azote dans l'association maïs-soja	85
4.4.3	Fumure azotée dans l'association maïs-haricot	86
4.4.4	Fertilisation NP dans l'association maïs-haricot	88
4.4.5	Fertilisation de l'association maïs-haricot en paysannat	90
4.4.6	Conclusion	93
4.5	Effet précédent cultural des associations	94
4.6	Possibilités d'amélioration d'une association maïs-haricot-macabo	96
4.6.1	Objet et réalisation pratique	96
4.6.2	Résultats de rendements et interprétation	98
4.6.3	LER et rendements relatifs	99
4.6.4	Calcul et comparaison des ATER	100
4.6.5	Rendements énergétiques et protéiques	101
4.6.6	Conclusion	102

**CHAPITRE V INTERACTIONS ET CARACTERISTIQUES PROPRES
AUX ASSOCIATIONS MAIS-LEGUMINEUSE 105**

5.1	Compétition interspécifique - interactions racinaires	107
5.1.1	Pouvoir de compétition du maïs	107
5.1.2	Effet de la compétition sur la légumineuse	108
5.1.3	Interactions racinaires dans l'association maïs-soja	109
5.2	Etude de la biomasse produite	112
5.2.1	Présentation	112
5.2.2	Biomasse racinaire	112
5.2.3	Biomasse aérienne	116
5.2.4	Conclusion	120
5.3	Etude des mobilisations minérales	121
5.3.1	Présentation	121
5.3.2	Diagnostics foliaires	121
5.3.3	Teneurs en NPK	122
5.3.4	Exportations totales d'azote et phosphore	124
5.3.5	Conclusion	128
5.4	Composantes du rendement	129
5.4.1	Hauteur des plantes	129
5.4.2	Nombre de ramifications du soja	130
5.4.3	Production de gousses ou épis	130
5.4.4	Nombre de graines par gousse	131
5.4.5	Nombre de graines par plante	132
5.4.6	Poids de 1 000 graines	132
5.4.7	Rendement en grains par plante	132
5.4.8	Conclusion	133
5.5	Effets de l'association sur la nodulation et la fixation d'N de la légumineuse	134
5.5.1	Nodulation de la légumineuse associée	134
5.5.2	Fixation symbiotique par le soja associé	137
5.5.3	Conclusion	138
5.6	Effets de l'association sur l'intensité des maladies	139
5.6.1	Choix des maladies - notation	139
5.6.2	Résultats des notations	140
5.6.3	Interprétation	140
5.6.4	Conclusion	142

5.7	La valorisation du travail par l'association culturale	143
5.7.1	Présentation et méthode utilisée	143
5.7.2	Temps de travaux	143
5.7.3	Productivité du travail	145
5.7.4	Conclusion	146
<u>CHAPITRE VI</u>	RENTABILITE DES FERTILISANTS EN CULTURE ASSOCIEE	147
6.1	Présentation	149
6.2	Revenus marginaux issus des fertilisants	149
6.3	Rentabilité des fertilisants en incluant les arrière-effets	152
6.4	Analyse par la méthode des budgets partiels	154
6.5	Conclusion.	157
<u>CHAPITRE VII</u>	SYNTHESE SUR QUELQUES POINTS PARTICULIERS	159
7.1	Présentation	161
7.2	Rendements relatifs	161
7.3	LER	163
7.4	Nutrition azotée	165
7.5	Ombrage	166
7.6	Comparaison des associations maïs-haricot et maïs-soja	166
	CONCLUSION GENERALE.	169
	BIBLIOGRAPHIE	177
	ANNEXES.	191

RESUME

Des systèmes de cultures associées maïs-haricot et maïs-soja ont été étudiés dans l'Ouest-Cameroun. Si l'arrangement spatial du semis ne modifie pas sensiblement la production de ces associations, on constate tout de même que la culture intercalaire favorise légèrement la légumineuse par rapport à la culture mixte.

L'effet des densités de peuplement sur le comportement de l'association est important; pour une variété de maïs à fort développement végétatif (Z 290) un peuplement de 40 000 pl/ha est recommandé, mélangé à 200 000 pl/ha de haricot ou 240 000 pl/ha de soja (coefficient de densité équivalente, CDE = 130%).

En sol ferrallitique, le maïs associé valorise aussi bien l'engrais azoté et phosphaté que le maïs cultivé individuellement (réponse linéaire); le haricot profite également de la fumure, au contraire du soja qui subit plus fortement la concurrence de la céréale.

Les arrière-effets des cultures pures et associées, fertilisées ou non, sont comparés et la rentabilité d'une fumure 80 N apportée à l'association est démontrée.

Les possibilités d'améliorer l'association traditionnelle maïs-haricot-macabo, en augmentant les densités ou en appliquant des fertilisants, sont également examinées.

La compétition interspécifique profite à la céréale aux dépens de son partenaire; le maïs voit ses états de croissance, sa nutrition phospho-azotée et son indice de récolte améliorés en présence d'une légumineuse; il s'ensuit que son rendement en association est souvent proche de son rendement en culture pure. La production de biomasse et le nombre de gousses par plante de la légumineuse diminuent nettement en association; il s'y ajoute, sur soja, une baisse du poids de 1 000 graines, due à une concurrence prolongée du maïs.

L'effet positif de la céréale associée sur la nodulation et la fixation symbiotique d'azote du soja est mis en évidence.

Une baisse d'intensité des principales maladies des légumineuses lorsque celles-ci sont associées, est observée.

La supériorité de l'association réside plutôt dans la valorisation du capital « terre » (Land Equivalent Ratio, LER moyen = 1,29) que dans la productivité du travail, qui ne se distingue pas globalement de celle des cultures pures; une diminution d'environ 10% du temps de désherbage constitue cependant un atout supplémentaire des cultures associées.

Enfin, les LERs obtenus en andosol volcanique (plus fertile) sont inférieurs à ceux obtenus en sol ferrallitique; cela signifierait que l'association perd de son intérêt en milieu riche.

Mots clés : cultures associées, culture mixte, maïs, haricot, soja, techniques culturales, LER, fertilisation, productivité du travail, compétition, production de biomasse, exportations minérales, Cameroun.

FONDEMENTS DE L'ETUDE

Le cadre de l'étude correspond à la zone d'altitude de l'Ouest du Cameroun. La problématique de recherche agronomique dans cette région est étroitement liée à une forte densité de peuplement humain et son corollaire, la petite superficie des exploitations agricoles. Dans un tel contexte, deux facteurs paraissent déterminants :

- le caractère limitant de la terre qui représente la ressource rare des exploitations agricoles;
- la nécessité d'insérer une (ou des) légumineuse(s) dans les assolements, en raison de la plasticité et de la relative « autosuffisance » en azote de cette famille de plantes; cette nécessité se voit accrue aujourd'hui, du fait de la disparition progressive des jachères, qui permettaient auparavant la conservation des ressources minérales du sol.

Les cultures associées, couramment pratiquées dans notre zone d'expérimentation permettent une utilisation plus intense du facteur « terre » que les cultures pures. L'association culturale maïs-légumineuse mérite peut-être une attention particulière : le maïs, principale culture vivrière de l'Ouest-Cameroun y occupe une place privilégiée; la légumineuse économe en inputs, fournit un appoint de production non négligeable. Dans la multitude des espèces végétales associées sur une même parcelle en région bamiléké, DUCRET et GRANGERET (1986) constatent que le maïs et le haricot cohabitent fréquemment; cette combinaison de deux espèces constitue le point de départ de notre étude.

Le développement récent, à titre expérimental, de la culture du soja dans l'Ouest-Cameroun, nous a fourni l'occasion de tester cette autre légumineuse en association avec le maïs.

L'analyse de ces « modèles simplifiés » évoluera nécessairement vers la prise en compte de systèmes cultureux plus complexes et plus représentatifs de la réalité paysanne; une tentative a été faite dans ce sens avec l'étude d'une association ternaire maïs-haricot-macabo que nous présentons également dans ce mémoire.

OBJET DE L'ETUDE

L'étude s'inspire de l'analyse de dix-neuf expérimentations retenues parmi celles centrées sur les systèmes de cultures associées entre 1982 et 1986. Les légumineuses concernées sont des légumineuses à graines et cycle court, le haricot (*Phaseolus vulgaris*) et le soja (*Glycine max.* L. Merrill).

La céréale concernée est toujours le maïs.

Il s'agit pour nous à travers cette étude :

- de déterminer quelques voies d'amélioration technique des systèmes de cultures associées maïs-légumineuses;
- d'apprécier l'influence de la compétition entre espèces sur les principaux paramètres de la production (biomasse, composantes de rendement, nutrition azotée, etc.); à ce titre, la référence aux cultures pures sera essentielle;
- de comprendre quelques règles spécifiques de fonctionnement des associations maïs-haricot et maïs-soja.

Nous avons évité délibérément de privilégier un axe de travail aux dépens des autres; seule, peut-être, la fertilisation s'est imposée progressivement comme thème prioritaire.

L'analyse effectuée est donc multithématique et s'efforce de déboucher sur une nécessaire synthèse, difficile étant donné l'étendue et la complexité du sujet.

Cette approche multithématique était imposée par le caractère institutionnel des recherches effectuées :

- absence de programme spécifique sur cultures associées mais plutôt insertion de quelques essais sur ce sujet au sein du programme « Légumineuses » de l'IRA;
- absence de demande formulée par les institutions de développement concernant les cultures associées (la première formulation d'un tel besoin par les responsables techniques de l'UCCAO date de 1986).

ORGANISATION DE L'ETUDE

Nous présenterons, dans le **premier chapitre**, une analyse critique de la bibliographie consultée; quelques fils moteurs seront dégagés, pour nos propres recherches, à partir d'un constat des carences et idées fortes de cette bibliographie.

Un **deuxième chapitre** décrira brièvement le milieu expérimental et ses spécificités.

La définition de la méthodologie utilisée fera l'objet du **troisième chapitre**.

Le **quatrième chapitre** sera consacré à l'étude de l'effet de différents

facteurs techniques sur le comportement des associations maïs-légumineuse, le thème « fertilisation » retiendra notre attention avec la présentation de résultats obtenus en paysannat.

Une association ternaire traditionnelle, maïs-haricot-macabo, sera étudiée dans deux milieux différents, à Dschang et Foumbot.

Le **cinquième chapitre** portera sur la compréhension des phénomènes en jeu dans les associations maïs-légumineuse; quelques caractéristiques propres à ces combinaisons de cultures, ainsi que les relations de compétition interspécifique y seront abordées.

Le **sixième chapitre** esquissera une approche de la rentabilité des engrais apportés aux cultures associées.

Enfin, le **septième chapitre** présentera une synthèse des résultats les plus marquants.

1.1 – PRESENTATION

Une analyse bibliographique de détail a été effectuée sur près de deux cents ouvrages relativement récents (publiés entre 1977 et 1987 pour la majorité); ceux-ci sont, pour la plupart, référencés en fin de ce document.

Un examen plus superficiel des abstracts de six cent trente ouvrages recensés par la GTZ (bibliographie 1982, 1983, 1984, 1985, 1986) nous a, en outre, permis de dégager quelques thèmes privilégiés des études sur cultures associées. Les réflexions qui vont suivre proviennent de cette double lecture.

1.2 – DEFINITIONS PREALABLES

L'association culturale peut être définie comme la culture de deux ou plusieurs espèces végétales (ou variétés) sur une même parcelle, avec chevauchement de leurs cycles biologiques dans le temps.

On parle donc de cultures associées lorsqu'il y a interférence spatiale et temporelle entre deux ou plusieurs cultures.

On rencontre quatre types d'associations culturales correspondant à des « arrangements spatiaux » différents :

La culture mixte ou culture en mélange (mixed intercropping ou mixed cropping), se caractérise par une alternance des espèces à l'intérieur des lignes de semis ou bien une disposition en vrac sur le billon; les composantes y apparaissent intimement mêlées; il s'agit du type d'association le plus représenté dans l'Ouest Cameroun et donc du plus souvent expérimenté dans nos travaux.

La culture intercalaire ou en lignes alternées (row intercropping) présente une alternance de rangs (ou lignes de semis) chaque rang étant composé d'une seule des espèces représentées; un exemple existe dans l'Ouest Cameroun sous la forme d'une ou deux lignes de légumineuses (haricot ou

arachide) plantées sur les flancs du billon, de part et d'autre d'une ligne centrale de maïs.

La culture en bandes (strip intercropping) fait alterner quatre à dix rangs de chaque composantes de l'association; ces bandes sont suffisamment étroites pour qu'il y ait interaction des espèces et suffisamment larges pour permettre une culture indépendante de chaque espèce (mécanisation).

La culture en relais ou dérobée (relay intercropping) fait interférer les cycles des différentes composantes pendant une période relativement courte, du fait d'un semis échelonné de ces composantes.

On notera que dans la bibliographie rédigée en anglais, le terme « intercropping » correspond généralement aux cultures associées au sens large sans distinction entre les quatre types énoncés ici-dessus.

1.3 – PRINCIPAUX AVANTAGES DES CULTURES ASSOCIEES

La période où les cultures associées n'étaient considérées que comme une pratique « arriérée », devant nécessairement évoluer vers la monoculture hautement mécanisée, semble maintenant révolue.

On enregistre tout au plus une certaine résistance des institutions de recherche et de développement rural à la reconnaissance du bien fondé d'une telle pratique; cette résistance est certainement liée à la complexité des systèmes de cultures associées, rarement étudiés de manière exhaustive et sur lesquels il est difficile de porter un jugement qualifié.

On s'accorde dans l'ensemble à admettre une logique empirique à ces systèmes, laquelle leur aurait permis de se pérenniser.

La mécanisation elle-même, longtemps invoquée comme l'argument incontournable d'une nécessaire disparition des cultures associées, ne fait plus recette; des chercheurs indiens et brésiliens, en effet, ont commencé à mettre au point un matériel adapté à la conduite des cultures

intercalaires; et les recherches sur ce sujet particulier ne font sans doute que commencer...

Les avantages les plus nets de la pratique des associations de cultures s'articulent autour de quatre axes :

Une bonne utilisation des ressources de l'environnement (eau, éléments minéraux, lumière) : celle-ci est due à une complémentarité spatiale et temporelle des appareils foliaires et racinaires; la couverture du sol, meilleure qu'en culture pure, limite les risques d'érosion, d'où l'intérêt des cultures associées sur fortes pentes; le billonnage, en assurant un meilleur enracinement, accroît cette complémentarité. Ces caractéristiques permettent aux associations culturales de tirer partie des milieux dont le niveau de ressources est limitant.

La stabilité et la sécurité des productions : la multiplicité des plantes cultivées entraîne une répartition des risques, toutes les plantes n'étant pas affectées au même degré par les aléas d'ordre climatique ou phytosanitaire.

Cette stabilité se fonde essentiellement sur le phénomène de **croissance compensatrice** : le mauvais développement de l'espèce particulièrement sensible à un aléa donné est largement compensé par un surcroît de développement (du fait d'une disponibilité accrue des ressources) des autres espèces par rapport à celui qu'elles auraient eu en culture pure.

L'augmentation des rendements : l'utilisation plus efficiente des ressources et la croissance compensatrice aboutissent naturellement à un supplément de rendement (appelé «surrendement», «overyield», «transgressive yield») de l'association par rapport aux cultures pures; ce « surrendement » exprimé par le Land Equivalent Ratio (LER) – sur lequel nous reviendrons longuement – se situe très souvent entre 20 et 50%, voire plus lorsque l'on associe espèces annuelles et pérennes.

Répartition plus régulière du travail dans le temps : cet étalement du travail qui n'implique pas forcément une meilleure valorisation du travail permet du moins d'écarter les pointes de travail.

Les trois derniers atouts des cultures associées, évoqués ci-dessus, semblent bien connus des agriculteurs qui les citent souvent lors des enquêtes.

L'intérêt consistant en une meilleure utilisation des ressources de

l'environnement peut cependant avoir son revers : cette utilisation accrue est susceptible de générer un épuisement du sol à moyen ou long terme.

Bien évidemment les avantages présentés ici ne sont pas inhérents à tous les systèmes de culture associée existants.

Les types d'espèces végétales en présence et l'environnement concerné produisent des relations spécifiques entre partenaires, bénéfiques ou non; on sait par exemple que certaines espèces ne peuvent être associées du fait de phénomènes d'allélopathie négative. De même l'association de plantes ne présentant pas de différences morphophysiologiques suffisantes n'offre pas d'intérêt et peut même se révéler néfaste à forte densité de peuplement.

1.4 – CONTENU ET TENDANCES DES RECHERCHES SUR CULTURES ASSOCIEES

1.4.1 – Aspect généraux

La répartition de l'ensemble des documents scientifiques consultés selon les types de cultures associées dont ils traitent est la suivante :

- culture intercalaire = 86%;
- culture mixte = 9%;
- culture dérobée = 4%;
- culture en bande = 1%.

Cette répartition s'explique sans doute par la recherche d'une certaine « facilité » (dispositifs en culture intercalaire plus simples à mettre en place) car la part des cultures mixtes en paysannat dépasse largement 9%.

Les cultures mixtes, délaissées par les agronomes, doivent s'apparenter, dans l'esprit de ceux-ci, à un « fouillis » de plantes éparpillées au hasard et offrant peu de références à des critères précis : l'écartement entre plantes n'y est pas régulier, le sarclage compliqué, etc.

1.4.2 – Analyse géographique

La localisation des recherches sur cultures associées, dans la bibliographie consultée, est présentée dans le tableau I.

Tableau I : Répartition des recherches sur cultures associées par continents (en %).

Localisation des études	Documentation GTZ	Notre bibliographie	Moyenne
Afrique	40	40	40
Asie	28	22	25
Amérique Centrale et Latine	19	26	22
Europe + USA	13	13	13

Une part importante des études est donc consacrée à l'Afrique; on notera que 25% des recherches conduites en Afrique le sont en zones d'altitude (Afrique de l'Est et quelques régions de l'Afrique Centrale essentiellement).

On notera également que 80% des études réalisées en Asie le sont en Inde, par (ou sous le couvert de) l'ICRISAT; l'ICRISAT est certainement l'institut international qui a le plus oeuvré dans le domaine des cultures associées.

1.4.3 – Analyse par disciplines

Le tableau II montre comment les recherches sur cultures associées se répartissent selon les disciplines envisagées.

Tableau II : Répartition des recherches sur cultures associées par discipline (en %).

Disciplines	Documentation GTZ	Notre Bibliographie	Moyenne
Généralités	11	12	12
Méthodologie	7	10	8
Physiologie et compétition	7	8	7
Description des systèmes	2	4	3
Economie	5	3	4
Expérimentation agronomique :	68	63	66
dont « on farm »	(4)	(2)	(3)

Les études consacrées à la méthodologie et à la physiologie, c'est-à-dire celles portant sur la **compréhension des mécanismes** propres aux associations culturales, ne représentent que 15% du total; pour un sujet vaste et complexe comme celui-ci, ce pourcentage paraît insuffisant.

Ce type de recherche plutôt fondamental nécessite certainement un équipement que peu de station d'expérimentation agronomique, notamment en Afrique, possédaient jusqu'ici; le manque d'équipement pourrait constituer la cause principale de cette défection.

La part des études consacrées à la description des systèmes est insignifiante; les enquêtes sur les systèmes de production, qui se sont développées ces dernières années donnent encore peu d'éléments sur la pratique traditionnelle des associations culturales.

Enfin, l'importance relative des expérimentations réalisées en paysannat peut sembler dérisoire (3%); sur certains thèmes pourtant (fertilisation) le stade d'avancement des recherches justifierait un passage en paysannat.

Deux facteurs expliquent sans doute cette carence :

– des dispositifs expérimentaux, propres aux cultures associées trop «lourds» et inadaptés aux parcelles paysannes;

– une réelle méconnaissance des systèmes culturaux couramment pratiqués, devant pourtant servir de témoin de référence aux essais (cf. ci-dessus).

1.4.4 – Analyse par thèmes techniques

On s'intéressera ici aux expérimentations sur les associations céréale-légumineuse.

Il convient de signaler que, dans la bibliographie de la GTZ, 44% des documents présentant des résultats d'expérimentations sur cultures associées ont pour plantes cibles les céréales et les légumineuses.

Ces associations céréale-légumineuse sont de loin les plus étudiées...

Le nombre de facteurs étudiés dans les expérimentations se répartit ainsi :

- 71% des documents testent un seul facteur;
- 22% en testent deux;
- 7% seulement en testent trois.

et parmi ces documents 15% seulement testent ces facteurs dans différents essais.

Il s'agit donc d'études très partielles portant le plus souvent sur un thème unique.

Un relevé des principaux facteurs techniques étudiés dans ces expérimentations donne la répartition suivante :

- fertilisation = 25%;
- densité de peuplement = 21%;
- variétés = 19%;
- arrangements spatiaux = 17%;
- défense des cultures = 10%;
- dates de semis = 8%.

La fertilisation et les densités de peuplement apparaissent comme les thèmes majeurs d'amélioration des associations culturales.

Enfin, nous avons noté le pourcentage d'expérimentations s'intéressant entre autres (sans que cet aspect soit privilégié) :

- à la rhizobiologie et la nutrition azotée = 14%;
- aux effets résiduels d'un système cultural sur celui qui le suit = 3%;
- aux systèmes racinaires = 2%.

Il semble donc y avoir une carence assez nette en études portant sur ce qui touche au sol et aux effets de « longue durée ».

1.4.5 – Interprétation : quelques axes moteurs pour notre étude

Il faudra éviter, tout d'abord, l'écueil d'une étude portant uniquement sur les cultures intercalaires, insuffisamment représentées en paysannat; nous nous intéresserons essentiellement aux cultures mixtes, rationalisées et en vrac.

L'approche de la **compétition** interspécifique ne sera pas négligée malgré la faiblesse des moyens en équipement disponibles; une partie notable du cinquième chapitre portera sur cet aspect.

Nous nous intéresserons aux six thèmes techniques recensés par la bibliographie en les groupant souvent deux par deux; le poids de chaque thème dans les expérimentations évoluera bien entendu en fonction des premiers résultats obtenus.

Le thème privilégié (fertilisation) sera étudié en paysannat.

Enfin, un certain nombre d'informations seront recueillies sur les **mécanismes mis en jeu dans le sol**; les spécificités des cultures associées en matière de rhizobiologie, développement racinaire et effets résiduels seront appréciées.

1.5 – LES INTERFERENCES BIOLOGIQUES DANS L'ASSOCIATION

L'examen des interférences entre partenaires d'une association nous semble un préalable nécessaire à toute étude de ce système de culture; nous donnons donc ici quelques généralités de la bibliographie sur cet aspect.

JACQUARD (1975) regroupe les situations d'interférence biologique en deux classes :

– l'antagonisme :

- . opposition, les deux individus sont désavantagés par l'association,
- . compétition, un individu profite de l'association aux dépens de l'autre,

– la coopération :

- . les deux individus sont avantagés par l'association, par rapport à leurs cultures pures respectives.

La compétition apparaît entre plusieurs organismes chaque fois que l'un deux exprime un besoin pour lequel la fourniture immédiate est inférieure à la demande de l'ensemble de ces organismes.

Elle s'exerce pour les ressources en lumière, eau et éléments nutritifs et par obligatoirement à tous les stades de végétation.

La plante plus apte que les autres à utiliser le facteur pour lequel la compétition s'exerce est qualifiée de **dominante**, les autres de **dominées**.

Pour que les cultures associées restent avantageuses par rapport aux cultures pures, il faut que la compétition interspécifique pour les ressources du milieu soit inférieure à la compétition intraspécifique pour ces mêmes ressources.

Seule les situations de coopération et certaines situations de compétition conduisent à une production du mélange supérieure à celle des cultures pures.

Les situations de compétition où ce « surrendement » apparaît sont celles dites de **compensation** : l'accroissement de production de l'espèce dominante compense (ou même dépasse en valeur absolue) la baisse de production de l'espèce dominée par rapport à la culture pure.

Une composante de notre étude aura donc pour but :

- de préciser le type d'interférence existant entre maïs et légumineuse;
- d'expliquer les performances de chaque partenaire de l'association à

partir de diverses caractéristiques propres à cette association (exportations minérales, biomasse, etc.).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRE

1.6 – CAS DES ASSOCIATIONS INCLUANT UNE LEGUMINEUSE

1.6.1 – Caractéristiques

Une bonne adaptation des légumineuses à la culture en association, bien que très rarement en tant que plante principale, est constatée; cette adaptation s'appuie sur diverses caractéristiques de cette famille botanique:

- hormis en Amérique Latine où le haricot occupe une place privilégiée, les légumineuses représentent les plantes secondaires de l'association : on n'attend pas d'elles des performances de rendement mais simplement un appoint à la production de la plante principale (céréale ou tubercule);
- généralement héliophiles mais tolérant un certain ombrage (sauf l'arachide), elles s'accommodent de la présence de nombreux partenaires; leur cycle photosynthétique en C_3 , complémentaire de celui en C_4 de certaines céréales (maïs), permet une amélioration de la photosynthèse globale de l'association;
- de cycle court (surtout pour les légumineuses alimentaires), elles peuvent être combinées à des plantes annuelles en tirant parti de la complémentarité temporelle entre espèces;
- elles sont peu concurrentes vis-à-vis des ressources minérales, particulièrement pour l'azote;
- elles fournissent éventuellement des reliquats d'azote aux plantes partenaires ou aux cultures suivantes.

1.6.2 – La nutrition azotée des légumineuses (rappel théorique)

Cette nutrition utilise deux voies complémentaires :

- l'absorption des nitrates par les racines puis leur réduction dans les

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRE

(ou les racines)

feuilles sous l'action de la nitrate réductase; cette absorption révèle deux pics d'activité, au stade plantule et après floraison;

– la fixation de l'azote atmosphérique par l'intermédiaire de la nitrogénase, au niveau des nodosités formées à partir du *Rhizobium phaseoli*.

Ces deux voies, complémentaires pour maximiser les exportations azotées, sont également antagonistes dans la mesure où l'apport d'azote à la plante, au-delà d'une certaine quantité, réduit l'activité de la nitrogénase (FELIX, 1981).

Généralement, la fixation et l'azote du sol assurent seules l'alimentation de la plante, rendant inutile l'apport d'engrais.

Le haricot se différencie cependant de la plupart des légumineuses: il est considéré comme un mauvais fixateur et répond à la fertilisation azotée.

1.6.3 – Le transfert d'azote

Les effets positifs des excrétats racinaires d'azote et des produits de décomposition des nodules d'une légumineuse sur une céréale subséquente ont été prouvés (AHMED et RAO, 1982).

La notion de transfert d'azote de la légumineuse vers la céréale associée est en revanche relativement controversée.

Le transfert évoqué par plusieurs auteurs (DOBERTI, 1974 cité par OUKNIDER, 1987) s'appuie sur l'étude des teneurs en azote total de la céréale associée et est contesté par CRUZ et LEMAIRE (1986); ceux-ci affirment, en effet, que l'augmentation de la teneur en azote de la céréale s'explique par les phénomènes de concurrence entre espèces.

D'après SERAFINI (1984), l'évidence d'un transfert d'azote de la légumineuse vers la « non-légumineuse » associée n'a été démontrée que dans quelques cas exceptionnels :

- présence d'une céréale fourragère à cycle long, qui profite des effets résiduels d'une légumineuse récoltée précocement (SEARLE et al., 1981);
- culture dérobée dans une légumineuse, à condition que la légumineuse soit récoltée avant la floraison de cette culture.

D'autres exemples existent, où un supplément d'acides aminés excrétés par la légumineuse associée est mis en évidence, les partenaires de l'association n'étant pas aptes à les utiliser.

De façon générale une difficulté d'ordre méthodologique se présente, dans la mesure où seule l'utilisation d'azote 15 permet de différencier l'azote fixé symbiotiquement de celui issu du sol.

Quant aux bilans d'azote et aux études d'arrière-effets, ils doivent porter sur plusieurs années pour donner une vision nette des différences entre cultures individuelles et associées; aucune expérimentation de ce type n'a été relevée dans la bibliographie consultée.

DEUXIEME CHAPITRE

MILIEU EXPERIMENTAL

2.1 – MORPHOLOGIE ET VEGETATION

La province de l'Ouest-Cameroun, où se situe notre étude couvre environ 11 000 km², entre 5 et 6° de latitude Nord et 10 et 11° de longitude Est (cf. carte, annexe 1).

Elle forme un complexe de hauts-plateaux et plateaux intermédiaires dont l'altitude varie de 800 à 2 800 m; la majeure partie des paysages agraires s'étend entre 1 000 et 1 600 m (cf. carte, annexe 2).

La topographie est émaillée d'affleurement de granite (reliefs polyconvexes en demi-oranges) et de coulées volcaniques récentes. Les pentes sont souvent fortes avec plus d'un tiers de celles-ci comprises entre 6 et 12% et un cinquième entre 12 et 25% (VALET, 1980).

La forêt dense de montagne, qui couvrait anciennement toute la province ne se rencontre aujourd'hui qu'à proximité de certaines chefferies, par suite d'un défrichement intense; il s'agit alors de formations végétales montagnardes et semi-montagnardes comme l'*Albizzia gummifera*. Le défrichement a donné naissance à une savane herbeuse à *Pennisetum purpureum*, qui colonise particulièrement les zones humides et les abords des routes.

La disparition progressive des jachères et l'appauvrissement des terres, qui en a résulté, ont favorisé le développement d'une savane à *Imperata cylindrica* (la plus répandue) avec par endroits des tapis d'*Hyparrhenia*. En région bamoun (Foumbot, cf. caractérisation plus loin) les savanes à Andropogonées (*Hyparrhenia*) dominent.

2.2 – LE CLIMAT

Il s'agit d'un climat de type tropical humide de mousson et d'altitude. Le mouvement saisonnier du front intertropical et la topographie déterminent une saison humide de mars à début novembre et une saison sèche le reste de l'année.

Le phénomène de mousson, amené par un vent orienté SO-NE, annule la petite saison sèche existant d'ordinaire en zones de basse altitude (juillet-août); hormis pendant les trois mois de pleine saison sèche (décembre à février) le facteur hydrique n'est jamais limitant. Les précipitations annuelles de la région varient de 1 500 à 2 600 mm.

A Dschang, la pluviométrie avoisine 1 900 mm (1 904 mm sur 7 ans et 1 911 mm sur 20 ans, cf. annexe 3).

A Foumbot, cette pluviométrie est de 1 600 mm sur le point d'essai de l'IRA (cf. annexe 4).

La répartition mensuelle des pluies sur ces deux sites suit un diagramme en forme de cloche, comme le montre la figure 1.

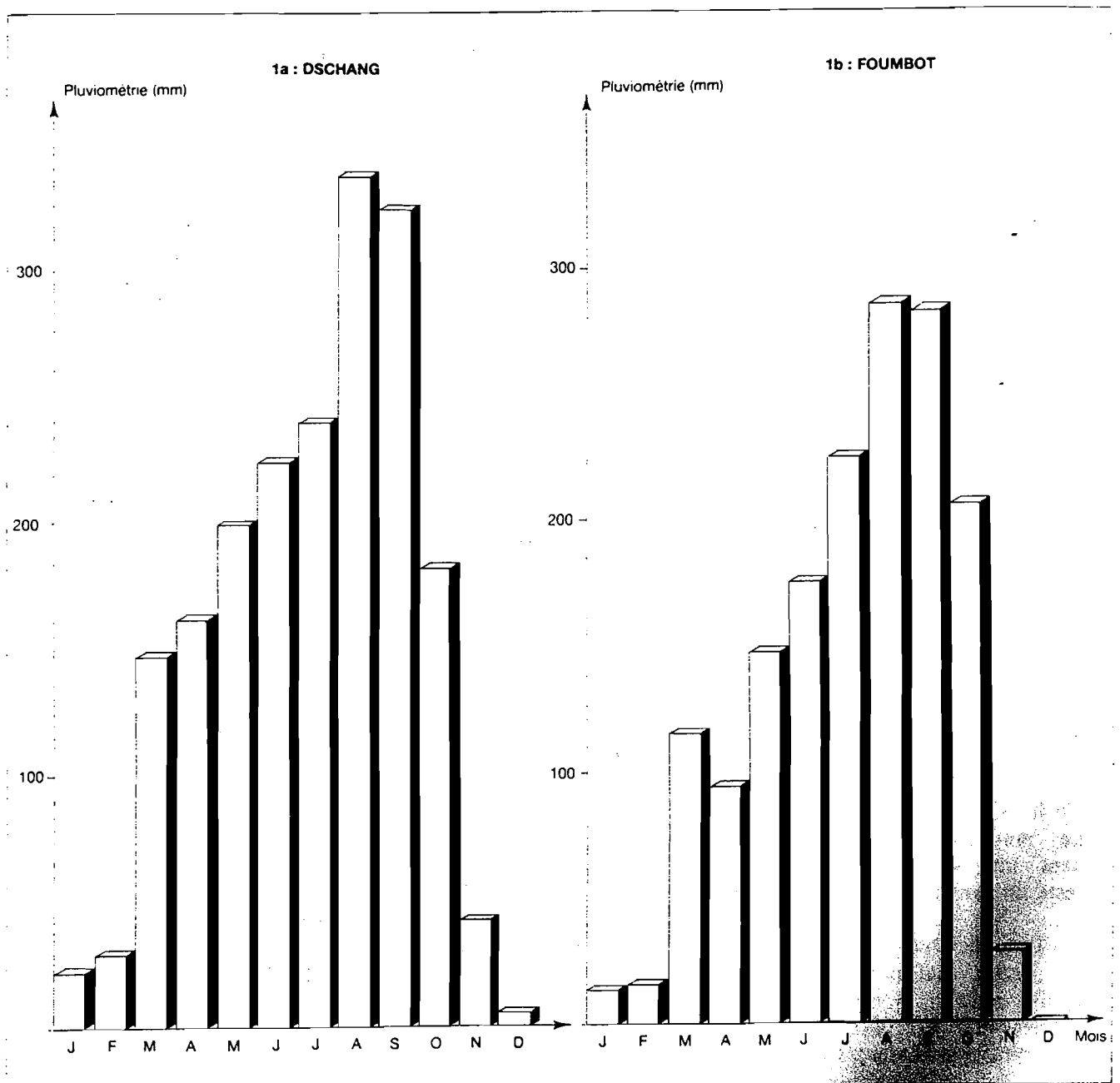


Figure 1 : Répartition annuelle des pluies.

Pour la culture des espèces végétales de cycle court, on sépare cette saison pluvieuse en une première « campagne » de mars à fin juillet et une seconde d'août à novembre.

On constate une très faible variabilité de la pluviométrie en un même endroit au long des années tant dans le total annuel que dans la date de la première pluie (NWANE, 1987).

Cette régularité interannuelle constitue un facteur de sécurité pour les agriculteurs et permet, en outre, de limiter la répétition d'un même essai sur un même site au cours du temps.

La température moyenne est de 20 °C à Dschang (1 450 m d'altitude) et 23 °C à Foumbot (1 150 m); son amplitude annuelle reste faible et avoisine 2 °C (cf. annexe 5); l'écart type entre températures diurnes et nocturnes est plus accentué (environ 10 °C) du fait de l'altitude.

L'insolation reste relativement réduite à Dschang avec 1 850 heures d'ensoleillement annuel ces trois dernières années et 1 680 heures en moyenne sur vingt ans (cf. annexe 6).

A Foumbot l'insolation, plus importante, atteint 2 200 heures par an.

Enfin, l'humidité relative oscille pendant l'année, entre 65 et 90%, la moyenne avoisinant 80%.

2.3 – LES SOLS

2.3.1 – Généralités

Il est extrêmement difficile de schématiser des ensembles pédologiques homogènes dans l'Ouest-Cameroun; l'analyse révèle en effet, une grande diversité de substrats, de niveaux d'altération et de microclimats (VALET, 1980).

La carte de l'annexe 7 montre les principaux types de sols et leur importance relative.

Les sols ferrallitiques qui dominent la région, sont formés sur matériau granito-gneissique ou basaltique;

- leur pédogenèse se caractérise par l'individualisation des hydroxydes de fer ou d'aluminium et la désaturation du profil en cations (Ca, Mg, K, Na);
- leur couleur est souvent rouge, du fait de leur richesse en éléments ferromagnésiens (parfois jaune en particulier sur socle granitique);
- leur structure est généralement bonne et leur sensibilité à l'érosion relativement faible;
- ces sols peuvent être remaniés (présence d'un horizon de quartz) ou dégradés jusqu'à former, au sommet des interfluves, des cuirasses incultivables;
- un rajeunissement peut s'être produit, lors des derniers phénomènes éruptifs, par apport de cendres basaltiques;
- en haute altitude, les sols ferrallitiques sont humifères, du fait de la lenteur de la minéralisation à basse température;
- la qualité chimique de ces sols dépend essentiellement de la teneur en matière organique et du pH; on notera, à ce propos, que la teneur en matière organique augmente avec l'altitude (3% à 1 100 m, 11% à 1 700 m d'après VALET, 1980);
- si l'on exclut les sols à caractère acide marqué, peu répandus, le rapport C/N est d'un bon niveau (10 à 15) et les valeurs du complexe absorbant, correctes;
- les carences en phosphore sont cependant classiques.

Les andosols sont des sols peu évolués, formés sur les épanchements basaltiques les plus récents, leur extension est réduite et se limite à la région de Foubot;

- leur qualité chimique est excellente avec cependant des risques de carence en soufre;
- la présence d'argiles gonflantes du type allophanes leur confère une moins bonne structure que celle des sols ferrallitiques : ils sont compacts à l'état humide et souvent pulvérulents à l'état sec;
- les épanchements volcaniques récents ont également donné lieu à des **sols bruns** (cf. carte en annexe 7) de caractéristiques chimiques équivalentes à celles des andosols.

Les sols hydromorphes, souvent issus de phénomènes de colluvionnement, sont riches en argiles (parfois gley et pseudo-gley) et en matière organique non décomposée;

- leur mise en valeur nécessite un drainage préalable;

– leur extension se limite aux thalwegs étroits du « pays bamiléké » et aux zones déprimées de bordure du plateau.

2.3.2 – Sites d'expérimentation

Ce sont les sols ferrallitiques et les andosols qui ont retenu notre attention, les sols hydromorphes étant plutôt réservés aux palmiers raphias (plus récemment cultures maraîchères et riz) qu'aux cultures vivrières traditionnelles.

Les caractéristiques physicochimiques des sols de Dschang (principal point d'essai), Foubot et Bamendjou (essais en paysannat) sont présentées en annexe 8.

Sol de Dschang : il s'agit d'un sol ferrallitique à profil complexe, c'est-à-dire rajeuni par un revêtement plus ou moins continu de cendres volcaniques;

- l'horizon supérieur est brun foncé humifère, sablolimoneux, de structure finement grumeleuse;
- l'horizon d'accumulation (40 à 200 cm) est rouge, argileux, de structure massive;
- la fertilité est moyenne à bonne, selon l'épaisseur du revêtement, avec des carences potentielles en phosphore.

Sol de Foubot : il s'agit d'un andosol volcanique à allophanes; l'horizon humifère est noir, sablolimoneux, faiblement compact;

- l'horizon B, brun rouge, argileux, contient des cendres altérées;
- la somme des bases échangeable (31 mq/100 g) et le taux de saturation (72%) sont élevés, ainsi que le niveau de fertilité.

Sol de Bamendjou : il s'agit d'un sol ferrallitique rouge, classique;

- la somme des bases échangeables est satisfaisante mais les carences en phosphore fréquentes.

2.4 – LES PAYSAGES AGRAIRES

Le climat frais et bien arrosé de la région est propice aux activités humaines et des populations d'origines diverses se sont installées dans l'Ouest-Cameroun il y a plusieurs siècles : groupes Bamiléké (Dschang, Bafoussam) Bamoun (Foumbot, Foumbau), Tikar et Mbos (cf. carte en annexe 2). Les Bamilékés, particulièrement, sont réputés pour leur dynamisme, leur esprit pionnier et leur sens du commerce.

La densité de population est relativement élevée avec une moyenne située autour de 170 hab./km²; elle n'est que de 40 hab./km² en région bamoun mais atteint 370 hab./km² dans certaines chefferies de la partie la plus fertile du plateau bamiléké.

L'aspect classique du « paysage bamiléké » est un bocage, à habitat dispersé; le parcellaire est déterminé par un maillage artificiel de haies vives (Ficus) consolidées par des nervures de palmiers raphia; ces haies vives constituent la principale source de bois des populations et assurent un rôle antiérosif certain.

Les cultures s'étagent sur le versant, le sommet étant recouvert de savane et le bas-fond occupé par les palmiers-raphias, destinés au bois d'oeuvre et à la fabrication du vin.

En région bamoun, où les pluies sont moins abondantes, les cultures occupent plus facilement le fond des vallées; les champs sont plus grands qu'en région bamiléké et leurs limites sont rarement matérialisées; l'espace, moins limitant, est utilisé de façon moins structurée.

2.5 – EVOLUTION DES SYSTEMES AGRAIRES

Dans les années 1930, un habitat moins dense qu'aujourd'hui laissait une large place aux jachères (tous les trois ans en moyenne) et aux pâturages collectifs (ovins et quelques bovins) situés sur les sommets de collines.

Seule la première « campagne » était utilisée pour les cultures vivrières à cycle court, la seconde étant vouée à la jachère pâturée.

L'introduction des caféiers arabica vers 1940 a bouleversé les systèmes agraires : réservées tout d'abord à une élite, les plantations de caféiers ont occupé les meilleures terres et repoussé les cultures vivrières vers les sommets des versants, provoquant une régression du petit élevage. A partir de 1955, la culture de l'arabica s'est popularisée et progressivement intégrée dans les associations de plantes vivrières.

Avec la pression croissante de la démographie, les jachères, ont disparu et les cultures à cycle court de seconde campagne – principalement en pays bamiléké – se sont généralisées : haricot à graines, niébé, pomme de terre.

La pluviométrie relativement abondante a permis d'accroître les rythmes cultureux et de désaisonnaliser l'agriculture.

La crise de la caféiculture au début des années 1980 (baisse du prix au producteur et des rendements) a renforcé cette intensification vivrière; le maraîchage est apparu en culture pluviale et également en saison sèche dans les bas-fonds.

Parallèlement à cette intensification, l'économie marchande s'est développée en étendant ses circuits jusque dans les villes.

On compte aujourd'hui 159 000 exploitations agricoles dans l'Ouest (statistique USAID, 1984) d'une taille moyenne de 1,6 ha (1,8 ha en région bamoun) dont la moitié cultivée.

L'exploitation agricole moyenne compte 4,8 personnes et occupe 3 personnes actives.

La femme constitue en région bamiléké, la principale force de travail, l'homme s'occupant traditionnellement de l'entretien des caféiers et possédant fréquemment une double activité (50% des cas). Malgré un appel récent à la main-d'oeuvre salariée, la force de travail familiale n'est pas encore limitante sur l'exploitation agricole.

2.6 – APERÇU DES SYSTEMES DE CULTURE

2.6.1 – Les espèces cultivées

La pratique des associations, sous forme de culture mixtes en vrac essentiellement, constitue la règle générale (85 à 90% des surfaces) dans l'Ouest-Cameroun.

Il existe un grand nombre d'espèces représentées, dont les principales sont :

- espèces pérennes = caféiers, bananiers, palmier à huile;
- espèces annuelles à cycle long = macabo, taro, igname, manioc;
- espèces annuelles à cycle court = maïs, pomme de terre, patate douce, arachide, haricot, niébé, voandzou.

Ces dernières espèces sont peu fréquentes en second cycle cultural, (seconde « campagne ») à l'exception du haricot qui se retrouve sur 30% environ des parcelles, et du niébé en région bamoun.

Les associations sont plus complexes en région bamiléké (cinq espèces par parcelle en moyenne) qu'en région bamoun.

On a pu observer en région bamiléké, que la logique agronomique des systèmes de cultures associées résidait essentiellement dans la **gestion parcellaire de la fertilité** des sols : le type d'espèce et son peuplement en un endroit donné dépendent fortement de la richesse chimique du sol en cet endroit.

Ainsi, les bananiers, caféiers, maïs, pomme de terre, macabos et certaines ignames apparaissent comme des espèces de sols riches à l'inverse de la patate douce, du taro, de l'arachide et du niébé; entre ces situations extrêmes la densité de peuplement de chaque espèce évolue avec le gradient de fertilité.

L'annexe 9 présente quelques systèmes de culture courants dans l'Ouest-Cameroun (AUTFRAY, 1988).

2.6.2 – Les principales cultures vivrières annuelles

Le tableau III rassemble diverses données sur ces cultures, issues du recensement effectué par l'USAID en 1984 (Yaoundé).

Tableau III : Données sur les principales cultures vivrières de l'Ouest Cameroun (USAID, 1984).

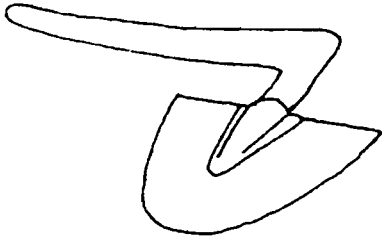
Caractéristiques	Espèces				
	Maïs	Haricot + Niébé	Arachide	Macabo + Taro	Ignames
% Exploitations Ouest cultivant l'espèce	98	91	81	88	91
Production Ouest (tonne)	113 000	16 000	11 000	40 000	38 000
Rendement Ouest (kg/ha)	1 890	430	700	1 450	4 400
Production Cameroun (tonne)	410 000	55 000	99 000	190 000	109 000
Prix moyen (FCFA/kg)	62	167	-	46	-

N.B. : Le soja est d'introduction trop récente pour figurer dans ce tableau; production = 600 t en 1985 dans l'Ouest.

2.6.3 – Itinéraires techniques

Il s'agit d'une agriculture exclusivement manuelle, du type jardinage, les cultures sont conduites sur billons de 15 à 40 cm de haut et de 50 à 150 cm de large; rappelons que les billons (« ridge » en anglais) sont des levées de terre rectilignes, régulièrement espacées, au sommet et sur les flancs desquels s'effectue le semis.

Les seuls outils de production sont la houe « daba » à manche court et le trident.



HOUE "BATILEKE"

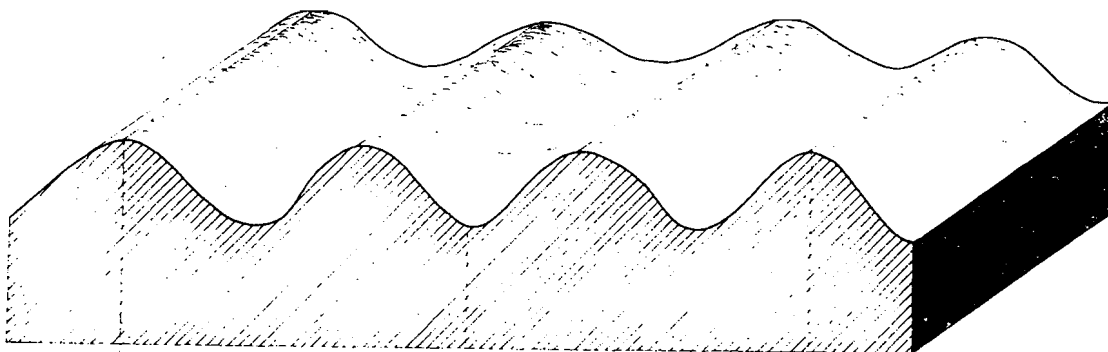
Labour : en milieu ou en fin de saison sèche (janvier-février), l'agricultrice entasse les mauvaises herbes et les résidus de récolte précédente dans le sillon séparant deux billons; chaque billon est ensuite fendu en son milieu et la terre de chaque flanc va recouvrir le demi-sillon qui le bordait (billonnage).

Cette translation d'un demi billon chaque année et la faible probabilité qu'une espèce explore la même fraction de sol, deux années de suite, constituent le fondement d'une **rotation** culturale; elle facilite, d'autre part, l'enfouissement des résidus de la récolte précédente sous le nouveau billon.

La figure 2 représente la translation effectuée chaque année.

Ce billonnage représente l'opération culturale la plus pénible et nécessite 200 à 300 h/ha de travail (cf. chapitre 5.7). Le trident (croc à bêcher, à long manche) est utilisé par l'homme lorsque le sol est compacté et pour les nouvelles cultures sur les conseils des moniteurs agricoles; on obtient alors un labour à plat ou un billonnage de faible épaisseur moins soigné qu'en utilisant la houe.

Année 1



Année 2

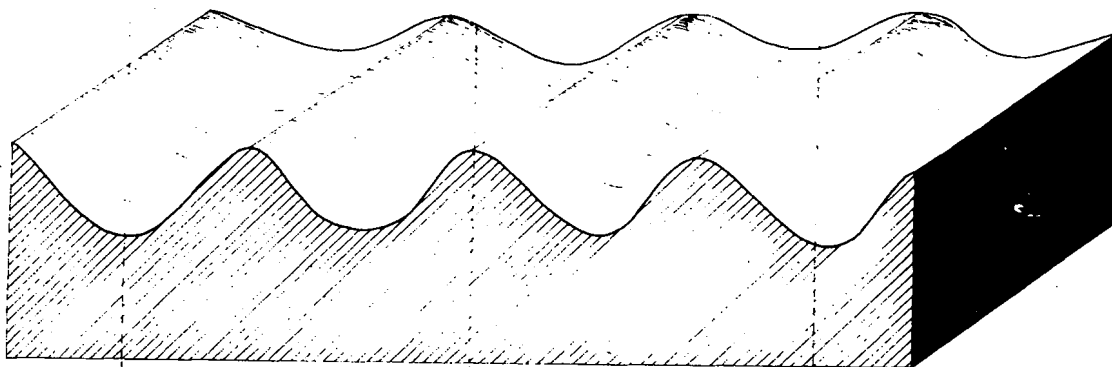


Figure 2 : Billonnage

Semis : il s'effectue, pour l'ensemble des cultures vivrières, sur une période relativement longue, allant en premier cycle cultural de fin février à mi-avril.

Les tubercules sont généralement placés en premier sur les billons, suivis par le maïs et l'arachide; le haricot peut être semé en même temps que le maïs ou peu après celui-ci (une à deux semaines).

Le semis du maïs et du haricot s'effectue en poquets (petits trous) de deux ou trois graines, ce qui diminue la quantité de travail sans affecter la production par rapport à un semis graine par graine à même peuplement (PRAQUIN, non publié).

Le soja, culture d'introduction récente, suit les règles de semis du haricot, auquel il est spontanément assimilé par les agriculteurs.

Fertilisation organique : l'essentiel des fertilisants apportés aux cultures vivrières est encore d'origine organique, malgré l'essor récent des engrais minéraux.

L'**écobuage** consiste à brûler des résidus de culture (ou des adventices) rassemblés en petits tas et recouverts de terre; on placera sur les buttes, ainsi constituées, les cultures les plus exigeantes en éléments nutritifs, comme certaines plantes à tubercules et le maïs. L'écobuage aboutit, en effet, à une cuisson de l'horizon superficiel du sol et une libération brutale de phosphore et de potassium. Il est cependant néfaste de répéter cette pratique chaque année au même endroit, car la structure du sol s'en trouve complètement détruite.

Les **résidus** de récolte (parches de café, fanes de haricot, etc.) et les déchets de cuisine sont fréquemment enfouis autour des cases d'habitation, profitant ainsi aux bananiers et tubercules.

L'utilisation de **fumier animal** est répandue, bien que de faible importance quantitative, du fait de la petite taille des élevages; le fumier de porc est souvent réservé aux jeunes plants de caféiers.

Fertilisation minérale : d'après les statistiques les plus récentes (USAID, 1984), 80% des exploitations agricoles de l'Ouest utilisent des engrais dont 42% pour les cultures vivrières; 6% d'entre elles utilisent uniquement des engrais organiques, les autres combinant les deux sources d'engrais.

Les engrais utilisés sont :

- le sulfate d'ammonium (20% N) épandu sur caféiers;
- l'engrais combiné 20-10-10, mis au point pour les caféiers et les principales plantes vivrières;

et plus récemment :

- l'urée (45% N) qui devrait se substituer au sulfate d'ammonium, puisque acidifiant moins le sol;
- l'engrais combiné 12-6-20, formule plus favorable aux plantes à tubercules et aux bananiers, car renforcée en potassium par rapport au classique 20-10-10.

Les prix des engrais sont donnés en annexe 10.

Mode d'apport de l'engrais minéral : réservé aux caféiers dans les années 1960, l'engrais était épandu en couverture à l'aplomb de l'extérieur du feuillage.

On a ensuite transposé cette méthode aux plantes vivrières lorsque celles-ci ont commencé à bénéficier de l'engrais : ce dernier est appliqué en couronne autour du maïs et très rarement recouvert; les pertes d'azote par ruissellement et volatilisation sont importantes sur cet engrais exposé à l'air libre...

Sarclage et buttage : les travaux de sarclage et de buttage présentent une pointe en avril et se prolongent jusqu'en septembre pour les plantes à tubercules.

Les mauvaises herbes arrachées sont groupées en tas au fond des sillons; la terre collectée sur les flancs des billons est ramenée au « pied » des plantes vivrières, pour éviter que leurs racines ne se « déchaussent » (buttage).

Comme pour le billonnage, la durée de ces opérations est relativement longue, se situant autour de 250-300 h/ha pour les plantes vivrières à cycle court (cf. chapitre 5.7).

Enfin, les conditions de réalisation de nos essais s'inspirent largement des itinéraires techniques décrits ci-dessus; ces conditions seront présentées dans le chapitre III qui traite de la méthodologie.

3.1 – STRATEGIE D'EXPERIMENTATION

Lorsque l'on étudie un système complexe, l'approche scientifique classique consiste à le réduire en plusieurs sous-systèmes, moins complexes.

Plutôt que de choisir des dispositifs lourds et sophistiqués, il nous a semblé préférable de « répartir » l'objet d'étude à travers une série d'expérimentations comprenant des parties communes de référence; FRANCIS (1983) a montré, en effet, l'efficacité des essais testant un et deux facteurs par rapport aux dispositifs lourds.

Vingt-trois essais portant sur des cultures associées (chaque essai pouvant être réalisé sur plusieurs sites, en appliquant un protocole expérimental commun à ces sites) ont été mis en place entre 1982 et 1986; parmi ceux-ci, les dix-neuf les plus marquants et les plus fiables ont été retenus pour notre étude. Ces essais prenaient généralement en compte deux facteurs techniques susceptibles de modifier le comportement de l'association culturale (parfois un seul, rarement trois).

Aucune idée préconçue sur l'importance de chaque facteur pour optimiser les associations n'a été retenue avant la mise en place des essais; c'est l'analyse des résultats qui a donné lieu à une relative hiérarchisation de ces facteurs.

Par ailleurs, une approche évidente de ces associations culturales consistait à privilégier le maïs, plante vivrière de base pour les agriculteurs de l'Ouest-Cameroun; notre appartenance institutionnelle au programme « Légumineuses » de l'IRA nous a conduit à respecter un certain équilibre entre les deux familles de plantes; nous verrons, à ce propos, que les caractéristiques intéressantes de l'association ne se manifestent que si la légumineuse s'y trouve suffisamment représentée.

Chaque fois que possible, nous avons donné un caractère pluriannuel aux thèmes étudiés : les essais de fertilisation, particulièrement, sont parfois répétés deux années au même endroit; la régularité des pluies dans la région d'intervention (cf. chapitre II) et une certaine constance des rendements d'une espèce donnée sur une même parcelle, permettent de relativiser l'importance de la répétition des expérimentations dans le temps.

Le respect de caractère plurilocal des essais s'est avéré difficile en raison des contraintes de travail que celui-ci imposait; par manque d'une équipe de suivi, le site de Pamfuetle (sol ferrallitique acide) a dû être abandonné après un double échec; quant aux tests en paysannat, ils n'ont été entrepris qu'en 1986 et ont concerné la fertilisation, thème dont la priorité devenait évidente.

Sur les dix-neuf essais étudiés, cependant (cf. détail en annexe 11) douze ont été réalisés sur un site (dont onze à Dschang), six ont été réalisés sur deux sites (Dschang et Foumbot), un a été réalisé sur cinq sites paysannaux.

Cela représenterait donc vingt-neuf essais analysés dans cette étude, si l'on considérait l'essai comme une expérimentation mise en place en un endroit déterminé.

Il semble évident, étant donné le nombre d'interactions possibles entre facteurs conditionnant le comportement des associations culturales, que les résultats de chaque essai sont indissociables de l'environnement dans lequel celui-ci a été conduit; la vulgarisation de systèmes «améliorés», ne pourra se situer que dans des contextes bien définis.

3.2 – CHOIX DES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Le nombre moyen de facteurs testés dans un même essai étant de deux, il nous a paru intéressant d'utiliser le plus souvent trois niveaux de ces facteurs pour pouvoir effectuer des courbes de réponse (cf. « Fertilisation »).

L'adjonction de témoins de culture pure dans les dispositifs expérimentaux a été systématique, pour permettre l'utilisation de ratios de comparaison dans l'analyse des résultats.

Le nombre maximum de traitements comparés dans un essai a été fixé à dix (douze selon WEIL, 1986).

Les dispositifs les plus appropriés à une analyse statistique, tout en restant très maniables sur le terrain, sont des blocs de Fisher; nous avons utilisé ces blocs de Fisher, à raison de six répétitions. Les splits-plots auraient, en effet, présenté l'inconvénient de limiter l'importance du facteur choisi pour les traitements secondaires, en privilégiant l'autre facteur.

L'unité expérimentale (parcelle utile) est constituée de deux billons de 11 à 12 m² au total à Dschang et 12 à 14 m² à Foumbot; l'érosion constatée sur les flancs des billons de ce dernier site nous a conduit à augmenter la largeur de ceux-ci; un ou deux billons par parcelle utile ont été ajoutés, chaque fois que nécessaire, pour des prélèvements de plantes ou de nodules.

Un essai moyen comprenait donc : 9 traitements x 6 blocs x 3 billons de 6 m² chacun, ce qui en ajoutant les allées et bordures donnait des surfaces d'essai de 1 600 à 1 700 m².

Cette surface constitue un maximum sur le site de Dschang où la disponibilité en terre est limitante.

3.3 – CONDITIONS GENERALES DE REALISATION DES ESSAIS

3.3.1 – Les conditions de culture

Les conditions de culture de l'ensemble des essais se rapprochent de celles définies dans le chapitre II :

- semis sur billon à raison de trois graines d'une même espèce par poquet;
- la disposition spatiale des plantes défend des types de systèmes de culture associés :
- . en culture mixte systématisée (la plus fréquente dans notre étude), les poquets de maïs sont disposés en quinconce sur deux lignes espacées de 40 à 50 cm; les poquets de légumineuse sont ensuite disposés régulièrement à raison de quatre à sept poquets entre deux poquets de maïs, selon les densités des composantes de l'association,
- . en culture mixte en vrac, le maïs est semé en quinconce, et la légumineuse au hasard sur le billon,
- . en culture intercalaire, les conditions dépendent des traitements envisagés (à plat ou sur billon, nombre de lignes de légumineuses entre deux lignes de maïs...); ces conditions seront explicitées lors de la présentation des essais correspondants.

Les données exactes sur l'espacement des poquets sont regroupées dans l'annexe 12, en même temps que les caractéristiques des dispositifs expérimentaux utilisés :

- les dates de semis également présentées dans l'annexe 12, correspondent généralement aux 48 heures qui suivent la première pluie utile (au moins 40 mm);
- les densités de semis en culture pure sont celles considérées comme optimales à l'issue d'essais réalisés à Dschang (IRA, non publié); seules ces conditions optimales permettent l'utilisation de ratios de comparaison des cultures pures avec les systèmes associés; elle sont de 60 000 plantes/ha pour le maïs, 320 000 plantes/ha pour le haricot et 400 000 plantes/ha pour le soja.

Les densités de semis en culture associée, dépendent bien entendu des traitements envisagés et seront rappelées pour chaque essai présenté:

- protection contre les adventices : un sarclage et un buttage autour de 25 JAS ainsi qu'un sarclage rapide autour de 55 JAS sont pratiqués. Aucune utilisation d'herbicide n'est effectuée bien qu'un essai ait prouvé que le LASSO (MA = Alachlor) à 5 l/ha se montrait aussi efficace qu'un double sarclage en culture associée.

3.3.2 - Les variétés utilisées

Maïs

Z 290 : polyhybride créé à partir de matériel végétal malgache (polyhybride 266 x 8 hybrides doubles utilisés comme pollinisateurs) pour les zones d'altitude de 1 000 à 1 700 m; variété dite à « fort développement » en raison de sa taille :

- cycle = 136 à 138 jours à 1 400 m (Dschang);
- taille de la plante de 190 à 230 cm;
- poids de 1 000 graines = environ 400 g.

Cola : sélection à partir du matériel local d'altitude; variété dite à « moyen développement » :

- cycle = 129 à 131 jours à 1 400 m (Dschang);
- taille de la plante de 170 à 190 cm;
- poids de 1 000 graines = environ 200 g.

Soja

Coker 240 : variété précoce d'origine américaine :



- cycle = 108 à 112 jours;
- hauteur = 35 à 50 cm en sol ferrallitique d'altitude.

IRAT 278 (20-95-PA) : sélection généalogique dans des lignées issues du Sénégal; variété de cycle intermédiaire (dit « moyen ») :

- cycle = 115 à 119 jours;
- hauteur = 40 à 60 cm en sol ferrallitique d'altitude;
- poids de 1 000 graines = 110 à 130 g.

IRAT 274 : variété du Sénégal (ISRA 26/72) de cycle intermédiaire (125 à 129 jours) :

- hauteur = 50 à 70 cm en sol ferrallitique d'altitude;
- poids de 1 000 graines = 140 à 160 g.

Haricot

BAT 95 : originaire du CIAT; numéro à Dschang : PH 330; variété déterminée de petite taille (port nain) :

- cycle = 90 à 95 jours;
- poids de 1 000 graines = environ 160 g;
- couleur des graines = beige.

Porrillo 693 : originaire du CIAT, numéro à Dschang : PH 237, variété semi-déterminée (ou « volubile » à vrille courte) :

- cycle = 86 à 91 jours;
- poids de 1 000 graines = environ 280 g;
- couleur des graines = rouge-brun.

3.4 – PRELEVEMENTS, MESURES ET ANALYSES

L'ensemble de ces opérations permet de comprendre le fonctionnement des associations et d'expliquer les rendements obtenus.

3.4.1 – Mesures des composantes du rendement des espèces représentées

Les composantes du rendement sont mesurées directement au champ ou sur des échantillons issus de prélèvements; les mesures ou comptages sont généralement effectués sur des échantillons de dix plantes par parcelle, répétés de deux à six fois selon la finesse de l'analyse nécessaire; le nombre exact de répétitions sera donné dans les tableaux de résultats placés en annexe.

3.4.2 – Mesure de la biomasse produite

Les pesées de biomasse sont réalisées soit sur des échantillons de plantes prises individuellement comme ci-dessus, soit en récoltant les billons entièrement (lorsque l'on veut les quantités à l'hectare).

Sur les racines, seul le poids de matière végétale humide est parfois déterminé pour ne pas surcharger les étuves; sur les parties aériennes sont étudiés les poids de matière sèche. Les plantes sont placées en étuve à 60-70 °C, pour le séchage. La durée de séchage est de 24 à 48 heures selon l'organe considéré.

3.4.3 – Diagnostics foliaires

Ils ont été effectués :

- sur maïs, lors de la floraison femelle, en prélevant les limbes entiers (nervure comprise) situés à l'aisselle de l'épi principal (60 à 65 JAS);
- sur haricot et soja, entre les stades « floraison à 50% » et « début de fructification » (48 à 55 JAS) en prélevant la seconde feuille entièrement développée à partir du haut, le pétiole étant exclus.

Les résultats de diagnostic foliaire ont été peu exploités : les stades végétatifs correspondants étaient en effet trop précoces pour que la concurrence interspécifique soit visible.

3.4.4 – Analyse minérales des plantes

Les échantillons sont homogénéisés et séchés comme indiqué précédemment.

Les teneurs en éléments NPK sont déterminées au laboratoire du GERDAT selon le procédé suivant :

- N : minéralisation par la méthode Kjeldahl puis colorimétrie selon la réaction de Berthelot (formation d'un colorant bleu : indophénol);
- PK : minéralisation dans un four à sec puis en présence d'acides fluorhydrique et chlorhydrique; dosage de P total par colorimétrie et de K par photométrie de flamme.

3.4.5 – Nodulation et fixation symbiotique d'azote

La nodulation est appréciée par l'étude du nombre de nodules et surtout du poids moyen de matière sèche des nodules par plante; généralement, l'ensemble des nodules de dix plantes par parcelle est prélevé.

Les résultats de nodulation étant souvent hétérogènes, on est parfois allé jusqu'à dix répétitions par traitement (cf. annexes).

Réalisée dans un essai (n° 17), la mesure de la fixation d'azote a été effectuée par la méthode de la réduction de l'acétylène (ARA), après prélèvements au champ en utilisant la méthode du flacon.

Ces procédés sont rappelés en annexe 13.

3.4.6 – Mesures et notations diverses

Ponctuellement, dans certains essais des mesures et notations ont été effectuées dont les procédés seront rappelés en même temps que les résultats correspondants.

Il s'agit particulièrement de :

- notation de maladies : sur une échelle d'intensité de 1 à 5, en prenant la moyenne des notes attribuées par trois notateurs;
- mesures de la surface foliaire du maïs : moyenne de 100 feuilles par traitement en utilisant la formule : surface foliaire = longueur x largeur x 0,75;

- mesures des températures foliaires : effectuées au moyen d'un thermomètre-radiomètre « Thermopoint 80 » (mesures à distance en « visant » la feuille).

3.5 - LES TERMES DE COMPARAISON DES SYSTEMES

La comparaison des systèmes de cultures associées, entre eux et avec les cultures individuelles, est basée sur un grand nombre de critères; les résultats des diverses analyses réalisées en cours de culture, présentées ci-dessus constituent un premier groupe de critères. Il existe un second groupe de critères de comparaison, calculés à partir des données de rendement; ce sont ces différents critères que nous présentons maintenant.

3.5.1 - Les rendements

Les rendements séparés des deux espèces sont intéressants puisqu'ils donnent une idée, par comparaison statistique, de l'effet de facteurs techniques particuliers sur l'une ou l'autre espèce associée; ils indiquent également à quel niveau de production tel ratio ou indice (cf. ci-après) a été obtenu.

3.5.2 - Les ratios de comparaison

Les potentialités de rendement de deux espèces considérées n'étant pas équivalentes et leur proportion variant dans les systèmes associés, seuls des ratios ou indices permettent une comparaison agronomique de ces systèmes avec les cultures individuelles. Les ratios couramment utilisés dans notre étude sont présentés ici.

3.5.3 – Ratios de densité de peuplement

La densité de peuplement d'une espèce donnée varie bien entendu selon qu'elle est cultivée individuellement ou en association; il est donc intéressant de connaître son ratio de densité :

$$\text{ratio de densité espèce A} = \frac{\text{densité de A en association}}{\text{densité optimale de A en pur}}$$

De même, si l'on veut apprécier la densité de population totale d'une association culturale, on utilisera le coefficient de densité équivalente (CDE); pour deux espèces A et B, associées on a :

$$\text{CDE} = \frac{\text{densité espèce A en association}}{\text{densité de A en monoculture}} + \frac{\text{densité espèce B en association}}{\text{densité de B en monoculture}}$$

ce CDE caractérise l'« intensivité » de l'association.

3.5.4 – Land Equivalent Ratio (LER)

Il est défini par WILLEY et OSIRU (1972) et représente la surface de terre qui serait nécessaire en cultures pures pour obtenir les mêmes rendements qu'en culture associée :

$$\text{LER} = \frac{\text{Rdt espèce A associée}}{\text{Rdt espèce A pure}} + \frac{\text{Rdt espèce B associée}}{\text{Rdt espèce B pure}} = \text{LA} + \text{LB}$$

où LA et LB sont les **rendements relatifs** de chaque espèce; le LER est également appelé rendement relatif total selon DE WIT (1965) ou également rapport équivalent terre (RET).

Ce LER représente un indice d'efficacité biologique d'utilisation de la terre par les cultures associées; son emploi est particulièrement indiqué en zone où la ressource « terre » est limitante, comme la nôtre; il mesure la productivité globale de l'association par rapport aux cultures pures, faisant éventuellement apparaître un « surrendement » du système associé sur le pur (si LER > 1); si LER < 1, en revanche l'association se montre moins productive que la culture pure de ses composantes; par exemple : LER = 1,20 signifierait que la culture associée produit un gain de rendement de 20% par rapport aux cultures pures; notons que cette notion de LER peut être appliquée à différents organes des plantes ou bien à des exportations minérales d'associations culturales, par exemple :

$$\text{LER feuilles} = \frac{\text{Pds sec feuilles esp. A associée}}{\text{Pds sec feuilles esp. A en pur}} + \frac{\text{Pds sec feuilles esp. B associée}}{\text{Pds sec feuilles esp. B en pur}}$$

$$\text{LER azote} = \frac{\text{Export. azote esp. A associée}}{\text{Export. azote esp. A en pur}} + \frac{\text{Export. azote esp. B associée}}{\text{Export. azote esp. B en pur}}$$

Ce concept, intéressant pour des comparaisons de systèmes associés entre eux ou avec des cultures pures sera couramment utilisé dans notre étude.

Il convient de signaler deux conditions nécessaires d'emploi du LER:

- les traitements de cultures pure et associée doivent être conduits à même niveau d'intensification (fertilisation par exemple);
- les témoins de culture pure doivent avoir une densité de peuplement optimale.

Enfin, le concept de LER présente une **limite** intrinsèque, lorsque l'on l'utilise pour une comparaison agronomique des systèmes associés et des cultures pures; on suppose alors implicitement que la part relative de chaque espèce dans la production globale de l'association convient aux agriculteurs.

Les agriculteurs de l'Ouest-Cameroun, à notre connaissance, n'exigent aucune proportion particulière du maïs et des légumineuses dans leur production globale; aucune contrainte ne pèse donc, dans ce contexte, sur l'utilisation du LER et nous verrons que les résultats obtenus avec d'autres critères de comparaison confirment souvent ceux obtenus avec le LER.

3.5.5 - Competitive Ratio (CR)

Cet indice de compétitivité (WILLEY et RAO, 1980) donne le degré exact de compétition d'une espèce par rapport à l'autre dans l'association :

$$\text{CR espèce A} = \frac{L_A}{L_B} \times \frac{\text{Proportion de la surface consacrée à B}}{\text{Proportion de la surface consacrée à A}}$$

où : L_A et L_B sont les rendements relatifs des deux espèces.

Les proportions sont données par les ratios de densité de chaque espèce.

Par exemple, un CR espèce A égal à 3 signifie que l'espèce A est trois fois plus compétitive que l'espèce B qui lui est associée.

Ce CR, moins utilisé que le LER, convient particulièrement aux comparaisons effectuées dans les essais portant sur le facteur « densité ».

3.5.6 – Area-Time Equivalency Ratio (ATER)

HIEBSCH (1978) a montré que le LER n'est pas performant lorsqu'il s'agit de comparer des systèmes incluant des espèces de cycles très différents; il ne prend pas en compte, en effet, la durée d'occupation du sol de chaque espèce.

En présence d'une plante pérenne, la parcelle consacrée à l'association ne sera réutilisée qu'après récolte de cette dernière; en revanche, les portions de terre consacrées aux cultures pures de cycle court peuvent être réutilisées rapidement. Dans ce cas, le LER favorise donc artificiellement les systèmes associés par rapport aux cultures pures et se montre inapproprié; il peut être remplacé par l'ATER (Area-Time Equivalency Ratio, HIEBSCH et MAC COLLUM, 1978) qui constitue un indice d'efficacité de l'utilisation de l'espace-temps; cet indice corrige donc le LER en intégrant la durée d'occupation partielle du sol par chaque culture.

$$\text{ATER} = \frac{\sum_{n \text{ espèces}} \text{Rendement relatif espèce A} \times \text{cycle espèce A en pur}}{\text{Cycle maximum des cultures associées}}$$

Si $\text{ATER} > 1$, les cultures associées utilisent plus efficacement l'espace-temps que les cultures pures.

Ce nouvel indice sera utilisé dans notre approche d'une association ternaire incluant le macabo, dont le cycle est relativement long.

Il semble évident, que dans le cas des associations binaires céréale-légumineuse, les différences de cycle sont trop faibles pour que l'indice ATER diffère du LER; nous avons pu le vérifier.

3.5.7 – Comparaisons nutritionnelles

Ce mode de comparaison paraît approprié, pour des cultures vivrières, même s'il ne prend pas en compte la préférence de l'agriculteur

pour tel ou tel produit; il présente l'avantage de la stabilité au cours du temps, contrairement aux comparaisons d'ordre économique.

Deux critères peuvent être utilisés selon les situations :

- le **rendement protéique** global des systèmes, qui privilégie la légumineuse;
- le **rendement énergétique** qui privilégie la céréale.

Il semble nécessaire d'utiliser simultanément ces deux critères, chaque fois qu'une comparaison nutritionnelle précise est effectuée, du fait même qu'ils privilégient des espèces différentes; BEETS (1982) conclut, à la suite d'une expérimentation, qu'un agriculteur devrait :

- cultiver le maïs en pur pour maximiser sa production de calories;
- cultiver le soja en pur pour maximiser la quantité de lysine produite;
- associer les deux plantes pour optimiser le rendement protéique.

Le rendement protéique sera simplement calculé à partir des résultats de l'expérimentation :

- rendement azote = (rendement graines x % N) maïs + (rendement graines x % N) légumineuse;
- rendement protéique = rendement en azote x 6,24.

Le rendement énergétique sera obtenu à partir des rendements en graines (ou tubercules) et de normes donnant la conversion calorifique des produits de récolte.

On notera que les diverses tables consultées donnent des résultats variables selon la forme des produits (de récolte ou commerciaux) et leur qualité nutritive dans les expérimentations dont sont tirés ces chiffres.

Nous avons retenu pour notre étude :

- maïs : 3 550 cal/kg (3 480 d'après WATT et MERRIL, 1975 et 3 610 d'après CLARK et FRANCIS, 1985);
- haricot : 3 400 cal/kg (3 430 et 3 370, respectivement d'après les mêmes auteurs);
- soja : 3 350 cal/kg d'après SINHA, 1977 (FAO);
- macabo : 1 450 cal /kg (TRECHE et GUION, 1979).

3.5.8 – Comparaisons économiques

Ce type de comparaison ne relève pas à proprement parler de notre analyse.

Nous avons cependant voulu prolonger parfois l'étude agronomique par une prise en compte de la rentabilité de certains facteurs au niveau de la parcelle :

- estimation du coût de la main-d'oeuvre et de la valorisation du travail (paragraphe 5.7);
- appréciation de l'importance des arrière-effets des différents systèmes en terme de rentabilité (paragraphe 5.6 et chapitre 6);
- approche de la rentabilité des fertilisants, incluant l'utilisation de la méthode des budgets partiels (chapitre 6); cette méthode sera définie en même temps que les résultats correspondants.

Nous nous sommes limités à ces éléments partiels de comparaison des systèmes, l'analyse économique globale n'étant pas de notre ressort et dépassant largement le cadre strictement parcellaire de nos résultats.

Enfin, pour respecter une diversité importante des prix, selon les années et les saisons, nous avons généralement utilisé les prix des denrées agricoles et des engrais de l'année ou l'expérimentation a été réalisée; des prix d'autres années ont parfois été testés pour voir s'ils modifiaient sensiblement les résultats.

3.5.9 – Limites des comparaisons nutritionnelles et économiques

Il est aisé, sur la base de ces deux types de critères de comparer les systèmes associés avec chaque composante prise individuellement d'une part et une moyenne de ces composantes individuelles d'autre part (ratio 1/2 : 1/2).

Cependant, le ratio 1/2 : 1/2 ne prend pas en compte l'espérance de production de l'agriculteur pour chacune des espèces; une composante de l'association dominant l'autre, l'agriculteur ne devra pas cultiver 0,5 ha de chaque espèce en pur pour obtenir les mêmes proportions qu'en association : il lui faudra cultiver une proportion plus importante de la culture dominante.

Pour échapper à cette difficulté, une méthode consiste à comparer le système associé à une combinaison des cultures pures respectant la part de chaque espèce dans la production globale de l'association, on consi-

dère alors implicitement que la production relative de chaque espèce associée convient à l'agriculteur. Ce type de comparaison, nous le verrons, s'est montré pertinent pour analyser la valorisation du travail en cultures pures et associées (paragraphe 5.7).

On peut également considérer que toutes proportions des deux espèces dans la production globale satisfait l'agriculteur; l'objectif est alors de maximiser le revenu à l'hectare et l'on compare l'association à la culture pure la plus rentable.

Dans la pratique, pour éliminer tout à priori sur les espérances de production de l'agriculteur, nous avons utilisé ces trois méthodes en comparant l'association :

- à l'une ou l'autre des cultures pures;
- à une combinaison 1/2 : 1/2 des cultures pures;
- à une combinaison des cultures pures respectant les proportions de chaque espèce dans la production de l'association.

3.6 – TRAITEMENT STATISTIQUE DES RESULTATS

3.6.1 – Analyse statistique des données

Elle a été effectuée en utilisant l'analyse de variance suivie éventuellement des tests de comparaisons multiples; concernant ces tests de comparaison :

- le test de DUNCAN a été utilisé le plus couramment sur les résultats de rendement;
- le test de NEWMAN et KEULS (groupes homogènes) a été utilisé chaque fois que les données ont été traitées par ordinateur (programme MICROSTAT de l'ITCF); il concernait essentiellement des résultats de mesures et comptages en cours de culture;
- le test de DUNNET a été utilisé quand nous avons voulu comparer divers traitements à un témoin privilégié : par exemple, une espèce donnée dans divers traitements de culture associée comparée à cette même espèce en culture pure; rappelons que ce test permet de détermi-



ner trois zones statistiques l'une étant supérieure, l'autre équivalente et la dernière inférieure au témoin privilégié.

Bien entendu, les analyses factorielles et la recherche d'interactions ont été effectuées chaque fois que l'essai contenait plus d'un facteur.

3.6.2 – Cas particulier des LER

Mode de calcul du LER

Les LER parcellaires, destinés à l'analyse statistique, peuvent être calculés de trois manières selon les rendements de culture pure utilisés comme dénominateurs :

- utilisation des rendements de culture pure à l'intérieur du bloc considéré; on rapporte alors simplement le rendement de l'espèce dans la parcelle d'association à son rendement dans la parcelle de culture pure du même bloc;
- utilisation de la moyenne des rendements de culture pure de l'espèce dans les différents blocs de l'essai;
- utilisation des rendements de culture pure maximaux des différents blocs de l'essai.

D'après les comparaisons effectuées la première méthode, que nous appellerons « méthode des valeurs intrablocs », se montrait la plus pertinente; nous l'avons utilisée tout au long de l'étude.

Analyse statistique du LER

Le Land Equivalent Ratio, étant la somme de deux rapports de variables normales, suit une loi de distribution de Cauchy; les conditions de normalité préalables à l'analyse de variance ne sont donc pas remplies; les méthodes d'analyse non paramétrique paraissent donc les plus appropriées pour comparer statistiquement les LER.

Le type d'analyse retenu est le test de FRIEDMAN (statistique de rangs); si le KHI^2 Fr se montre significatif, on prolonge ce test par le test rapide de KRAMER mis au point par l'INRA; ce dernier permet de déterminer une fourchette délimitant trois zones de LER statistiquement différentes (WEIL, 1986).

3.6.3 – Analyses diverses

Les paramètres statistiques, les régressions linéaires et les corrélations multiples ont été calculés au moyen du logiciel MICROSTAT de l'ITCF.

QUATRIEME CHAPITRE

VOIES D'AMELIORATION
DES ASSOCIATIONS
MAIS - LEGUMINEUSE

4.1 – COMPARAISON DE DIVERS ARRANGEMENTS SPATIAUX

Il s'agit de comparer diverses répartitions spatiales des composantes de l'association céréale-légumineuse.

4.1.1 – Comparaison de systèmes de culture intercalaire maïs-soja

Objet

L'objet de cet essai n° 1, réalisé à Dschang, est la comparaison de systèmes présentant des densités et des proportions différentes de chaque espèce dans le mélange; les variétés utilisées sont : maïs Z 290 et soja Coker 240.

L'essai comprend six traitements dont deux en culture pure et quatre en culture associée :

- T₁ = maïs en culture pure à raison de 65 000 plantes/ha;
- T₂ = soja en culture pure à raison de 400 000 plantes/ha;
- T₃ = alternance d'un rang de maïs et un rang de soja (MS)_n à raison de 52 000 plantes/ha de maïs et 230 000 plantes/ha de soja;
- T₄ = alternance d'un rang de maïs et deux rangs de soja (MSS)_n à raison de 40 000 plantes/ha de maïs et 280 000 plantes/ha de soja;
- T₅ = alternance d'un rang de maïs et trois rangs de soja (MSSS)_n à raison de 30 000 plantes/ha de maïs et 310 000 plantes/ha de soja;
- T₆ = alternance d'un rang de maïs et quatre rangs de soja (MSSSS)_n à raison de 20 000 plantes/ha de maïs et 340 000 plantes/ha de soja.

Principaux résultats

La figure 3 représente l'évolution des rendements et des LER pour des proportions croissantes ou décroissantes de chaque composante dans l'association.

L'analyse statistique des rendements (cf. annexe 14) montre que :

- sur soja, tous les traitements diffèrent significativement et se classent en fonction de leur densité de peuplement;
- sur maïs, on a les trois groupes homogènes suivants : T₁, T₃, T₄ > T₅ > T₆.

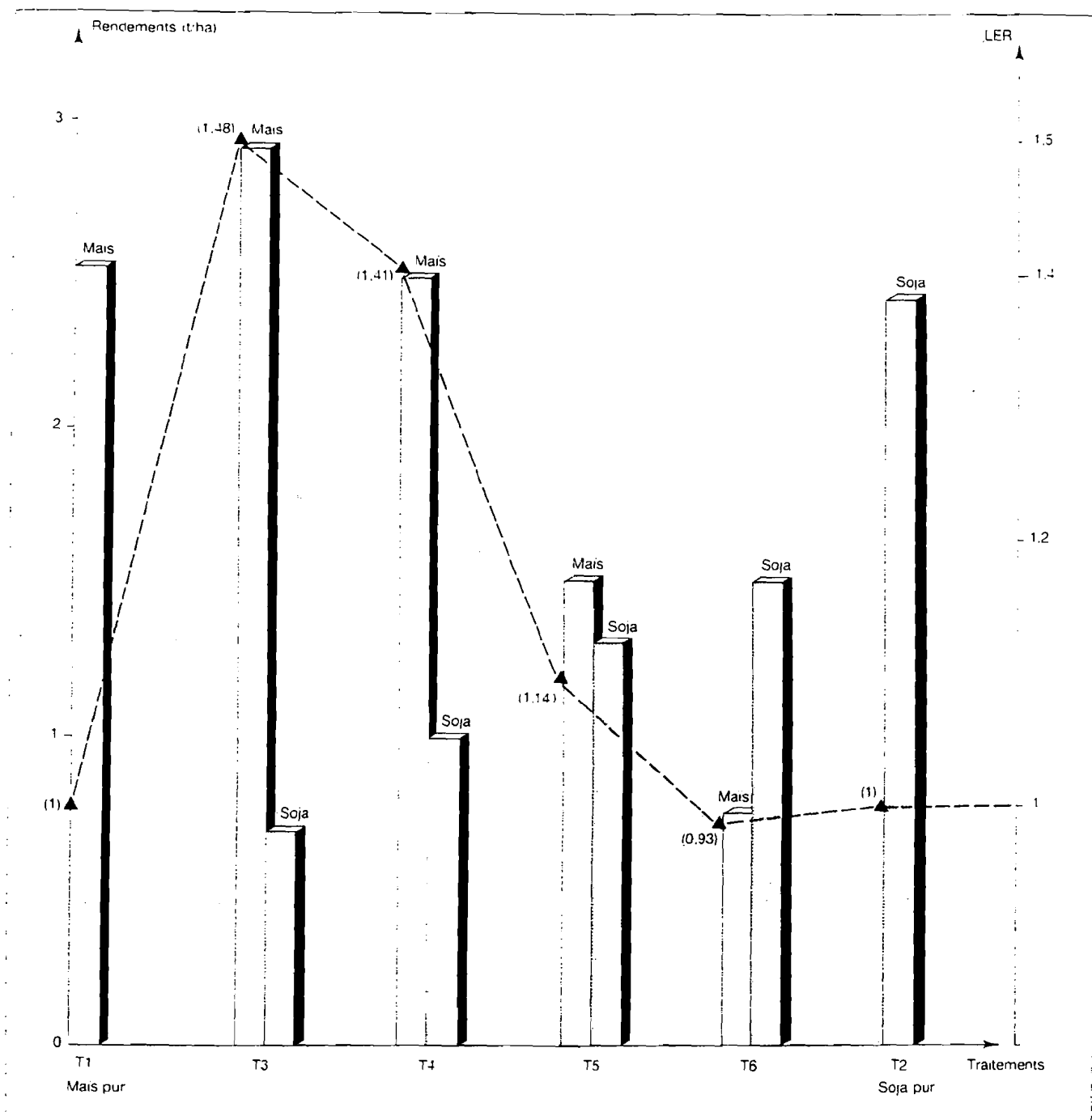


Figure 3 : Rendements et LER (Land Equivalent Ratio) des cultures pures ou intercalaires de maïs et soja.

Le rendement de chaque espèce évolue donc nettement en fonction de sa fréquence relative dans l'association.

Il existe une corrélation négative importante ($r = - 0,89$) entre les rendements des deux espèces associées (cf. annexe 14).

Interprétation

Les traitements T_3 et T_4 , où le rendement de maïs ne diffère pas significativement de celui de la céréale cultivée en pur, présentent les LER les plus intéressants (1,48 et 1,41 respectivement).

Lorsque l'on passe aux systèmes T_5 et T_6 , le rendement du maïs diminue rapidement et cette baisse n'est pas compensée par l'augmentation plus lente de la production de soja; le traitement T_6 , par exemple, présente par rapport à T_4 une baisse de production du maïs de 70% pour une augmentation de production du soja égale à 55%.

Dans les systèmes T_3 et T_4 , les rendements relatifs du maïs sont respectivement de 1,19 et 1,0; le maïs est donc le principal responsable des LER élevés de ces traitements.

Pour des niveaux de production équivalents du maïs en culture intercalaire, SINGH et al (1973) cités par CHUI et NADAR (1984) obtiennent des LER de 1,05 et 1,12 respectivement.

Il semble donc qu'il faille maintenir un peuplement minimum de 40 000 plantes/ha de maïs au semis, pour que l'association soit plus productive que les cultures pures.

On notera que nos billons sont orientés Nord-Sud ce qui, dans l'hémisphère Nord augmente l'effet de concurrence de la céréale sur la légumineuse.

BALDY (1963) constate une réduction d'éclairement de 80% sur l'espèce dominée par une culture orientée Nord-Sud alors que cette réduction reste négligeable sur la même espèce dominée par une culture orientée Est-Ouest.

Les calculs de coefficients de densité équivalente (CDE) selon la formule présentée dans le chapitre III donnent 1,38 pour T_3 , 1,32 pour T_4 , 1,24 pour T_5 et 1,16 pour T_6 .

Le CDE évolue donc comme le LER, ce qui montre que l'augmentation de la population totale (jusqu'à un certain seuil) permet d'améliorer la production globale de l'association.

Deux systèmes de culture intercalaire se montrent donc intéressants:

- alternance d'un rang de chaque espèce;
- alternance d'un rang de maïs et de deux rangs de soja.

A la récolte, les densités de population de ces systèmes sont de 200 000 à 240 000 plantes/ha de soja pour 35 000 à 45 000 plantes/ha de maïs, ce qui représente une proportion de six plantes de soja pour une de maïs.

Ces systèmes procurent des rendements de maïs équivalents à celui d'une culture pure, tout en apportant un complément de 800 à 1 000 kg/ha de soja. Enfin, la production des cultures intercalaires semble étroitement tributaire de la proportion relative de chaque espèce au semis, ainsi que de la population totale de ces systèmes.

4.1.2 – Comparaison de systèmes de culture mixte et intercalaire maïs-soja

Objet

On compare, dans l'essai n° 2, des systèmes de culture mixte sur billon et de culture intercalaire à plat faisant alterner une ligne de maïs et une de soja (1:1) ou une ligne de maïs et deux de soja (1:2).

Les variétés utilisées sont Z 290 et Kasai I pour le maïs et IRAT 278 pour le soja.

Contrairement à l'essai n° 1, les différents systèmes associés sont conçus à densités de population égales : maïs 45 000 plantes/ha, soja 250 000 plantes/ha, au semis; ce sont celles trouvées optimales dans l'essai n° 1.

Principaux résultats

Le tableau IV présente les résultats de rendement et LER de l'essai n° 2 à Dschang.

Interprétation

Pour chacune des espèces, les rendements sont équivalents dans les trois traitements d'association; les LER de ces traitements, d'après les tests de Friedman et Kramer, sont significativement supérieurs à 1 (LER cultures pures), sans distinction entre eux.

Tableau IV : Rendements et LER en cultures pure, mixte et intercalaire de maïs et soja.

Systèmes culturaux	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt soja (kg/ha)	Rdt relatif maïs	Rdt relatif soja	LER
Maïs pur	6 402 a	-	1	0	1
Soja pur	-	2 711 a	0	1	1
Culture mixte	5 443 b	948 b	0,85	0,35	1,20
Intercalaire 1:1	4 919 b	1 089 b	0,77	0,40	1,17
Intercalaire 1:2	5 148 b	1 114 b	0,80	0,41	1,21
Signification stat.	S	S			
CV (%)	10,3	11,1	-	-	Test
ETM (kg/ha)	230	59			Friedman

N.B. 1 : Les chiffres affectés d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de probabilité $P = 0,05$ (test Newman et Keuls).

N.B. 2 : Rendements maïs = moyennes sur deux variétés Z 290 et Kasai I.

Ainsi, l'arrangement spatial, à densités constantes, ne semble pas constituer un facteur important de modification de la production des cultures associées.

Le rendement du maïs associé est significativement inférieur à celui du maïs pur (- 20% en culture intercalaire, - 15% en culture mixte); CHUI et NADAR (1984) rapportent une baisse de rendement du maïs en culture mixte de 15% également, par rapport à la culture pure.

La culture mixte semble favoriser légèrement le maïs aux dépens du soja, par rapport à la culture intercalaire (+ 8% du rendement maïs et - 14% du rendement soja).

FINLAY (1974) obtient un résultat comparable mais plus marqué, avec 44% de rendement pour le maïs et - 41% pour le soja en culture mixte par rapport à la culture intercalaire.

Ce phénomène peut s'expliquer de deux façons :

- les interférences entre espèces sont plus fortes en culture mixte et la légumineuse y subit une concurrence supérieure;
- en culture intercalaire, la lumière est distribuée de manière plus uniforme à l'espèce la plus courte.

Si cette seconde explication est déterminante, le haricot, tolérant mieux l'ombrage que le soja (ERIKSEN et WHITNEY, 1984), présentera une différence de rendement entre cultures mixte et intercalaire plus réduite que celui-ci; une comparaison entre ces légumineuses sur ce point précis, sera effectuée ultérieurement.

4.1.3 – Comparaison de systèmes mixtes et intercalaires maïs-haricot

Objet

Il s'agit, dans l'essai n° 3, réalisé à Dschang, de comparer trois types d'arrangement spatial :

- culture mixte en vrac, sur le billon (méthode traditionnelle la plus répandue);
- culture mixte rationalisée (en lignes) sur le billon : maïs et haricot mélangés à l'intérieur des lignes;
- culture intercalaire sur le billon : une ligne centrale de maïs flanquée d'une ligne de haricot de chaque côté.

Les variétés de maïs et haricot sont respectivement Z 290 et Bat 95.

Les densités de peuplement, constantes dans les différents systèmes sont, en association, de 40 000 plantes/ha de maïs et 190 000 plantes/ha de haricot (densités trouvées adéquates dans un autre essai).

Ces trois systèmes sont comparés, en semis simultané des espèces, mais également en semant le haricot quinze jours après le maïs; ce décalage de semis a pour effet d'augmenter la concurrence imposée à la légumineuse par la céréale.

Principaux résultats et interprétation

Le tableau V présente les résultats de l'essai n°3.

Tableau V : Rendements et LER des cultures mixtes et intercalaires maïs-haricot.

Systemes	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt haricot (kg/ha)	LER
Culture mixte en vrac	4 875	626 b	1,32
Culture mixte rationalisée	4 960	701 b	1,39
Culture intercalaire	4 733	854 a	1,35
Signification statistique	NS	S	Test
CV (%)	14,7	16	Friedman
ETM (kg/ha)	296	59	

Le traitement statistique sous forme factorielle montre que l'arrangement spatial n'a pas d'effet significatif sur le rendement du maïs, mais influence significativement celui du haricot; comme précédemment pour le soja, le haricot se montre moins productif en culture mixte qu'en culture intercalaire (- 22% de rendement).

Cette baisse est plus conséquente que sur soja où elle n'était pas significative; le haricot s'avérant moins sensible à l'ombrage que le soja (ERIKSEN et WHITNEY, 1984), la différence de distribution de la lumière entre systèmes mixtes et intercalaires n'est pas la cause principale de cette baisse; ce sont donc l'intimité accrue des espèces et l'augmentation de la concurrence du maïs, qui expliquent la baisse de production enregistrée en culture mixte (par rapport à la culture intercalaire).

Comme dans l'essai n° 2, la variation des LER reste faible; la rationalisation du semis en culture mixte n'apporte aucun avantage de production globale ou de rendement d'une des espèces, par rapport à la disposition en « vrac ».

Les trois LER des systèmes de culture associée, statistiquement équivalents entre eux, dépassent significativement le LER des cultures pures, égal à 1.

4.1.4 – Conclusion sur les arrangements spatiaux

L'essai n° 1 nous a montré l'importance de la combinaison arrangement spatial x densités de peuplement pour la production de l'association.

A la lumière des essais n° 2 et 3, en revanche, il apparaît que l'arrangement spatial, à densités constantes des composantes de l'association, a peu d'effet sur la production globale de celle-ci; les LER ne varient que de 1,17 à 1,21 dans l'essai n° 2 et de 1,32 à 1,39 dans l'essai n° 3, soit une fourchette maximum de 5%.

Le rendement du maïs est maintenu à peu près constant dans une large gamme d'arrangements spatiaux, si sa densité n'est pas modifiée.

La légumineuse, en revanche, se montre moins productive en culture mixte qu'en culture intercalaire, du fait d'une concurrence plus forte du maïs, l'imbrication des plantes étant plus importante.

En première approximation, la culture mixte rationalisée n'offre pas d'intérêt par rapport à la culture mixte en vrac traditionnelle.

L'augmentation de la population totale de l'association par rapport à celle des cultures pures (130 à 140% des densités en pur dans l'essai n° 1) constitue certainement un facteur d'amélioration de cette association; le seuil maximum resterait, bien entendu, à définir.

4.2 – CHOIX DE VARIETES ET DENSITES DE PEUPEMENT ADAPTEES

La densité de peuplement optimale d'une association est généralement supérieure à celle de chaque culture pure car ses composantes n'utilisent pas les mêmes ressources au même moment; chaque composante sera en revanche moins dense que sa culture pure (cf. CDE paragraphe 4.1.1). Nos tests de densités de peuplement ont été effectués dans ce sens. Nous avons écarté les essais de densités dits « de remplacement » développés par WILLEY (1972) où une fraction du peuplement d'une espèce de l'association est remplacée par une portion équivalente de l'autre espèce.

4.2.1 – Densités et variétés de maïs en association maïs-soja

Objet

Il s'agit ici de :

- comparer le comportement d'associations culturales incluant soit la variété Cola à développement végétatif moyen, soit le composite Z 290 à fort développement (cf. descriptions variétales paragraphe 3.3.2); en moyenne, Z 290 est plus haut que Cola de 25 cm;
- déterminer sur sol ferrallitique complexe (Dschang) les densités « optimales » de chacune de ces associations.

Deux essais, différants uniquement par la variété de maïs, sont mis en place : essais n° 4 = Z 290, essais n° 5 = Cola.

Huit traitements, comprenant deux témoins de culture pure et six combinaisons des deux espèces à diverses densités de peuplement sont comparés.

Rendements et LER

Le tableau VI présente les principaux résultats des essais 4 et 5.

Rendements : les rendements du soja associé sont significativement inférieurs à ceux du soja pur.

Pour le maïs, en revanche, certains traitements d'association sont équivalents aux traitements de culture pure et déterminent ainsi des combinaisons intéressantes : T₃ avec Z 290, T₅ et T₆ avec Cola.

L'analyse factorielle densité maïs x densité soja ne montre aucune interaction entre ces deux facteurs.

Le soja associé à la variété Cola produit plus que celui associé à Z 290, même relativement au rendement en pur, comme le montre le tableau VII.

Ainsi, le rendement du soja associé au maïs à plus faible développement végétatif est en moyenne supérieur de 21% à celui du soja associé à Z 290, par suite d'une concurrence moindre imposée par la céréale; cela rejoint les résultats obtenus par THOMPSON et al. (1977) qui montrent dans le même cas une supériorité de 17%; cette supériorité est également constatée par WILLEY (1979).

LER : L'analyse statistique non paramétrique montre que tous les LER des traitements d'association sont significativement supérieurs à 1; la production de ces associations est donc toujours supérieure à celle des cultures pures, ce qui constituera une constante dans l'ensemble des essais présentés.

Il est inutile de semer le maïs à forte densité (50 000 plantes/ha) : la compétition entre les espèces s'en trouve accrue et le rendement global n'est pas amélioré; cette augmentation de densité diminue le LER de l'association incluant la variété Z 290.

Tableau VI : Rendements et LER des associations maïs-soja selon les densités et la variété de maïs utilisées.

Traitements	Densités théoriques		Maïs composite Z 290			Maïs variété cola			CDE
	Maïs	Soja	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt soja (kg/ha)	LER LER	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt soja (kg/ha)	LER	
T ₁	60 000	-	2 675	-	1	1 401	-	1	1
T ₂	-	400 000	-	1 021	1	-	1 325	1	1
T ₃	38 000	260 000	2 400	495*	1.40	954*	775*	1.27	1.28
T ₄	38 000	310 000	1 816*	588*	1.26	909*	922*	1.37	1.41
T ₅	38 000	370 000	1 911*	591*	1.30	1 094	864*	1.46	1.56
T ₆	50 000	250 000	2 214*	480*	1.31	1 185	700*	1.41	1.46
T ₇	50 000	300 000	2 057*	489*	1.24	1 003*	810*	1.33	1.58
T ₈	50 000	350 000	1 928*	517*	1.25	1 017*	871*	1.40	1.71
Sign. statistique			HS	HS	Test	S	HS	Test	
CV (%)			11.5	15.6	FRIEDMAN	20.9	13.4	FRIEDMAN	
ETM			100	38		92	49		

* Rendements différant statistiquement du témoin de culture pure (test de DUNNETT, P = 0,05).

Tableau VII : Rendements relatifs du soja selon la variété de maïs et les densités considérées.

Traitement	Densités théoriques		Avec Z 290 essai n° 4	Avec COLA essai n° 5
	Maïs	Soja		
T ₃	38 000	260 000	0,49	0,59
T ₄	38 000	310 000	0,58	0,71
T ₅	38 000	370 000	0,59	0,67
T ₆	50 000	250 000	0,47	0,54
T ₇	50 000	300 000	0,48	0,61
T ₈	50 000	350 000	0,52	0,66
Moyenne	-	-	0,52	0,63

Les LER les plus élevés ne correspondent pas aux populations totales les plus fortes; cela signifie que le « surrendement » n'est pas dû seulement à une augmentation de la pression de population mais bien également à des caractéristiques propres à l'association.

Les densités réelles, enregistrées à la récolte pour les différents traitements, sont présentées en annexe 15 a; ainsi, les combinaisons les plus intéressantes présentent les densités suivantes :

- avec Z 290, T₃ = 38 000 plantes/ha de maïs et 240 000 plantes/ha de soja;

- avec Cola, T₅ = 36 000 plantes/ha de maïs et 290 000 plantes/ha de soja l'utilisation d'un maïs à moindre développement que le composite Z 290 permet donc d'augmenter la densité de la légumineuse associée.

Comparaison des Competitive Ratios (CR)

Les calculs sont effectués avec les densités réelles (de récolte, cf. annexe 15 a); les résultats sont présentés dans le tableau VIII.

En moyenne, Z 290 est plus compétitif de 24% par rapport à Cola; les densités de population, comme la variété de maïs utilisée, ont un effet net sur la compétitivité de la céréale. Celle-ci est, bien entendu, plus compétitive que le soja, ce qui est dû en partie à son effet d'ombrage sur la légumineuse. Plusieurs auteurs dont FARIS et al. (1983) rapportent que la céréale est toujours plus compétitive que la légumineuse associée.

Tableau VIII : Competitive Ratios en association maïs-soja, selon la variété de maïs utilisée.

Traitement	Densités théoriques		CR Z 290	CR Cola
	Maïs	Soja		
T ₃	38 000	260 000	1,79	1,13
T ₄	38 000	310 000	1,27	1,00
T ₅	38 000	370 000	1,47	1,46
T ₆	50 000	250 000	1,23	1,19
T ₇	50 000	300 000	1,30	0,98
T ₈	50 000	350 000	1,30	1,03
Moyenne	-	-	1,40	1,13

On remarquera que les traitements présentant les LER les plus élevés sont ceux où le maïs est le plus compétitif (T₃ avec Z 290, T₅ avec Cola); cela est évident puisque le maïs intervient pour une part plus importante que le soja dans le LER, avec un rendement relatif souvent voisin de 1.

Comparaison des deux variétés de maïs en association

L'utilisation de la variété de maïs à moyen développement (Cola), moins compétitive vis-à-vis de la légumineuse que la variété Z 290, permet de maintenir des densités de peuplement élevés et des LER satisfaisants (T₅, T₆ et T₈).

Cependant, la variété Z 290 se montre deux fois plus productive que Cola et l'association incluant cette variété améliorée est plus rémunératrice que celle incluant Cola (cf. produits bruts en annexe 15 b); cette association doit cependant être conduite avec une densité de maïs ne dépassant pas 40 000 ou 45 000 plantes/ha; au-delà de ce peuplement, le maïs nuit à la production globale en élevant le degré de compétition interspécifique.

4.2.2 – Comportement de quatre variétés de soja en cultures pure et associée

Objet

L'objet de l'essai n° 6 est l'étude de l'interaction variété de soja x système de culture (pure ou associée).

La vulgarisation de nouvelles variétés de soja nécessite en effet une étude préalable de leur comportement en culture associée. Quatre variétés de soja, performantes en culture pure, sont utilisées dans cet essai.

Principaux résultats

Les résultats obtenus à Dschang sont présentés dans le tableau IX.

Tableau IX : Comportement de quatre variétés améliorées de soja, associées ou non au maïs.

Traitements	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt soja (kg/ha)	Rdt relatif Maïs	Rdt relatif soja	LER
Maïs pur	7 461	-	1	0	1
IRAT 278 pur	-	2 726	0	1	1
IRAT 274 pur	-	3 231	0	1	1
IRAT 273 pur	-	2 534	0	1	1
20-133-NCD pur	-	2 715	0	1	1
IRAT 278 x maïs	6 832	1 075	0,93	0,40	1,33
IRAT 274 x maïs	6 408	1 240	0,87	0,40	1,27
IRAT 273 x maïs	5 975	1 198	0,81	0,49	1,30
20-133-M-C-D x maïs	6 526	1 229	0,89	0,47	1,36
Significativité	NS	HS			
CV (%)	17	7	-	-	-
ETM (kg/ha)	456	57			

N.B. : Rendements relatifs et LER calculés par la méthode de la « valeur intrablocs »

La présence du soja, quelque soit la variété utilisée, n'affecte pas significativement le rendement du maïs.

En ce qui concerne le rendement du soja, en revanche, l'analyse factorielle montre une **interaction significative** variété x système cultural; la décomposition du facteur système cultural donne :

En culture pure

IRAT 274 a
 IRAT 278 b
 20-133-MCD b
 IRAT 273 c

En culture associée

IRAT 274 a
 20-133-MCD a
 IRAT 273 a
 IRAT 278 b

N.B. : Les rendements des variétés affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement à $P = 0,05$ (test de Duncan).

Interprétation

L'interaction mise en évidence prouve que le comportement d'une variété donnée de soja diffère selon qu'elle est cultivée individuellement ou associée au maïs; ainsi, IRAT 278, se montre plus par le maïs que les autres variétés (effet d'ombrage ?); FINLAY (1975) a également observé ces différences de comportement entre soja cultivé en pur et soja associé au maïs.

La morphologie et la durée du cycle biologique de l'espèce dominée (soja) ne semblent pas avoir d'influence sur le maïs, comme le montre le tableau X.

Tableau X : Caractéristiques des variétés de soja associées au maïs.

Variété	Hauteur plante (cm)	Cycle (j)	Rdt relatif maïs
IRAT 273	55	112	0,81
IRAT 278	57	117	0,93
IRAT 274	60	129	0,87
20-133-MCD	71	135	0,89

Concurrence croissante

Le LER des traitements d'association significativement supérieurs à 1, ne diffèrent pas entre eux; l'association incluant la variété 20-133-MCD présente un compromis intéressant pour la production de chaque espèce et un LER élevé.

Sur le plan des produits bruts à l'hectare, en revanche, c'est l'association incluant IRAT 278 qui se montrerait la plus favorable puisque faisant une plus large place au maïs dans la production globale.

Enfin, la mise en évidence d'une interaction variété de soja x système cultural milite pour l'étude systématique du soja en culture associée par les sélectionneurs.

4.2.3 – Comparaison d'associations incluant des haricots déterminés et semi-déterminés à deux densités

Objet

L'objet de l'essai n° 7 est la comparaison d'associations culturales incluant soit une variété de haricot déterminée dite « naine », Bat 95, soit une variété semi-déterminée dite « volubile », Porrillo 693.

Des densités de population différentes sont également testées afin de faire varier la concurrence interspécifique.

Principaux résultats

Le tableau XI rassemble les principaux résultats.

L'analyse factorielle des rendements ne montre aucune interaction significative des facteurs variété et densité.

D'après le test de Dunnett, seul le rendement du maïs de T₅ équivaut statistiquement celui du maïs pur.

En ce qui concerne le rendement du haricot, la variété utilisée présente un effet significatif (P 693 supérieure) alors que la densité reste sans effet.

Le test de Friedman réalisé sur les LER montre comme précédemment une supériorité des traitements d'association sur ceux de culture pure, sans distinction entre eux.

Tableau XI : Effets des variétés et densités de haricot sur la production de l'association maïs-haricot.

Traitements	Densité maïs récolté (plantes/ha)	Densité haricot récolté (plantes/ha)	Rendement maïs (kg/ha)	Rendement haricot (kg/ha)	LER	CR maïs	Rendement énergétique (MCal/ha)
T ₁ maïs pur	55 000	-	6 715	-	1	1	23,8
T ₂ P 693 pur	-	272 000	-	1 439	1	1	4,9
T ₃ Bat 95 pur	-	272 000	-	1 257	1	1	4,3
T ₄ maïs x P 693	35 000	190 000	5 038*	774	1,33	1,51	20,5
T ₅ maïs x Bat 95	35 000	190 000	5 429	620	1,34	1,78	21,4
T ₆ maïs x P 693	37 000	230 000	4 553*	885	1,32	1,37	19,2
T ₇ maïs x Bat 95	37 000	230 000	4 433*	600	1,16	1,72	17,8
Signif. statistique			HS	HS	Test		
CV (%)			17	13	Friedman		
ETM (kg/ha)			363	51			

* Rendements différant statistiquement du témoin de culture pure P = 0,05 (DUNNET).

Interprétation

* **Rendements** : comme pour l'association maïs-soja, l'augmentation de densité de la légumineuse n'a pas d'effet sur son rendement propre; cependant, plus encore que pour le soja, cette augmentation de densité réduit la production de maïs : une baisse significative de rendement de la céréale (- 18%) est enregistrée avec Bat 95 (T₇). La comparaison de T₄ et T₅ est favorable à T₅, car Porrillo 693 diminue le rendement du maïs en s'enroulant autour (- 400 kg/ha); cette baisse n'est certainement pas compensée par le gain en haricot (+ 150 kg/ha), dû à l'utilisation d'une variété volubile.

* **Compétitive Ratios (CR)** : comme l'examen des rendements le laissait deviner, le pouvoir de compétition du maïs vis-à-vis du haricot nain est plus élevé que vis-à-vis du haricot volubile (CR moyen d'1,75 contre 1,44).

* **Rendements énergétiques** : le traitement T₅ est également le plus productif des traitements d'association sur le plan énergétique et le maïs en culture pure le dépasse de 11%. D'après AIDAR et VIEIRA (1979), une association maïs-haricot aux mêmes densités que T₅ produit 20 à 23 MCal/ha pour des LER de 1,26 à 1,42; nos résultats se situent parfaitement dans cette fourchette.

* **La composition « optimale »** trouvée avec le traitement T₅ (environ 190 000 plantes/ha haricot et 35 000 plantes/ha maïs) est proche de celle obtenue par plusieurs auteurs; FRANCIS (1978), particulièrement, considère que la densité optimale du haricot nain associé au maïs est de 200 000 plantes/ha. Selon ces auteurs, les rendements relatifs du haricot se situent autour de 0,55-0,60; ceux de notre essai compris entre 0,50 et 0,55, seraient donc un peu inférieurs, en raison sans doute de la présence d'une variété de maïs à plus fort développement, donc plus compétitive vis-à-vis de la légumineuse.

4.2.4 – Conclusion sur les facteurs variété et densité

Les essais 4 et 5 ont montré l'effet de la morphologie (tout particulièrement la taille) de la plante dominante sur le comportement de l'association; les variétés de maïs issues des programmes de sélection doivent être testées en association avant d'être vulgarisées.

Il apparaît clairement que cet effet variétal de concurrence peut être modulé en jouant sur les densités respectives des composantes de l'association.

Quelle que soit la légumineuse associée une population maximum de 40 000 plantes/ha de maïs à fort développement (soit deux tiers de la densité en pur) doit être envisagée; ceci est en accord avec de nombreux résultats dont ceux de SAYED GALAL (1974) et IBRAHIM et al. (1977).

Il semble qu'une population de 35 000 plantes/ha de ce même maïs puisse être considérée comme minimale.

L'intérêt des variétés déterminées de haricot par rapport aux semi-déterminées, qui concurrencent le maïs et rendent plus pénible la récolte, mérite d'être relevé.

L'interaction génotype x système cultural, obtenue sur la légumineuse dans l'association maïs-soja souligne la nécessité de tester la tolérance à l'ombrage des variétés de soja sélectionnées; cette interaction a été constatée sur haricot par FRANCIS et al. (1978).

Des densités respectives d'environ 240 000 plantes/ha de soja et 190 000 plantes/ha de haricot (soit 60% de la densité en pur) paraissent appropriées en culture associée avec le maïs.

Il se confirme que l'association culturale supporte des peuplements totaux plus importants que la culture pure (CDE optimum autour de 140% avec Z 290); cela explique en partie sa supériorité de rendement sur les cultures pures. Cette supériorité de densité, propre à l'association, est relevée par WILLEY (1979a).

ASSOCIATION MAIS-SOJA

PHOTO 1 :

à Dschang



PHOTO 2 :

à Foumbot



4.3 – EFFET DE DATES DE SEMIS SUR LA PRODUCTION DE L'ASSOCIATION

4.3.1 – Echelonnement du semis dans l'association maïs-soja

Objet

Le maïs, plante de base de l'association, est parfois semé avant la légumineuse par les agriculteurs de l'Ouest; on pourrait envisager à l'inverse de semer la légumineuse avant le maïs, afin de diminuer la concurrence imposée par la céréale.

Dans l'essai n° 8 réalisé à Dschang, ces deux systèmes de semis «décagé» sont comparés à un semis simultané des deux espèces et à des témoins de culture pure.

Variétés : Z 290 et IRAT 278, densités de semis : 40 000 plantes/ha maïs x 250 000 plantes/ha soja.

Résultats et interprétation

La figure 4 fournit une représentation des résultats de rendements des systèmes associés comparés (cf. résultats complets en annexe 16 a).

Un retard de semis du soja par rapport au maïs associé diminue fortement le rendement de la légumineuse (- 51% significatif) et augmente le rendement de la céréale (+ 19% significatif).

A l'inverse, un retard de semis du maïs par rapport au soja diminue le rendement de la récolte (- 17% significatif) et augmente le rendement de la légumineuse (+ 32% significatif).

Un simple calcul des produits bruts à l'hectare résultant des différents traitements comparés montre que le gain obtenu sur la première espèce semée ne compense jamais la perte enregistrée sur la seconde espèce semée (cf. annexe 16 b).

Le semis simultané des deux espèces semble donc être le plus avantageux; les agriculteurs lui préfèrent parfois un semis du maïs avant la légumineuse, qui permet d'accroître la production de la céréale.

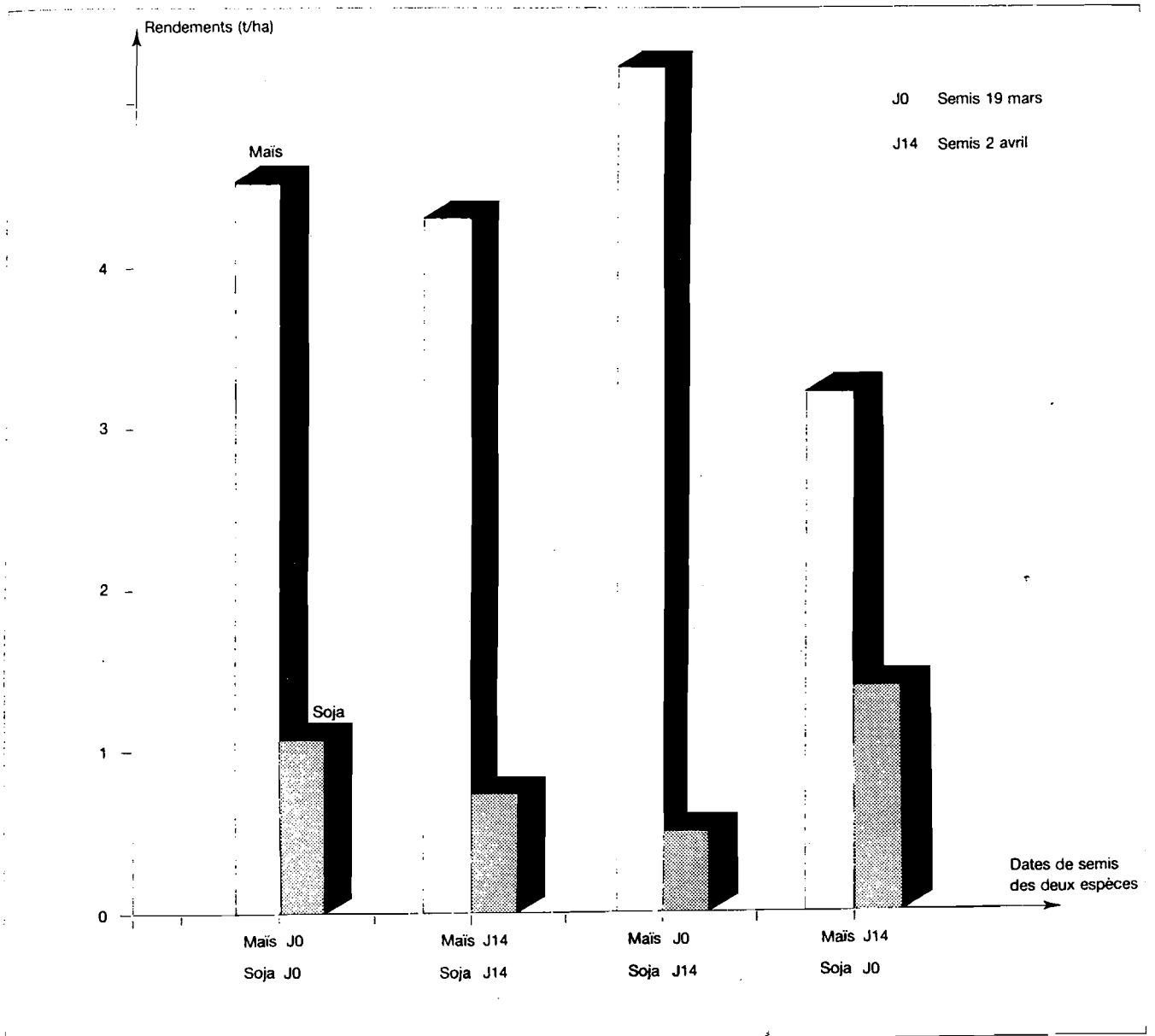


Figure 4 : Rendements de l'association maïs-soja, en semis simultané ou échelonné.

4.3.2 – Retard de semis du haricot dans l'association maïs-haricot

Résultats de rendements et produits bruts

L'essai n° 3, déjà analysé dans le paragraphe 4.1.3, comparait trois arrangements spatiaux de la culture mixte, en semis simultané ou en retardant de quinze jours le semis du haricot.

* **Rendements** (cf. annexe 17) : un retard de semis du haricot associé produit des effets significatifs, positif sur le rendement du maïs (+ 17%) et négatif sur le rendement du haricot (- 52%).

Traitements	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt haricot (kg/ha)
Maïs J0 Haricot J0	4 471	983
Maïs J0 Haricot J14	5 242	471

La comparaison simplifiée des produits bruts à l'hectare de ces deux traitements se révèle intéressante.

* **Produits bruts à l'hectare** : comme pour l'association maïs-soja, le semis simultané semble légèrement préférable sur le plan économique : en vendant le maïs 75 CFA/kg et le haricot 130 CFA/kg et en négligeant les différences de temps de travaux induites par un décalage du semis d'une espèce, on obtient les produits bruts suivants :

- produit brut en semis simultané = 463 100 CFA/ha;
- produit brut en retardant le semis de haricot = 454 400 CFA/ha.

Cela représente seulement 2% de différence entre les deux systèmes (3% de différence avec soja, précédemment).

Interprétation

FRANCIS et al. (1982) ont obtenu, en décalant le semis de haricot de dix jours, un gain de rendement en maïs de 24% et une perte de rendement en haricot de 35%, ce qui est tout à fait comparable à nos résultats.

Ces observations sont logiques : la première espèce semée colonisant le sol et l'espace aérien plus tôt que l'autre, se montre plus compétitive vis-à-vis de cette dernière (cf. les études de biomasse dans le chapitre V).

OSIRU et WILLEY (1976) et FISHER (1976) montrent également que le semis simultané des deux espèces associées procure à l'agriculteur un revenu supérieur à celui issu d'un semis échelonné de la céréale et de la légumineuse; cependant, comme dans notre expérimentation, la différence n'est pas très importante.

4.3.3 – Conclusion sur le retard de semis de la légumineuse

D'après nos résultats, un retard de semis de quinze jours de la légumineuse a le même effet sur l'association qu'il s'agisse du haricot ou du soja.

Ce retard de semis entraîne, par rapport au semis simultané :

- un gain significatif de production du maïs : + 17% à 19% (environ 750 kg/ha);
- une perte significative de production de la légumineuse : - 51% à - 52%;
- une baisse de revenu négligeable de 2 à 3%.

Il semble donc évident, que les agriculteurs de l'Ouest-Cameroun, dont la préférence va à la céréale, la sèment parfois avant la légumineuse.

4.4 – FERTILISATION DES ASSOCIATIONS MAIS-LEGUMINEUSE

4.4.1 – Effets des fumures azotées et phospho-azotées sur l'association maïs-soja

Objet

Il s'agit d'étudier, en sol ferrallitique (Dschang) et en sol ando-volcanique (Foumbot), la valorisation d'une fertilisation azotée (essai n° 9) et phospho-azotée (essai n° 10); les variétés utilisées sont Z 290 et ISRA-IRAT 3/73; les engrais sont l'urée dosée à 45% et le phosphate tricalcique dosé à 34%, épandus à la volée sur les parcelles; les densités de semis en association sont de 39 000 plantes/ha maïs et 237 000 plantes/ha soja.

On compare deux niveaux de fumure (moyenne et forte) aux témoins sans engrais; la fumure forte 60N - 100P correspond à celle proposée aux services de vulgarisation pour le maïs en culture pure sur sols ferrallitiques à revêtement cendreaux.

Les neuf traitements testés dans chaque essai sont définis dans le tableau XII.

Tableau XII : Traitements des essais de fertilisation n° 9 et n° 10.

Traitement	Fertilisation N		Fertilisation NP	
	Culture	Fumure	Culture	Fumure
T ₁	Maïs	Sans	Maïs	Sans
T ₂	Soja	Sans	Soja	Sans
T ₃	Maïs-soja	Sans	Maïs-soja	Sans
T ₄	Maïs	40 N	Maïs	30 N-50 P
T ₅	Soja	40 N	Soja	30 N-50 P
T ₆	Maïs-soja	40 N	Maïs-soja	30 N-50 P
T ₇	Maïs	80 N	Maïs	60 N-100 P
T ₈	Soja	80 N	Soja	60 N-100 P
T ₉	Maïs-soja	80 N	Maïs-soja	60 N-100 P

Résultats de rendements et LER

Les résultats de rendements et LER des essais n° 9 et 10 sont présentés dans le tableau XIII.

Tableau XIII : Rendement et LER en culture pure ou associée, fertilisée ou non (traitements définis tableau XII).

Traitements	Fertilisation N											
	Dschang			Foumbot			Dschang			Foumbot		
	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt soja (kg/ha)	LER	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt soja (kg/ha)	LER	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt soja (kg/ha)	LER	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt soja (kg/ha)	LER
T ₁	2 612	-	1	7 578	-	1	5 109	-	1	7 909	-	1
T ₂	-	2 169	1	-	2 055	1	-	2 255	1	-	2 415	1
T ₃	3 302	939	1.68	4 771	853	1.05	5 123	791	1.38	5 565	1 196	1.20
T ₄	4 347	-	1	7 240	-	1	5 941	-	1	8 927	-	1
T ₅	-	2 210	1	-	2 405	1	-	2 449	1	-	2 190	1
T ₆	4 168	886	1.37	4 880	794	1.01	5 212	967	1.31	5 664	1 349	1.27
T ₇	5 862	-	1	7 291	-	1	6 530	-	1	8 931	-	1
T ₈	-	2 438	1	-	2 252	1	-	2 343	1	-	2 380	1
T ₉	5 364	888	1.30	4 566	680	0.93	6 105	1 021	1.39	5 120	1 184	1.11
CV (%)	21.0	11.5		10.2	16.2		14.9	16.8		9.9	17.1	
ETM	± 367	± 75		± 252	± 100		± 345	± 113		± 284	± 125	
KHI ² Friedman			12.0			2.35			8.6			10.0

La recherche des effets factoriels est effectuée pour chaque espèce en prenant :

- facteur A = système de culture, à deux niveaux : A₁ pur, A₂ associé;
- facteur B = fertilisation, à trois niveaux : B₁ sans fumure, B₂ fumure moyenne et B₃ fumure forte.

Le tableau XIV donne la signification statistique des résultats.

Tableau XIV : Signification des effets factoriels (au seuil de 5 %).

Plante	Effet	Sol ferrallitique		Andosol	
		Apport N	Apport NP	Apport N	Apport NP
Maïs	Effet système de culture A	NS	NS	A ₁ > A ₂	A ₁ > A ₂
	Effet fumure B	B ₃ > B ₂ et B ₁	B ₃ > B ₂ et B ₁	NS	B ₂ et B ₃ > B ₁ *
Soja	Effet système de culture A	A ₁ > A ₂	A ₁ > A ₂	A ₁ > A ₂	A ₁ > A ₂
	Effet fumure B	NS	NS	NS	NS

* Sur culture pure uniquement.

Interprétation sur les rendements et LER

* Rendements du maïs

Aucune interaction des facteurs A et B n'existe, sauf dans le cas de la fumure NP à Foubot, dont l'effet n'est significatif qu'en culture pure. Cela signifie, qu'à l'exception de ce dernier cas, la valorisation de l'engrais par le maïs est identique en culture pure et associée. La fertilisation de l'association présente un effet significatif sur le rendement du maïs en sol ferrallitique et à forte dose, uniquement.

La présence du soja ne diminue la production du maïs qu'en andosol ; le rendement relatif du maïs est, en effet, de 0,99 à Dschang et 0,64 seulement à Foubot; cette constatation sera confirmée et analysée dans le chapitre VII.

* Rendements du soja

Aucune interaction des facteurs A et B n'existe. Le rendement du soja est significativement diminué par la présence du maïs, quel que soit le niveau de fumure. La fertilisation n'a aucun effet sur la production du soja, qu'il soit cultivé en pur ou en association.

* Land Equivalent Ratios (LER)

Les tests statistiques non paramétriques (Friedman, Kramer) montrent que les LER des traitements « cultures associées » sont toujours significativement supérieurs à ceux des traitements « culture pure », sauf pour la fertilisation azotée à Foubot.

Les LER diminuent lorsque l'on passe du sol ferrallitique (moyenne Dschang = 1,41) à l'andosol plus riche (moyenne Foubot = 1,1); l'association maïs-soja serait plus apte que les cultures pures à exploiter un sol à niveau de ressources moyen et son intérêt deviendrait moins net en milieu riche.

Les LER diminuent lorsque la fumure azotée simple augmente (1,37 à 0 N - 1,19 à 40 N - 1,12 à 80 N), ce qui signifie que la culture associée valorise moins bien cet azote que les cultures pures; cette constatation n'est valable que pour l'apport d'azote seul, auquel la légumineuse associée ne répond pas : aucune évolution nette du LER avec le niveau de fumure phospho-azotée n'est constatée.

La diminution du LER lorsque le niveau d'apport d'azote augmente est rapportée par de nombreux auteurs; parmi ceux-ci, SURYATNA et HARWOOD (1976) voient le LER passer de 1,50 à 1,20, lorsque l'on apporte 80 unités d'azote à l'association maïs-soja.

Ces tendances ne doivent pas inciter à conclure que la fertilisation azotée est inutile en culture associée maïs-soja; elles signifient simplement que la valorisation de la fertilisation est moindre qu'en culture pure, du fait d'une concurrence accrue imposée à la légumineuse par la céréale; l'avantage relatif (le « surrendement ») de l'association par rapport aux cultures pures diminue en présence d'engrais, mais son rendement global augmente dans l'absolu; cette augmentation de production globale peut, le cas échéant, rentabiliser l'utilisation d'engrais (cf. chapitre VI).

Rendements protéiques des différents systèmes

Ce rendement protéique a été calculé pour l'essai n° 9 à Dschang (cf. annexe 8); son évolution avec les différents traitements est représentée dans la figure 5.

Alors que l'apport de 40 N n'augmente pas la production protéique de l'association, celui de 80 N induit un supplément de 25 kg d'azote/ha dans les graines (153 kg protéines/ha).

Selon le niveau de fertilisation considéré, l'association produit 1,5 à trois fois plus de protéines qu'une culture pure de maïs; cette association produit 80 à 85% de protéines fournies par une culture pure de soja.

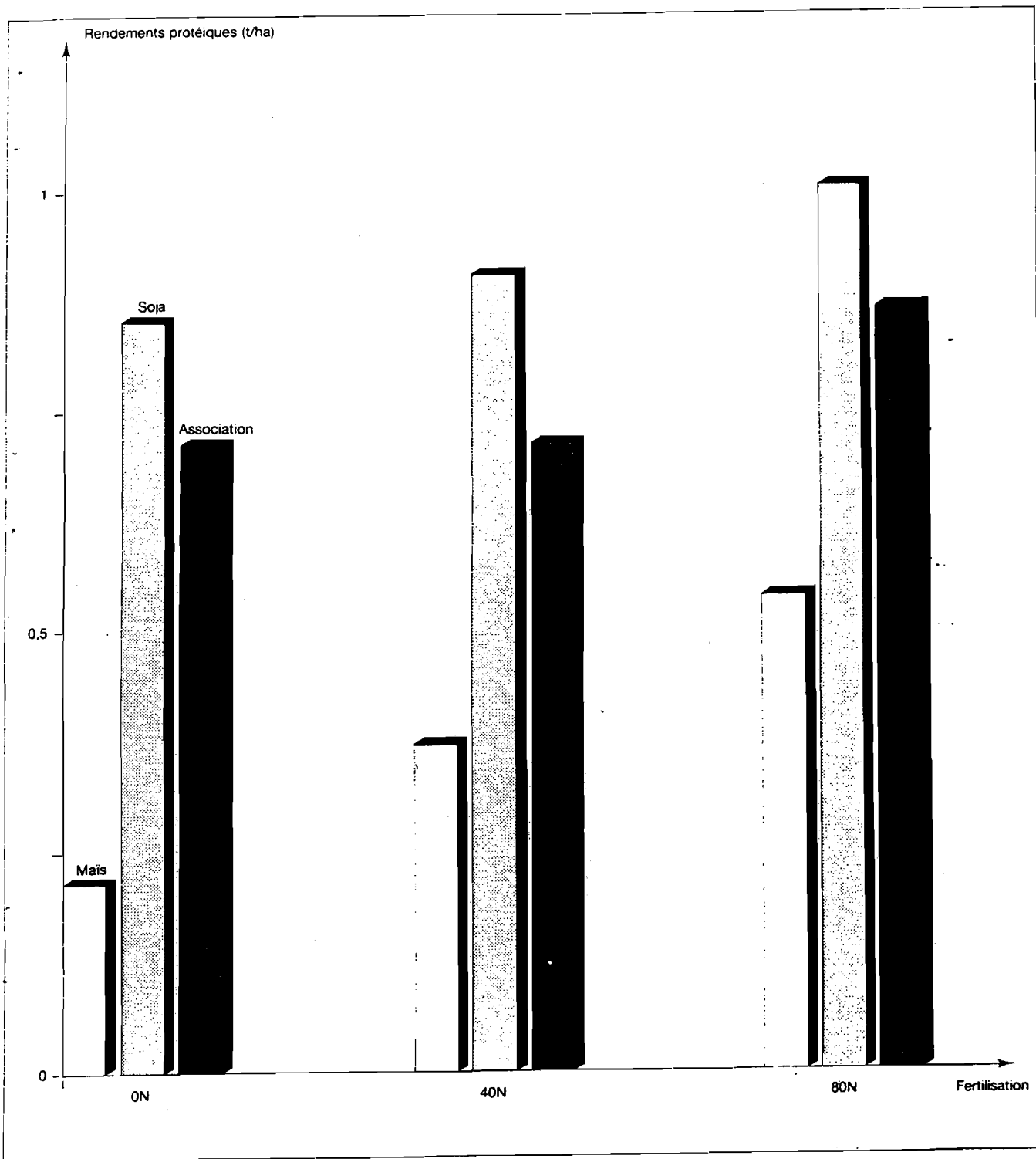


Figure 5 : Rendements protéiques des cultures pures et associées de maïs et soja, avec ou sans engrais azoté.

Rendements énergétiques des différents systèmes

Les résultats, obtenus avec les normes définies dans le chapitre III et présentés en annexe 18, sont représentés sur la figure 6.

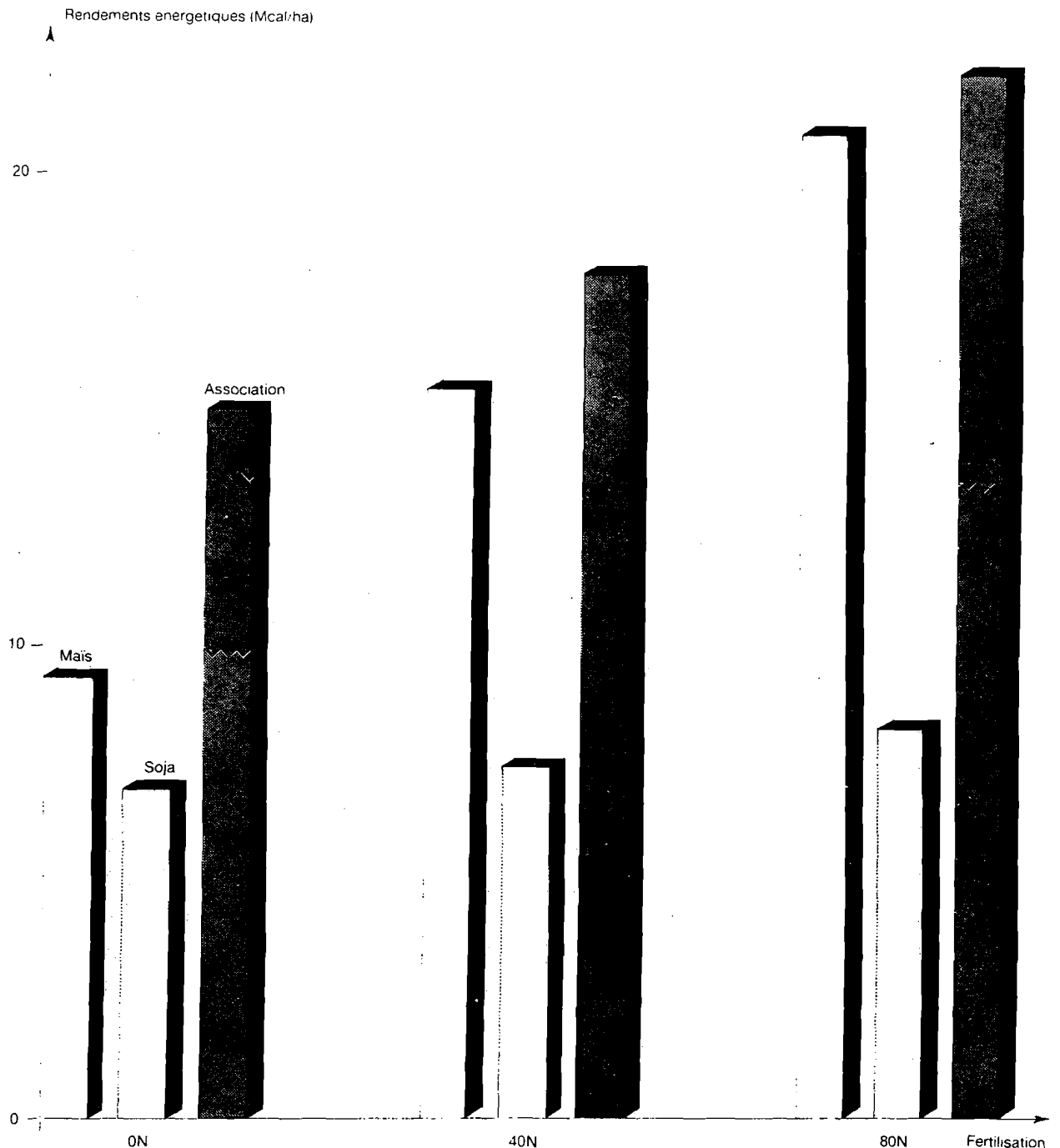


Figure 6 : Rendements énergétiques des cultures pures et associées de maïs et soja, avec ou sans engrais azoté.

Alors que le rendement protéique de l'association restait inférieur à celui d'une des cultures pures (soja), le rendement énergétique dépasse ceux des cultures pures, quelles qu'elles soient.

4.4.2 - Apports fractionnés d'azote dans l'association maïs-soja

Objet

L'essai n° 11 a pour but d'apprécier l'intérêt éventuel d'un apport échelonné d'azote (urée) à l'association, par comparaison à un apport au semis, en sol ferrallitique complexe de Dschang. Aux systèmes témoins et ceux recevant 80 N, sont comparés les systèmes (purs et associés) recevant 50 N lors du semis puis 30 N à 50 jours après semis.

Les variétés utilisées sont Z 290 et IRAT 278. Les densités de semis en association sont de 39 000 plantes/ha maïs et 237 000 plantes/ha soja.

Principaux résultats

Ils sont présentés dans le tableau XV.

Tableau XV : Effets d'un apport échelonné d'azote sur l'association maïs-soja.

Traitements	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt soja (kg/ha)	LER
Maïs pur - 0 N	4 695	-	1
Soja pur - 0 N	-	2 368	1
M x S - 0 N	3 864	1 015	1,29
Maïs pur - 50 N semis + 30 N à 50 JAS	7 221	-	1
Soja pur - 50 N semis + 30 N à 50 JAS	-	2 780	1
M x S - 50 N semis + 30 N à 50 JAS	6 486	889	1,23
Maïs pur - 80 N semis	7 652	-	1
Soja pur - 80 N semis	-	2 796	1
M x S - 80 N semis	6 500	894	1,17
Signification stat.	HS	HS	
CV (%)	12	17	
ETM (kg/ha)	291	123	

Le traitement factoriel des résultats de rendements des deux espèces met en évidence un effet significatif du facteur « système cultural », au bénéfice des cultures pures; le facteur « fumure », lui n'a d'effet significatif que sur le maïs : les traitements avec apport au semis (7 076 kg/ha en moyenne) et échelonné (6 854 kg/ha en moyenne) sont supérieurs aux témoins (4 280 kg/ha), sans distinction entre eux (test Duncan à $P = 0,05$).

Interprétation

Comme précédemment, le LER de l'association semble diminuer lorsque l'on apporte de l'azote.

L'apport échelonné d'urée à l'association n'augmente pas la production par rapport à un épandage lors du semis.

4.4.3 – Fumure azotée dans l'association maïs-haricot

Objet

L'essai n° 12 a pour but, comme précédemment avec le soja, d'étudier les réponses comparées des cultures pures et associées à des apports croissants d'azote.

Les variétés utilisées sont Z 290 et Bat 95; les densités de semis sont de 37 000 plantes/ha maïs et 192 000 plantes/ha haricot.

Neuf traitements sont comparés à Dschang dans un essai à deux facteurs :

- facteur fertilisation à trois niveaux : nulle, moyenne, forte;
- facteur système cultural à trois niveaux : maïs pur, soja pur, association.

Principaux résultats

Les résultats de rendements et LER sont donnés en annexe 19 a; la figure 7 représente l'évolution des rendements en fonction de la fertilisation.

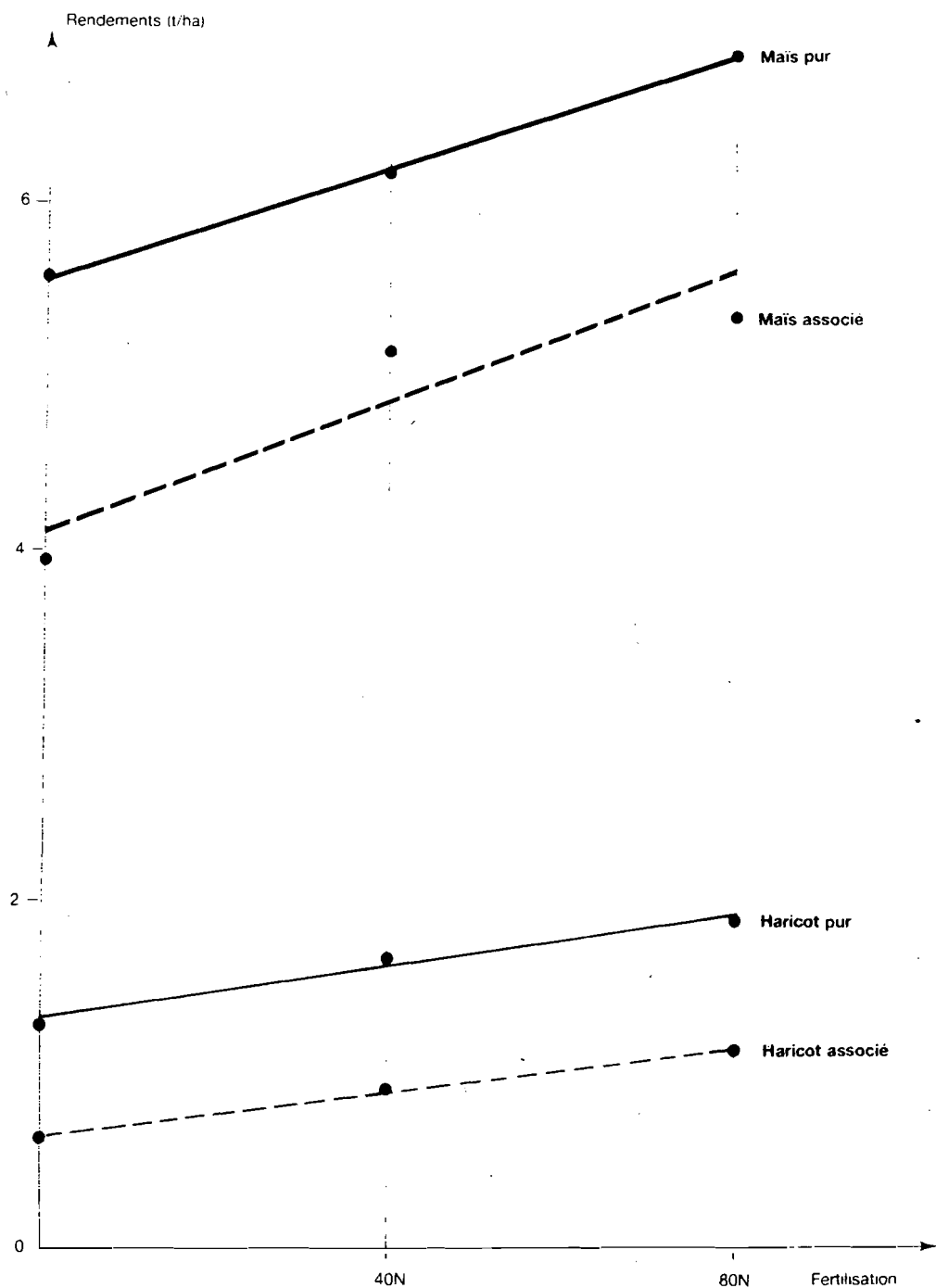


Figure 7 : Réponse linéaire des cultures pures et associées de maïs et haricot à l'engrais azoté.

L'analyse factorielle des rendements de chaque espèce montre un effet significatif des systèmes de culture (pur > associé) et des fumures, sans interaction entre ces deux facteurs; la recherche des degrés de réponse à

l'azote met en évidence une réponse **linéaire** des deux espèces, quel que soit le système cultural considéré (cf. annexe 19 b).

Enfin, les LER sont de :

- 1,25 en l'absence d'azote;
- 1,42 au niveau de fumure 40 N;
- 1,41 au niveau de fumure 80 N.

Interprétation

Contrairement à ce qui se passait pour l'association maïs-soja, le LER semble augmenter (ou du moins ne pas diminuer) avec la fertilisation azotée; le haricot associé, à l'inverse du soja, répond positivement à l'azote, sans doute du fait d'un système fixateur moins actif (cf. paragraphe 5.5); la fumure forte augmente en effet le rendement du maïs associé de 35% seulement et celui du haricot associé de 79%; FARIS (1983) obtient des résultats allant dans le même sens; selon lui, les deux espèces associées répondant à l'engrais, on ne diminue pas le « surrendement » de l'association par rapport aux cultures pures en fertilisant celle-ci.

4.4.4 – Fertilisation phospho-azotée dans l'association maïs-haricot

Objet

Dans cet essai n° 13, on compare aux témoins sans engrais des traitements recevant une fumure phospho-azotée moyenne ou forte. L'essai est conduit dans deux types de sols, à Dschang et Foumbot.

Les variétés utilisées sont Z 290 et Bat 95; les fertilisants sont l'urée et le Supertriple dosés à 45%.

Les densités de semis en association sont :

- à Dschang : 40 000 plantes/ha maïs et 200 000 plantes/ha haricot;
- à Foumbot : 34 000 plantes/ha maïs et 171 000 plantes/ha haricot.

Des observations de verse à Foumbot nous ont, en effet, conduit à diminuer les peuplements sur ce site de sol plus riche.

Principaux résultats

Ceux-ci sont présentés dans le tableau XVI.

Tableau XVI : Effet de la fertilisation NP en culture associée maïs-haricot.

Traitements	Sites			
	Dschang		Foumbot	
	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt haricot (kg/ha)	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt haricot (kg/ha)
Maïs - 0 FERII	3 268	-	5 483	-
Haricot - 0 FERII	-	1 121	-	1 213
Maïs - 80 N - 100P	5 450	-	7 276	-
Haricot - 80 N - 100 P	-	1 504	-	1 297
M x H 0 FERII	2 744	424	2 880	614
M x H - 40 N-50 P	3 481	485	4 677	652
M x H - 80 N - 100 P	3 874	593	4 395	770
Signif. statistique	HS	HS	HS	HS
CV (%)	20	15	13	17
ETM (kg/ha)	315	46	266	59

L'analyse factorielle montre un effet significatif de la fumure 80 N-100 P sur les rendements des deux espèces, à l'exception du haricot à Foumbot (test Duncan, $P = 0,05$).

Le rendement en culture pure des deux espèces est significativement supérieur à leur rendement en culture associée.

Des interactions fumure x système cultural sont constatées dans deux cas : sur maïs à Foumbot et sur haricot à Dschang.

Interprétation

Les rendements relatifs du maïs (0,79 à Dschang et 0,66 à Foubot) restent inférieurs à ceux obtenus dans l'association maïs-soja, montrant ainsi que le maïs pourrait être plus concurrencé par le haricot que par le soja.

La réponse du maïs associé à la fumure NP est inférieure à celle du maïs cultivé en pur à Foubot (interaction système cultural x fertilisation), mais lui est équivalente à Dschang.

Cette interaction avait été constatée dans les mêmes conditions (Foubot, fumure NP) en association maïs-soja; la valorisation de l'engrais par le maïs associé serait donc équivalente à celle du maïs pur, sauf pour NP en sol riche où cette valorisation serait inférieure.

Le haricot répond significativement à l'apport de 80 N - 100 P à Dschang (+ 37%), contrairement au soja qui ne montrait aucune réponse.

Sur ce même site, le rendement relatif du haricot passe de 34% sans engrais à 40% avec engrais; le haricot associé présente donc une réponse à l'engrais NP supérieure à celle du haricot pur (interaction).

La fumure forte NP en sol ferrallitique (Dschang) a un effet équivalent sur les deux espèces associées (+ 37% de rendement du haricot, + 41% de rendement du maïs).

4.4.5 – Fertilisation de l'association maïs-haricot en paysannat

Objet

L'essai n° 14 a été conduit en cinq sites paysannaux de l'Ouest sur sol ferrallitique rouge : Dschang, Bansoa, Bamendou, Bamendjou et Bandjoun. Il comprenait quatre niveaux de fertilisation et trois répétitions par site, soit douze parcelles d'environ 30 m², toutes cultivées en association.

L'azote est apporté sous forme d'urée (45%), le phosphore sous forme de phosphate bicalcique (38%).

Les variétés sont le maïs Z 290 et le haricot Bat 95. Les densités de semis, choisies par l'agriculteur à l'intérieur d'une fourchette proposée

par l'IRA variant de 30 000 à 43 000 plantes/ha pour le maïs et 130 000 à 200 000 plantes/ha pour le haricot (cf. annexe 20 a).

Les apports combinés NP précédents ayant semblé trop riches en P, les formules testées ici sont du type (40 N - 40 P)n.

L'agriculteur effectue le semis et le contrôle des adventices, l'IRA s'associant aux travaux de récolte.

Résultats de rendements

Les rendements obtenus sur chaque site sont donnés en annexe 20 b; les moyennes de rendements sur l'ensemble des sites sont données dans le tableau XVII.

Tableau XVII : Réponse de l'association maïs-haricot à la fertilisation en paysannat.

Traitement	Maïs		Haricot	
	Rendements (kg/ha)	% Témoin	Rendements (kg/ha)	% Témoin
0	2 722 c	100	497 b	100
80 N	3 440 b	126	604 a	122
40 N - 40 P	3 414 b	125	622 a	125
80 N - 80 P	4 213 a	155	636 a	128
Signif.	S		S	
Int. stat. CV (%)	9,5		11,7	
ETM (kg/ha)	147		31	

N.B. : Les chiffres affectés d'une même lettre ne diffèrent pas significativement (Newman et Keuls, $P = 0,05$).

Les cinq sites présentant des sols très voisins, il n'y a pas d'interaction fumure x localité; le tirage des parcelles sur chaque site était aléatoire (randomisation différente); il est donc possible d'effectuer une analyse de variance globale sur l'ensemble des sites (cf. tableau XVII).

Interprétation

Les deux espèces associées répondent significativement aux fumures testées; sur maïs, la fumure forte combinée (80 N - 80 P) a un effet supérieur aux autres fumures alors que sur haricot les trois niveaux de fumure ont un effet identique.

Le degré de réponse (pourcentage du rendement) des deux espèces aux fumures 80 N et 40 N - 40 P est sensiblement équivalent.

Une analyse économique de ces résultats est présentée dans le chapitre VI.

La figure 8 regroupe les réponses de l'association maïs-haricot à la fertilisation phospho-azotée sur la station de Dschang (essai 13) et en paysannat (essai 14).

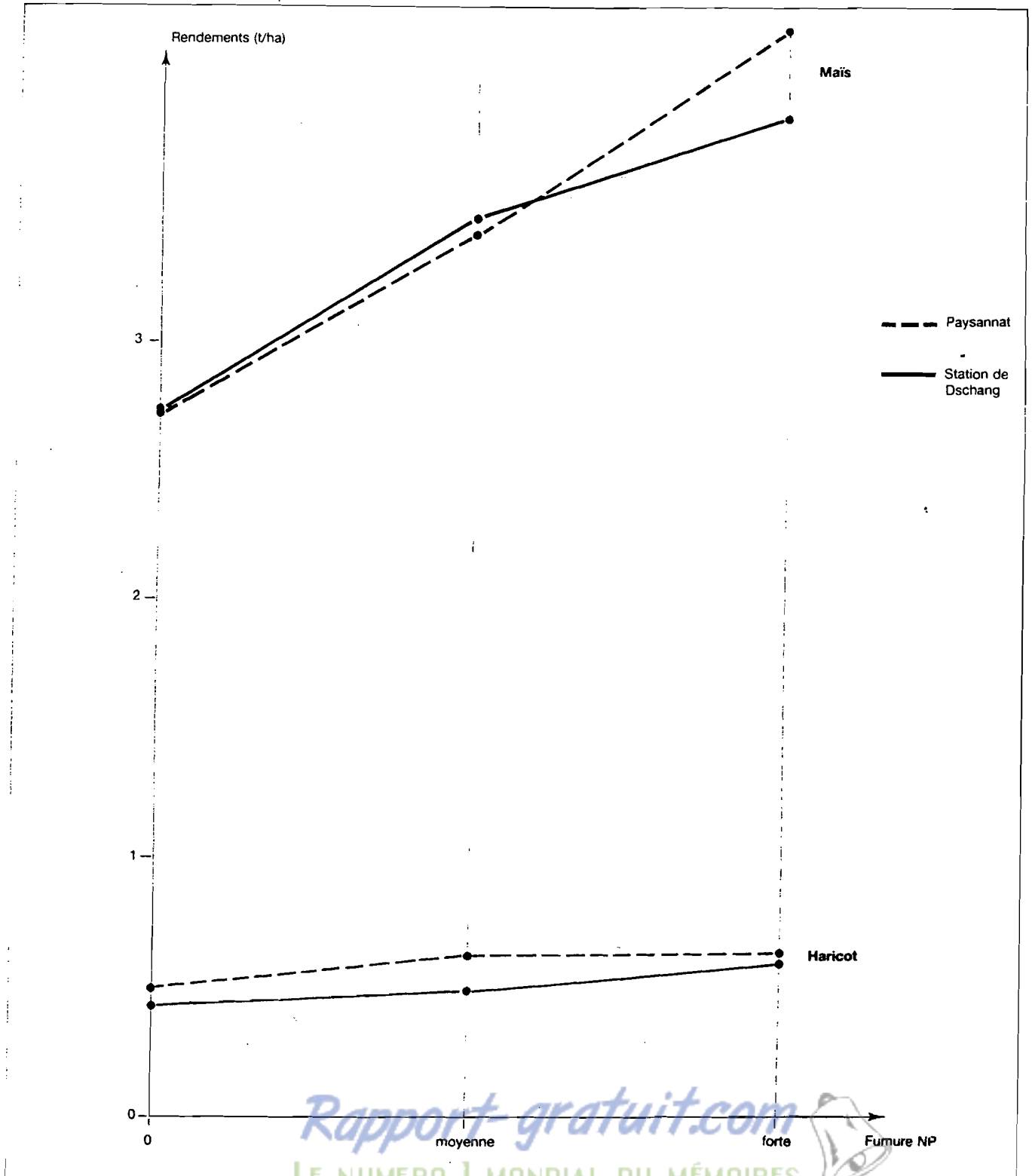


Figure 8 : Réponse de l'association maïs-haricot à la fumure combinée NP.

Les réponses à l'engrais sont du même ordre en station et en paysan-
nat; le maïs semble cependant mieux répondre à l'engrais NP à forte dose
sur les sols paysannaux, un peu moins riches que le sol ferrallitique
complexe de Dschang.

4.4.6 – Conclusion sur la réponse de l'association aux engrais

Le maïs associé répond, souvent de façon linéaire, aux apports
d'engrais en sols ferrallitiques rouges et complexes; sa réponse aux
fumures fortes azotées et phospho-azotées est toujours significative.

La valorisation des engrais par le maïs associé est équivalente à ^{leur} ~~sa~~
valorisation en culture pure en sol ferrallitique puisque aucune interac-
tion système cultural x fumure n'existe.

En andosol, le maïs associé à une légumineuse ne répond pas à la
fumure alors que le maïs en culture pure répond à la fumure NP (interac-
tion significative).

La production du soja associé, comme celle du soja en culture pure
n'est pas modifiée par l'apport d'engrais.

Le haricot associé au maïs répond significativement aux apports
d'engrais en sol ferrallitique; cela peut s'expliquer par une fixation
symbiotique inférieure à celle du soja et donc une dépendance accrue vis-
à-vis de l'azote du sol; cela peut s'expliquer également par une concu-
rence du maïs et du haricot pour les éléments minéraux inférieure à celle
du maïs et du soja; ce dernier aspect sera étudié dans le chapitre V.

Le haricot associé semble mieux valoriser la fumure phospho-azotée
que le haricot cultivé individuellement.

Le LER de l'association maïs-soja diminue généralement en andosol,
chimiquement plus riche; cette association serait donc réellement bénéfici-
que sur le plan agronomique, en sol de fertilité moyenne, mais beaucoup
moins en sol riche; cette diminution ne se retrouve pas sur l'association
maïs-haricot.

Le LER de l'association maïs-soja diminue en présence d'engrais azoté,
ce qui va tout à fait dans le sens de la constatation précédente; cette
diminution ne se retrouve pas non plus en association maïs-haricot.

Une approche économique de la fertilisation est effectuée dans le chapitre VI afin de déterminer les fumures rentables en culture associée.

4.5 – EFFET PRECEDENT CULTURAL DES ASSOCIATIONS MAIS-SOJA ET MAIS-HARICOT

Présentation

Un essai de comparaison des associations maïs-haricot et maïs-soja, l'essai n° 15, a été mis en place à Dschang; afin d'effectuer une comparaison agronomique relativement rigoureuse, nous avons introduit dans cet essai :

- deux niveaux d'azote : 0 et 80 N;
- la prise en compte des arrière-effets des différents traitements comparés, sur une culture pure de haricot de seconde campagne (septembre à décembre).

Les variétés utilisées sont Z 290, Bat 95 et IRAT 274. Les densités de semis en association sont de :

- 40 000 plantes/ha maïs et 200 000 plantes/ha haricot;
- 40 000 plantes/ha maïs et 240 000 plantes/ha soja.

Rendements et arrière-effets des différents systèmes

Ces résultats sont présentés dans le tableau XVIII.

Tableau XVIII : Rendements et arrière-effets de systèmes purs et associés de maïs et légumineuse.

Traitements		Rendement Maïs (kg/ha)	Rdt légumineuses (kg/ha)		Rdt haricot deuxième campagne
Cultures	Fertilisation		Soja	Haricot	
Maïs pur	0	5 765	-	-	2 041 bc
Haricot pur	0	-	-	1 618	2 339 ab
Soja pur	0	-	3 644	-	2 008 c
M x haricot	0	5 067	-	713	2 331 ab
M x soja	0	4 942	2 094	-	1 698 d
Maïs pur	80 N	8 319	-	-	2 022 c
Haricot pur	80 N	-	-	1 899	2 529 a
Soja pur	80 N	-	3 781	-	1 866 cd
M x haricot	80 N	6 792	-	804	2 398 a
M x soja	80 N	7 535	1 867	-	1 912 cd
Int. stat.		HS	HS	HS	HS
CV (%)		13.5	5.8	14	10
ETM (kg/ha)		352	68	70	90

N.B. : LER calculés par la méthode de la valeur « intrabloc »

N.B.2 : Les chiffres affectés d'une même lettre ne diffèrent pas significativement (test DUNCAN - P = 0,05).

* En premier cycle cultural, l'effet positif de l'engrais azoté est significatif sur le maïs et le haricot qu'ils soient purs ou associés; il n'y a pas d'effet significatif de l'azote sur le soja mais une interaction de cet azote avec le système de culture (analyse factorielle); le rendement relatif du soja est en effet diminué par l'apport d'azote, en raison d'une concurrence accrue du maïs (LER = 0,58 sans N et 0,49 avec 80 N); alors que le soja cultivé en pur n'est pratiquement pas affecté par l'azote (+ 4%), le soja associé répond négativement à cet azote (- 11%):

Rendements (kg/ha) et signification (Duncan)

- soja pur sans N	3 644 a
- soja pur avec N	3 781 a
- soja associé sans N	2 094 b
- soja associé avec N	1 867 c

Cette différence de réponse du haricot et du soja à la fertilisation de l'association a déjà été constatée (paragraphe 4.4.6).

* Les deux légumineuses ont un effet statistiquement identique sur le maïs associé, en l'absence d'engrais; en présence d'engrais, en revanche, le soja, qui ne profite pas de celui-ci, se montre plus favorable au maïs que le haricot (supériorité de 740 kg/ha du maïs associé au soja sur le maïs associé au haricot).

* En ce qui concerne l'arrière-effet sur une culture pure de haricot :

. L'apport d'azote de première campagne n'a pas d'effet sur le haricot de seconde campagne.

. En revanche, les systèmes associés ou purs présentent des arrière-effets différents sur le haricot cultivé en pur; l'association maïs-haricot présente un arrière-effet significativement supérieur à celui de l'association maïs-soja (+ 25 à 37%); cette dernière laisse sans doute des reliquats moins importants après récolte; l'étude comparée de l'absorption minérale des associations maïs-haricot et maïs-soja, présentée dans le chapitre V, nous permettra d'expliquer cette différence.

. En, l'absence d'engrais, l'association maïs-haricot présente un arrière-effet équivalent à celui des cultures pures; l'association maïs-soja, par contre présente un arrière-effet inférieur à celui des cultures pures, sans doute parce qu'elle absorbe de manière plus complète les éléments minéraux (complémentarité entre espèces).

. On retiendra donc que la prise en compte des arrière-effets des différents systèmes sur un second cycle cultural est essentielle pour apprécier leur rentabilité (cf. chapitre VI)

4.6 - POSSIBILITES D'AMELIORATION D'UNE ASSOCIATION TERNAIRE MAIS-HARICOT-MACABO (Xanthosoma)

4.6.1 - Objet et réalisation pratique

L'essai n° 16 a pour but de tester à Dschang et Foubot les possibilités d'améliorer un modèle de culture mixte traditionnelle (« en vrac ») à trois plantes par les densités de peuplement et la fertilisation.

Variétés : maïs Z 290, cycle de 140 jours; haricot local Bafoussam C 84 (PH 347), cycle de 90 jours; macabo local, blanc, cycle de 10 mois.

Dates de semis : macabo le 7 mars, maïs et haricot les 12-13 mars.

Densités de semis en culture pure :

- maïs = 53 500 à 62 500 plantes/ha (variables selon le site seulement);
- haricot = 252 000 à 296 000 plantes/ha;
- macabo = 10 000 à 11 700 plantes/ha.

Densités en associé :

- macabo = 9 000 plantes/ha;
- maïs et haricot : densités variant selon les traitements.

Densités du traitement « témoin traditionnel » (associé) :

- maïs = 30 000 plantes/ha;
- haricot = 40 000 plantes/ha;
- macabo = 9 000 plantes/ha (DUCRET, GRANGERET, 1986).

Neuf traitements sont comparés :

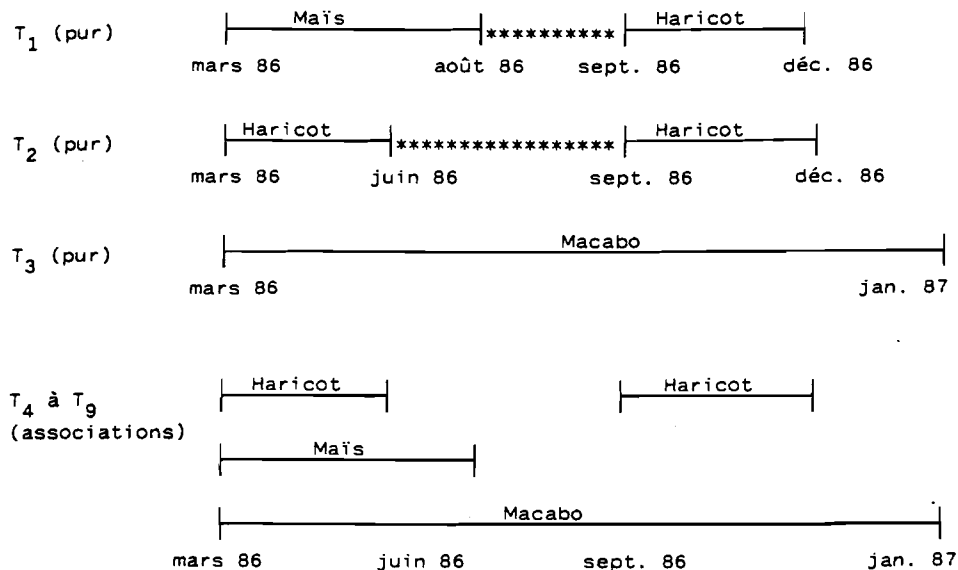
- trois traitements de culture pure des différentes espèces;
- quatre traitements d'associations à densités différentes;
- deux traitements d'associations à densités différentes, fertilisées.

Type de fertilisation (deux traitements seulement) :

- N = urée dosée à 45%;
- P = Supertriple dosé à 45%;
- K = chlorure de potasse dosé à 60%.

Mise en place d'une culture dérobée de haricot : en septembre, après les récoltes de haricot et maïs, une autre culture de haricot est mise en place dans toutes les parcelles, sauf celles avec macabo pur (couverture du sol trop importante). Ce haricot se situe donc en culture dérobée dans les macabos, précédemment associés au maïs et au haricot de première campagne; il s'y trouve semé à 40 000 plantes/ha.

Ainsi à Dschang, les calendriers culturaux sont les suivants :



4.6.2 – Résultats de rendement et interprétation

Rendements

Ceux obtenus à Dschang sont donnés dans le tableaux XIX.

Tableau XIX : Rendements des cultures pures et associées de maïs, haricot et macabo à Dschang.

Traitements	Rdt maïs (kg/ha)	Rdt haricot (kg/ha)	Rdt macabo (kg/ha)*	Rdt haricot (kg/ha) (2° CAMP)
T ₁ : maïs pur	5 390	-	-	2 212 a
T ₂ : haricot pur	-	1 063 a	-	2 146 a
T ₃ : macabo pur	-	-	12 368	-
T ₄ : maïs (a) x haricot ** (b) x macabo	4 408	368 c	1 021	507 b
T ₅ : maïs (a) x haricot (c) x macabo	4 141	583 b	1 014	394 b
T ₆ : maïs (b) x haricot (b) x macabo	4 483	315 c	1 056	453 b
T ₇ : maïs (b) x haricot (c) x macabo	4 420	573 b	847	507 b
T ₈ : maïs (a) x haricot (b) x macabo fert.	4 989	454 bc	5 827	396 b
T ₉ : maïs (b) x haricot (c) x macabo fert.	4 994	581 b	3 778	344 b
Int. statistique	NS	HS	HS	HS
CV (%)	17	19	65	17
ETM (kg/ha)	321	44		62

* Tubercules secondaires uniquement.

** T₄ est le témoin « traditionnel ».

(a) 30 000 pieds/ha ; (b) 40 000 pieds/ha ; (c) 80 000 pieds/ha.

**, * Fertilisation sur T₈ et T₉ uniquement : 60 N-60 P semis + 60 N - 80 P à 90 JAS.

A Foubot, trois semaines de sécheresse en avril ont affecté la production de maïs et le haricot a subi des attaques de grillons (% moyen levée = 39%); les résultats ne sont pas fiables et sont simplement donnés en annexe 21.

On notera cependant que le faible peuplement de haricot à Foubot profite de façon nette au macabo associé, qui se trouve beaucoup moins concurrencé qu'à Dschang (cf. photos). Sur associations non fertilisées, le rendement relatif moyen du macabo passe en effet de 0,09 à Dschang à 0,16 à Foubot (doublement).

Interprétation des résultats de Dschang

* Le haricot associé de premier cycle cultural voit sa production significativement accrue :

- lorsque l'on augmente sa propre densité;
- lorsque l'on augmente simultanément les densités de la céréale et de la légumineuse, c'est-à-dire la population totale de l'association (CDE).

Un doublement de densité de ce haricot produit un gain de rendement de 70%.

Il semble exister un effet de la fertilisation sur le rendement du macabo associé; en moyenne, ce rendement est multiplié par cinq; cependant, le coefficient de variation trop élevé interdit toute signification statistique à ces résultats (parcelles ne comprenant que 18 pieds de macabo en culture associée).

Le macabo subit un effet dépressif des deux autres espèces, surtout lorsque l'on augmente leurs densités (T_7); son rendement relatif reste, en effet, inférieur à 10%; nous avons vu que cet effet dépressif s'atténue à Foubot où la population réelle de haricot était inférieure.

En ce qui concerne le maïs et le haricot de second cycle cultural, aucun effet significatif des facteurs testés (densité et fertilisation) sur la production n'est constaté.

4.6.3 - LER et rendements relatifs

Les rendements relatifs de chaque espèce puis le LER, calculés par la méthode des valeurs intrablocs, sont présentés dans le tableau XX.

Tableau XX : Rendements relatifs, LER et CDE des systèmes associés ternaires non fertilisés à Dschang.

Traitements*	Rdt relatif maïs	Rdt relatif haricot	Rdt relatif macabo	LER	CDE
T ₄	0,828	0,363	0,085	1,28	1,62
T ₅	0,782	0,555	0,099	1,44	1,78
T ₆	0,825	0,299	0,112	1,24	1,81
T ₇	0,810	0,553	0,083	1,45	1,97
Moyenne	0,811	0,443	0,095	1,35	
En % du LER	60	33	7	100	

* Les quatre traitements ont été caractérisés dans le tableau XIX.

AYUK-TAKEM et CHHEDDA (1985), associant le maïs et le macabo aux mêmes densités que dans cet essai obtiennent des rendements relatifs en tubercules de 55 à 65%, alors qu'ils varient ici de 8 à 11%.

Le macabo se montre donc particulièrement concurrencé, dans nos systèmes associés : seule la fertilisation, nous l'avons vu, lui permet d'être plus compétitif.

La participation du haricot au « surrendement » de l'association est accrue si l'on augmente son peuplement (rendements relatifs moyens de 0,33 à 40 000 plantes/ha et de 0,55 à 80 000 plantes/ha); cela prouve une nouvelle fois l'importance du facteur densité pour la production de la légumineuse associée.

L'association à forte densité de haricot (T₅) et celle à peuplement total élevé (T₇) présentent des LER supérieurs à celui du système traditionnel.

Cependant, ces calculs de LER ne prennent pas en compte la seconde campagne de culture, existant sur certaines parcelles; l'utilisation d'un autre ratio, l'ATER, va permettre d'affiner ces comparaisons.

4.6.4 – Calcul et comparaison des ATER

Une autre voie de comparaison des associations, citée par BALDY (1987), existe lorsque l'on fait intervenir des espèces de cycles biologiques très différents; il s'agit de l'ATER (Area Time Equivalency Ratio), dû à

HIEBSCH et MAC COLLUM (1987) qui est dérivé de LER mais en intégrant la durée d'occupation du sol par chaque culture : (cf paragraphe 3.5.6)

$$ATER = \frac{\sum_{n \text{ espèces}} \text{Rdt relatif } A \times \text{cycle } A \text{ en flux}}{\text{cycle maximum cultures associées}}$$

Avec des cycles de 128 jours pour le maïs, 85 jours pour le haricot n° 1, 92 jours pour le haricot n° 2 et 285 jours pour le macabo, nous obtenons à Dschang :

- ATER de T₄ = 0,64;
- ATER de T₅ = 0,68;
- ATER de T₆ = 0,64;
- ATER de T₇ = 0,68.

L'ATER reste très en dessous de 1, ce qui montre que nos systèmes associés sont de moins bons utilisateurs d'espace-temps que les cultures pures; cela doit être mis en relation avec le rendement relatif très faible du macabo; l'effet pénalisant pour l'association de la culture de cycle long (macabo) est évident; dans cette association ternaire, en effet, seule une culture dérobée de haricot pourra être semée en seconde campagne; en revanche, si l'agriculteur pratique la culture pure, toutes les parcelles, exceptée celle consacrée au macabo, pourront être cultivées « normalement » en seconde campagne.

Les calculs effectués pour les associations céréale-légumineuse étudiées précédemment montrent que les ATER sont toujours supérieurs à 1 et voisins des LER; cela est particulièrement vrai pour l'association maïs-soja, où les cycles des deux espèces ne diffèrent pratiquement pas.

4.6.5 – Rendements énergétiques et protéiques

Rendements énergétiques annuels

Les calculs sont effectués pour le site de Dschang, en utilisant les normes définies dans le paragraphe 3.5.5; les résultats figurent en annexe 22 a.

Les quatre systèmes associés non fertilisés diffèrent peu, celui à fort peuplement total (T₇) ne dépassant le témoin traditionnel que de 2% (20,6 MCal/ha contre 20,1 MCal/ha).

Les traitements d'association sont supérieurs au macabo cultivé en pur (17,9 MCal/ha) et au haricot cultivé en pur (10,9 MCal/ha); ils restent cependant inférieurs au maïs cultivé individuellement (26,7 MCal/ha).

Rendements protéiques annuels

Les teneurs en protéines utilisées sont de 22,5% pour le haricot (WATT et MERILL, 1975) et 5,3% pour le macabo (TRECHE et GUION, 1979); pour le maïs nous disposons de résultats d'analyse sur des prélèvements de graines de l'essai 16 qui donnent :

$T_1 = 6,93\%$, $T_4 = 7,86\%$, $T_5 = 8,36\%$, $T_6 = 7,74\%$, $T_7 = 8,36\%$

Les résultats donnés en annexe 22 b, montrent que le traitement T_7 est le plus satisfaisant des traitements d'association : il surpasse de 10% le traitement traditionnel T_4 , avec 657 kg protéines/ha contre 598 kg protéines/ha.

Le rendement protéique annuel de ces associations reste cependant inférieur à ceux des rotations de cultures pures maïs-haricot et haricot-haricot; cela provient de la faiblesse de production du haricot de culture dérobée par rapport à celui du second cycle cultivé en pur.

4.6.6 - Conclusion sur l'association ternaire

Les associations ternaires testées ici bénéficient comme les associations binaires d'un supplément de rendement par rapport aux cultures pures (25 à 45%); elles assurent donc une meilleure utilisation de l'espace.

La complémentarité temporelle entre ces trois espèces de cycles différents mériterait d'être étudiée; en effet, le macabo occupant la terre dix mois environ et interdisant une culture pure de deuxième campagne, les calculs d'ATER montrent que ces associations utilisent moins bien l'espace-temps que les cultures pures (ATER de 0,64 à 0,70); le phénomène est particulièrement net du fait des faibles performances du macabo associé (rendement relatif de 10%).

L'augmentation des densités de peuplement par rapport au témoin traditionnel profite au haricot; elle accroît le LER et les rendements nutritionnels, mais défavorise le macabo (T_7).

Une autre voie d'amélioration de cette association ternaire résiderait dans la fertilisation NPK sans augmentation de densité (T_8) qui multiplie par cinq ou six la production de macabo; la fertilisation avec augmentation de densité (T_9) se révèle moins intéressante que celle-ci, en raison d'un accroissement de la concurrence interspécifique nuisant à la production de tubercules.

Ainsi, deux options techniques susceptibles d'améliorer la culture mixte de ces trois espèces vivrières mériteraient d'être testées en paysannat :

- augmentation des densités de haricot et maïs;
- fertilisation NPK sans augmentation de densités.

Il conviendrait également de tester le comportement de variétés améliorées de macabo en culture associée; la part du macabo dans la production globale de l'association pourrait, en effet, être accrue en utilisant des variétés moins concurrencées par les espèces de cycle court (céréale et légumineuse).

Le « surrendement », supériorité de rendement de l'association sur les cultures pures, apprécié par le LER, a été constaté régulièrement dans le chapitre IV; nous verrons dans le chapitre VII que le LER moyen dans l'ensemble des expérimentations est de 1,29, ce qui traduit un « surrendement » de 29%.

L'objet principal de ce chapitre est d'essayer d'expliquer ce supplément de rendement en examinant quelques caractéristiques propres aux systèmes de culture associée maïs-haricot et maïs-soja ainsi que les interférences entre espèces.

5.1 – COMPETITION INTERSPECIFIQUE – INTERACTION RACINAIRES

Nous ne reviendrons pas sur la notion de compétition interspécifique pour laquelle un rappel théorique a été effectué dans le paragraphe 1.5.

5.1.1 – Pouvoir de compétition du maïs

Les calculs présentés pour les essais n° 4 et 5 (paragraphe 4.2.1) ont montré que le « Competitive Ratio » (CR) du maïs, dans divers systèmes où il se trouvait associé au soja variait entre :

- 1,3 et 1,8 pour la variété Z 290 à fort développement;
- 1 et 1,5 pour la variété Cola à moyen développement.

Les calculs présentés pour l'essai n° 7 (paragraphe 4.2.3) ont montré que le CR du maïs associé au haricot variait entre 1,4 et 1,8 selon les variétés et densités de haricot utilisées.

Les calculs effectués dans l'essai n° 15 où étaient comparées des associations maïs-haricot et maïs-soja avec ou sans azote (paragraphe 4.5.2) donnent :

CR maïs :	Association M x H	Association M x S
Sans N	1,86	1,34
Avec N	1,80	1,64

FARIS et al. (1983 a et b) ont trouvé des CR du maïs associé au haricot compris entre 1 et 2, ce qui recoupe exactement nos résultats.

Ainsi, le maïs se montre **toujours plus compétitif** que la légumineuse (CR supérieur à 1) dans l'association; la céréale est bien l'espèce dominante.

Cette domination est moindre avec une variété à faible développement du type Cola ou en présence d'un haricot « volubile » plus concurrent.

Le pouvoir de compétition de la céréale semble plus fort vis-à-vis du haricot que du soja; il évolue différemment avec la fertilisation, dans les deux types d'association. Les études de biomasse et d'exportations minérales nous permettront d'explicitier ces phénomènes.

5.1.2 – Effet de la compétition interspécifique sur la légumineuse

Le chapitre IV a montré que la production de la légumineuse associée au maïs était nettement inférieure à celle de la légumineuse cultivée individuellement.

Cette diminution de production peut s'expliquer par :

- l'absence d'une partie des plantes de la légumineuse, puisque son peuplement propre est inférieur en association;
- le remplacement de ces plantes par un certain nombre de plantes de maïs.

L'essai n° 17 réalisé à Dschang, dont les résultats sont présentés dans le tableau XXI permet d'apprécier l'importance relative de ces deux facteurs en culture associée maïs-soja.

Tableau XXI : Effets respectifs de la baisse de densité et de la présence du maïs sur la production du soja.

Traitements	Rendements (kg/ha)	
	Maïs	Soja
Soja pur à 400 000 pl/ha	-	2 373 a
Soja pur à 220 000 pl/ha	-	2 358 a
Soja à 220 000 pl/ha x maïs à 36 000 pl/ha	4 574	873 b
Soja à 220 000 pl/ha x maïs à 44 000 pl/ha	4 967	830 b
Interprétation statistique	NS	HS
CV (%)		13
ETM (kg/ha)		81

La réduction du peuplement de soja cultivé en pur n'a aucun effet sur sa production.

Le remplacement des plantes de soja (45% sont enlevées) par celles de maïs diminue fortement le rendement de la légumineuse.

Cette diminution est donc entièrement due à l'effet « partenaire » du maïs.

5.1.3 – Approche des interactions racinaires dans l'association maïs-soja

Objet

L'objet de cet essai n° 18, réalisé à Dschang, est l'étude de la part des interactions racinaires entre espèces dans le « surrendement » des cultures associées par rapport aux pures. Un dispositif approprié au moyen de plaques métalliques verticales (6 m x 1 m) enfouies dans le sol entre deux lignes d'espèces différentes permettait d'éliminer les interactions racinaires sur l'un des traitements (cf. photo).

Cinq traitements sont comparés :

- T₁ = maïs pur;
- T₂ = soja pur;
- T₃ = culture intercalaire de maïs et soja;
- T₄ = culture intercalaire avec séparation des racines de chaque espèce en interposant des plaques verticales dans le sol;
- T₅ = culture intercalaire avec fosses creusées comme en T₄ mais remplies ensuite de terre sans interposer de plaques (témoin de contrôle).

Variétés : maïs Z 290 et soja IRAT 274.

Densités de population : 250 000 plantes/ha soja x 37 500 plantes/ha maïs.

Fertilisation : 50 K à 64 JAS.

Principaux résultats

Ils sont présentés dans le tableau XXII.

Tableau XXII : Interactions racinaires en culture associée maïs-soja.

Traitements	Rendements (kg/ha)		LER maïs	LER soja	LER**	Maïs	
	Maïs	Soja				Hauteur plante (cm)	Nombre feuilles par plante*
Maïs pur (T ₁)	2 729	-	1	0	1	188,4 a	13,1 a
Soja pur (T ₂)	-	3 448 a	0	1	1	-	-
Maïs x soja (T ₃)	2 708	1 771 b	0,96	0,51	1,47	191,4 a	12,9 a
Maïs x soja avec séparation racines (T ₄)	2 302	1 885 b	0,85	0,55	1,40	154,2 b	9,0 b
Maïs x soja : témoin de contrôle (T ₅)	2 646	1 646 b	0,96	0,48	1,44	185,1 a	12,6 a
Inst. statistique	NS	HS	-	-	-	HS	HS
CV (%)	19	8				3,3	5,3
ETM (kg/ha)	224	78				9,3	0,9

* Nombre de feuilles par plantes : comptées à la floraison du maïs.

** LER calculés par la méthode des valeurs intrablocs.

DISPOSITIF DE SEPARATION DES SYSTEMES RACINAIRES

PHOTO 5 :

les fosses



PHOTO 6 :

les tôles verticales
disposées dans les fosses



Interprétation

Le brassage de terre sur le traitement T_5 n'a pas modifié le comportement de l'association par rapport à T_3 , ce qui permet d'apprécier les interactions racinaires par l'étude des différences entre T_3 et T_4 : ces différences sont dues uniquement à l'interposition de barres entre les racines des deux espèces dans le traitement T_4 .

L'examen des rendements relatifs des deux espèces montre que les interactions racinaires **profitent au maïs** aux dépens du soja; le rendement relatif de la céréale passe en effet de 0,96 à 0,85 (soit - 11%) lorsque l'on supprime ces interactions.

Lorsque l'on sépare les racines des deux espèces, le LER diminue légèrement de 1,47 à 1,40; ce LER reste cependant très au-dessus de 1, ce qui prouve que d'autres facteurs que les interactions racinaires interviennent pour expliquer le « surrendement » de l'association; on peut citer, en particulier, les interactions foliaires des deux espèces associées.

Dans nos conditions d'expérimentation, les interférences racinaires ne semblent pas constituer la principale cause du « surrendement » constaté.

L'hypothèse d'un rôle prépondérant des interactions foliaires pour expliquer le comportement des cultures associées de mil et arachide a été émise par WILLEY et REDDY (1981).

Elle signifierait qu'il vaut mieux manipuler les morphologies foliaires que les structures racinaires pour améliorer les associations céréale-légumineuse (ou spécifiquement maïs-soja).

Les variations importantes de productivité et de compétition (CR) introduites en changeant la taille de la variété de maïs (cf. paragraphe 4.2.1) vont d'ailleurs dans le sens de cette hypothèse.

Il paraît évident que l'association d'une céréale haute, à feuilles plutôt érigées et cycle photosynthétique en C_4 , exigeant une forte intensité lumineuse et d'une légumineuse basse à feuillage horizontal, relativement tolérante à l'ombrage et à cycle photosynthétique en C_3 , utilisera mieux la lumière que les cultures pures.

Enfin les interactions étudiées ici en culture intercalaire, sont **vraisemblablement plus fortes en culture mixte**, d'après ce qui a été prouvé précédemment (imbrication supérieure des plantes, cf. paragraphe 4.1); malheureusement, le dispositif de séparation racinaire serait beaucoup plus complexe à mettre au point pour des systèmes de culture mixte.

5.2 – ETUDE DE LA BIOMASSE PRODUITE

5.2.1 – Présentation

Une analyse des productions de matière sèche finale n'aurait pas permis de mettre en évidence les mécanismes de la compétition mais uniquement les conséquences de celle-ci.

Nous avons donc procédé à l'étude de la dynamique de compétition en comparant les courbes de croissance de chaque espèce de l'association à celles obtenues sur la culture pure correspondante. Les différences constatées sur ces courbes ne pourront être imputées à des différences de cycle entre une même espèce cultivée en pur en association; celles-ci sont en effet inexistantes dans nos essais, contrairement au cas des régions tempérées où l'on note souvent un allongement du cycle en culture associée.

La consultation des résultats de prélèvements montre qu'il faut attendre 60 JAS minimum pour que les phénomènes de concurrence apparaissent. Pour alléger le texte, seuls quelques résultats représentatifs obtenus à Dschang sont présentés.

5.2.2 – Biomasse racinaire

Longueur des racines de légumineuses

La longueur des racines principales des légumineuses n'est pas affectée par la présence du maïs, comme le montre le tableau XXIII.

Tableau XXIII : Longueurs (cm) racinaires des légumineuses associées ou non au maïs (moyenne sur 40 plantes par traitement).

Traitements	Soja essai 8	Soja essai 15	Haricot essai 15	Moyenne
Pur	24,0	17,3	17,8	19,7
Associé	24,2	17,4	16,4	19,3
Int. stat.	NS	NS	NS	NS

Poids unitaires de racine

Les chiffres de pesées unitaires des racines sont, en général, à considérer avec prudence étant donné leur forte variabilité, particulièrement sur maïs où le nombre de plantes par billon est relativement réduit.

Nous avons donc retenu les résultats obtenus sur légumineuses dans l'essai n° 15 :

PR : Poids de matière sèche racinaire en g/plante à 55 JAS (moyennes sur 80 plantes par traitement) :

- PR haricot pur = 2,13
 - PR haricot associé = 2,02
 - PR soja pur = 3,54
 - PR soja associé = 3,62
- CV = 14,8%
ETM = 0,15 g

Le traitement factoriel (système de culture x type de légumineuse) des résultats ne montre **aucun effet de l'association**, mais un effet significatif de la légumineuse utilisée (Newman et Keuls, P = 0,05). L'effet de compétition du maïs sur la légumineuse n'apparaît pas encore à cette date.

Evolution du poids unitaire racinaire

Dans l'essai n° 13, ces pesées ont été effectuées sur des lots issus de prélèvements réalisés à quatre dates s'échelonnant à partir du stade « formation des gousses » du haricot.

Les résultats de pesées sont présentés en annexe 23 et ont permis de tracer la figure 9.

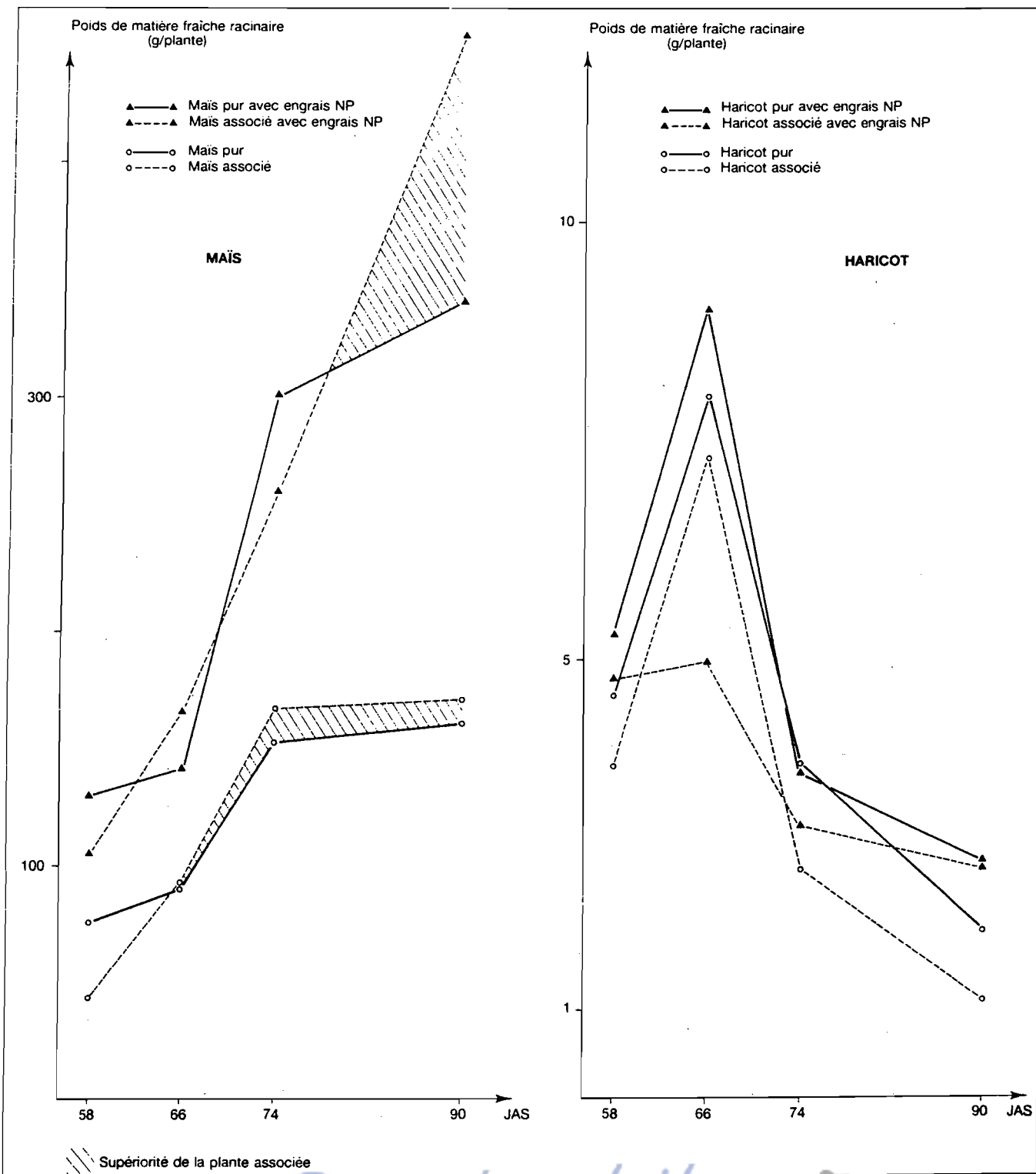


Figure 9 : Évolution des poids unitaires de racines du maïs et du haricot en cultures pures et associées.



Bien qu'aucune exploitation statistique de ces données ne soit possible (cf. annexe 23) une tendance apparaît : les interférences racinaires profiteraient à la céréale aux dépens de la légumineuse. La biomasse racinaire de la légumineuse associée reste en effet inférieure à celle de la légumineuse cultivée en pur; la biomasse racinaire du maïs associé, par contre dépasse celle du maïs pur, lors de la période approximative 65-75 JAS (fin floraison femelle) pour lui rester supérieure ensuite).

L'engrais apporté à l'association profite au système racinaire du maïs et très peu à celui du haricot; sa présence semble accroître l'écart de production de biomasse entre le maïs associé et celui cultivé individuellement.

Des observations réalisées sur profils culturaux dans l'essai n° 15 ont montré :

- que les racines fasciculées du maïs associé se répartissent de façon régulière, dans les 35 premiers centimètres du sol principalement;
- que la majeure partie des racines du haricot se concentre dans les 15 premiers centimètres du sol.

L'interférence racinaire ne peut donc se faire que dans ces 15 cm, entre les quelques grosses racines horizontales de la légumineuse et la partie supérieure du faisceau racinaire du maïs.

Le cas du soja ne diffère pas tellement de celui du haricot, si ce n'est que la croissance de son système racinaire dure plus longtemps.

Le tableau XXIV donne les poids de matière fraîche racinaire de ces deux espèces dans l'essai n° 15.

Tableau XXIV : Evolution comparée des poids de matière fraîche racinaire du soja et du haricot (g/plante).

	30 JAS	70 JAS	90 JAS	110 JAS
Haricot	pur	2,1	3,3	2,5
	associé	1,8	2,0	1,3
Soja	pur	2,5	5,7	6,0
	associé	2,5	5,5	7,4
				Récolté

N.B. : Moyennes sur toutes les plantes d'un billon avec deux répétitions

5.2.3 – Biomasse aérienne

Poids unitaires de matière sèche aérienne

La figure 10 montre l'évolution de ces poids dans l'essai n° 15 (cf. résultats en annexe 24).

Le maïs développe après 60 JAS environ une biomasse aérienne par plante un peu plus importante en culture associée qu'en culture pure; cette tendance se confirme après 70 JAS.

Le haricot voit continuellement sa production de biomasse réduite par la présence du maïs.

Le soja semble enregistrer une concurrence plus tardive de la part du maïs : ce n'est qu'en fin de cycle que la production en culture pure rattrape celle de la culture associée.

Evolution de la production de biomasse aérienne

Un suivi de la production de matière sèche aérienne totale effectuée dans l'essai n° 15, a permis d'établir la figure 11 (cf. résultats en annexe 25).

Les remarques suivantes peuvent être effectuées sur la figure 11 :

- le développement des légumineuses est égal ou supérieur à celui du maïs jusqu'à environ un mois après le semis, puis la tendance s'inverse; cela confirme les résultats de CLARK et FRANCIS (1985) sur l'association maïs-haricot (développement du haricot supérieur à celui du maïs jusqu'au 26^e jour);
- le pic de la production de biomasse est beaucoup plus précoce pour le haricot (autour de 70 JAS) que pour le maïs (après 100 JAS) cela pourrait limiter la compétition minérale entre ces deux plantes l'ombrage devenant l'élément important;
- alors que les courbes du maïs pur et associé sont proches (le maïs associé dépasse même le maïs pur autour de 80 JAS), les courbes des légumineuses associées sont très en-dessous de celles des légumineuses cultivées en pur; ces différences très nettes entre 50 et 60 JAS pour le haricot et après 110 JAS (fin de cycle) pour le soja, traduisent bien la concurrence subie par les légumineuses associées et confirment les résultats de poids unitaires. La forme et la position de ces courbes rejoint celles des courbes obtenues par ALLEN et OBURA (1983) sur maïs et soja;

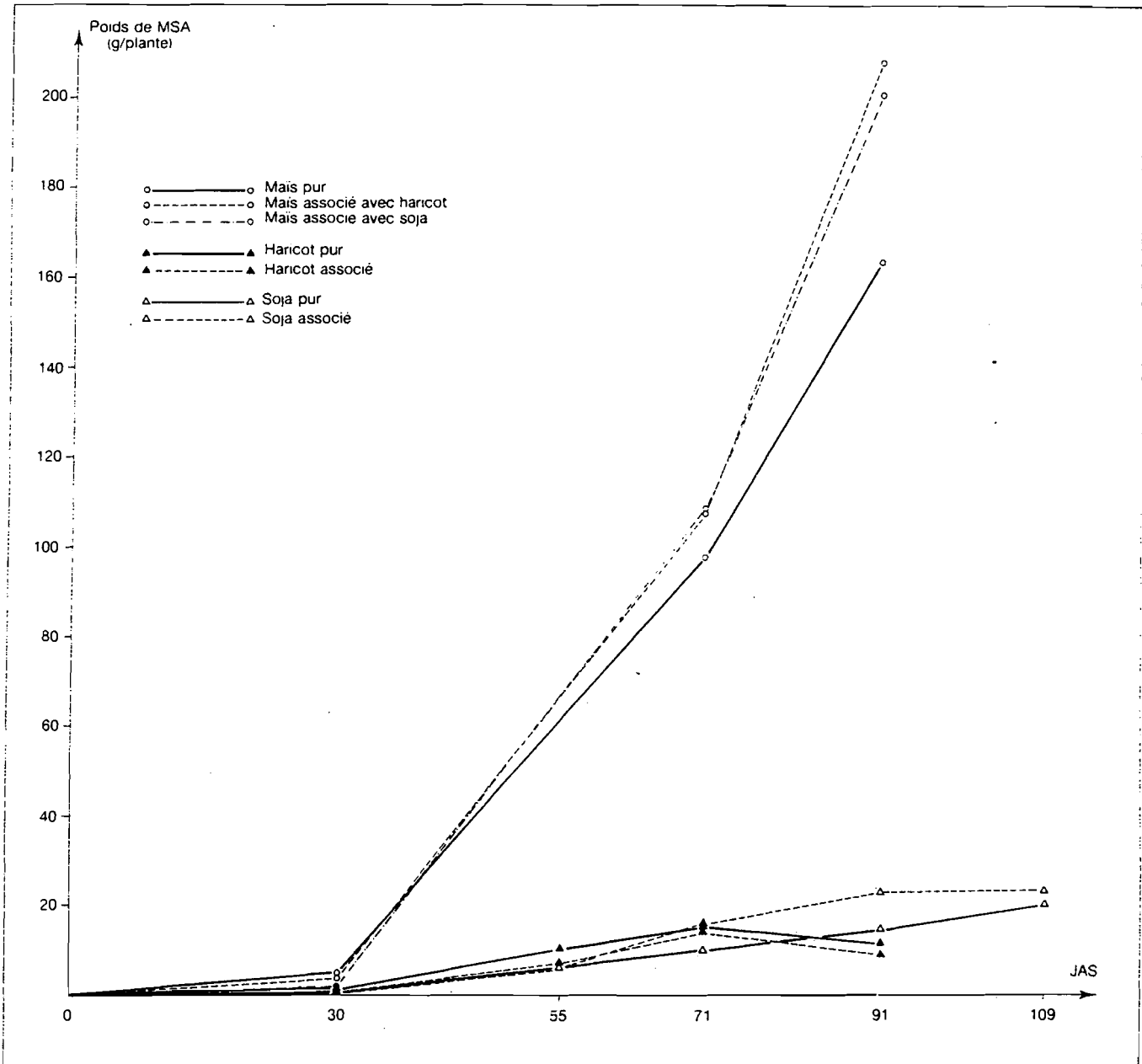


Figure 10 : Évolution du poids unitaire de matière sèche aérienne au cours du temps, en cultures pures et associées maïs-haricot et maïs-soja.

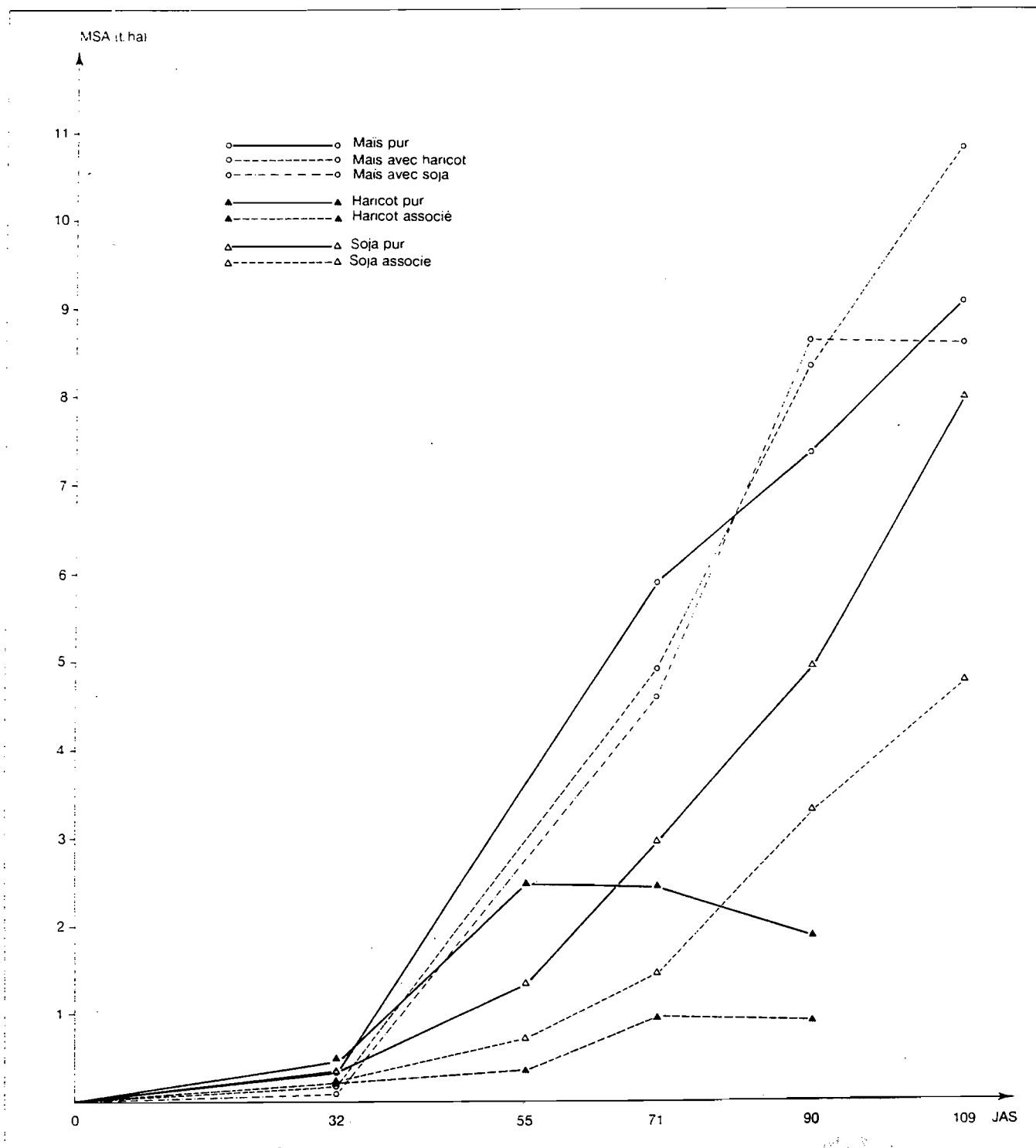


Figure 11 : Évolution de la production de biomasse en cultures pures et associées maïs-haricot et maïs-soja.

- en fin de cycle, le maïs associé au haricot a produit plus de matière sèche que celui associé au soja; la concurrence minérale plus forte entre maïs et soja qu'entre maïs et haricot (cf. période 70 - 110 JAS) pourrait expliquer ce phénomène.

Surface foliaire du maïs

Les surfaces foliaires du maïs ont été calculées dans l'essai n° 15 en mesurant la longueur et la largeur de dix feuilles par plante et dix plantes par traitement et en utilisant ensuite la formule : $S = \text{longueur} \times \text{largeur} \times 0,75$. Les résultats obtenus sont présentés en annexe 26.

L'analyse factorielle des données ne montre aucun effet du système cultural sur la surface foliaire; celle-ci augmente par contre significativement avec l'apport d'engrais (Newman et Keuls à $P = 0,05$). De même, le poids de matière sèche des feuilles de maïs ne semble pas affecté par l'association (cf. annexe 27).

Répartition de la matière sèche aérienne entre les organes

Le tableau XXV établi à partir des données de l'annexe 27 présente la répartition du poids de matière sèche aérienne (MSA) dans l'essai n° 15.

Tableau XXV : Répartition de la matière sèche aérienne selon les organes (%).

Traitements	à 70 JAS		à 90 JAS		
	F	T + G ou T + sp	F	T + G ou T + sp	Graines *
T ₁ maïs pur	42	58	29	43	28
T ₂ haricot pur	25	75	-	31	69
T ₃ soja pur	44	56	31	69	-
T ₄ maïs associé	46	54	21	44	35
T ₄ haricot associé	25	75	-	40	60
T ₅ maïs associé	45	55	20	39	41
T ₅ soja associé	30	70	25	75	-

* Pour le maïs, il s'agit du poids de graines + épis.

N.B. : F = feuilles; T + G = tiges + gousses; T + sp = tiges + spathes.

Le soja associé voit sa production relative de tiges + gousses augmenter et celle de feuilles diminuer par rapport au soja conduit en pur; cette constatation **non valable pour le haricot**, s'explique sans doute par le « filage » du soja sous l'effet de l'ombrage du maïs : cette augmentation de taille des tiges de soja en associé sera étudiée au paragraphe 5.4 avec les autres composantes du rendement.

Le rapport :
$$\frac{\text{Poids épis + grains}}{\text{MSA}}$$

augmente pour le maïs lorsqu'il est associé à la légumineuse.

A l'inverse, sur haricot, l'« indice de récolte » (Harvest index = Poids grains sec/MSA) diminue lorsque celui-ci est associé au maïs (de 0,69 à 0,60); ce phénomène est constaté également dans l'essai n° 13, où l'indice de récolte du haricot passe de 0,59 en culture pure à 0,43 en culture associée.

5.2.4. – Conclusion sur la production de biomasse

Les interférences racinaires entre les deux espèces semblent profiter au maïs aux dépens de la légumineuse; le poids unitaire de racines du maïs associé dépasse en effet celui du maïs pur à partir du stade « fin floraison femelle » (vers 70 JAS) pour lui rester supérieur ensuite. Ces interférences restent cependant limitées pour l'association maïs-haricot du fait d'une différence importante de poids racinaires (et donc de volume) des deux espèces (rapport de 1 à 30 au profit du maïs à 70 JAS).

Les états de croissance des parties aériennes du maïs, cultivé en pur et en association, sont proches en début de cycle; à partir de 70-80 JAS (fin fécondation), le maïs associé présente une production de matière sèche supérieure à celle du maïs pur.

La croissance du haricot est affectée, tout au long de son cycle par la présence du maïs; celle du soja ne l'est que tardivement, après 90 JAS (formation des graines).

L'étude de la répartition de la biomasse aérienne entre les différents organes montre que :

- le soja associé voit sa production relative de tiges + gousses augmenter aux dépens de sa production de feuilles, par rapport au soja cultivé en pur; cela semble dû, comme nous le confirmerons par la suite, à une élongation des tiges due à l'effet d'ombrage du maïs;
- la part relative des grains dans la biomasse totale (Harvest index) augmente chez le maïs associé, par rapport au maïs en culture pure; c'est l'inverse pour la légumineuse.

Un certain nombre de manifestations d'une compétition interspécifique favorable au maïs apparaissent dans les états de croissance respectifs des plantes associées. L'analyse des résultats obtenus sur les exportations minérales et les composantes du rendement permettra de compléter ces premières observations.

5.3 – ETUDE DES MOBILISATIONS MINÉRALES

5.3.1 – Présentation

En accord avec WAHUA (1983), on considérera que la différence de teneurs en éléments minéraux existant entre une espèce cultivée en pur et en associée, indique le degré de compétition de cette espèce dans l'association.

La plupart des analyses, effectuées avec répétitions, on donné lieu à une analyse statistique; pour les autres, une précision de 5% pour les analyses en N, P et K a été utilisée comme seuil, ce qui semble correct d'après OLIVER (IRAT, non publié).

Seuls les résultats les plus représentatifs, parmi ceux obtenus à Dschang sont présentés ici.

5.3.2 – Les diagnostics foliaires

Les diagnostics foliaires effectués autour de 45-50 JAS pour les légumineuses et 60-65 JAS pour le maïs, n'ont pas permis de déceler de différences entre cultures pures et associées.

Il semble qu'il soit trop tôt, à ces dates, pour voir apparaître la concurrence à travers les mobilisations minérales; l'étude de ces mobilisations à diverses périodes a montré que les résultats sont nets à partir de 70 JAS environ.

5.3.3 – Teneurs en éléments minéraux (NPK)

Dans les feuilles

Le tableau XXVI présente les résultats les plus représentatifs obtenus sur les associations maïs-haricot et maïs-soja.

Tableau XXVI : Teneurs en NPK des feuilles en cultures pure et associée (% de la matière sèche).

Essai	Traitements	N		P		K	
		Maïs	Légumineuse	Maïs	Légumineuse	Maïs	Légumineuse
N° 11 M x S à 110 JAS	Culture pure	1,23	3,37	0,19	0,25	2,02	2,39
	Culture associée	1,65S	3,00	0,26	0,21 HS	2,02	2,17
N° 13 M x H à 75 JAS	Culture pure	1,89	3,29	0,24	0,37	2,62	3,11
	Culture associée	1,97	2,70	0,24	0,35	2,53	2,66

S = différence avec la culture pure significative (HS : hautement significative). Essai n° 11 : 4 répétitions par traitement et essai n° 13 : 2 répétitions.

Dans l'association maïs-soja, l'effet de la concurrence pour l'azote et le phosphore est net; les mobilisations du maïs associé sont supérieures à celles du maïs cultivé en pur (+ 35% environ); l'inverse se produit pour le soja avec des mobilisations diminuées de 11 à 16% par la présence du maïs.

Sur l'ensemble des résultats d'analyse, la concurrence paraît plus marquée autour de 100 JAS; cela confirme les constatations du paragraphe 5.2, cette période correspondant au pic d'absorption minérale du soja et étant proche du pic pour le maïs.

En ce qui concerne l'association maïs-haricot, par contre, les mobilisations dans les feuilles de la céréale ne sont pas modifiées par la présence de la légumineuse; le haricot associé semble cependant défavorisé pour l'absorption d'azote et de potasse avec une baisse de 18% et 14% respectivement par rapport à la culture pure.

WAHUA et MILLER (1978 b) rapportent que l'ombrage dû à la céréale peut causer une accumulation d'azote dans les feuilles du soja; ce phénomène n'est pas constaté dans nos conditions d'expérimentation où apparaît plutôt l'effet de compétition minérale imposé par la céréale.

Dans les graines

Les principaux résultats d'analyse chimique sont présentés dans le tableau XXVII.

Tableau XXVII : Mobilisations NPK dans les graines (%) à la maturité des deux espèces.

Essai	Traitements	N		P		K	
		Maïs	Légumineuse	Maïs	Légumineuse	Maïs	Légumineuse
N° 9 M x S	Culture pure	1,34	6,31	0,28	0,63	0,39	1,81
	Culture associée	1,50	6,89	0,31	0,60	0,42	1,78
N° 15 M x S	Culture pure	1,31	5,33	0,52	0,56	0,69	1,85
	Culture associée	1,43	5,23	0,55	0,52	0,74	1,80
N° 12 M x H	Culture pure	1,20	3,50	0,28	0,50	0,41	1,62
	Culture associée	1,27	3,71	0,29	0,44	0,41	1,52
N° 13 M x H	Culture pure	1,08	3,32	0,42	0,47	0,62	1,47
	Culture associée	1,13	2,80	0,43	0,34	0,64	1,19

N.B. : M = maïs, H = haricot, S = soja. Moyennes de deux répétitions de 5 à 6 m² par traitement.

Les différences constatées entre cultures pures et associées sont atténuées par rapport à celles observées dans les feuilles. Dans l'association maïs-soja, le maïs voit ses mobilisations minérales augmentées de 6 à 12% par rapport à celles d'un maïs cultivé en pur; cette augmentation est de 9 à 12% en ce qui concerne l'azote, ce qui rejoint les résultats de N.B. SINGH et al. (1986) situés entre 11 et 15% d'augmentation.

Dans l'association maïs-haricot, les mobilisations minérales dans les graines de la céréale semblent peu affectées par la présence de la légumineuse (comme pour les feuilles); le haricot associé voit cependant ses mobilisations diminuées (- 6% à - 28%) par rapport au haricot pur.

Enfin, les légumineuses associées mobilisent parfois plus d'azote dans leurs graines que lorsqu'elles sont cultivées en pur, ce qui ne se retrouve pas pour le phosphore et la potasse (soja + 9% dans l'essai 9 et haricot + 6% dans l'essai 12).

Ceci sera à rapprocher des résultats de fixation d'azote présentés ultérieurement.

5.3.4 – Exportations totales d'azote et phosphore

Exportations totales d'azote

La figure 12 représente l'évolution au cours du temps des exportations totales d'azote des cultures pures et associées dans l'essai n° 15. Le détail des résultats fait l'objet de l'annexe 28a.

L'absorption d'azote du maïs passe par un maximum autour de 90-100 JAS, qu'il soit cultivé en pur ou associé au soja; ce maximum est un peu retardé (vers 110 JAS) avec un maïs associé au haricot.

L'absorption maximale d'azote par le soja se situe également pendant cette phase (100-110 JAS = maturation des graines) d'où une concurrence inévitable.

L'absorption maximale du haricot se situant vers 80-90 JAS, est antérieure à la période d'absorption maximale du maïs qui lui est associé.

A 110 JAS, le maïs associé a exporté plus d'azote que le maïs cultivé en pur (101 kg/ha contre 82 soit + 23%); N.B. SINGH et al. (1986) ont trouvé une augmentation de 21 à 31%, ce qui recoupe nos résultats.

Effet de l'engrais azoté sur les exportations des légumineuses cultivées en pur ou associées

La figure 13 représente les résultats de l'essai n° 15, en comparant cette fois les traitements avec et sans engrais; les données correspondantes font l'objet des annexes 28a et 28b

Alors que le haricot en culture pure ou associée profite largement de l'engrais azoté, le soja ne voit pas ses exportations minérales modifiées par la présence de cet engrais.

Ces résultats rejoignent ceux des rendements présentés dans le paragraphe 4.4 : il y a là une différence notable de comportement des deux légumineuses lorsqu'elles se trouvent en association fertilisée.

Exportations totales de phosphore

La différence de teneurs en phosphore entre plantes cultivées en pur et associées restant proche de celle des teneurs en azote, les exportations de phosphore présentent une évolution dans le temps similaire à celle de l'azote; cette évolution est représentée dans la figure 14; les résultats correspondants sont rassemblés en annexe 29.

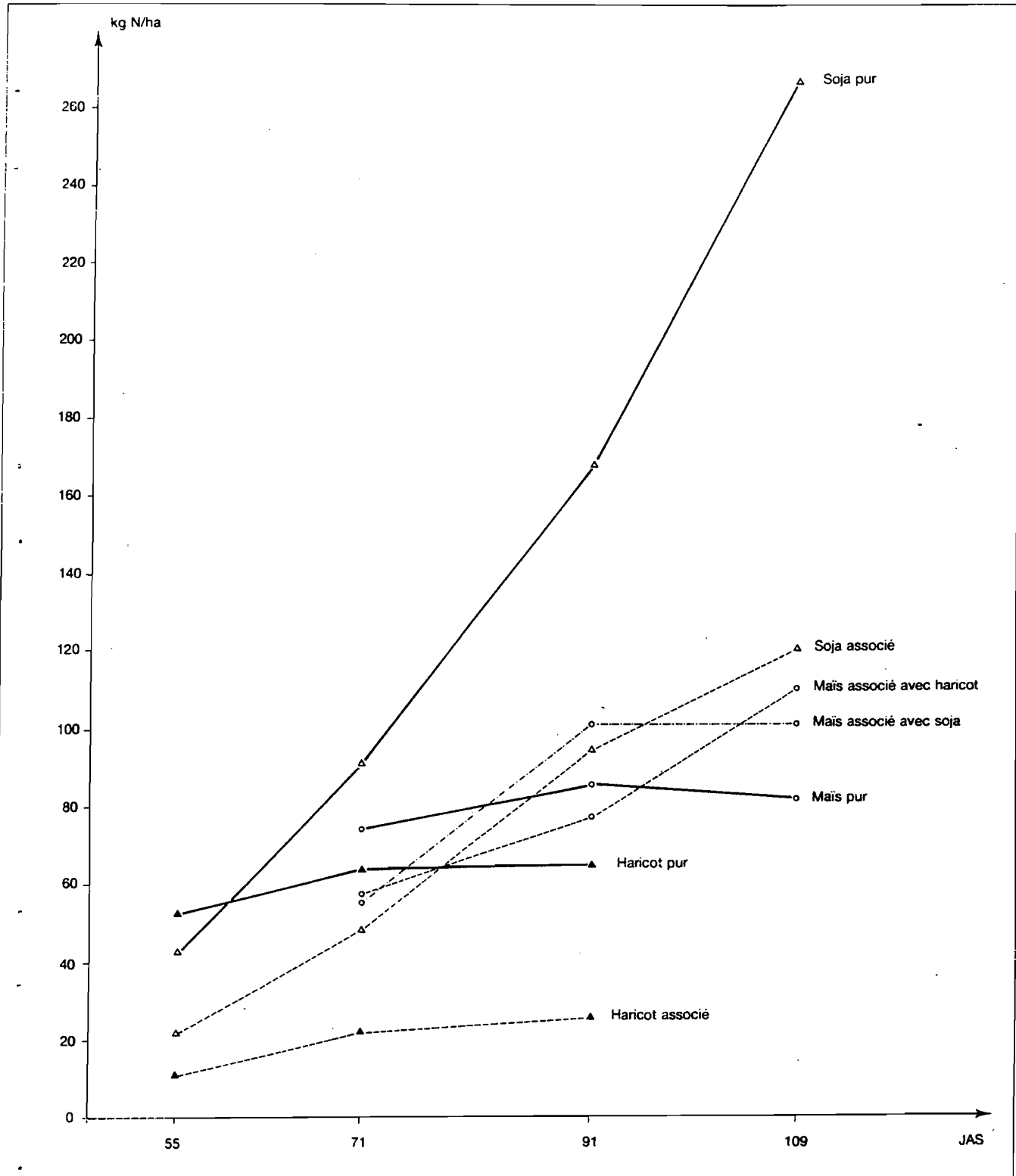


Figure 12 : Exportations totales d'azote par les cultures pures et associées.

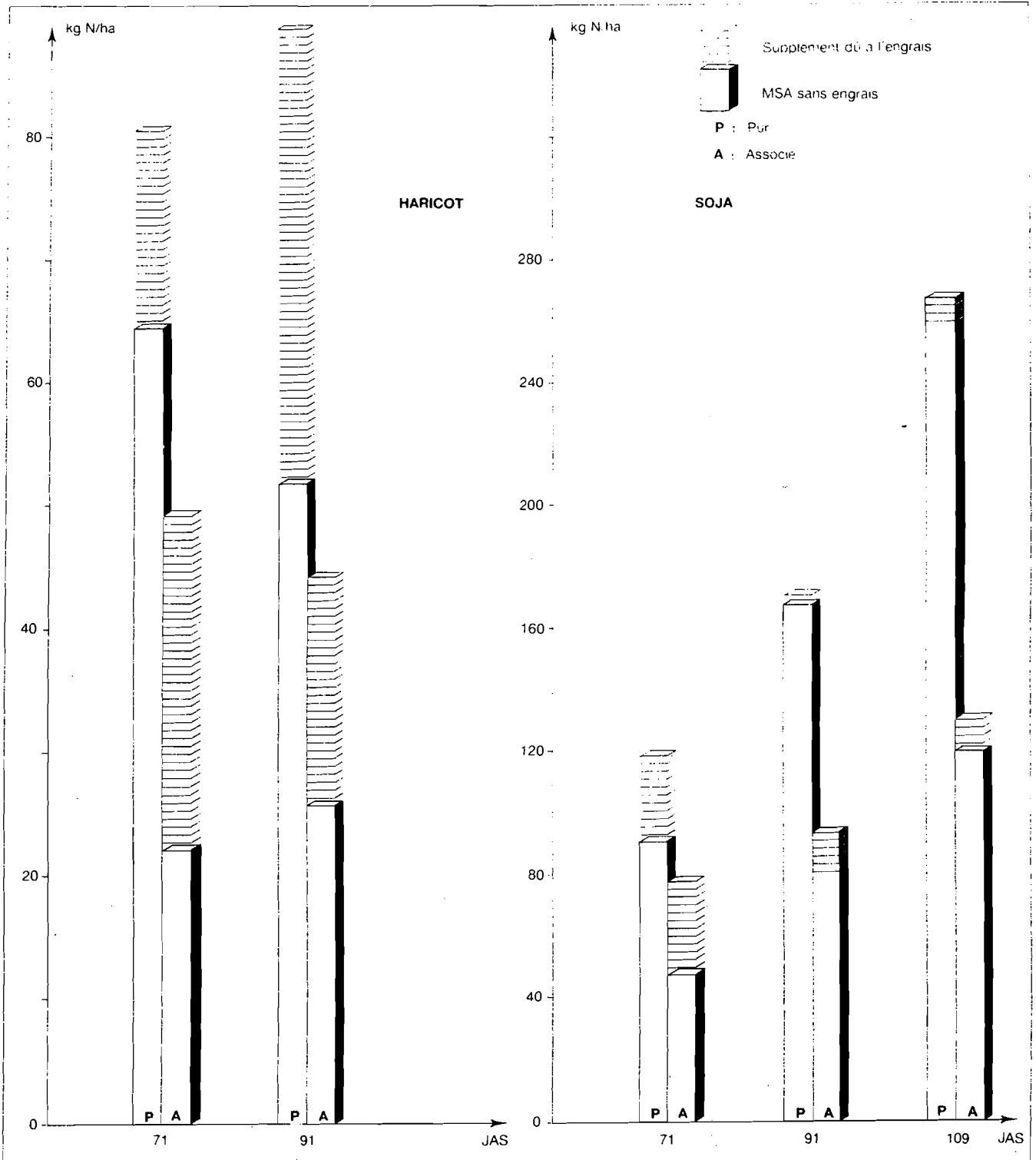


Figure 13 : Effet de l'engrais azoté sur les exportations totales d'azote par les légumineuses.

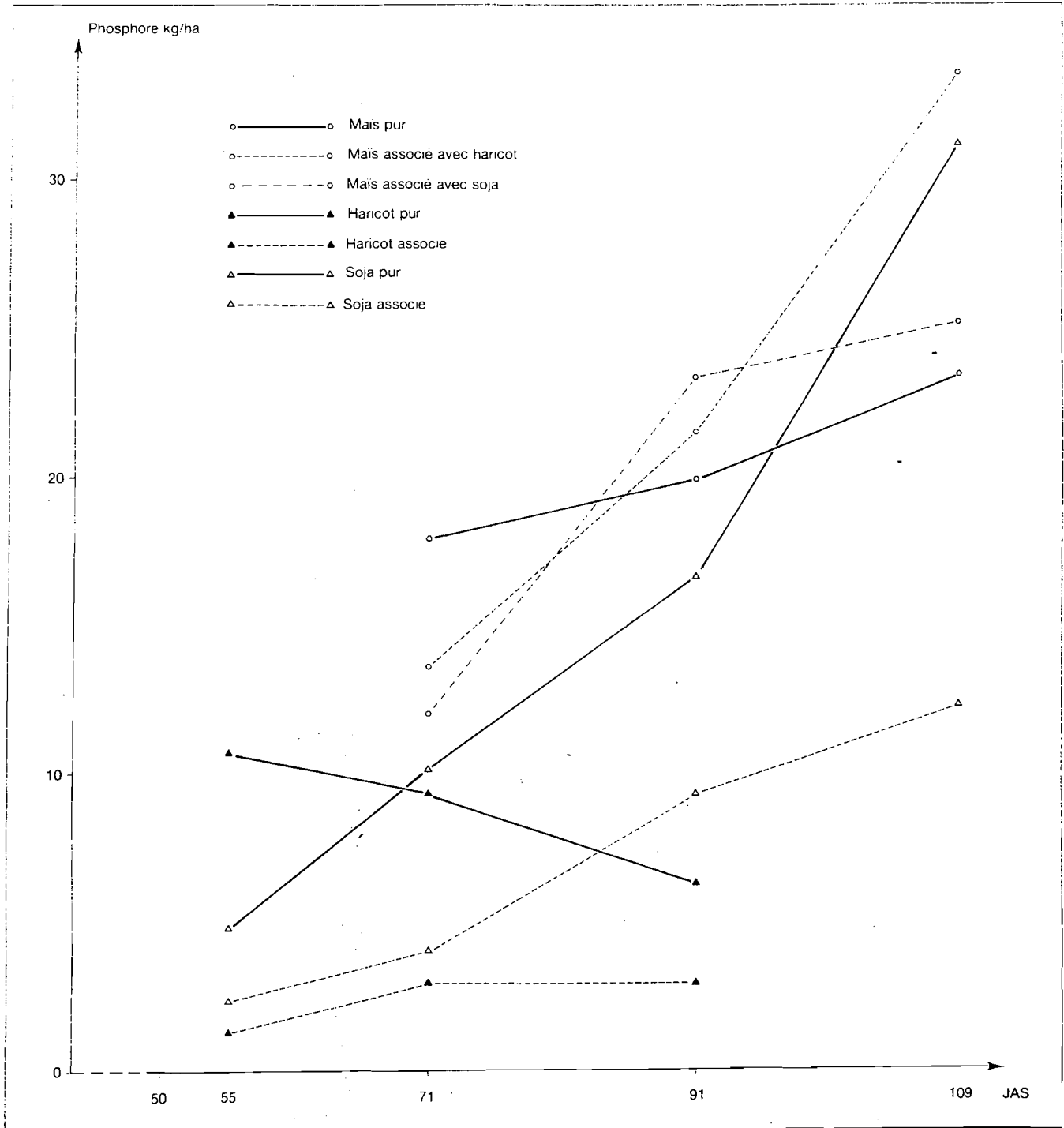


Figure 14 : Exportations totales de phosphore par les cultures pures et associées maïs-haricot et maïs-soja.

Exportations d'azote et phosphore par les graines

Ces résultats font l'objet de l'annexe 30; ils sont exprimés en quantités d'azote et phosphore produites à l'hectare et également en termes de LER_N et LER_P .

L'association maïs-haricot produit plus d'azote que l'une et l'autre espèce cultivées en pur; elle produit 27% de plus qu'un maïs cultivé en pur et 71% de plus qu'un haricot cultivé individuellement.

L'association maïs-soja produit presque autant d'azote qu'un soja pur (93%) et beaucoup plus d'azote qu'un maïs pur (239%), ce qui rejoint les résultats présentés dans le paragraphe 4.4 (essai n°9).

Ces deux associations produisent plus de phosphore que la composante la plus productive prise individuellement (ici le maïs).

La comparaison de ces deux associations en terme d'exportations minérales est nettement favorable à la combinaison maïs-soja; celle-ci produit presque deux fois plus d'azote (180 kg/ha contre 96) et environ 20% de plus de phosphore (38 kg/ha contre 31) que la combinaison maïs-haricot.

5.3.5 – Conclusion sur les mobilisations minérales

L'effet négatif de la compétition minérale sur les légumineuses apparaît nettement dans l'association : les teneurs en N, P, et K des feuilles des légumineuses associées sont inférieures à celles obtenues en culture individuelle; ces différences se retrouvent, quoique souvent atténuées, dans les graines; en ce qui concerne l'azote, cependant, les teneurs observées dans les graines peuvent être supérieures en culture associée; ceci est à rapprocher des résultats de fixation d'azote présentés ultérieurement.

Les pics d'absorption d'azote et de phosphore correspondent pour le maïs et le soja; ils se situent autour de 90-100 JAS; l'absorption minérale du haricot est plus précoce et l'interférence avec celle du maïs moindre que pour le soja.

La nutrition phosphoazotée du maïs est améliorée par l'association avec une légumineuse, particulièrement lorsqu'il s'agit du soja (teneurs en azote augmentées d'environ 10% dans les graines).

En général, l'association maïs-haricot produit plus d'azote et de phosphore que l'une et l'autre des espèces cultivées en pur; l'association maïs-soja produit beaucoup plus d'azote et de phosphore qu'un maïs cultivé en pur; elle produit presque autant d'azote qu'un soja cultivé individuellement (93%).

Enfin, alors que l'apport d'urée à l'association profite aux exportations d'azote du haricot, il n'en est rien pour le soja; cette différence de comportement s'explique par l'absence d'effet de la fumure azotée sur le rendement en grains du soja associé (cf. chapitre IV).

5.4 – COMPOSANTES DU RENDEMENT

L'effet de l'association culturale sur diverses composantes du rendement des deux espèces a été apprécié dans plusieurs essais.

La comparaison des données moyennes obtenues à Dschang, sur chaque espèce, cultivée en pur et en association, a permis de dégager les tendances exposées dans ce chapitre.

5.4.1 – Hauteur des plantes

Le détail des mesures fait l'objet de l'annexe 31. La taille du maïs n'est jamais affectée par l'association avec une légumineuse : sur onze essais, on enregistre une différence de 0 à 6% (moyenne = 2%) de la hauteur, jamais significative.

La hauteur de la légumineuse est, par contre, affectée par l'association:

- on enregistre une augmentation de la taille du soja de 4 à 9% (moyenne 6%), significative dans trois essais sur quatre;
- le haricot, à l'inverse, présente une réduction de taille de 9 à 23%, significative dans deux essais sur quatre.

Cette réaction différente des deux légumineuses est sans doute due à une sensibilité différente à l'ombrage : le soja, plus sensible a tendance à « filer », ce qui pourrait expliquer l'augmentation du poids de tiges du soja associé par rapport à celui cultivé en pur, constatée dans le paragraphe 5.2.

CHUI et SHIBLES (1984) ont montré une augmentation de la taille du soja associé au maïs plus importante, de l'ordre de 13 cm. La variété qu'ils utilisaient était peut-être plus photosensible que nos propres variétés.

5.4.2 – Nombre de ramifications de la légumineuse

Dans l'essai n° 4 une baisse significative du nombre de ramifications par plante est constatée sur le soja mis en présence du maïs; ce nombre passe de 4,1 en culture pure à 3,3 en moyenne sur les traitements de culture associée (CV = 16,4%, ETM = 0,2).

Cette diminution semble d'autant plus forte que la population totale (maïs + soja) est plus élevée : 3,6 à population normale et 3,0 à forte population.

De façon plus générale, une moindre production de ramifications accompagne fréquemment un « filage » du soja.

Cette diminution du nombre de ramifications par plante a été constatée par SEARLE et al. (1981).

5.4.3 – Production de gousses ou épis

Gousses

L'ensemble des données sur gousses fait l'objet de l'annexe 32. La corrélation existant entre nombre de gousses par plante et rendement a tout d'abord été étudiée dans les systèmes de culture associée.

On a obtenu dans cinq essais, des corrélations toujours significatives comprises entre 0,59 et 0,72 (moyenne = 0,64); il y a donc une **corrélation positive moyenne** entre ces deux facteurs.

On a enregistré ensuite une baisse systématique de la production de gousses de la légumineuse lorsqu'elle est associée au maïs :

- baisse de 2 à 37% (moyenne = 21 %), significative dans deux essais sur quatre pour le soja;
- baisse de 2 à 28% (moyenne = 19 %), significative dans quatre essais sur six pour le haricot.

Ces effectifs diminuent d'autant plus que la densité et la taille du maïs (donc la concurrence) sont importantes.

Divers auteurs ont signalé cette baisse de production de gousses par plante de la légumineuse associée au maïs; nous citerons en particulier, sur haricot, CHUI et NADAR (1984) qui montrent une baisse de 31 à 38% de ce nombre et MARCIRIO et al (1984) avec une baisse de 17% de cet effectif; des diminutions plus importantes sont même relevées sur soja associé : - 76% de gousses (CHUI et SHIBLES, 1984) et - 50% (REDDY et CHATTERJEE, 1975) par rapport au soja cultivé individuellement. Cette réduction du nombre de gousses est essentiellement imputable à la baisse de l'intensité lumineuse disponible et secondairement (cf. paragraphe 5.3) à la concurrence minérale existant au moment de la floraison; sur soja, elle est en partie déterminée par la baisse du nombre de ramifications notifiée précédemment.

WAHUA et MILLER (1978a) ont prouvé que le nombre de gousses par plante d'une légumineuse était la principale composante affectée par l'ombrage.

Epis

Le nombre d'épis par plante du maïs ne semble pas affecté par l'association; il passe en moyenne dans l'essai n° 4, de 0,87 en culture pure à 0,88 en culture associée.

5.4.4 - Nombre de graines par gousse

Cette composante sur légumineuse n'est pas affectée significativement par la présence du maïs (cf. annexe 33a); cela rejoint les conclusions d'ERIKSEN et WHITNEY (1984), selon lesquelles l'ombrage n'affecte pas le nombre de graines par gousse des légumineuses. Nous ne sommes pas en accord, par contre, avec certains auteurs cités par PARFAIT (1986) qui affirment que cette composante est la plus affectée par l'association (FISHER, 1977, GARDINER et CRAKER, 1981); des différences de cycle et donc d'évolution de la compétition interspécifique au cours du temps expliquent sans doute cette discordance.

5.4.5 – Nombre de graines par plante

Dans le cas du haricot, on enregistre une baisse significative de cette composante, en associé (- 32% en moyenne) liée à la baisse du nombre de gousses (cf. annexe 33b). Sur maïs et sur soja, rien de net n'est obtenu.

5.4.6 – Poids de 1 000 graines

Le poids de 1 000 graines du maïs associé est supérieur de 3 à 9% à celui du maïs cultivé en pur, la différence étant significative dans trois essais sur six (cf. annexe 34a).

En ce qui concerne les légumineuses :

- une tendance à la diminution (non significative) due à la présence du maïs est constatée sur le poids de 1 000 graines du soja (- 6%);
- une augmentation significative de la dimension des graines du haricot associé (+ 2 à 11%) est constatée (moyenne + 6%).

Cette différence entre légumineuses signifierait que la concurrence imposée au haricot (beaucoup plus précoce) n'existe plus au moment du remplissage des gousses alors qu'elle sévit encore sur soja.

MARCIRIO et al. (1984) montrent une augmentation significative de 4% du poids de 1 000 graines d'un maïs associé au haricot, ce qui rejoint nos résultats; par contre aucune variation du poids de 1 000 graines n'est constatée sur haricot; PARFAIT (1986) ne constate pas non plus d'effet de l'association sur le poids de 1 000 graines du haricot.

FISHER (1979) montre, comme nous l'avons fait, une augmentation des poids de 1 000 graines du haricot et du maïs lorsqu'ils sont associés; il attribue celle-ci à un relâchement de la compétition pendant la phase de remplissage du grain, cette phase ne coïncidant pas dans le temps pour les deux espèces. Cette explication convient parfaitement à notre situation (cf. paragraphe 5.3).

5.4.7 – Rendement en grains par plante

La céréale voit sa production de grains par plante augmenter de 30 à 36% en moyenne par rapport à la culture pure.

La légumineuse voit sa production de grains par plante diminuer de 23 à 27% en moyenne par rapport à la culture pure; cette dernière diminution est significative lorsque l'on utilise suffisamment de répétitions (soja dans l'essai n° 4).

5.4.8 – Conclusion sur les composantes du rendement

Le tableau XXVIII récapitule l'effet de l'association sur les diverses composantes du rendement étudiées.

Tableau XXVIII : Effet de l'association sur diverses composantes de rendement

Composantes	Légumineuse		
	Maïs	Soja	Haricot
Hauteur plante	0	++	--
Nombre ramifications		--	
Nombre gousses ou épis/plante	0	--	--
Nombre grains/gousse ou épi		variable	variable
Nombre graines/plante	variable	variable	--
Poids de 1 000 graines	+	-	++
Poids de grains/plante	+	-	-

N.B. : Les signes du tableau représentent la variation enregistrée sur culture associée par rapport à la même composante en pur :

- baisse significative;
- tendance à la baisse;
- 0 aucune variation;
- + tendance à l'augmentation;
- ++ augmentation significative.

En ce qui concerne le maïs, le poids de grains par plante supérieur en culture associée est une constante que l'on peut vérifier dans tous le chapitre IV : rendement relatif moyen de 80 à 85% pour un ratio de densité de 67% seulement. Cette supériorité semble due en partie à une dimension des graines supérieure en culture associée; elle découle peut-être également d'une augmentation du nombre de grains par épi, que nous n'avons malheureusement pas pu chiffrer ici...

Sur soja, la diminution de production en association est essentiellement due à une baisse du nombre de gousses et secondairement de la dimension des graines. Cela aboutit à une baisse de rendement par plante de 25%

environ qui donne avec un ratio de densité de 60% (240 000 plantes/ha en associé contre 400 000 plantes/ha en pur), un rendement relatif théorique de 45%; ce rendement théorique correspond exactement à celui trouvé sur l'ensemble de nos essais (cf. chapitre VII).

Sur haricot, la diminution de production par plante en association est due à une baisse du nombre de gousses et à une baisse du nombre de grains par plante. Le poids de 1 000 graines, au contraire bénéficie de l'association et tendrait à réduire la baisse de production.

Il s'ensuit une baisse de rendement par plante d'environ 25%, qui donne avec un ratio de densité de 67% (200 000 plantes/ha en associé pour 300 000 plantes/ha en pur) un rendement relatif théorique de 50%; celui-ci est proche du rendement moyen de 51% obtenu sur l'ensemble de nos essais (cf. chapitre VII).

La concurrence du maïs sur le haricot semble donc cesser plus tôt que celle sur soja puisque la dimension des graines de haricot n'est pas diminuée par l'association; ceci va dans le sens des résultats de biomasse et d'exportations minérales présentés précédemment.

5.5 – EFFETS DE L'ASSOCIATION SUR LA NODULATION ET LA FIXATION D'AZOTE DE LA LEGUMINEUSE

Un rappel théorique a été effectué dans le paragraphe 1.6 sur la nutrition azotée des légumineuses et le transfert d'azote de celles-ci vers les céréales.

5.5.1 – Nodulation de la légumineuse associée

En l'absence d'engrais

* Sur soja : des comparaisons de nodulation, effectuées dans six essais, montrent que le soja associé nodule plus que celui cultivé individuellement (cf. annexe 36a); le nombre moyen de nodules par plante est augmenté de 15% et le poids de matière sèche des nodules par plante de 34% en présence de maïs.

La variabilité des résultats, malgré l'utilisation de huit répétitions de dix plantes par traitement dans plusieurs essais, introduit des coefficients de variation élevés; l'augmentation est cependant systématique dans tous les essais, ce qui rend cette constatation relativement fiable.

Dans l'ensemble des essais, une corrélation significative de + 0,94 existe entre le poids de nodules en culture pure et ce poids en culture associée.

Le poids de matière sèche des nodules du soja associé est donné à partir de celui du soja pur par l'équation linéaire $Y = 1,80 x - 1,31$; la régression est significative avec un F observé de 32,02 et un test de Durbin Watson donnant 1,91. La courbe correspondante est représentée dans la figure 15.

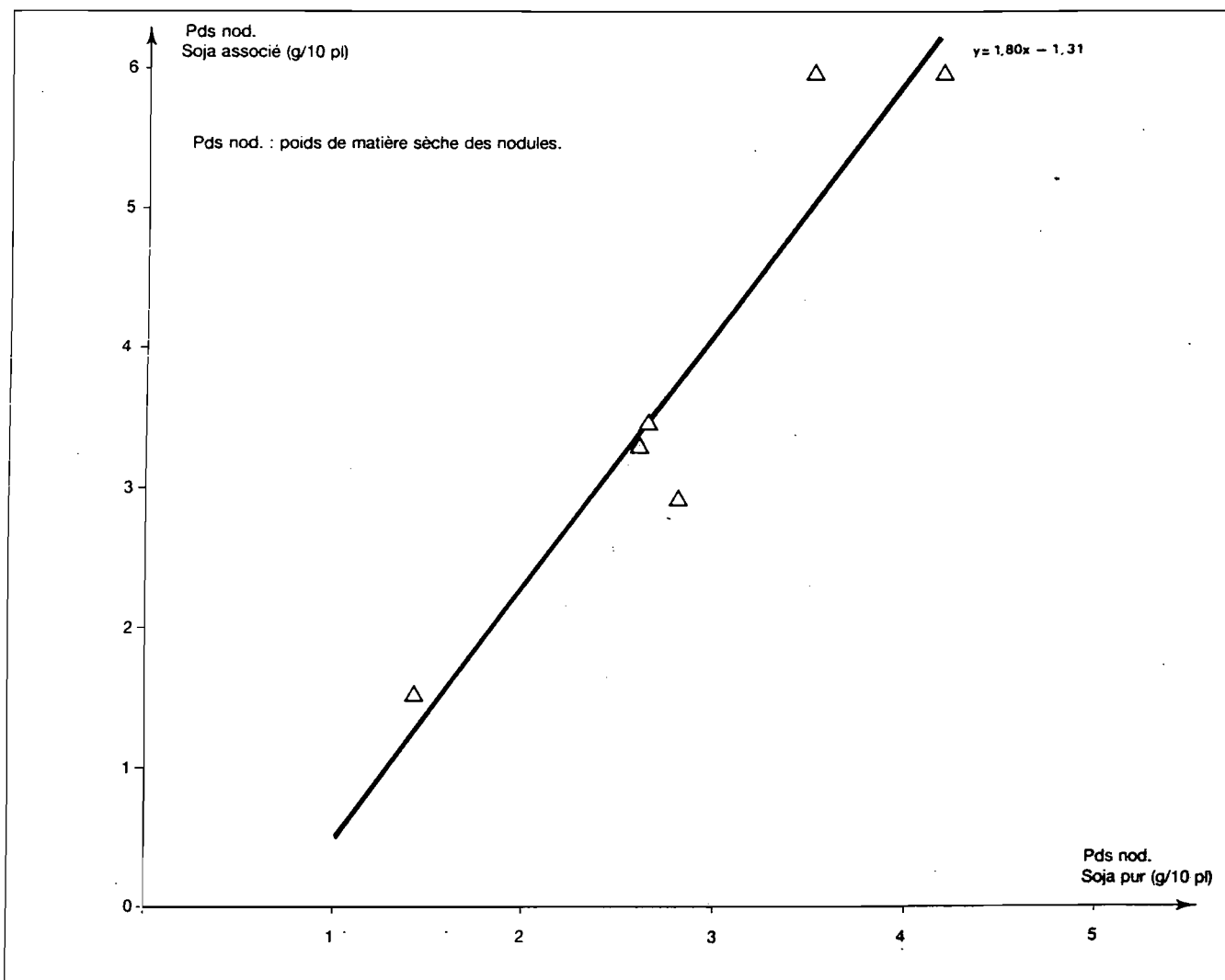


Figure 15 : Relation entre la nodulation du soja cultivé en pur et celle du soja associé au maïs.

* **Sur haricot**, en revanche, aucun effet net de la présence du maïs sur la nodulation n'est constaté.

En présence d'engrais azoté (60 à 80 unités)

L'accroissement de la nodulation sur soja associé par rapport à une culture pure semble plus important qu'en l'absence d'engrais : + 87% sur le nombre de nodules et + 95% sur leurs poids (cf. annexe 36b). Le haricot associé voit, cette fois, sa nodulation presque triplée en nombre et en poids de nodules par rapport au haricot cultivé individuellement.

Nodulation et densité de peuplement

Dans l'essai n° 17, déjà présenté au paragraphe 5.1.3, une comparaison de nodulation à diverses densités de peuplement des cultures pures et associées, a été effectuée sur soja. Les principaux résultats de cette comparaison sont présentés dans le tableau XXIX.

Tableau XXIX : Effet des densités sur la nodulation du soja en cultures pure et associée

Traitements	poids sec nodules (g/10 pl) à 38 JAS
Soja pur à 400 000 pl/ha	1,14 b
Soja pur à 240 000 pl/ha	1,14 b
Association : maïs à 36 000 pl/ha et soja à 240 000 pl/ha	1,25 ab
Association : maïs à 44 000 pl/ha et soja à 240 000 pl/ha	1,38 a
Int. statistique	HS
CV (%)	17
ETM (g/10pl)	0,07

La diminution de densité du soja pur n'a aucun effet sur sa nodulation, ce qui signifie que l'augmentation de cette nodulation en **association est bien due à la présence du maïs** et non à la réduction de **peuplement** du soja.

Seul un soja associé à un maïs de densité suffisante, (**au moins 40 000 plantes/ha**) nodule significativement plus que le soja cultivé en pur.

5.5.2 – Fixation symbiotique d'azote par le soja associé

Une étude de la fixation d'azote par la méthode de réduction de l'acétylène (ARA) (cf. annexe 13 et chapitre III), effectuée au champ sur l'essai n° 17, a donné les résultats suivants :

Moyenne des traitements fertilisés et non fertilisés

Traitements	Fixation (nmôles/h)	Significativité (Newman et Keuls à P = 0,05)
Soja pur à 400 000 plantes/ha	14 950	A
Soja avec maïs à 44 000 plantes/ha	15 925	A
Soja avec maïs à 36 000 plantes/ha	20 803	B

Les résultats détaillés sont présentés en annexe 37.

Les valeurs de la fixation restent relativement faibles, les prélèvements racinaires n'ayant peut-être pas été effectués lors du pic de cette fixation; deux constatations peuvent être faites cependant :

- une augmentation significative de la fixation (+ 39%) chez le soja associé à un maïs de densité 36 000 plantes/ha par rapport au soja cultivé en pur (CV de 29% acceptable pour des mesures d'ARA);
- l'absence d'augmentation significative (+ 7%) de cette fixation sur soja associé à un maïs de densité un peu plus forte soit 44 000 plantes/ha, par rapport au soja cultivé individuellement.

Il y a donc bien un effet positif du maïs associé sur la fixation du soja; cet effet disparaît en partie si la densité de maïs est trop forte.

Ainsi, alors que l'augmentation de peuplement du maïs associé semblait favorable à la nodulation du soja, elle réduit la fixation symbiotique.

Une explication peut être avancée en séparant les phénomènes de nodulation et de fixation symbiotique :

- l'augmentation de densité du maïs en augmentant l'effet d'appauvrissement en nitrates de la rhizosphère du soja favoriserait la nodulation de celui-ci;
- pour la fixation en revanche, où l'élément important est l'énergie lumineuse disponible au moment de la floraison, l'augmentation de densité du maïs, accentuant l'ombrage, se montrerait défavorable.

5.5.3 – Conclusion

L'effet positif de la présence de maïs sur la nodulation du soja, mis en évidence dans nos essais a été également constaté par THOMPSON (1977); cet effet s'explique facilement; nous avons montré, précédemment, que le maïs augmentait ses prélèvements d'azote minéral, lorsque associé au soja; l'absorption continue d'azote par le maïs créerait donc un appauvrissement constant de la rhizosphère du soja, favorable à la nodulation de la légumineuse. L'accroissement du peuplement de maïs associé, renforçant cet appauvrissement, augmenterait encore la nodulation, ce que nous constatons ici.

Sur haricot, cet effet positif n'est pas mis en évidence; l'irrégularité de sa nodulation dans l'Ouest-Cameroun justifiait certainement une comparaison plus large que celle que nous avons pu effectuer (deux essais seulement).

L'accroissement très net de la nodulation de la légumineuse associée par rapport à celle cultivée en pur en présence d'engrais azoté est à considérer; il signifie que « l'inhibition » de la nodulation par l'engrais azoté, phénomène connu en culture pure de soja, est moindre en culture associée du fait des mobilisations d'azote effectuées par la céréale.

La fixation symbiotique d'azote du soja semble augmenter en présence du maïs, ce qui constituerait un avantage important de l'association (économie d'azote issu du sol ou de l'engrais); l'augmentation du peuplement de maïs se montre cependant défavorable, sans doute parce qu'elle limite l'énergie lumineuse disponible pour l'activité fixatrice de la légumineuse associée.

5.6 – EFFETS DE L'ASSOCIATION CULTURALE SUR L'INTENSITE DES MALADIES

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MEMOIRE

5.6.1 – Choix des maladies étudiées – Notation

La sévérité d'une maladie donnée est appréciée par notation sur une échelle de symptômes de 1 à 5 (1 = plantes indemnes, 5 = plantes totalement nécrosées); pour limiter la subjectivité de la note finale, trois observateurs affectent une note à chaque parcelle et c'est la moyenne de ces trois notes qui est considérée, répétée six fois par traitement (six blocs par essai).

L'important est, bien entendu, la comparaison des notes finales de traitements de culture pure et de culture associée. Seules six maladies, relativement importantes durant les cinq années d'essais, ont été considérées :

* **Helminthosporiose du maïs**, due à *Helminthosporium turcicum* ou *H. maidis* facilement identifiable sur les feuilles; c'est la principale maladie du maïs dans l'Ouest-Cameroun.

* **Cercosporiose du haricot**, due à *Cercospora canescens*, reconnaissable par ses taches brunes arrondies de 2 à 5 mm de diamètre, sur les feuilles, puis les gousses.

* **Maladie des taches angulaires du haricot**, due à *Isariopsis griseola*; des taches angulaires délimitées par les nervures apparaissent sur la face supérieure des feuilles alors que la face inférieure révèle des fructifications sous forme de petites touffes de poils bruns.

* **Maladie des taches concentriques du haricot**, due à *Ascochyta phaseolorum*, identifiée par ses nécroses avec auréoles concentriques sur les feuilles.

* **Bactériose du soja**, due à *Xanthomonas phaseoli* var. *sojensis*, caractérisée par de petites taches brunes entourées d'un halo jaune, sur les feuilles; au centre de la lésion, une « pustule » apparaît en relief sur la face inférieure de celles-ci.

* **Cercosporiose du soja**, due à *Cercospora sojina*, aux taches arrondies brun clair, entourées d'une bordure plus sombre (« oeil de grenouille »).

5.6.2 – Résultats des notations

Le tableau XXX synthétise l'ensemble des résultats obtenus.

Tableau XXX : Effet de l'association sur l'intensité de diverses maladies.

	Helmintho. maïs	Cerco. haricot	Taches angul. haricot	Ascohyta haricot	Bactériose soja	Cerco. soja
Nombre d'essais étudiés	6	3	2	4	7	2
Note moyenne en pur	2,55	2,80	2,85	3,0	2,9	2,95
Note moyenne en associé	2,35	2,55	2,55	2,5	2,3	2,35
Différence moyenne entre pur et associé (%)	- 8	- 9	- 11	- 17	- 21	- 20
Différences extrêmes entre pur et associé (%)	0 à - 13	- 6 à -15	- 8 à - 12	- 13 à -23	- 11 à - 32	- 19 à - 22
Nombre d'essais présentant une différence significative	0	1	1	3	4	2

La première constatation est que dans l'ensemble des essais observés, jamais une maladie ne s'est montrée plus représentée en culture associée qu'en culture pure (cf. 5^e ligne du tableau XXX).

L'helminthosporiose du maïs tend à diminuer lorsque l'on associe la céréale à une légumineuse mais jamais de façon significative.

Les diverses maladies des légumineuses sont généralement moins représentées en culture associée (note inférieure de 10 à 20% selon les maladies) qu'en culture pure; les différences sont souvent significatives.

5.6.3 – Interprétation

La bibliographie consultée fait état :

- d'une baisse d'intensité de la maladie des taches angulaires sur haricot associé (- 7% NS) (VAN RHEENEN et al., 1981);
- d'une baisse significative de la présence d'*Ascochyta* sur haricot associé (- 22%), ce qui est très proche de nos résultats (MSUKU et al.);
- d'une légère augmentation des symptômes dus à *Isariopsis* (+ 8% NS), ce qui va, cette fois, à l'encontre de nos résultats (MSUKU et al.).

De façon générale, les auteurs présentent des résultats relativement controversés quant à l'effet de l'association sur l'intensité des maladies. Ces résultats, contradictoires selon les régions considérées, sont certainement très dépendants des conditions d'expérimentation et d'environnement de chaque essai.

L'environnement proche de la plante soumise à la maladie se trouve modifié par l'association d'une autre plante; le maïs diminue évidemment la température et augmente l'humidité relative autour de la légumineuse, par l'ombrage qu'il lui impose.

Deux facteurs explicatifs des résultats observés dans nos essais sont sans doute :

- l'effet de barrière de l'espèce insensible à la maladie, qui va réduire la dissémination des spores par sa seule présence physique (phénomène dit de « pièges à spores »);
- l'augmentation de la distance entre plantes sensibles, du fait d'une moindre densité d'une espèce donnée en association, par rapport à la culture individuelle;

Les résultats du tableau XXXI témoignent de l'importance relative de ces deux facteurs dans les systèmes que nous avons étudiés (essais n° 17).

Tableau XXXI : Effets respectifs de la densité et de l'association sur l'intensité de la bactériose du soja.

Traitements	Notation moyenne bactériose	% baisse / témoin
T ₁ soja pur 400 000 pl/ha = témoin	2,58 B	0
T ₂ soja pur 240 000 pl/ha	2,33 AB	- 10
T ₃ soja associé 240 000 pl/ha avec maïs à 36 000 pl/ha	2,08 A	- 19
T ₄ soja associé 240 000 pl/ha avec maïs à 44 000 pl/ha	2,00 A	- 22
Int. statistique	S	-
CV (%)	11,5	
ETM	0,11	

L'augmentation de la distance entre plantes sensibles (passage de T₁ à T₂) pourrait réduire l'intensité de la bactériose de 10% (NS), alors que l'association d'un maïs la réduit de 20% environ (significatif). **L'effet direct du maïs sur la bactériose du soja et l'effet de l'espacement des plantes de soja semblent donc agir en synergie; seule la présence simultanée de ces deux facteurs diminue significativement l'intensité des maladies du soja.**

L'augmentation de densité du maïs associé ne semble pas avoir d'effet sur l'intensité de la bactériose de la légumineuse.

Enfin, signalons qu'en 1986 à Dschang un essai a mis en évidence une baisse d'intensité des maladies du haricot, lorsque l'on utilisait un

mélange variétal au lieu d'une seule variété. Dans ce cas précis, les densités de peuplement et l'environnement de la plante étaient identiques, les ports des différentes variétés étant eux-même semblables.

C'est donc bien l'effet bénéfique d'une variété ou d'une espèce non sensible (rôle de « barrière ») qui est en jeu dans la baisse d'intensité constatée.

5.6.4 – Conclusion

La diminution des symptômes de diverses maladies fongiques ou bactériennes des légumineuses, lorsqu'elle sont mises en présence du maïs, est indéniable dans nos conditions d'expérimentation.

Un autre intérêt des systèmes associés pratiqués par les agriculteurs serait donc de maintenir à un niveau raisonnable (notes < 2,5) l'intensité des principales affections des légumineuses.

Concernant le haricot, pour lequel les maladies représentent un facteur limitant de la production (particulièrement avec les variétés locales très sensibles), cet effet « partenaire » du maïs se traduit peut-être par un gain relatif de production.

Les maladies du soja, en revanche, n'ont pas d'incidence économique et la baisse de leur intensité, due à la présence du maïs, ne peut avoir qu'un effet négligeable sur la production.

5.7 – LA VALORISATION DU TRAVAIL PAR L'ASSOCIATION CULTURALE

5.7.1 – Présentation et méthode utilisée

Les résultats du chapitre IV ont trait à la productivité de la terre, qui constitue le critère de base utilisé pour les comparaisons entre systèmes; la terre constituant la ressource la plus rare dans l'Ouest-Cameroun, ce type de comparaison semble pertinent.

Aujourd'hui, la main-d'oeuvre agricole tend à se raréfier dans cette région (exode des jeunes) pour devenir un facteur limitant de la production (STEINER, 1985); une analyse de la productivité du travail en cultures pures et associées paraît donc également nécessaire.

On s'intéressera ici au travail agricole (et non au travail cultural) qui inclut les opérations de récolte, l'unité choisie étant l'heure de travail (LE ROY, 1987).

L'écueil classique, lorsque l'on compare des systèmes purs et associés sur le plan du travail, est l'affectation du temps consacré à certaines opérations culturales à l'une ou l'autre des espèces représentées.

Dans cette étude, il a été affecté à chaque espèce le temps de semis et de récolte qui lui était consacré; en ce qui concerne les autres opérations culturales, communes aux deux espèces, c'est le temps de travail total nécessité par l'association qui est comparé au temps de travail observé sur chaque culture pure; on évite ainsi d'imputer arbitrairement, à telle espèce associée une fraction du temps consacré à une opération commune à l'association (sarclage par exemple).

5.7.2 – Temps de travaux

Les mesures ont été effectuées à Foubot sur parcelles de cultures pures ou associées de 200 m², dans l'essai n° 19; trois traitements simples étaient comparés dans cet essai : maïs pur, soja pur et culture mixte maïs-soja.

Les cultures étaient conduites sur billon, à densités optimales et en l'absence de fumure et de traitement phytosanitaire. Il s'agissait de culture entièrement manuelle.

Les rendements obtenus sont élevés du fait de la richesse chimique des andosols volcaniques; la comparaison entre systèmes reste cependant valable avec un LER relativement faible de 1,12 (cf. chapitre IV) et une couverture végétale du sol importante.

Les temps de travaux relevés sont présentés dans le tableau XXXII.

Tableau XXXII : Temps de travaux en cultures pure et associée de maïs et soja (heures/ha) (essai n° 19, culture manuelle).

Opérations culturales	Maïs	Soja	Association maïs x soja
Billonnage	232	232	232
Semis	94	344	218
1 ^{er} sarclage	44	44	105
Démariage maïs	15	0	9
2e sarclage	60	75	41
Buttage	125	156	84
Récolte et mise en tas	131	150	193
Battage et vannage soja	0	289	118
Total travaux	701	1 290	1 000

FRANCIS et SANDERS (1978) obtiennent un coût de main-d'oeuvre sur maïs pur de 1 610 FF; ici, à raison de 120 FCFA/heure de travail, ce coût représente 1 680 FF : l'ordre de grandeur des temps de travaux paraît tout à fait fiable.

Le temps consacré à l'opération de désherbage (au sens large = 2 sarclages + 1 buttage) est plus court en culture associée que pour n'importe quelle combinaison des cultures pures : 230 h/ha contre 275 h/ha sur soja pur et 229 h/ha sur maïs pur.

Le temps consacré à la récolte et au battage, en revanche, représente 311 h/ha contre 439 h/ha sur soja pur et seulement 131 h/ha sur maïs.

Si l'on compare les temps consacrés à ces opérations en association et

et sur des cultures pures dans des proportions d'utilisation du sol de 50:50 (ce qui est arbitraire et ne correspond pas forcément aux objectifs de production de l'agriculteur) on obtient :

- désherbage : 230 h/ha contre 252 h/ha (- 9%);
- récolte et battage : 311 h/ha contre 285 ha/ha (+ 9%).

Ainsi l'association, consommant un peu plus de main-d'oeuvre pour la récolte et un peu moins pour le désherbage, se montre équivalente aux cultures pures sur le plan du travail global; on enregistre en association une quantité totale de travail de 1 000 h/ha contre 996 pour une répartition 50:50 des cultures pures.

Une comparaison du système associé avec une répartition de la terre entre cultures pures respectant la part de chacune dans la production globale (cf. paragraphe 3.5.7, méthodologie) aboutit à un résultat voisin. Pour obtenir les mêmes productions qu'en associé un agriculteur devrait cultiver en pur 0,78 ha de maïs et 0,34 ha de soja (rendements relatifs tableau XXXIII), ceci représenterait 547 heures de travail sur maïs et 439 heures de travail sur soja, soit un total de 986 heures contre 1 000 en associé (- 1%, négligeable).

5.7.3 - Productivité du travail

Les temps de travaux étant équivalents entre systèmes et l'association présentant un « surrendement » par rapport aux cultures pures (LER = 1,12), il est intéressant de comparer la productivité du travail dans ces systèmes. Sur la base des prix de 1985 (70 FCFA/kg maïs et 100 FCFA/kg soja), on obtient les résultats du tableau XXXIII.

Tableau XXXIII : Productivité du travail en cultures pures et associées de maïs et soja (andosol Foubot).

	Maïs pur	Soja pur	Association
Rendements ajustés (kg/ha)	8 155	2 457	6 339 maïs 841 soja
Produit brut (FCFA/ha)	570 850	245 700	527 830
Productivité du travail (FCFA/h)	814	190	528

N.B. : la productivité du travail est donnée par le produit brut.

L'heure de travail sur cultures associées reste moins rémunératrice que sur maïs cultivé en pur, mais légèrement plus rémunératrice qu'une répartition 50:50 des cultures pures (528 FCFA/h contre 502, soit + 5%).

Une comparaison du système associé avec une répartition entre cultures pures de 0,78 ha de maïs et 0,34 ha de soja donne 528 FCFA/h en association contre 536 FCFA/h en culture individuelle, soit - 1,5% en association.

On peut donc considérer que la différence entre systèmes associés et purs varie entre ces deux extrêmes (- 1.5% à + 5%), selon la répartition de la terre entre espèces choisies; la **productivité du travail**, comme le total des temps de travaux sur la parcelle, est donc très proche en cultures pures et en cultures associées.

Signalons que NORMAN (1970) a mis en évidence le même phénomène : aucune différence n'existait entre les bénéfices bruts moyens par heure de main-d'oeuvre des cultures mixtes et individuelles.

5.7.4 – Conclusion sur la valorisation du travail

La supériorité de l'association maïs-légumineuse sur les cultures pures réside plutôt dans sa valorisation du capital terre (cf. LER au chapitre IV) que dans celle du facteur travail; les temps de travaux et la productivité du travail diffèrent, en effet, très peu de ceux des cultures individuelles : cela peut permettre de négliger ces différences lorsque l'on compare la rentabilité de systèmes purs et associés de maïs et légumineuse (soja, haricot).

La diminution d'environ 10% de la durée du désherbage constitue cependant un intérêt évident de l'association :

- cette diminution se produit en période de pointe de travail sur l'exploitation (avril, mai);
- elle porte sur une quantité de travail importante en valeur absolue puisque dans l'essai n° 19, le désherbage représente 33% du travail agricole du maïs, 23% de ce travail sur haricot et 21% sur soja.

NORMAN (1970) a obtenu une valorisation du travail en association égale sur l'année mais supérieure de 26% en période de pointe, à la valorisation en culture pure.

Cette diminution du temps de désherbage s'explique par une couverture plus importante du sol en culture associée, due à un peuplement total supérieur (CDE de 120% en moyenne).

SIXIEME CHAPITRE

RENTABILITE DES FERTILISANTS
EN CULTURE ASSOCIEE
MAIS-LEGUMINEUSE

6.1 PRESENTATION

Les conclusions du paragraphe 5.7.4 nous permettent de considérer qu'il est possible de négliger les différences de coût du travail entre systèmes de culture pure et associée.

Notre propos n'est pas d'exploiter cette hypothèse en entreprenant une étude de la rentabilité des systèmes de culture pure et associée. Nous voudrions simplement dans ce chapitre prolonger les résultats agronomiques déjà obtenus pour apprécier, en première approximation, la rentabilité des fertilisants en culture associée maïs-légumineuse.

L'approche sera progressive; elle partira des résultats obtenus en station, intégrera les données sur les effets « précédent cultural » pour aborder enfin des calculs de budgets partiels à partir d'un essai réalisé en paysannat.

6.2 – REVENUS MARGINAUX ISSUS DES FERTILISANTS

6.2.1 – Dans l'association maïs-soja (essais n° 9 et 10).

Le revenu marginal dû aux fertilisants est égal à la valeur monétaire du gain de rendement dû à la fertilisation, diminuée du coût de cette fertilisation; il s'agit donc ici d'une estimation simplifiée de la marge nette sur la parcelle, dont une approche plus rigoureuse est effectuée un peu plus loin; le coût de l'épandage d'engrais, estimé à 14 heures de travail par hectare (rémunération heure de travail = 100 FCFA en 1983), est négligeable; prix maïs = 65 FCFA/kg; soja = 70 FCFA/kg; urée = 120 FCFA/kg; phosphate tricalcique = 67 FCFA/kg (bases 1983).

Enfin, la différence de temps de travaux entre cultures pures et associées est également négligeable (évaluée à 2% maximum, cf. paragraphe 5.7).

Revenu marginal engrais = valeur monétaire du gain de rendement dû à l'engrais – coût de l'engrais.

Les résultats de revenus marginaux des essais de fertilisation n° 9 et 10 sont présentés dans la figure 16.

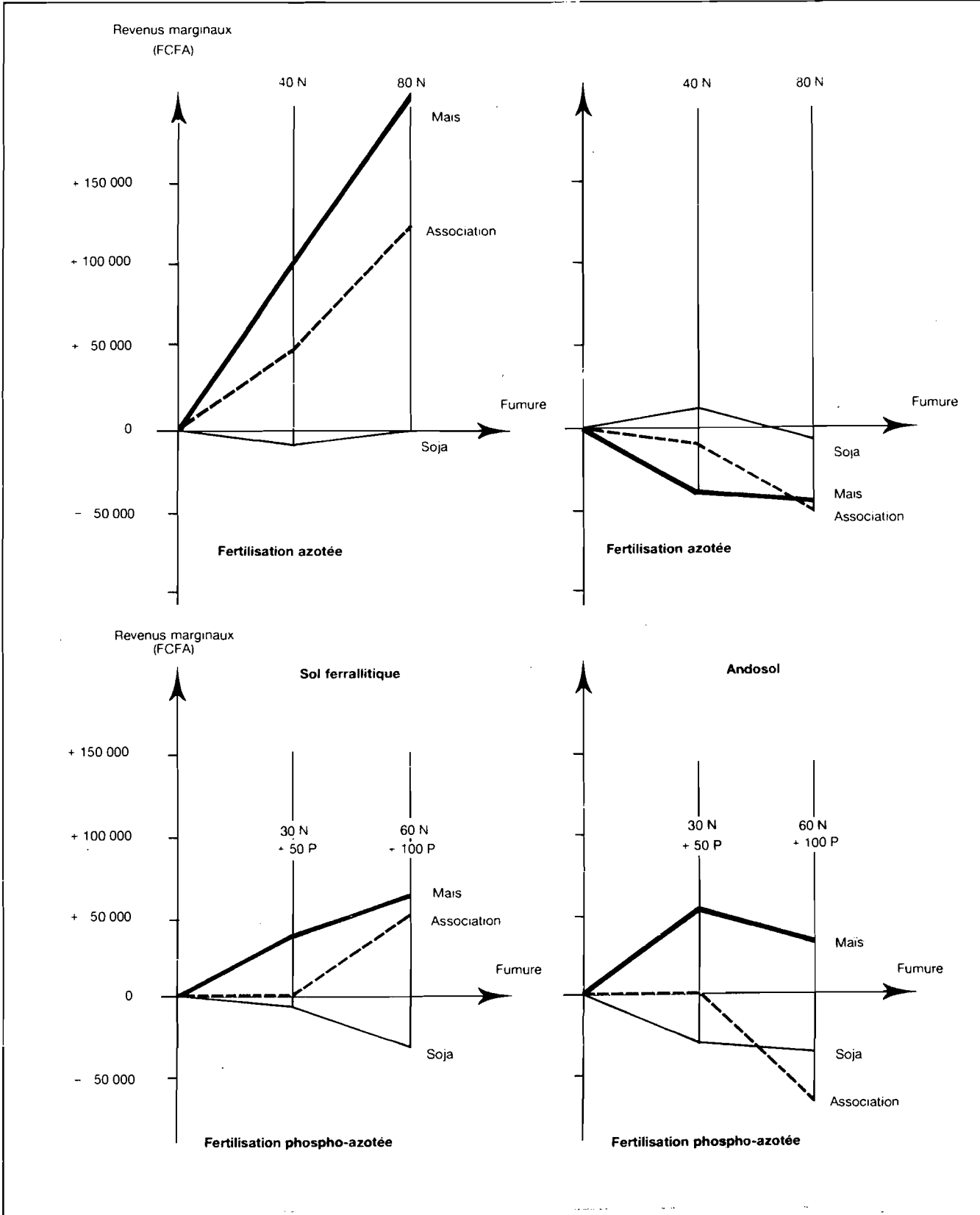


Figure 16 : Revenus marginaux retirés de la fertilisation en cultures pures et associées dans un sol ferrallitique et un andosol.

Sur l'association conduite en sol ferrallitique complexe, une fumure forte de type 80 N se montre bénéfique (+ 120 000 FCFA/ha de revenu marginal); une fumure combinée 60 N - 100 P s'avère rentable également, mais dans une moindre mesure (+ 50 000 CFA), la valorisation de l'engrais phosphaté par le maïs associé étant moindre que celle de l'engrais azoté simple. On constate que les fumures moyennes sont peu payantes par rapport aux fumures fortes, en culture associée.

Etant donné l'allure des courbes, on peut penser que des apports supérieurs de 100 unités voire 120 unités d'azote (non testés ici) pourraient se montrer rentables en culture associée.

En andosol volcanique, alors que la fertilisation du maïs cultivé en pur paraît rentable, celle de l'association culturale se montre inutile.

6.2.2 – Dans l'association maïs-haricot

Les revenus marginaux dus à la fertilisation azotée sont étudiés dans l'essai n° 12 et présentes dans la figure 17.

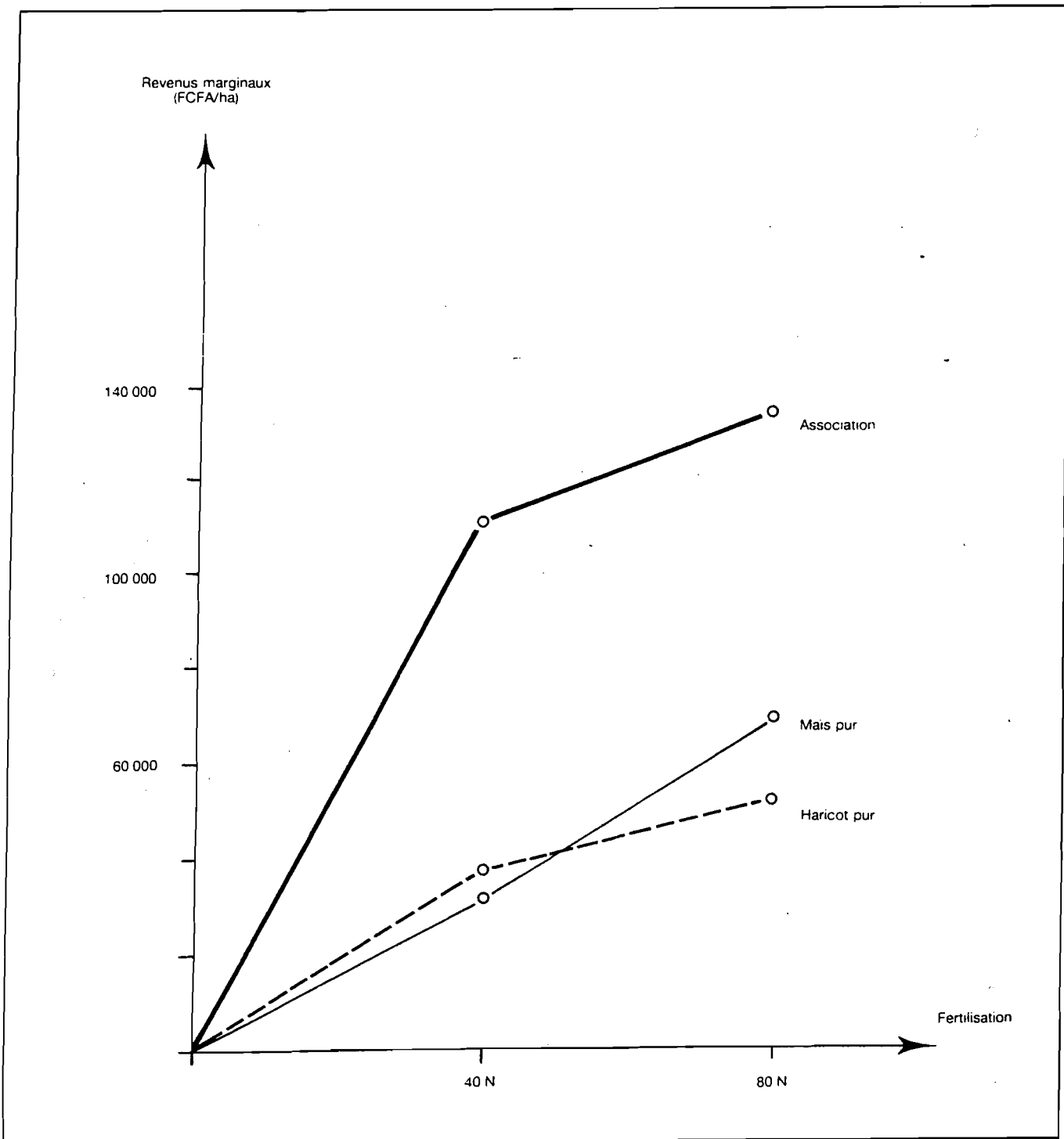


Figure 17 : Revenus marginaux dus à l'engrais azoté en sol ferrallitique complexe.

Le revenu marginal est calculé comme précédemment, mais sur une base de prix 1985 : 120 FCFA/kg urée, 70 FCFA/kg maïs, 120 FCFA/kg haricot et 125 FCFA/heure de travail.

La fumure forte de type 80 N se montre rentable dans l'association dégageant des revenus marginaux d'environ 130 000 FCFA/ha à Dschang. Le haricot associé répondant à l'apport d'azote (à l'inverse du soja), la valorisation de l'engrais par l'association est supérieure à celle réalisée par les cultures pures.

Concernant l'apport combiné NP, l'essai n° 13 montre, sur la base des chiffres de 1986 (75 FCFA/kg maïs, 130 FCFA/kg haricot, 130 FCFA/kg urée, 130 FCFA/kg supertriple) que la fumure forte 80 N - 100 P procure un revenu marginal d'environ 50 000 FCFA/ha et la fumure moyenne 40 N - 50 P un revenu marginal de 35 000 FCFA. Comme pour l'association maïs-soja, la fertilisation combinée NP serait donc moins intéressante que la fumure azotée simple en culture associée maïs-haricot (comparaison essais 12 et 13 sur un même sol).

Ces premières conclusions doivent cependant être modulées comme nous allons le voir :

- en prenant en compte les arrière-effets des fertilisants;
- en effectuant un calcul économique sur les essais réalisés en paysannat.

6.3 - RENTABILITE DES FERTILISANTS EN PRENANT EN COMPTE LES ARRIERE-EFFETS

Nous comparons ici les produits nets (valeurs monétaires des récoltes-coûts de l'engrais) des différents systèmes sur la base des prix 1986 et en négligeant, là encore, les frais d'épandage : 75 FCFA/kg maïs - 130 FCFA/kg haricot ou soja, 130 FCFA/kg urée.

L'utilisation du concept de produit net signifie que le coût de l'engrais constitue la seule charge variable à prendre en compte, comme dans le paragraphe 6.2.1.

Cette estimation simplifiée des produits nets a pour seul but d'apprécier l'importance de la prise en compte des arrière-effets en termes monétaires; elle est faite avec les résultats de l'essai n° 15 où les effets « précédent cultural » avaient été mesurés (cf. paragraphe 4.5).

L'estimation est présentée dans le tableau XXXIV.

Tableau XXXIV : Prise en compte économique des arrière-effets (essai 15, Francs CFA/ha).

Traitements		Produit net 1er camp (a)	Produit net 2ème camp (b)	Produit net annuel (c)
Culture	Fertilis.			
Maïs	0	432 400	265 300	697 700
Haricot	0	210 300	304 100	514 400
Soja	0	473 700	261 000	734 700
Maïs x haricot	0	472 700	303 000	775 700
Maïs x soja	0	642 900	220 700	863 600
Maïs	80N	601 000	262 900	863 900
Haricot	80N	224 000	328 800	552 800
Soja	80N	468 700	242 600	711 300
Maïs x haricot	80N	591 000	311 700	902 700
Maïs x soja	80N	785 000	248 600	1 033 600

N.B. : $c = a + b$

* En première campagne les revenus marginaux issus de l'apport d'azote sont d'environ :

- 120 000 FCFA/ha pour l'association maïs-haricot;
- 140 000 FCFA/ha pour l'association maïs-soja.

La culture associée maïs-soja, fertilisée ou non, paraît la plus rémunératrice.

* Sur l'année, en prenant en compte, cette fois, les arrière-effets des différents systèmes choisis en première campagne :

- la culture associée maïs-soja fertilisée reste la plus rémunératrice;
- la culture associée maïs-haricot fertilisée devient en revanche un peu plus rémunératrice que l'association maïs-soja non fertilisée (+ 5% de produit net); elle était moins rentable que cette dernière si l'on ne

considérerait que les résultats de première campagne (- 8% de produit net);

- alors que l'association maïs-haricot fertilisée procurait en première campagne un produit net voisin de celui d'un maïs fertilisé cultivé en pur (- 1%), la prise en compte des arrière-effets se montre favorable à cette association : celle-ci procure un produit net annuel supérieur à celui du maïs pur fertilisé (+ 5%).

Il convient donc, dans toute comparaison économique de systèmes purs et associés de prendre en compte les arrière-effets des fertilisants et des systèmes culturaux considérés, sur les cultures suivantes. Ces arrière-effets modifient, en effet, sensiblement les résultats économiques considérés au niveau de la parcelle; en particulier l'association maïs-haricot, dont l'effet « précédent cultural » est important (sans doute en raison d'exportation minérales des deux espèces étalées dans le temps) voit son intérêt économique accru par rapport aux cultures pures, lorsque l'on chiffre cet arrière-effet.

6.4 - ANALYSE PAR LA METHODE DES BUDGETS PARTIELS

6.4.1 - Présentation

Les comparaisons de revenus marginaux issus des engrais, prenant ou non en compte les arrière-effets, sont intéressantes pour apprécier la valorisation de ces engrais par les différents systèmes culturaux.

Si l'on veut juger de la rentabilité des engrais à des fins de vulgarisation d'une formule de fertilisation, une analyse économique plus rigoureuse de résultats d'essais réalisés en paysannat, s'impose.

L'essai n° 14, conduit en cinq sites de l'Ouest-Cameroun, représentatifs des sols ferrallitiques d'altitude (cf. paragraphe 4.4.5), est analysé par la méthode des budgets partiels.

6.4.2 – Rappel sur la méthode des budgets partiels

Il s'agit d'une méthode comptable utilisée pour la prise de décision concernant l'adoption d'innovation(s) technique(s).

On suppose, dans le principe, que l'agriculteur va apprécier le supplément de charges variables et le supplément de bénéfice introduits par l'innovation, par rapport à son itinéraire technique habituel (dit « traditionnel »); la fertilisation représente ici l'innovation technique.

Divers concepts sont utilisés pour le calcul :

- **rendement ajusté (a)** : c'est le rendement « sur pied » diminué de pertes à la récolte et lors du transport; on estime ces pertes à 10% et l'on travaille sur la base du rendement moyen d'un traitement sur l'ensemble des sites de l'essai ;
- **prix au champ des récoltes (b)** : c'est le prix du marché (base 1986) diminué des frais de récolte, stockage et transport, supportés par l'agriculteur, évalués à 10% également, ce qui donne dans notre cas :

Maïs

Haricot

Prix marché = 75 FCFA/kg

Prix marché = 130 FCFA/kg

Prix au champ = 67 FCFA/kg

Prix au champ = 117 FCFA/kg

- **bénéfice brut au champ (BB)** : $BB = a \times b$;
- **coût des facteurs de production** nécessaires à l'option technique testée (c) : il s'agit du coût au champ des engrais, égal au prix des engrais majoré de 10% (pour transport de l'engrais au champ) soit 130 FCFA/kg + 10% = 143 FCFA/ kg urée, 195 FCFA/kg + 10% = 215 FCFA/kg phosph. bicalcique;
- **coût de la main-d'oeuvre** utilisée pour l'option technique choisie (d) : les frais d'épandage d'engrais représentent ici 14 heures de travail rémunérées 125 FCFA/h, soit 1 750 FCFA/ha;
- **sommes des coûts variables** introduits par l'option technique : $SCV = c + d$;
- **bénéfice net partiel (BN)** = $BB - SCV$;
- **taux marginal de rentabilité (TMR)** : c'est le rapport de l'accroissement de bénéfice net au supplément de capital introduits par le choix d'une option technique soit :

ΔBN

$TMR = \frac{\Delta BN}{\Delta SCV} \times 100$ pour passer d'une option technique à une autre (%)

- **taux minimum de rentabilité du capital (TAMIR)** : c'est la valeur minimum du TMR que l'agriculteur va exiger pour adopter un changement technique; ce TAMIR est égal au coût du capital, éventuellement augmenté d'un coefficient d'incitation au changement très subjectif et difficile à apprécier (notion de risque).

Rapport-gratuit.com

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES



Les taux d'intérêts variant entre 5 et 10% par mois, nous prendrons un TAMIR de 100% (souvent adopté en Afrique).

Ainsi, il convient de comparer le TMR introduit par un changement d'option technique au TAMIR (100%) pour juger de la « rentabilité » de cette option.

6.4.3 – Résultats

Les résultats des calculs appliqués à l'essai n° 14 (fertilisation de l'association maïs-haricot), sont présentés dans le tableau XXXV.

Tableau XXXV : Résultats des budgets partiels de l'essai n° 14.

Traitements	Rdts ajustés (kg/ha)		Bénéfice brut association (FCFA/ha)	SCV (FCFA/ha) (engrais)	Bénéfice net (FCFA/ha)
	Maïs	Haricot			
0 fertilisant	2 450	447	216 450	0	216 450
80 N	3 096	544	271 080	26 920	244 160
40 N - 40 P	3 073	560	271 410	36 970	234 440
80 N - 80 P	3 792	572	320 990	72 190	248 800

C'est essentiellement le maïs qui rentabilise l'engrais azoté apporté à l'association culturale.

*** Option 80 N :**

$$\text{TMR (\%)} = \frac{\Delta \text{BN}}{\Delta \text{SCV}} \times 100 = 103\% > \text{TAMIR (100\%)}$$

0 → 80 N

acceptée.

*** Option 40 N - 40 P :** éliminée car ayant un BN inférieur à celui de l'option précédente.

*** Option 80 N - 80 P :**

$$\text{TMR (\%)} = \frac{\Delta \text{BN}}{\Delta \text{SCV}} \times 100 = 10\% < \text{TAMIR}$$

80 N → 80 N - 80 P

éliminée également.

Ainsi, le rapport bénéfice/coût n'est incitatif qu'avec l'urée (80 N).

D'autres prix de vente du maïs et du haricot correspondant à d'autres années de référence ont été utilisés pour les calculs : ils n'ont pas sensiblement modifié les résultats présentés ci-dessus.

6.5 - CONCLUSION SUR LA RENTABILITE DES FERTILISANTS

Ainsi, seule la fumure de type 80 N se montre rentable en paysannat et pourrait être vulgarisée en culture associée maïs-haricot (et vraisemblablement maïs-soja) en sol ferrallitique.

Ces conclusions rejoignent celles issues des calculs de rentabilité des engrais effectués plus simplement sur des essais conduits en station, où la fumure azotée est toujours plus rentable que l'apport combiné NP.

On notera que certains engrais, dont l'urée, sont subventionnés dans l'Ouest-Cameroun; nous n'en avons pas tenu compte, ce qui rend encore plus fiable la rentabilité de la fumure azotée mise en évidence.

L'absence de prise en compte des arrière-effets des engrais représente une des limites de la méthode des budgets partiels. On peut penser que l'évaluation de ces arrière-effets aurait été moins défavorable aux engrais combinés NP, le phosphore présentant souvent des reliquats plus importants que l'azote après culture; une prise en compte systématique des arrière-effets (comme dans le paragraphe 6.3) est à conseiller.

Enfin, la fumure 80 N est la plus forte testée et la forme des courbes de réponses laisse penser que des fumures du type 100 N ou 120 N pourraient être intéressantes; elles présenteraient cependant le risque d'une consommation de luxe (gaspillage) des engrais, particulièrement dans le cas de l'association incluant le soja, dont le pouvoir fixateur est inhibé par les apports massifs d'azote.

7.1 - PRESENTATION

La confrontation de divers résultats d'essais et informations relatives à ces essais nous a permis de dégager quelques tendances générales.

Les points les plus saillants sont synthétisés dans ce chapitre; une comparaison est effectuée, en particulier, entre les associations maïs-haricot et maïs-soja. Les essais portant sur ces deux types d'association ont, en effet, été menés sur les mêmes sols et les rendements de culture pure du maïs (témoin commun aux deux types d'essais) sont voisins :

- rendement moyen maïs pur dans essais maïs-soja = 6 123 (\pm 373) kg/ha;
- rendement moyen maïs pur dans essais maïs-haricot = 6 021 (\pm 392) kg/ha.

7.2 - RENDEMENTS RELATIFS

7.2.1 - Maïs

Le LERmaïs moyen sur 65 mesures effectuées dans l'ensemble des essais est de **0,825** (\pm 0,130).

Ce LERmaïs ne s'est montré significativement inférieur à 1 que dans 34 traitements sur 60 pour lesquels la comparaison statistique a été effectuée; cela signifie que le rendement du maïs associé n'est inférieur au rendement du maïs cultivé en pur que dans 57% des cas; dans presque un cas sur deux le maïs produit autant en association qu'en culture individuelle, ce qui rejoint les résultats obtenus par SEARLE et al. (1981), FRANCIS et al. (1978).

Le maïs associé, pour un ratio de densité de 67% (40 000 pl/ha contre 60 000 en pur) produit 83% de son rendement en pur; cela atteste clairement que la céréale **tire donc profit de l'association** et présente un poids de graines par plante supérieur à celui obtenu en culture pure (cf. paragraphe 5.4.7).

Le LERmaïs est un peu supérieur lorsque le maïs est associé au soja, au lieu d'être associé au haricot; ce LERm passe en effet de 0,78 dans l'association maïs-haricot à 0,84 dans l'association maïs-soja; cela provient sans doute d'une croissance plus rapide du haricot qui impose une compétition foliaire au maïs en début de cycle (jusqu'à 30 JAS).

Le LERmaïs est fortement réduit lorsque l'on passe d'un sol ferrallitique à un andosol plus riche (cf. chapitre IV) :

- LER maïs = 0,85 à Dschang;
- LER maïs = 0,66 à Foumbot.

En revanche le LER maïs est peu affecté par la fertilisation :

- LERmaïs = 0,83 en l'absence d'engrais (47 mesures);
- LERmaïs = 0,81 en présence d'engrais (18 mesures).

Cela confirme les résultats de AHMED et RAO (1982) selon lesquels le maïs associé répond à l'engrais azoté d'une façon identique au maïs cultivé en pur; de même LIBOON et HARWOOD (1975) maintiennent le LERmaïs constant (0,62) en apportant 240 unités d'azote à l'association maïs-soja.

7.2.2 - Légumineuses

Le LER légumineuse moyen sur 65 mesures est de **0,465** (\pm 0,110); la légumineuse associée produit donc un peu moins de la moitié de son rendement en culture individuelle, pour un ratio de densité de 60%; malgré une densité de peuplement inférieure à celle de la culture pure la production par plante reste inférieure également; la légumineuse qui ne « compense » pas cette baisse de densité est donc dominée par la céréale.

Le rendement relatif du haricot se montre supérieur à celui du soja (0,51 contre 0,45); ces résultats doivent être reliés à ceux concernant le rendement relatif du maïs : l'association maïs-soja privilégierait le maïs aux dépens de la légumineuse par rapport à l'association maïs-haricot. Cela s'explique sans doute par :

- une sensibilité à l'ombrage plus forte chez le soja, déjà évoquée;
- un développement plus rapide du haricot qui concurrence le maïs plus que ne le fait le soja.

Le rendement relatif des légumineuses n'est pas affecté par le sol considéré (moyennes identiques à Dschang et Foumbot), contrairement au rendement relatif du maïs.

Les rendements relatifs des légumineuses évoluent différemment en présence d'engrais azoté ou phosphoazoté :

	LER soja	LER haricot
sans engrais	0,47	0,50
avec engrais	0,39	0,52

Alors que le haricot associé profite comme le haricot pur de l'apport d'engrais, le soja associé n'en profite pas et subit au contraire plus fortement la concurrence du maïs (cf. chapitre V).

7.2.3 – CORRELATION ENTRE LES RENDEMENTS RELATIFS

L'annexe 38 donne les résultats de rendements relatifs dans l'ensemble des essais étudiés ainsi que les calculs du coefficient de corrélation; celui-ci est de 0,46 : les rendements relatifs des deux espèces associées sont donc faiblement et négativement corrélés, ce qui caractérise la **concurrence interspécifique** existant au sein de l'association.

7.3 – LAND EQUIVALENT RATIOS (LER)

La moyenne générale du LER, égale à la somme des rendements relatifs moyens présentés précédemment, est : **LER = 1,29** ($\pm 0,12$); cela représente donc un « surrendement » de 29% des cultures associées par rapport aux cultures pures.

La distribution de ce LER par classes de 0,05 en 0,05 est donnée en annexe 39.

On constate que 52% des LER obtenus dans les différents traitements de cultures associées (65 mesures) sont compris entre 1,20 et 1,35; 39% des LER sont compris entre 1,25 et 1,35.

WILLEY et OSIRU (1972) ainsi que WAHUA et MILLER (1978) obtiennent des LER compris entre 1,25 et 1,40 pour les associations céréale-légumineuse ; FARIS et al. (1983) obtiennent, sur une dizaine d'essais concernant l'association maïs-haricot, un LER moyen de 1,35.

Aucune différence n'existe dans le rendement global des associations maïs-haricot et maïs-soja, dont les LER sont identiques (1,29); seuls leurs rendements relatifs, nous l'avons vu, varient.

Le LER des associations diminue lorsque l'on passe d'un sol ferrallitique à un andosol plus riche (1,32 à Dschang et 1,13 à Foumbot); cette diminution est uniquement due à une baisse de rendement relatif de la céréale. Elle traduit simplement le fait qu'en sol riche, l'avantage comparatif de l'association dû à une utilisation des ressources supérieure à celle des cultures pures, tend à disparaître.

Les LER des associations maïs-haricot et maïs-soja évoluent différemment en présence d'engrais azoté ou phosphoazoté :

	LER de l'association M x S	LER de l'association M x H
Sans engrais	1,31	1,29
Avec engrais	1,22	1,28

Le LER de l'association maïs-haricot n'est pas affecté par la fertilisation; le LER de l'association maïs-soja diminue, en revanche, en présence d'engrais, par suite d'une baisse du rendement relatif de la légumineuse (cf. paragraphe 7.2.2).

LIBOON et HARWOOD (1975) ainsi que HERRERA et MORRIS (1984) constatent également une baisse importante du LER (de 1,45 à 1,20) lorsqu'ils apportent 60 unités d'azote à l'association maïs-soja.

7.4 – NUTRITION AZOTEE

La nutrition azotée de la céréale se trouve améliorée en présence d'une légumineuse (cf. paragraphe 5.3.4); à partir de 80 JAS environ, les exportations d'azote du maïs associé dépassent celles du maïs cultivé individuellement.

Dans les graines de maïs, les teneurs en azote à la maturité augmentent de 9 à 12% en présence de soja (essais n° 9 et 15) et de 5 à 6% en présence de haricot (essais n° 12 et 15), par rapport au maïs cultivé en pur.

La nodulation des légumineuses et la fixation symbiotique d'azote du soja sont accrues en association; il en résulte parfois une augmentation de teneur en azote des graines de la légumineuse lorsqu'elle est associée, ce qui ne se produit pas pour les autres éléments majeurs; cette augmentation des teneurs en azote des graines est de 6% sur haricot (essai n° 12) et 9% sur soja, espèce plus fixatrice.

Il en résulte globalement **une production d'azote en association toujours supérieure** à celle d'une combinaison des cultures pures.

Cette supériorité est plus marquée dans l'association maïs-soja (cf. paragraphe 5.3); cela explique sans doute que l'arrière-effet de ce système sur une culture de seconde campagne soit significativement inférieur à celui d'une association maïs-haricot (cf. paragraphe 4.5.2).

L'amélioration de la nutrition azotée du maïs associé peut, quant à elle, provenir :

- d'une compétition interspécifique pour l'azote inférieure à la compétition intraspécifique : la substitution de 240 000 pl/ha de soja ou 200 000 pl/ha de haricot aux 20 000 pl/ha de maïs augmente la disponibilité d'azote pour la céréale;
- d'un transfert d'azote de la légumineuse vers le maïs.

La question très controversée (cf. chapitre I) du transfert d'azote ne pourrait être tranchée qu'en utilisant l'azote 15. Il nous semble cependant que les faibles différences de cycle existant entre la légumineuse (90 à 125 jours) et le maïs (137 jours) rendent difficile un tel transfert.

Dans ces conditions, c'est la première explication qu'il faut retenir : la nutrition azotée du maïs est améliorée parce que l'on remplace, dans l'association, une partie des céréales par des légumineuses, **moindres** consommatrices d'azote issu du sol (en particulier dans le cas du soja).

7.5 – L'OMBRAGE

Celui-ci est fonction du développement végétatif du maïs, dont nous rappelons les différents stades en annexe 40.

Des mesures de températures foliaire effectuées dans l'essai n° 15, à 90 JAS, indiquent à 10 heures, une perte de 3 °F entre les étages foliaires supérieurs du maïs (79 °F) et les étages foliaires supérieurs de la légumineuse (76 °F); à midi, une perte de 4 °F est enregistrée (83 contre 79); à 50 JAS, en revanche, la perte n'est que de 1 °F en moyenne, le maïs n'ayant encore qu'une taille réduite (environ 70 cm). Bien entendu, température foliaire et intensité lumineuse reçue par les feuilles sont en liaison étroite.

On peut donc penser que le maïs, même à fort développement végétatif (Z 290), ne crée un réel ombrage que lorsqu'il atteint sa taille adulte; à 80 JAS (fécondation, cf. annexe 40) sa taille moyenne est de 180 cm; à cette date, le haricot a déjà élaboré son rendement, au contraire du soja qui peut encore subir l'effet d'ombrage; l'effet dépressif de la présence du maïs sur la production du haricot serait plutôt dû dans nos conditions expérimentales aux interférences racinaires.

L'effet d'ombrage jouerait donc fortement dans le cas du soja, du fait de sa sensibilité à ce facteur mais également en raison de son développement plus lent que celui du haricot; cela pourrait expliquer partiellement la baisse du poids de 1 000 graines observée sur soja associé par rapport au soja cultivé individuellement.

7.6 – COMPARAISON DES ASSOCIATIONS MAIS-HARICOT ET MAIS-SOJA

Sur l'ensemble des essais considérés les rendements moyens des légumineuses sont respectivement :

- rendement haricot en culture pure = 1 515 kg/ha;
- rendement haricot en culture associée = 770 kg/ha;
- rendement soja en culture pure = 2 480 kg/ha;
- rendement soja en culture associée = 1 115 kg/ha.

Les différences observées s'expliquent par les potentialités génétiques différentes des deux espèces et par un degré d'avancement plus important des travaux de sélection variétale du soja au Cameroun.

Ces résultats de rendement étant établis, un certain nombre de différences ont été constatées au cours des chapitres précédents, dans le comportement des associations maïs-haricot et maïs-soja; nous essayons d'en effectuer, ici, la synthèse.

7.6.1 -- Comportement du maïs associé

En fin de cycle végétatif, la croissance en matière sèche du maïs associé au soja semble inférieure à celle du maïs associé au haricot (cf. paragraphe 5.2), en raison d'une compétition interspécifique plus tardive.

Le rendement relatif moyen du maïs associé au soja est cependant légèrement supérieur à celui du maïs associé au haricot; cela est particulièrement vrai en présence d'engrais azoté pour lequel le soja (contrairement au haricot) ne concurrence pas la céréale. Cela signifierait que l'indice de récolte du maïs est supérieur dans l'association maïs-soja.

Les teneurs des graines de maïs en azote et phosphore sont également supérieures lorsque la légumineuse associée est le soja.

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MEMOIRE

7.6.2 – Comportement de la légumineuse associée

Le haricot se développe plus précocement que le soja; le pic d'absorption minérale du haricot précède celui du maïs, alors que celui du soja coïncide avec le pic d'absorption de la céréale.

La sensibilité du haricot à l'ombrage est moins forte que celle du soja.

Le soja, au contraire du haricot, subit une concurrence tardive de la part du maïs (après 90 JAS).

Cette concurrence s'établit pour les éléments minéraux essentiellement (N et P) et pour la lumière puisque le maïs a alors atteint sa taille adulte.

Le poids de 1 000 graines, composante du rendement élaborée en fin de cycle, n'est affecté par la présence du maïs que sur le soja; cela découle directement du fait précédent; au contraire, le nombre de gousses

par plante, déterminé plus précocement, diminue de manière équivalente sur les deux légumineuses, lorsqu'elles sont associées au maïs.

En conséquence, le rendement relatif du haricot se montre supérieur à celui du soja (cf. paragraphe 7.2.2).

Le Land Equivalent Ratio (LER) des associations maïs-haricot n'est pas modifié par un apport d'engrais azoté, alors que celui des associations maïs-soja diminue; cela provient du fait que le soja, contrairement au haricot, ne profite pas de l'engrais apporté et subit même plus fortement la concurrence du maïs.

CONCLUSION GENERALE

OBJET

De nombreuses recherches, souvent ponctuelles, ont été effectuées sur le thème des associations céréale-légumineuse, dans une optique agronomique.

Nous avons conservé cette optique en nous efforçant d'avoir une approche globale et de comprendre les interférences mises en jeu dans le fonctionnement de ces cultures associées.

Dix-neuf essais ont été analysés, sous l'angle de l'amélioration des techniques et celui de la compréhension des particularités des associations maïs-légumineuse.

L'amélioration des techniques culturales ne visait pas une maximisation du rendement de la céréale aux dépens de la légumineuse, mais plutôt un relatif équilibre entre les productions.

METHODOLOGIE

L'intérêt de l'utilisation d'autres ratios de comparaison des systèmes que le classique LER a été mis en évidence :

- Competitive Ratio (CR) pour apprécier la domination du maïs;
- Area-Time-Equivalency-Ratio (ATER) dans le cas d'une association incluant une troisième espèce de cycle long (macabo).

L'utilisation de la statistique non paramétrique pour comparer les LER s'est révélée pertinente.

« SURRENDEMENT » DES CULTURES ASSOCIÉES

Le LER moyen des cultures associées sur l'ensemble des essais est de 1,29, ce qui exprime un « surrendement » de 29% par rapport aux cultures pures. Avec un rendement relatif moyen de 0,83, le maïs présente une production en association statistiquement équivalente à celle d'une culture individuelle, dans un cas sur deux; cela constitue une **justification importante de la pratique d'une telle association** dans un milieu où le maïs représente la plante vivrière principale.

Ce rendement relatif, obtenu en semant simultanément les deux espèces, est encore accru lorsque l'on retarde le semis de la légumineuse.

Le LER des cultures associées diminue nettement lorsque l'on passe d'un sol ferrallitique à un andosol volcanique plus fertile; l'association est surtout bénéfique en sol de fertilité moyenne du fait de son aptitude à utiliser des ressources du milieu inexploitées par les cultures pures; en milieu riche, non limitant pour les cultures pures, l'avantage comparatif des systèmes associés tend à diminuer.

FACTEURS TECHNIQUES D'AMELIORATION DES ASSOCIATIONS

Le rendement du maïs associé reste constant dans une large gamme d'arrangements spatiaux entre espèces; la légumineuse se montre un peu moins productive en culture mixte qu'en culture intercalaire du fait d'une « imbrication » accrue des deux espèces, accentuant la domination du maïs. La culture mixte systématisée (alternance des espèces sur la ligne) n'offre aucun supplément de production par rapport à la culture mixte en vrac, traditionnellement pratiquée.

L'association maïs-légumineuse supporte des peuplements supérieurs à ceux des cultures pures; avec une variété de maïs à fort développement végétatif (Z 290), un coefficient de densité équivalentes (CDE) voisin de 130% semble adéquat; la combinaison de 40 000 plantes/ha de maïs (Z 290) avec 200 000 plantes/ha de haricot ou 240 000 plantes/ha de soja peut être recommandée. La morphologie de la plante dominante (particulièrement la hauteur) influence fortement le rendement de la plante partenaire en modifiant le degré de compétition; cet aspect devra être pris en compte par les sélectionneurs de maïs. On peut toutefois réduire la concurrence imposée par une variété de maïs à fort développement en modifiant les densités de peuplement préconisées ci-dessus.

L'intérêt des variétés de haricot déterminées par rapport aux variétés semi-déterminées (« volubiles »), qui s'enroulent autour du maïs et affectent sa production, mérite d'être relevé. L'interaction génotype x système cultural, obtenue sur le soja, souligne la nécessité de tester la tolérance à l'ombrage des variétés de soja sélectionnées.

En semant la légumineuse quinze jours après la céréale, on obtient par rapport au semis simultané un gain significatif de production du maïs de 18% et une perte significative de production de la légumineuse d'environ 50%; on conçoit donc que les agriculteurs, dont la préférence va à la céréale, la sèment parfois avant la légumineuse.

FERTILISATION

En sol ferrallitique, la réponse du maïs associé à l'engrais azoté et phosphoazoté est linéaire et équivalente à celle d'un maïs cultivé en pur; l'effet des fumures fortes sur son rendement est toujours significatif.

En andosol, le maïs associé ne répond pas à la fumure combinée NP, au contraire du maïs cultivé en pur.

La production du soja, qu'il soit cultivé en pur ou en association, n'est pas modifiée par l'apport d'engrais. Le haricot associé au maïs répond significativement à l'engrais, en sol ferrallitique; cela semble dû, pour l'essentiel, à une croissance et une absorption minérale plus précoces que celles du soja.

L'utilisation de la méthode des budgets partiels a permis de prouver qu'une fumure de type 80 N se montrait rentable, en sol ferrallitique, sur culture associée maïs-haricot (et vraisemblablement maïs-soja).

La forme des courbes de réponse laisse penser que des doses d'azote supérieures pourraient être intéressantes; elles présenteraient cependant le risque d'une consommation « de luxe » de l'engrais, le pouvoir fixateur des légumineuses étant inhibé par les apports massifs d'azote.

Il apparaît clairement que l'on peut jouer sur les techniques culturales et la fertilisation, pour favoriser telle ou telle espèce de l'association et modifier l'équilibre entre les productions.

ARRIERE-EFFETS

L'association maïs-haricot présente un arrière-effet sur une culture de haricot de seconde campagne, significativement supérieur à celui de l'association maïs-soja (+ 25 à 37%).

L'effet « précédent cultural » de l'association maïs-haricot ne diffère pas de celui des cultures pures; l'effet « précédent » de l'association maïs-soja, en revanche, est inférieur à celui des cultures pures (exportations minérales accrues et donc reliquats moins importants).

La prise en compte des arrière-effets des différents systèmes sur la culture suivante paraît essentielle pour apprécier leur rentabilité.

CAS DE L'ASSOCIATION MAIS-HARICOT-MACABO

L'association traditionnelle maïs-haricot-macabo pourrait être améliorée en augmentant les densités de peuplement du maïs (de 30 000 à 40 000 pl/ha) et du haricot (de 40 000 à 80 000 pl/ha); une autre option technique, qui profite cette fois largement au macabo (rendement multiplié par cinq), est l'apport d'une fumure combinée NPK sans augmentation des densités.

INTERFERENCES ENTRE ESPECES ASSOCIEES

L'utilisation de plaques de tôle enfoncées verticalement dans le sol pour séparer les racines des deux espèces nous a permis, par comparaison avec un témoin, d'apprécier les interférences racinaires.

La domination de la céréale sur la légumineuse se manifeste particulièrement dans la dynamique de production de biomasse aérienne; un effet dépressif de la présence du maïs sur la croissance de la légumineuse associée est constaté dès le début du cycle sur haricot et à partir de 90 JAS sur soja.

Sur le plan des composantes du rendement, le maïs associé enregistre une augmentation du poids de grains par plante et les légumineuses associées, une baisse de nombre de gousses par plante, par rapport aux cultures pures; le soja, qui subit une concurrence plus tardive du maïs, voit, en outre, son poids de 1 000 graines diminuer en association.

La nutrition phosphoazotée du maïs est améliorée en présence d'une légumineuse particulièrement lorsqu'il s'agit du soja (teneur en azote des graines de maïs augmentée de 10%).

L'effet positif de l'association sur la nodulation et la fixation symbiotique du soja est mis en évidence; l'absorption continue d'azote par le maïs appauvrirait la rhizosphère, stimulant ainsi la nodulation et la fixation du soja; cela expliquerait l'augmentation de teneur en azote des graines du soja associé, parfois observée (9%).

Dans l'ensemble, les deux légumineuses subissent différemment la domination du maïs, en raison de leurs différences de cycle, de nutrition azotée et de tolérance à l'ombrage.

MALADIES

La diminution des symptômes des principales maladies des légumineuses lorsqu'elles sont mises en présence du maïs, est indéniable; en ce qui concerne le haricot, dont les variétés locales sont très sensibles à ces maladies, cet effet « partenaire » du maïs mériterait d'être étudié en termes de rendement ou de stabilité de production.

VALORISATION DU TRAVAIL

La supériorité de l'association maïs-légumineuse sur les cultures pures réside plutôt dans sa valorisation du capital « terre » (cf. LERs) que dans celle du facteur travail.

Les temps de travaux et la productivité du travail diffèrent très peu entre cultures associées et individuelles : une baisse d'environ 10% du temps de désherbage, en association, est globalement compensée par une augmentation du temps de récolte; le désherbage survenant souvent en période de pointe de travail, on peut voir là un avantage relatif de l'association sur les cultures pures.

PERSPECTIVES DE RECHERCHES

Une meilleure compréhension des mécanismes de compétition au sein des associations passerait nécessairement par une analyse de la distribution de la lumière dans les couverts végétaux. L'intensité lumineuse constitue, en effet, une ressource limitante dans l'Ouest-Cameroun (en juillet-août, particulièrement). Une étude de l'évolution des indices foliaires et de l'interception lumineuse, dans les différents étages foliaires de l'association, pourrait être envisagée.

Etant donné le rôle primordial de la nutrition azotée dans les relations de compétition entre maïs et légumineuse, un suivi de la dynamique de l'azote (y compris ses fractions organiques) dans la rhizosphère « commune » de l'association, constituerait un prolongement intéressant de nos travaux. L'azote 15 pourrait être utilisé pour examiner la question du transfert d'azote de la légumineuse vers l'espèce associée ou la culture suivante.

Enfin, l'association maïs-légumineuse a prouvé sa bonne adaptation aux sols de fertilité moyenne; son comportement en sols pauvres ou acides mériterait d'être étudié; en particulier, une comparaison des effets d'une carence en azote sur le comportement du maïs cultivé en pur et du maïs associé à une légumineuse pourrait être entreprise.

- ABD EL-GAWAD A.A., EDRIS A.S., ABO-SHETAIA A.M., 1985. - **Intercropping soybean with maize : I effect of intercropping soybean with maize on growth, yield and yield components of soybean.** *Annals Agric. Sci. Fac. Agric. Ain Shams Univ. Cairo, Egypt.*, 30 (1) : 207-221.
- AHMED S., GUNASENA H.P.M., 1979. - **N utilization and economics of some intercropped systems in tropical countries.** *Trop. Agric. Trinidad*, 56 (2) : 115-123.
- AHMED S., RAO M.R., 1982. - **Performance of maize-soybean intercrop combination in the tropics : results of a multilocation study.** *Field Crops. Res.*, 5 : 147-161.
- AIDAR H., VIEIRA C., 1979. - **Cultura associada de feijao e milho : III efeitos de populações de plantas sobre o feijao da seca.** *Revista Ceres*, 26 (147) : 465-473.
- ALLEN J.R., OBURA R.K., 1983. - **Yield of corn, cowpea and soybean under different intercropping systems.** *Agron. J.* 75 : 1 005-1 009.
- AUTFRAY P., 1988. - **Problématique de recherche développement dans l'Ouest-Cameroun.** Thèse ESAT, Recherche, CNEARC, Montpellier, 85 p.
- AYUK-TAKEM J.A., CHHEDDA H.R., 1985. - **Grain yield potential of some diverse maize morphotypes intercropped with cocoyam.** *Expl. Agric.*, 21 : 145-152.
- BAKER E.F.I., 1978. - **Mixed cropping in northern Nigeria : I cereals and groundnut.** *Expl. Agric.*, 14 : 293-298.
- BAKER E.F.I., 1979. - **Mixed cropping in northern Nigeria : II cereals and cotton.** *Expl. Agric.*, 15 : 33-40.
- BAKER E.F.I., 1979. - **Mixed cropping in northern Nigeria : III mixtures of cereals.** *Expl. Agric.*, 15 : 41-48.
- BALDWIN J.P., 1976. - **Competition for plants nutrients in soil : a theoretical approach.** *J. Agric. Sci.*, 87 : 341-356.
- BALDY Ch., 1963. - **Cultures associées et productivité de l'eau.** *Ann. Agro.*, 14 (4) : 489-534.
- BALDY Ch., N'GUESSAN A.E., OSSENI B., 1987. - **Quelques aspects de la bioclimatologie dans les cultures associées de plantes annuelles.** *Fruits*, 42 (5) : 273-287.
- BANDYOPADHYAY S.K., RAJAT D.E., 1986. - **N relationship in a legume-nonlegume association grown in an intercropping system.** *Fertilizer Res.*, 10 : 73-82.
- BEETS W.C., 1977. - **Multiple cropping of maize and soybeans under a high level of crop management.** *Neth. J. Agric. Sci.*, 25 : 95-102.
- BEETS W.C., 1982. - **Multiple cropping and tropical farming systems.** Aldershot, Harts (G.B), Gower Publishing Company Ltd. 156 p.

BERGERET A., 1977. — Vers une plus large autonomie alimentaire du Tiers monde. Thèse de doctorat, université de Paris I, 273 p.

BIARNES A., 1984 — Cultures associées : la grande défriche. Lettre du réseau Recherche-Développement n° 1, p. 8.

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA, 1979. — Description de una alternativa para el mejoramiento del sistema maiz-frijol en relevo practicado por pequenos agricultores de la comunidad agricola de Samulali, Nicaragua.

CAVALIE J., 1979. — Observations sur la compétition maïs-pois congo dans l'association maïs-pois congo-sorgho sur vertisol calcaire à Haiti. In : XVIème Congrès annuel CFCs Santo Domingo, Rép. Dominica, 5-11 août, p. 1-8.

CHAGAS J.M., VIEIRA C., M.A. RAMALHO M.A.P., PEREIRA FILHO I.A., 1983. — Efeitos do intervalo entre fileiras de milho sobre o consorcio com a cultura do feijao. Pesq. agropec. bras., 18 (8) : 879-885.

CHALAMET A., 1983. — Concurrence entre une graminée (*Lolium multiflorum*) et une légumineuse (*Trifolium pratense*) : utilisation du N 15 pour l'étude de la nutrition azotée. Acta Oecologica. Oecol. Plant. 4 (18) n° 2 : 125-133.

CHANG J.F., SHIBLES R.M., 1985a. — An analysis of competition between intercropped cowpea and maize : I soil N and P levels and their relationships with dry matter and seed productivity. Field Crops Res., 12 : 133-143.

CHANG J.F. SHIBLES R.M., 1985b. — An analysis of competition between intercropped cowpea and maize : II the effect of fertilization and population density. Field Crops Res., 12 : 145-152.

CLARK E.A., FRANCIS C.A., 1985. — Transgressive yielding in bean-maize intercrops interference in time and space. Field Crops Res., 11 : 37-53.

CHUI J.A.N., NADAR H.M., 1984. — Effect of spatial arrangements on the yield and other agronomic characters of maize and legume intercrops. East Afric. Agric. and Forest J., 44 : 137-146.

CHUI J.A.N., SHIBLES R.M., 1984. — Influence of spatial arrangements of maize on performance of an associated soybean intercrop. Field Crops. Res., 8 : 187-198.

CROOKSTON R.K., HILL D.S., 1979. — Grain yield and Land Equivalent Ratio from intercropping corn and soybeans in Minnesota. Agro. J., 71 : 41-44.

CRUZ P., LEMAIRE G., 1986a. — Analyse des relations de compétition dans une association de luzerne et dactyle : I effets sur les dynamiques de croissance en matière sèche. Agronomie, 6 (8) : 727-734.

- CRUZ P., LEMAIRE G., 1986b. - Analyse des relations de compétition dans une association de luzerne et dactyle : II effets sur la nutrition azotée des deux espèces. *Agronomie*, 6 (8) : 735-742.
- DALAL R.C., 1977. - Effect of intercropping of maize with soybean on grain yield. *Trop. Agric. Trinidad*, 54 (2) : 189-191.
- DAVIS J.H.C., VAN BEUNINGEN L., ORTIZ M.V., PINO C., 1984. - Effect of growth habit of beans on tolerance to competition from maize when intercropped. *Crop Sc.*, 24 : 751-755.
- DE WIT C.T., VAN DEN BERGH J.P., 1965. - Competition between herbage plants. *Neth. J. Agric. Sci.*, 13 : 212-221.
- DONALD C.M., 1983. - Competition among crops and pasture plants. *Adv. Agron.*, 15 : 1-118.
- DONGMO J.L., 1981. - Le dynamisme bamiléké. Volume 1 : Maîtrise de l'espace agricole. Yaoundé, Cameroun, 424 p.
- DUCRET G., GRANGERET I., 1986. - Quelques aspects des systèmes de culture en pays bamiléké. Centre universitaire de Dschang, Cameroun, 33 p.
- DUNCAN W.G., 1984. - A theory to explain the relationship between corn population and grain yield. *Crop. Sci.*, 24 : 1 141-1 145.
- DUPRIEZ H., 1980. - Paysans d'Afrique Noire. Nivelles (Belgique), Havaux, 253 p. Coll. Terre et Vie.
- ERIKSEN F.I., WHITNEY A.S., 1984. - Effect of solar radiation regimes on growth and N₂ fixation of soybean, cowpea and bushbean. *Agron. J.*, 76 : 529-534.
- FARIS M.A., BURITY H.A., DOS REIS O.V., 1983a. - Intercropping of sorghum or maize with cowpeas or common beans under two fertility levels in northeastern Brazil. *Expl. Agric.*, 19 : 251-261.
- FARIS M.A., de ARAUJO M.R.A., LIRA M. de A., ARCOVERE A.S.S., 1983b. - Yield stability in intercropping studies of sorghum or maize with cowpea or common bean under different fertility levels in northeastern Brazil. *Can. J. Plant Sci.*, 63 : 789-799.
- FELIX J.F., 1981. - Nutrition du haricot (*Phaseolus vulgaris*). Thèse de doctorat de 3ème cycle en agronomie, université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, 91 p.
- FINLAY R.C., 1974. - Intercropping soybean with cereals. In : Regional soybean conference, Addis Abeba, Ethiopia, 14-17 October, 20 p.
- FINLAY R.C., 1976. - Selection criteria in intercrop breeding. Symposium on intercropping in semi-arid areas, mai 1976, Morogoro, Tanzania, comm. n° 17, 12 p.

- FISHER N.M., 1972. - **The productivity of mixed cropping in the tropics** : A review of theoretical considerations and experimental findings. University of Nairobi, Departm. of applied Plant Science, comm. n° 1.
- FISHER N.M., 1977a. - **Studies in mixed cropping** : I Seasonal differences in the relative productivity of crop mixtures and pure stands in the Kenya highlands. *Expl. Agric.*, 13 : 177-184.
- FISHER N.M., 1977b. - **Studies in mixed cropping** : II Population pressures in maize-bean mixtures. *Expl. Agric.*, 13 : 185-191.
- FISHER N.M., 1979. - **Studies in mixed cropping** : III Further results with maize-bean mixtures. *Expl. Agric.*, 15 : 49-58.
- FRANCIS C.A., PRAGER M., LAING D.R., FLOR C.A., 1978a. - **Genotype x environment interactions in bush bean cultivars in monoculture and associated with maize**. *Crop Sci.*, 18 : 237-242.
- FRANCIS C.A., FLOR C.A., PRAGER M., SANDERS J.H., 1978b. - **Density response of climbing beans in two cropping systems**. *Fields Crops Res.*, 1 : 225-267.
- FRANCIS C.A., FLOR C.A., PRAGER M., 1978c. - **Effects of bean association on yields and yield components of maize**. *Crop Sci.*, 18 : 760-764.
- FRANCIS C.A., SANDERS J.H., 1978. - **Economic analysis of bean and maize systems** : monoculture versus associated cropping. *Field Crops Res.*, 1 : 319-335.
- FRANCIS C.A., PRAGER M., TEJADA G., 1982. - **Effect of relative planting dates in bean and maize intercropping patterns**. *Field Crops Res.*, 5 : 45-54.
- FUSSEL L.K., SERAFINI P.G., 1984 - **Crop associations in the semi-arid tropics of West Africa** : research strategies past and future. *In* : Appropriate technologies for farmers in semi-arid West Africa. W.H. OHM and J.G. NAGY Edit. p. 218-235.
- GARDINER T.R., CRAKER L.E., 1981. - **Bean growth and light interception in a bean-maize intercrop**. *Field Crops Res.*, 4 : 313-320.
- GILLIVER B., PEARCE S.C., 1983. - **A graphical assessment of data from intercropping factorial experiments**. *Explic. Agric.*, 19 : 23-31.
- GRAHAM P.H., 1981. - **Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus***, a review. *Field Crops Res.*, 4 : 93-112.
- GROUPEMENT DE RECHERCHES ET D'ECHANGES TECHNOLOGIQUES, GRET, 1982. - **Cultures associées en milieu tropical**. Eléments d'observation et d'analyse. Paris, GRET, 76 p. (Dossier technologies et développement).

- HART R.D., 1975. - A bean, corn and manioc polyculture cropping system : II a comparison between the yield and economic return from monoculture and polyculture cropping systems. Turrialba, 25 (4) : 377-384.
- HAYSTEAD A., MARRIOTT C., 1979. - Transfer of legume nitrogen to associated grass. Soil Biochem., 11 : 99-104.
- HERRERA W.T., MORRIS R.A., 1984. - Polyculture research in multiple cropping department. IRRI Saturday Seminar, March 3, 10 p. + annexes.
- HIEBSCH C.K., MAC COLLUM R.E., 1987. - Area x Time Equivalency Ratio : a method for evaluating the productivity of intercrops. Agron. J., 79 : 15-22.
- IBRAHIM A.F., AL-RAWI K.N., SALMAN A.A., 1977. - Performance of corn and soybean under intercropping in alternative rows and at different densities. Z. ACKER. und Pflanzenbau, 145 : 224-237.
- IKECHUKWU EZUEH M., 1984. - Effect of time of intercropping with maize on cowpea susceptibility to three major pests. Trop. Agric. Trinidad, 61 (2) : 82-86.
- JACQUARD P., 1975. - Concurrence intraspécifique et potentialités de rendement. Ann. Amélior. Plantes, 25 (1) : 3-24.
- JACQUARD P., 1977. - Relations entre espèces dans les associations graminée-légumineuse. Le sélectionneur français, 24 : 3-28.
- JACQUARD P., 1982. - Dynamique des relations de concurrence interspécifiques, interpopulations et intrapopulations : modèles prévisionnels et de simulation. Acta Oecologica Oecol., Generalis, 3 (1) : 183-215.
- KANG B.T., 1983. - Fertilizer use in multiple cropping systems in Nigeria, Tanzania and Senegal. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bull., 5 : 36-45.
- KIBANI T.H.M., KESWANI C.L., CHOWDHURY M.S., 1976. - Rhizosphere population in intercropping maize and soybean. Symposium on intercropping in semi-arid areas, may 1986, Faculty of Agriculture, Morogoro, Tanzania.
- KNAUFT D.A., 1984. - Genotype x cropping system interactions of peanuts grown as a sole crop and in association with maize. Trop. Agric. Trinidad 61 (1) : 12-16.
- LE ROY X., 1987. - Quelle productivité ? Problèmes soulevés par l'évaluation de la productivité dans une agriculture africaine. Laboratoire d'études agraires de l'ORSTOM, Montpellier, 7 p.
- LIBOON S.P., HARWOOD R.R., 1975. - Nitrogen response in corn soybean intercropping. Comm. at 6th Annual Scientific Meeting of the Crop Science Society of Philippines. 8-10 may 1975. Bacolod City, Philippines.

- MAC COLLUM R.E., 1983. — Dynamics of soil nutrients in multiple cropping systems in relation to efficient use of fertilizers. *FAO Fertilizers and Plant Nutrition Bull.*, 5 : 56-67.
- MARCIRIO C., MACHADO N., FLECK N.G., DE SOUZA R.S., 1984. — Comportamento dos componentes do rendimento de culturas consorciadas. *Pesq. agropec. bras. Brasília*, 19 (8) : 985-997.
- MARQUETTE J., 1985. — Le manioc en culture associée sur terres de barre au Togo. Montpellier, IRAT, 7 p.
- MARSHALL B., WILLEY R.W., 1983. — Radiation interception and growth in an intercrop of pearl millet-groundnut. *Field Crops Res.*, 7 : 141-160.
- MEAD R., WILLEY R.W., 1980. — The concept of « Land Equivalent Ratio » and advantages in yields from intercropping. *Expl. Agric.*, 16 : 217-228.
- MEAD R., STERN R.D., 1980. — Designing experiments for intercropping research. *Expl. Agric.*, 16 : 329-342.
- MEAD R., RILEY J., 1981. — A review of statistical ideas relevant to intercropping research. *J.R. Statist. Soc. A*, 144 (4) 462-509.
- MESSIAEN C.H., 1975. — Le haricot commun. In : *Le potager tropical tome 2 : cultures spéciales*, Presses universitaires de France, Paris, p. 301-317.
- MILLEVILLE P., 1974. — Enquête sur les facteurs de la production arachidière dans trois terroirs de Moyenne-Casamance. *Cah. ORSTOM, Séri. Biol.*, 24 : 65-99.
- MOHTA N.K., DE R., 1980. — Intercropping maize and sorghum with soybeans. *J. Agric. Sci. Camb.*, 95 : 117-122.
- MSUKU W.A.B., EDJE O.T. — Effect of mixed cropping of maize and bean on bean diseases. Bunda College of Agriculture. Lilongue (Malawi) p. 16-18.
- MUTSAERS H.J.W., 1978. — Mixed cropping experiments with maize and groundnuts. *Neth. J. Agric. Sci.*, 26 : 344-353.
- NADAR H.M., FAUGHT W.A., 1984. — Effect of legumes on the yield of associated and subsequent maize in intercropping and rotation systems without N fertilizer. *East Afric. and Forest. J.*, 44 : 127-136.
- NADAR H.M., 1984. — Intercropping and intercrop component interaction under varying rainfall conditions in Eastern Kenya : I maize-bean intercrop. *East Afric. and Forest. J.*, 44 : 166-175.
- NAIR K.P.P., PATEL U.K., SINGH R.P., KAUSHIK M.K., 1979. — Evaluation of legume intercropping in conservation of fertilizer nitrogen in maize culture. *J. Agric. Sci. Camb.*, 93 : 189-194.

- NAMBIAR P.T.C., RAO M.R., FLOYD C.N., REDDY M.S., DART P.J., WILLEY R.W., 1983. - Effect of intercropping on nodulation and N₂ fixation by groundnut. *Expl. Agric.*, 19 : 79-86.
- NARAYANA REDDY M., RAMANATHA CHETTY C.K., 1984. - Staple land equivalent ratio for assessing yield advantage from intercropping. *Expl. Agric.*, 20 : 171-177.
- NATARAJAN M., WILLEY R.W., 1980a. - Sorghum-pigeonpea intercropping and the effects of plant population density : 1 Growth and yield. *J. Agric. Sci. Camb.*, 95 : 51-58.
- NATARAJAN M., WILLEY R.W., 1980b. - Sorghum-pigeonpea intercropping and the effects of plant population density : 2 Ressource use. *J. Agric. Sci. Camb.*, 95 : 59-65.
- N'GORAN K., SNOECK J., 1987. - Cultures vivrières associées au caféier en Côte d'Ivoire. *Café, cacao, thé*, 31 (2) : 121-134.
- NORMAN D.W., 1970. - Cultures mixtes. Séminaire sur les systèmes d'exploitation traditionnels et leur intensification. Fondation Ford. IITA-IRAT. 16-20 nov., Ibadan, Nigeria.
- NORMAN D.W., 1973. - Economic analysis of agricultural production and labour utilization among the Hausa in the north of Nigeria. African rural employment paper 4, Dept. of Agric. Economics, Michigan State University, Michigan.
- NWANE R., 1987. - Contribution à l'étude agroclimatique de la région de Dschang. Mémoire ENSA, Dschang, Cameroun, 104 p.
- OFORI F., STERN W.R., 1987. - Relative sowing time and density of component crops in a maize-cowpea intercrop system. *Expl. Agric.*, 23: 41-52.
- OSIRU D.S.O., WILLEY R.W., 1972. - Studies on mixtures of dwarf sorghum and beans (*Phaseolus vulgaris*) with particular reference to plant population. *J. Agric. Sci. Camb.*, 79 : 531-539.
- OUKNIDER M., 1987. - Les interactions biologiques dans l'association graminée-légumineuse : le modèle vesce-avoine. Thèse de doctorat, université des sciences et techniques du Languedoc, USTL, Montpellier, 259 p.
- OYEJOLA B.A., MEAD R., 1982. - Statistical assessment of different ways of calculating Land equivalent ratios. *Expl. Agric.*, 13 : 125-133.
- PARFAIT G., 1986. - Influence de l'association maïs-haricot sur la fructification et les attaques d'une spécialiste du *P. vulgaris*. Thèse de doctorat. Université de Pau, 89 p. + annexes.

- PATRA D.D., SACHDEV M.S. SUBBIAH B.V., 1986. — N_{15} Studies on the transfer of legume fixed nitrogen to associated cereals in intercropping systems. *Biol. and Fertility of Soils*, Springer-Verlag. 2 : 165-171.
- PEARCE S.C., GILLIVER B., 1978. — The statistical analysis of data from intercropping experiments. *J. Agric. Sci.*, 91 : 625-632.
- PEARCE S.C., GILLIVER B., 1979. — Graphical assessment of intercropping methods. *J. Agric. Sci. Camb.*, 93 : 51-58.
- PEARCE S.C., EDMONSON R.N., 1984. — Experimenting with intercrops. *Biometrics*, 40 : 231-237.
- PROJET HAUTS PLATEAUX DE L'OUEST, MINAGRI, UCCAO, 1981. — Enquête de base sur la zone du projet des hauts plateaux de l'Ouest. Bafoussam, Cameroun, 222 p.
- PUTNAM D.H., HERBERT S.J., VARGAS A., 1986. — Intercropped corn-soybean density studies : II yield composition and protein. *Expl. Agric.*, 22 : 373-381.
- RAMALHO M.A.P., DA SILVA A.F., AIDAR H., 1984. — Cultivares de milho e feijao em monocultivo e em dois sistemas de consorciação. *Pesq. agropec. bras. Brasilia*, 19 (7) : 827-833.
- RAO M.R., WILLEY R.W., 1980. — Preliminary studies of intercropping combinations based on pigeonpea and sorghum. *Expl. Agric.*, 16 : 29-39.
- RAO M.R., WILLEY R.W., 1980. — Evaluation of yield stability in intercropping : studies on sorghum-pigeonpea. *Expl. Agric.*, 16 : 105-116.
- REDDY N., CHATTERJEE B.N., 1975. — Mixed cropping of soybean with maize. *Indian J. Agron.*, 20 (4) : 341-345.
- REDDY M.S., WILLEY R.W., 1981. — Growth and resource use studies in an intercrop of pearl millet-groundnut. *Field Crops Res.*, 4 : 13-24.
- ROUANET G., 1984. — Le maïs. Paris, Maisonneuve et Larose, 142 p.
- SALEZ P., 1985. — Le point des recherches sur les systèmes de culture associée maïs-légumineuse dans l'Ouest-Cameroun. *Comm. au colloque sur les légumineuses alimentaires*, Niamey, Niger, 19-22 novembre, 6 p.
- SALEZ P., 1986. — Quelques facteurs influençant le comportement du maïs et du soja cultivés en association. *L'Agron. Trop.*, 41 (2) : 101-109.
- SANTA-CECILIA F.C., RAMALHO M.A.P., GARCIA J.C., 1982. — Adubação nitrogenada e fosfatada na consorciação milho-feijão. *Pesq. agropec. bras. Brasilia*, 17 (9) : 1 285 - 1 291.

- SAYED GALAL Jr., HINDI L.H., IBRAHIM A.F., HINNAWY H.H., 1974. — **Intercropping tolerance of soybean to different local corn stocks** (*Zea mays* L.). *Z. Acker und Pflanzenbau*, 139 : 133-145.
- SCHMIDT-LEPLAIDEUR M.A., 1984. — **Les cultures associées au Mexique**. *Intertropiques*, 11 : 8-11.
- SEARLE P.G.E., COMUDOM Y., SHEDDEN D.C., NANCE R.A., 1981. — **Effect of maize-legume intercropping systems and fertilizer nitrogen on crop yields and residual nitrogen**. *Field Crops Res.*, 4 : 133-145.
- SINGH C.M. GULERIA W.S., 1979. — **Effect of intercropping and fertility levels on growth, development and yield of maize**. *Food Farming and Agric.*, jan.
- SINGH N.B., SINGH P.P., NAIR K.P.P., 1986. — **Effect of legume intercropping on enrichment of soil nitrogen, bacterial activity and productivity of associated maize crop**. *Expl. Agric.*, 22 : 339-344.
- SOUZA FILHO B.F. de, ANDRADE M.J.B. de, 1984. — **Influencia de diferentes populações de plantas no consorcio milho-feijão**. *Pesq. agropec. bras. Brasília*, 19 (4) : 469-471.
- STEINER K.G., 1985. — **Cultures associées dans les petites exploitations agricoles tropicales en particulier en Afrique de l'Ouest**. Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Techn. Zusammenarbeit (GTZ) 347 p.
- STOOP W.A., 1986. — **Agronomic management of cereal-cowpea cropping systems for major toposequence land types in the West African Savanna**. *Field Crops Res.*, 14 : 301-319.
- SUARNA I.M., OGO T., 1983. — **The growth and yields of dent corn intercropped with different planting densities of soybean**. *Sci. Rep. Fac. Agric. Okayama University*, 62 : 1-5.
- SURYATNA E.S., HARWOOD R.R., 1976. **Nutrient uptake of two traditional intercrop combinations and insect and disease incidence in three intercrop combinations**. *In* : IRRI Saturday seminar, Los Baños, Philippines, 28 February.
- TARDIEU F., 1977. — **Etude des associations de cultures**. Los sistemas de cultivo en el callejon de Huaylas. Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima, Peru, 6 p.
- TARDIEU M., 1970. — **Tentative dans la fertilisation des cultures associées**. Séminaire Foundation Ford, IRAT-IITA, sur les systèmes traditionnels de l'agriculture africaine et leur amélioration. Ibadan, Nigeria, 16-20 novembre, 10 p.
- THOMPSON D.R., MONYO J.H., FINLAY R.C., 1976. — **The effect of difference in maize height on the growth and yield of intercropped soybeans**. *In* : Symposium on intercropping in semi-arid areas, Morogoro, Tanzania, 10-12th may, 10 p.

- THOMPSON M., 1977. — **The effect of cereal height on performance of stands intercropped with soybean.** M. Sc. Thesis, University of Dar-Es-Salaam, Morogoro, Tanzania.
- TRECHE S., GUION Ph., 1979. — **Etude des potentialités nutritionnelles de quelques tubercules tropicaux au Cameroun.** L'Agron. Trop., 34 (2): 127-136.
- TRENBATH B.R., 1974. — **Biomass productivity of mixtures.** Adv. Agron., 26 : 177-210.
- TRENBATH B.R., 1975. — **Diversify or be damned ?** Ecologist, 5 : 76-83.
- TSALEFAC, 1983. — **L'ambiance climatique des hautes terres de l'Ouest-Cameroun.** Thèse doctorat 3ème cycle. Département de géographie, Yaoundé, Cameroun, 398 p., annexes.
- VALET S., 1974. — **Note sur des observations et mesures de quelques facteurs climatiques, hydriques et pédologiques et leur incidence sur la production agricole à la station de Dschang.** L'Agron. Trop., 29 (12) : 1 266-1 287.
- VALET S., 1976. — **Observations et mesures sur les cultures associées traditionnelles en pays bamiléké et bamoun.** IRAT, Paris.
- VALET S., 1980. — **Etude des paramètres du milieu physique pour l'élaboration des cartes de zonation géoclimatique des pentes, des paysages agrogéologiques et de mise en valeur de l'Ouest-Cameroun.** IRAT, Nogent sur Marne, France, 31 p.
- VAN RHEENEN H.A., HASSELBACH O.E., MUIGAI S.G.S., 1981. — **The effect of growing beans together with maize on the incidence of bean diseases and pests.** Neth. J. Plant Pathol., 87 : 193-199.
- VIEIRA S.A., BEN J.R., DA CUNHA GASTAL F.L., 1980. — **Avaliação do cultivo de milho e feijao nos sistemas exclusivo e consorciado.** Pesq. agropec. bras. Brasilia. 15 (1) : 19-26.
- VIRTANEN A.I., VON HAUSEN S., LAINE T., 1937. — **Excretion of nitrogen in associated cultures of legumes and non-legumes.** J. Agric. Sci., 271 : 584-610.
- WAGHMARE A.B., SINGH S.P., 1984a. — **Sorghum-legume intercropping and the effects of nitrogen fertilization : I Yield and nitrogen uptake by crops.** Expl. Agric., 20 : 251-259.
- WAGHMARE A.B., SINGH S.P., 1984b. — **Sorghum-legume intercropping and the effects of nitrogen fertilization : II Residual effect on wheat.** Expl. Agric., 20 : 261-265.
- WAHUA T.A.T., MILLER D.A., 1978a. — **Relative yield totals and yield components of intercropped sorghum and soybeans.** Agron. J., 70 : 287-291.

- WAHUA T.A.T., MILLER D.A., 1978b. - Effects of intercropping on soybean N_2 fixation and plant composition on associated sorghum and soybeans. *Agron. J.*, 70 : 292-295.
- WAHUA T.A.T., 1983. - Nutrient uptake by intercropped maize and cowpeas and a concept of nutrient supplementation index. *Expl. Agric.*, 19 : 263-275.
- WEIL J., 1986. - Mission de formation en méthodologie de l'expérimentation auprès de l'institut des sciences agronomiques du Rwanda. IRAT, Montpellier, 33 p.
- WEIL J., CHAUME J., 1987. - Quelques aspects de l'utilisation de l'outil statistique dans les programmes expérimentaux de recherche agronomique à l'IRAT. IRAT, Montpellier, 13 p.
- WESTPHAL E., 1985. - Les cultures vivrières en régions tropicales avec une référence particulière au Cameroun. Wageningen, Pays-Bas, 265 p.
- WIJESINHA A., FEDERER W.T., CARVALHO J.R.P., PORTES T. DE A., 1982. - Some statistical analyses for maize and beans intercropping experiment. *Crop. Sci.*, 22 : 660-666.
- WILLEY R.W., OSIRU D.S.O., 1972. - Studies on mixtures of maize and beans (*Phaseolus vulgaris*) with particular reference to plant population. *J. Agric. Sci. Camb.*, 79 : 517-529.
- WILLEY R.W., 1979a. - **Intercropping.** Its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. *Fields Crop Abstr.*, 32 (1) : 1-10.
- WILLEY R.W., 1979b. - **Intercropping.** Its importance and research needs. Part 2. Agronomy and research approaches. *Field Crop Abstr.*, 32 (2) : 73-85.
- WILLEY R.W., RAO M.R., 1980. - A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Expl. Agric.*, 16 : 117-125.
- WILLEY R.W., REDDY M.S., 1981. - A field technique for separating above-below ground interactions in intercropping. *Expl. Agric.*, 17 : 252-264.
- WILLEY R.W., REDDY M.S., NATARAJAN M., RAO M.R., 1982. - **Improved intercropping systems for the semi-arid tropics.** Paper presented at IRAT-ICRISAT meeting « Soil fertility and nitrogen management », 13-16 April, ICRISAT Center, Patancheru, India. 7 p.
- WILLEY R.W., 1985. - **Evaluation and presentation of intercropping advantages.** *Expl. Agric.*, 21 : 119-133.
- ZEIGLER R.S. - **Application of a systems approach in a commodity research program : evaluating Burundi highland maize.** *Expl. Agric.*, 22 : 319-328.

ZIMMERMANN M.J.O., ROSIELLE A.A., WAINES J.G., 1984. – Heritabilities of grain yield of common bean in sole crop and in intercrop with maize. *Crop Sci.*, 24 : 641-644.

Rapport-Gratuit.com

ANNEXES

ANNEXE 1

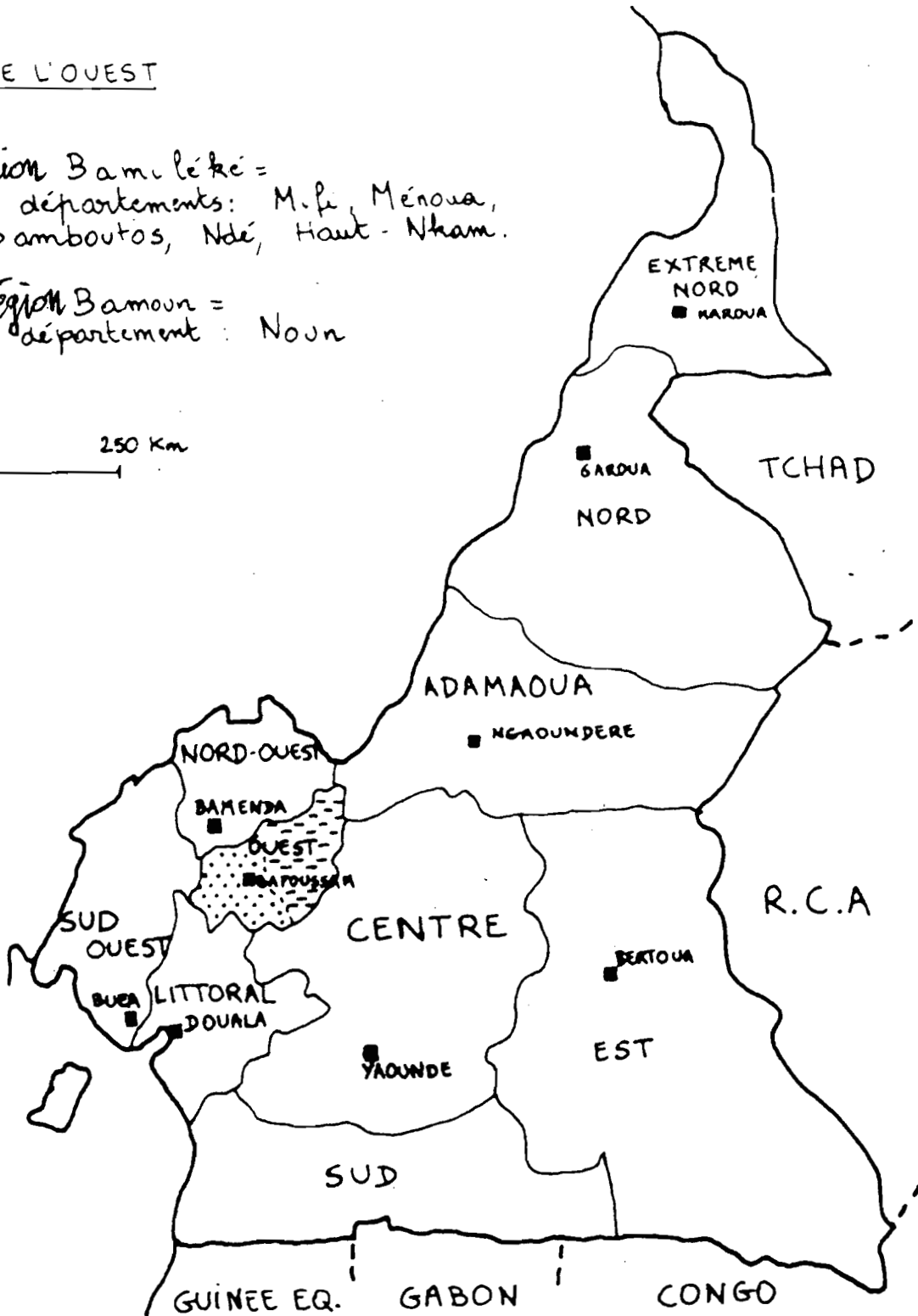
SITUATION DE LA PROVINCE DE L'OUEST DU CAMEROUN

PROVINCE DE L'OUEST

..... Région Bamileké =
5 départements: M. fi, Ménoua,
Bamboutos, Ndi, Haut-Nham.

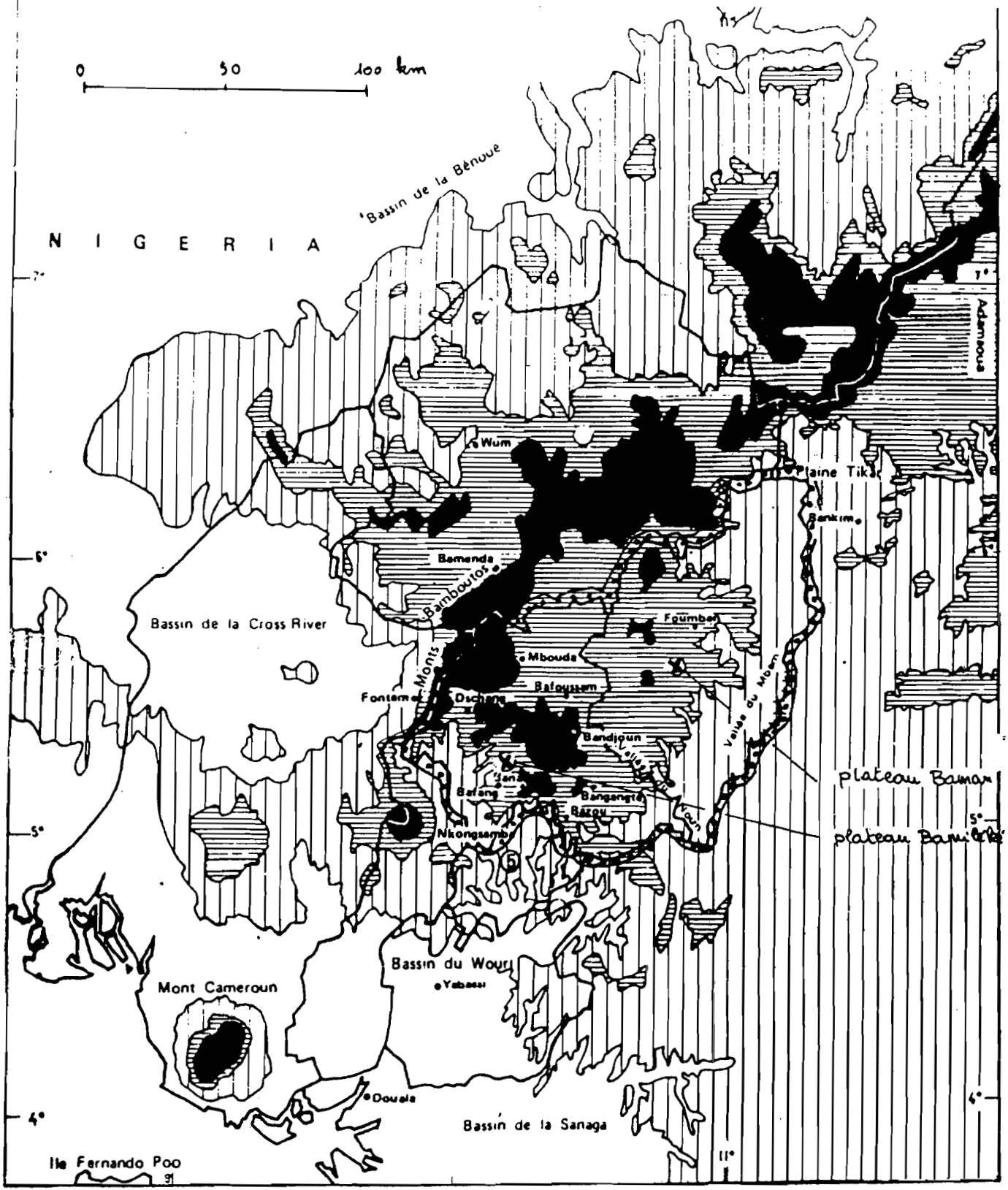
----- Région Bamoun =
1^{er} département: Noun

0 100 250 Km



ANNEXE 2

RELIEF DE L'OUEST DU CAMEROUN (P. AUTFRAY, 1928)



□ moins de 300 m.

▨ de 900 à 1500 m.

▤ de 300 à 900 m.

■ plus de 1500 m.

--- limite de la Province de l'Ouest

ANNEXE 3

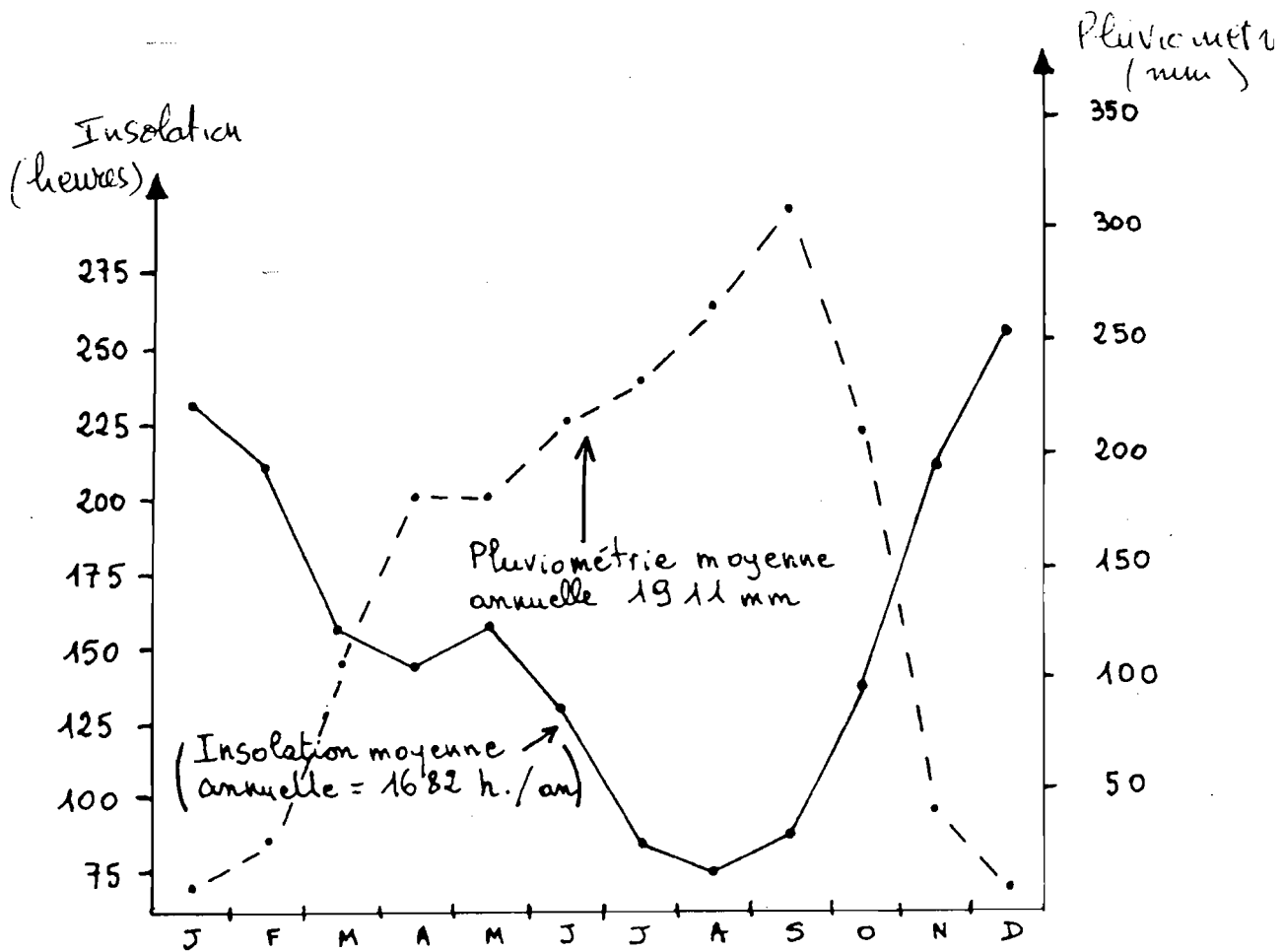
3a : Pluviométrie à Dschang sur sept années (mm)

Mois	Années							Moyenne mensuelle
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	
Janvier	20,3	2,5	47,3	0	28,5	24,8	30	21,9
Février	19,3	3,2	89,9	19,3	16,9	13,3	45	29,6
Mars	81,5	203,4	129,9	31,9	163,7	172,4	247,3	147,2
Avril	98,2	157,4	200,2	99,5	117,8	256,2	191,9	160,2
Mai	281,1	166,4	236,4	201,4	161,7	172,1	175,1	199,2
Juin	288,8	190,6	335,1	138,7	251,8	229,7	125,8	222,9
Juillet	187,5	246,3	368	308,8	167,6	185,5	209,3	239,0
Août	285,6	424,5	355,7	320	321,9	304	342,2	336,3
Septembre	348,9	346,1	381,7	271,4	365	244,8	293,9	321,7
Octobre	306,5	155,5	296,3	129,1	152,5	65	160,5	180,8
Novembre	55,8	26,3	22,9	17,2	17,9	96,8	55,3	41,7
Décembre	2,1	0	0	28,5	0	6,6	0	5,3
Total	1 976	1 922	2 463	1 566	1 765	1 771	1 876	1 906

Source : Station météorologie IRA Dschang.

ANNEXE 3 (suite)

3b : Graphique sur 20 ans



ANNEXE 4

PLUVIOMETRIE A FOUMBOT SUR SIX ANNEES (en mm)

Mois	Années						Moyenne mensuelle
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	
Janvier	0	67,5	0	0	4,9	0	12,1
Février	13,3	24,3	0	2	1,8	43,3	14,1
Mars	86,0	123,6	30,6	145,4	155,8	156,4	116,3
Avril	99,3	94,2	82,2	101,6	104,8	81,9	94,0
Mai	156,3	165,8	169,0	95,3	134,1	167,2	148,0
Juin	156,2	250,0	108,5	247,9	176	106,3	174,2
Juillet	209,8	271,0	124,5	281,2	288,9	163,2	223,1
Août	275,6	355,7	344,1	225,1	321,4	183,7	284,3
Septembre	207,4	381,7	287,2	287,5	265,4	262,6	282,0
Octobre	202,1	296,3	55,7	217,2	184,9	278,9	205,9
Novembre	25,7	22,9	0	14,5	87,4	36,8	29,6
Décembre	0	0	0	0	0	0	0
Total	1 422	2 053	1 202	1 618	1 725	1 480	158

ANNEXE 5

TEMPERATURES ANNUELLES A DSCHANG (°C)

année	mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
1980	minim.	8,6	9,1	10,9	12,4	11,7	11,3	11,0	11,2	10,7	11,1	10,0	10,9	10,7
	maxim.	23,6	24,5	23,5	21,9	20,8	19,8	19,3	18,6	19,9	19,6	19,2	22,0	21,0
	moy.	16,1	16,8	17,2	17,1	16,2	15,5	15,1	14,9	15,1	15,5	14,6	16,4	15,8
1981	minim.	8,7	8,8	11,5	12,0	11,6	11,2	11,2	11,2	10,7	10,7	8,7	7,7	10,3
	maxim.	23,1	24,3	23,0	22,4	20,8	20,7	19,2	19,9	19,6	20,6	20,8	22,9	21,4
	moy.	15,9	16,5	17,2	17,2	16,2	15,9	15,2	15,5	15,1	15,6	14,7	15,3	15,8
1982	minim.	9,9	9,1	10,6	11,4	11,6	11,1	10,9	11,3	11,2	10,3	9,5	8,1	10,4
	maxim.	22,8	23,7	22,5	21,9	20,5	19,9	19,3	19,2	20,4	19,7	21,3	22,6	21,1
	moy.	16,3	16,4	16,5	16,6	16,0	15,5	15,1	15,2	15,8	15	15,4	15,3	15,7
1983	minim.	7,3	10,3	9,9	12,4	12,6	12,3	11,8	11,8	11,1	10,9	9,9	8,9	10,7
	maxim.	24,1	25,2	25,5	23,6	21,6	20,2	19,1	18,7	19,8	22,4	21,9	21,8	21,9
	moy.	15,7	17,7	17,7	18	17,1	16,2	15,4	15,2	15,4	16,6	15,9	15,3	16,3
1984	minim.	6,6	9,1	11,9	12,1	11,6	11,0	10,6	10,9	10,5	11,0	9,6	7,8	10,2
	maxim.	23,3	24,2	22,2	21,6	20,8	20,1	19,3	20,0	19,5	20,3	21,6	22,0	21,2
	moy.	14,9	16,6	17,0	16,8	16,2	15,5	14,9	15,4	15	15,6	15,6	14,9	15,7
1985	minim.	9,0	7,4	11,1	11,8	11,5	10,8	10,3	10,7	10,6	11,0	10,3	8,5	10,2
	maxim.	22,8	23,5	23,1	21,3	20,8	19,6	18,8	19,5	19,7	19,6	21,7	22,5	21,0
	moy.	15,9	15,4	17,1	16,5	16,1	15,2	14,5	15,1	15,1	15,3	16	15,5	15,6

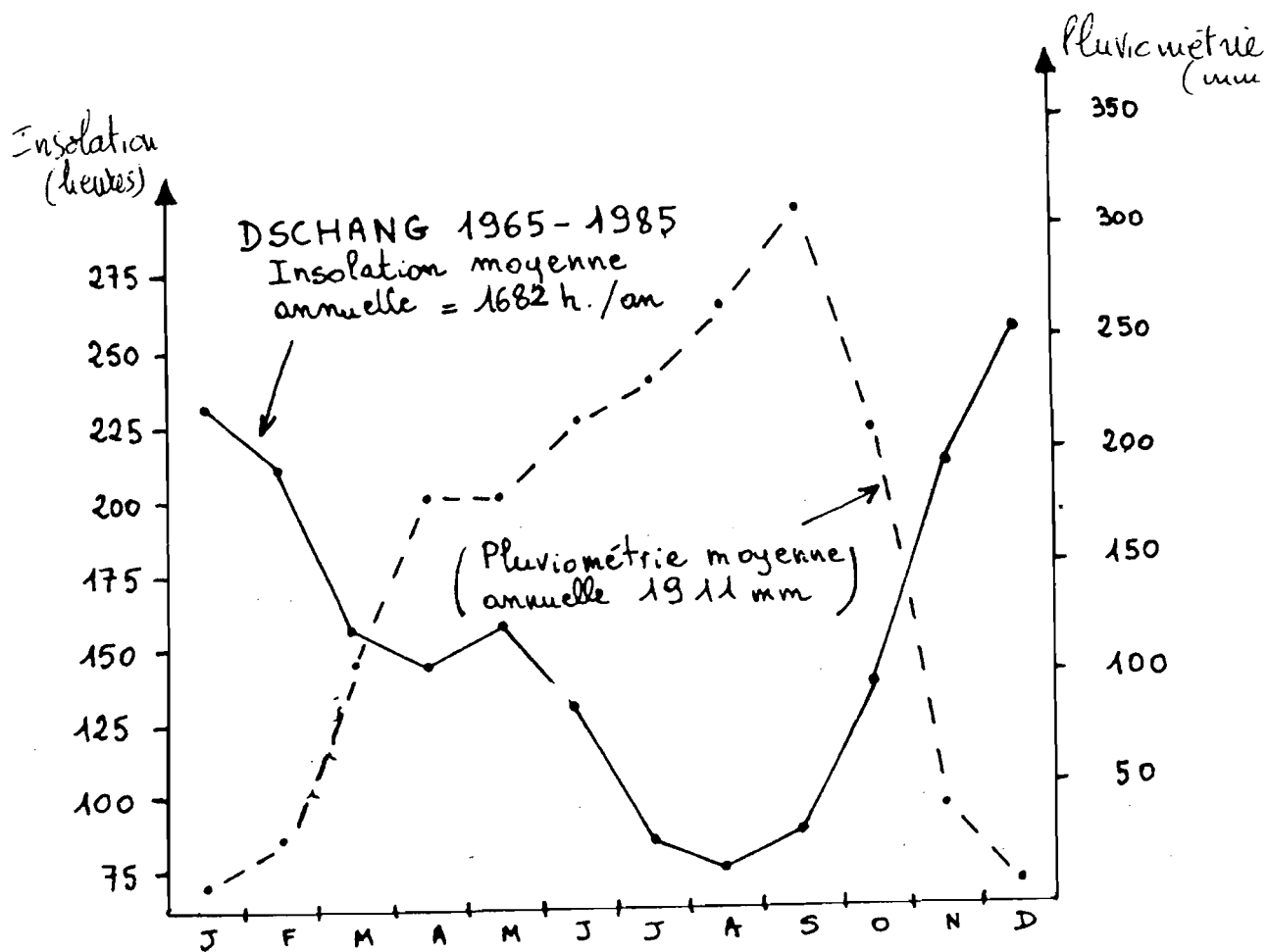
ANNEXE 6

6a : INSOLATION A DSCHANG SUR TROIS ANNEES (heures)

Mois	Années		
	1984	1985	1986
Janvier	239	201	224
Février	213	182	184
Mars	165	101	164
Avril	151	131	179
Mai	177	176	170
Juin	155	100	139
Juillet	125	77	62
Août	136	90	96
Septembre	108	100	95
Octobre	129	172	115
Novembre	218	186	202
Décembre	258	189	222
Total	2 074	1 705	1 852

ANNEXE 6 (suite)

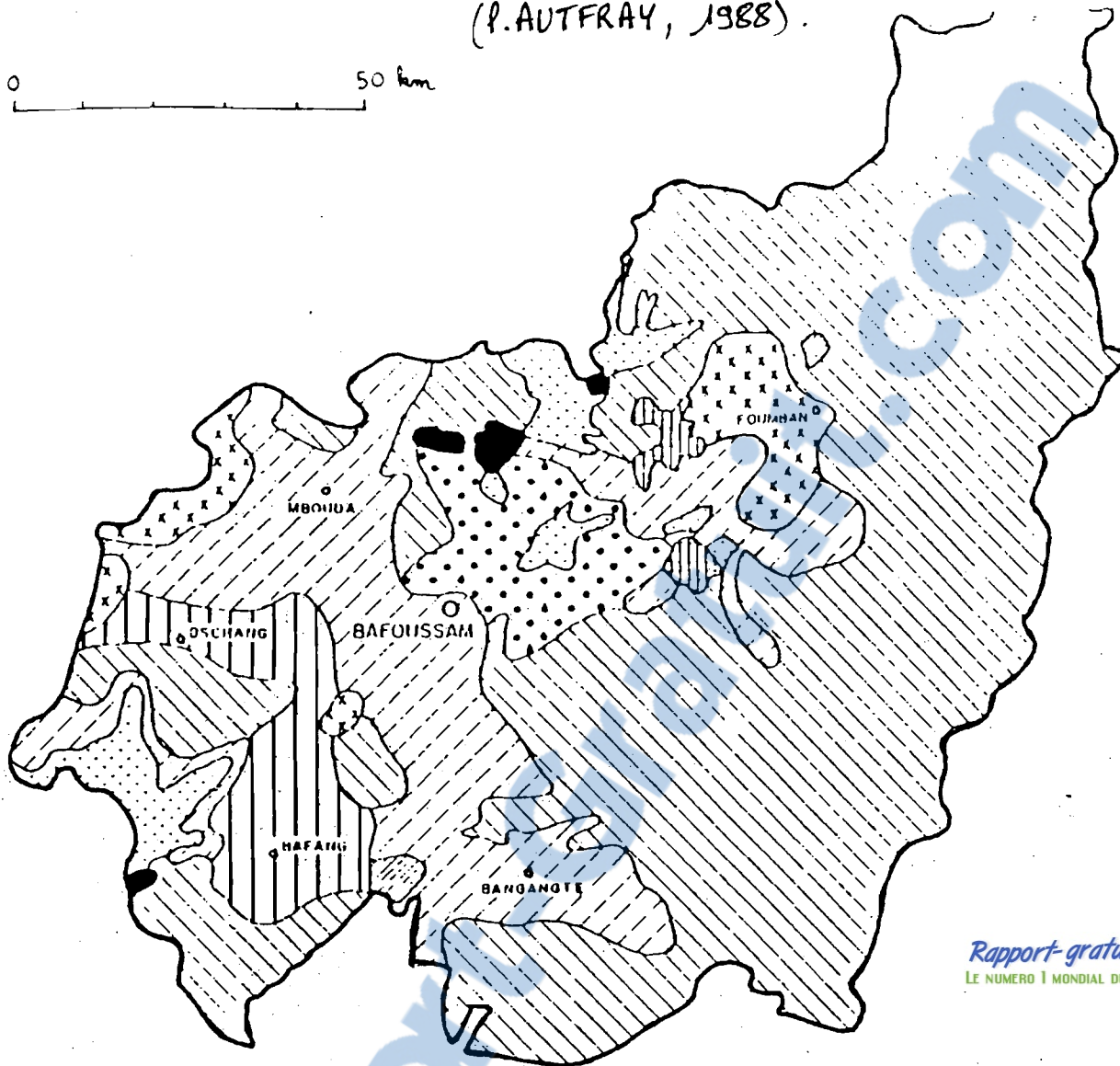
6b : Insolation annuelle à Dschang (1965-1985)



ANNEXE 1

CARTE DES SOLS DE L'OUEST-CAMEROUN (P. AUTFRAY, 1988).

0 50 km



Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MEMOIRE



peu évolués d'érosion



andosols désaturés



bruns eutrophes



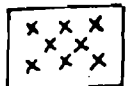
ferrallitiques sur roches acides



ferrallitiques sur roches basiques



ferrallitiques sur diverses roches



ferrallitiques indurés



hydromorphes

ANNEXE 8

Résultats d'analyse physicochimique des sols
(horizon 0-30 cm)

Caractéristiques	Sols				
	Dschang Sol ferrallitique complexe		Foumbot Andosol volcanique	Bamendjou Sol ferrallitique rouge	
	1985 (a)	1986 (b)		1986 (c)	
Granulométrie (%)	Argile	17	-	21,3	-
	Limon	25,4	-	22,8	-
	Sable fin	24,9	-	23,0	-
	Sable grossier	32,7	-	32,8	-
Matière organique	pH eau	5,4	6,1	6,5	5,6
	MO (%)	6,0	8,8	13,4	
	N total (%)	2,7	4,4	-	2,3
	C/N	13	12	16	21
Phosphore assimilable (ppm)	106 (Olsen)	132 (Olsen)	4 (Kurtz Bray 2)	3 (Kurtz Bray 2)	
Complexe absorbant	Ca (meq/kg)	3,2	5,0	22	8,0
	Mg (meq/kg)	1,0	1,5	6,8	3,4
	K (meq/kg)	0,6	0,3	-	0,3
	Na (meq/kg)	0,04	0,01	-	0,02
	SBE (meq/kg)	4,8	6,8	31,5	11,7
Taux de sat. (%)	42	-	72	72	

(a) Moyennes de trois prélèvements dans le temps - parcelle à recouvrement cendreux limité.

(b) Parcelle à recouvrement cendreux important

(c) Parcelle en paysannat utilisée pour essais de fertilisation des cultures associées.

ANNEXE 9

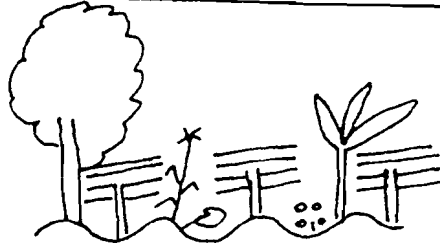
LES SYSTEMES DE CULTURE DANS L'OUEST-CAMEROUN

(P. AUTFRAY, 1988)

REGION BAMILEKE

1) Système de culture: caféiers + vivriers associés (maïs - tubercules - haricot)

Ombrage irrégulier important: arbres fruitiers, bananiers.



2) Système de culture: vivriers sans arachide (maïs - haricot - tubercules)

Ombrage très irrégulier peu important.

second cycle de haricot possible



3) Système de culture: vivriers avec arachide (maïs - arachide principalement) sur sols les moins fertiles, haut de versant surtout.

Ombrage très peu important.



REGION BAMOUN

1) Système de culture: caféiers en culture pure ou avec bananiers

Ombrage régulier important souvent de leucaena et d'arbres fruitiers



2) Système de culture: vivriers sans arachide (maïs surtout plus un peu d'haricot)

Ombrage très peu important

second cycle de haricot possible



3) Système de culture: vivriers avec arachide (maïs - arachide surtout) sur sols les moins fertiles.

Ombrage très peu important



ANNEXE 10

PRIX DES PRINCIPAUX ENGRAIS UTILISES (en francs CFA)

Produit	Prix sac de 50 kg	Prix du kg	Prix du kg* rendu Dschang
Urée	6 100	122	130
Chlorure de potassium	4 350	87	90
Phosph. Supertriple	6 000	120	130
Phosph. bicalcique	9 200	184	195

* on compte 6 à 8% de frais de transport.

Source : SEPCAE, Douala, 1986.

ANNEXE 11

Liste des essais expérimentaux étudiés.

N° essai	Titre de l'essai	Sites	Années
1	Comparaison de systèmes de culture intercalaire maïs - soja	Dschang	1982
2	Comparaison de systèmes mixtes et intercalaires maïs - soja	Dschang	1985
3	Comparaison de systèmes mixtes et intercalaires maïs - haricot	Dschang Foumbot	1986
4	Densités de peuplement dans l'association maïs Z 290 - soja	Dschang	1982
5	Densités de peuplement dans l'association maïs Cola - soja	Dschang	1982
6	Comparaison de 4 variétés de soja associées au maïs	Dschang	1984
7	Comparaison d'associations incluant des haricots déterminés et semi-déterminés	Dschang	1984
8	Décalage de semis d'une espèce dans l'association maïs - soja	Dschang	1985
9	Fertilisation azotée dans l'association maïs - soja	Dschang Foumbot	1983
10	Fertilisation phosphoazotée dans l'association maïs - soja	Dschang Foumbot	1983
11	Apports fractionnés d'azote dans l'association maïs - soja	Dschang	1984

ANNEXE 11 (suite)

Liste des essais expérimentaux étudiés.

N° essai	Titre de l'essai	Sites	Années
12	Fertilisation azotée dans l'association maïs - haricot	Dschang Foumbot	1985
13	Fertilisation azotée et phospho-azotée dans l'association maïs - haricot	Dschang Foumbot	1986
14	Fertilisation de l'association maïs - haricot en paysannat	Dschang Bansao Bamendou Bamendjou Bandjoun	1986
15	Comparaison des associations maïs - haricot et maïs - soja	Dschang	1986
16	Approche de l'association ternaire maïs - haricot - macabo	Dschang Foumbot	1986
17	Fixation d'azote dans l'association maïs - soja	Dschang	1985
18	Interactions racinaires dans l'association maïs - soja	Dschang	1986
19	Valorisation du travail par l'association maïs - soja	Foumbot	1983

N.B. : Les essais sont numérotés selon la progression dans le texte et non selon la chronologie de leur réalisation.

ANNEXE 12

12 a : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES ESSAIS ETUDIES A DSCHANG

Numéro essai	Surface PU * (m ²)	Nb billons de la PU	Date semis	Noms variétés légumineuse	Type d'association	Espacement des poquets en association
1	21	0 à plat	15 mars	Coker 240	Intercalaire à plat	Selon traitements
2	18	Selon traitements	23 mars	IRAT 278	Selon traitements	Selon traitements
3	12	2	12 mars	Bat 95	Selon traitements	Selon traitements
4	20	2	15 mars	Coker 240	Mixte	Selon traitements
5	20	2	16 mars	Coker 240	Mixte	Selon traitements
6	11	2	19 mars	IRAT 274 IRAT 278 Selon traitements	Mixte	1 m 40 entre maïs; 5 poquets de soja entre 2 maïs
7	11	2	22 mars	Bat 95 P 693	Mixte	Selon traitements
8	12	2	Selon traitements à partir du 19 mars	IRAT 278	Mixte	1 m 25 entre maïs; 5 poquets de soja entre 2 poquets de maïs
9	11	2	29 mars	ISRA 3/73	Mixte	1 m 40 entre maïs; 5 poquets de soja entre 2 poquets de maïs
10	11	2	29 mars	ISRA 3/73	Mixte	1 m 40 entre maïs; 5 poquets de soja entre 2 poquets de maïs
11	11	2	14 mars	IRAT 278	Mixte	1 m 40 entre maïs; 5 poquets de soja entre 2 poquets de maïs
12	12	2	20 mars	Bat 95	Mixte	1 m 35 entre maïs; 4 poquets de haricot entre 2 maïs

ANNEXE 12 (suite)

12a : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES ESSAIS

ETUDIES A DSCHANG

Numéro essai	Surface PU * (m ²)	Nb billons de 1a PU	Date semis	Nom variétés légumineuse	Type d'association	Espacement des poquets en association
13	12	2	17 mars	Bat 95	Mixte	1 m 25 entre maïs; 4 poquets de haricot entre 2 maïs
15	12	2	13 mars	Bat 95 IRAT 274	Mixte	1 m 25 entre maïs; 4 poquets de haricot ou 5 poquets soja entre 2 maïs
16	12	2	12 mars	Locale	Mixte en vrac	Vrac
17	12	2	19 mars	IRAT 278	Mixte	1 m 40 entre maïs 5 poquets soja entre 2 maïs
18	10	0 à plat	12 mars	IRAT 274	Intercalaire à plat	80 cm entre maïs 20 cm entre soja

ANNEXE 12 (suite)

12b : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES ESSAIS ETUDIES A FOUMBOT ET EN PAYSANNAT

Numéro essai	Surface PU * (m ²)	Nb billons de la PU	Date semis	Nom variétés légumineuse	Type d'association	Espacement des poquets en association
3	14	2	14 mars	Bat 95	Selon traitements	Selon traitements
9	17	2	12 avril	ISRA 3/73	Mixte	Idem Dschang
10	17	2	12 avril	ISRA 3/73	Mixte	Idem Dschang
12	14	2	21 mars	Bat 95	Mixte	Idem Dschang
13	14	2	21 mars	Bat 95	Mixte	Idem Dschang
14 (5 sites paysannat)	30	4 à 6	22 mars au 12 avril selon sites	Bat 95	Mixte en vrac	Vrac
16	14	2	18 mars	Locale	Mixte en vrac	Vrac
19 (Foumbot seulement)	100	9	12 avril	IRAT 278	Mixte	1 m 40 entre maïs; 5 poquets de soja entre 2 maïs

* Surf. PU : hors prélèvements de plantes.

N.B. : La variété de maïs est toujours Z 290 sauf dans l'essai n° 5 où il s'agit de Cola et l'essai n° 2 où l'on compare Z 290 et Kasai.

ANNEXE 13

METHODE DE MESURE DE L'ARA (H. SAINT-MACARY, 1985)

L'ensemble des opérations est effectuée en continu, de façon à réduire à moins de deux minutes le délai entre le prélèvement des plantes et leur mise en incubation.

a) les plantes (2 à 3 selon la culture et le type d'essai) sont soigneusement prélevées et le système racinaire débarrassé de l'excès de sol

b) les racines sont séparées des parties aériennes et placées dans des flacons sérum de 540 ml qui sont immédiatement bouchés.

c) cinquante cinq ml environ d'acétylène pur (bouteille) sont injectés immédiatement

d) un premier prélèvement (12 à 13 ml) est effectué et conservé dans un tube "Vacutainer" de 10 ml. Ce prélèvement constitue le temps "zéro" (To)

e) après 30 mn d'incubation, le flacon est agité et un deuxième prélèvement semblable à To est effectué. Il constitue le prélèvement T 30.

f) le flacon peut être ouvert ; les parties aériennes et les racines sont conservées pour pesée puis comptage et pesée des nodosités

g) les échantillons gazeux en Vacutainer sont analysés au laboratoire par chromatographie en phase gazeuse. Pour chaque échantillon on détermine les teneurs en acétylène et en éthylène.

h) principe général du calcul

Pour une incubation, on dispose dans l'échantillon To des teneurs en Acétylène (Ao) et en éthylène (Eo) et pour l'échantillon T30, des teneurs en acétylène (A30) et en éthylène (E30).

On pondère la valeur de E30 pour d'éventuelles fuites, par le rapport $\frac{Ao}{A30}$ et on retranche l'éthylène présent en début d'incubation.

L'éthylène produit en 30 mn est donc :

$$E = \left[E30 \times \frac{Ao}{A30} - Eo \right]$$

Cette valeur est multipliée par deux pour exprimer le résultat en nanomoles d'éthylène produit par heure.

ANNEXE 14

RESULTATS DE L'ESSAI N° 1

Traitements	Densité récolte (pl/ha)		Rendement (kg/ha)		LER		LER
	Maïs	Soja	Maïs	Soja	Maïs	Soja	
T ₁	60 000	-	2 519 a	-	1	0	1
T ₂	-	346 000	-	2 424 a	0	1	1
T ₃	45 000	198 000	2 909 a	687 e	1,19	0,29	1,48
T ₄	34 000	238 000	2 486 a	995 d	1,00	0,41	1,41
T ₅	26 000	267 000	1 510 b	1 303 c	0,60	0,54	1,14
T ₆	21 000	295 000	755 c	1 509 b	0,30	0,63	0,93
Interp. statistique CV (%) ETM (kg/ha)	-	-	HS 25 211	HS 10,4 59	-	-	-

N.B. : Les chiffres affectés d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Newman et Keuls).

ANNEXE 15

15a : DENSITES DE RECOLTE
DANS LES ESSAIS N° 4 ET 5 (en pl/ha)

Traitements	Essai n° 4			Essai n° 5	
	Maïs Z 290	Soja	CDE	Maïs Cola	Soja
T ₁	60 000	-	1	60 000	-
T ₂	-	320 000	1	-	300 000
T ₃	38 000	240 000	1,38	36 000	230 000
T ₄	38 000	270 000	1,47	36 000	260 000
T ₅	38 000	300 000	1,57	36 000	290 000
T ₆	48 000	230 000	1,52	47 000	230 000
T ₇	48 000	260 000	1,61	47 000	260 000
T ₈	48 000	290 000	1,71	47 000	290 000

ANNEXE 15 (suite)

15b : RESULTATS DES ESSAIS N° 4 ET 5

Traitements	Essai n° 4 : maïs composite Z 290				Essai 5 : maïs variété Cola			
	Rendement maïs (kg/ha)	Rendement soja (kg/ha)	LER	Produit brut (FCFA/ha)	Rendement maïs (kg/ha)	Rendement soja (kg/ha)	LER	Produit brut (FCFA/ha)
T ₁	2 675	-	1	155 150	1 401	-	1	81 260
T ₂	-	1 021	1	71 470	-	1 325	1	92 750
T ₃	2 400	495 *	1,40	173 850	954 *	775 *	1,27	109 580
T ₄	1 816 *	588 *	1,26	146 490	909 *	922 *	1,37	117 260
T ₅	1 911 *	591 *	1,30	152 210	1 094	864 *	1,46	123 930
T ₆	2 214 *	480 *	1,31	162 010	1 185	700 *	1,41	117 730
T ₇	2 057 *	489 *	1,24	153 540	1 003 *	810 *	1,33	114 870
T ₈	1 928 *	517 *	1,25	148 010	1 017 *	871 *	1,40	119 960
Sign. statistique	HS	HS	Friedman		S	HS	Friedman	
CV (%)	11,5	15,6			20,9	13,4		
ETM	± 100	± 38			± 92	± 49		
KHI ₂ Friedman			17,5				15,0	

Les moyennes des traitements sont uniquement comparées au témoin « culture pure » grâce à un test de Dunnett (P = 0,05). Les astérisques signalent les traitements statistiquement inférieurs aux cultures pures.
Produits bruts calculés sur la base de 58 FCFA/kg maïs et 70 FCFA/kg soja.

ANNEXE 16

16a : EFFET DU DECALAGE DE SEMIS D'UNE ESPECE DANS L'ASSOCIATION MAIS - SOJA, ESSAI N° 8 (DSCHANG)

Traitements	Rendements (kg/ha)		LERm	LERs	LER
	Maïs	Soja			
Maïs pur - semis J0	5 831	-	1	0	1
Soja pur - semis J0	-	2 333	0	1	1
Maïs pur - semis J14	4 526	-	1	0	1
Soja pur - semis J14	-	2 008	0	1	1
Maïs et soja - J0	4 525	1 104	0,78	0,47	1,25
Maïs et soja - J14	4 300	726	0,95	0,36	1,31
Maïs J0 et soja J14	5 242	491	0,90	0,24	1,14
Soja J0 et maïs J14	3 224	1 389	0,71	0,60	1,31
Interprétation statistique	S	S			
CV (%)	21	14			
ETM (kg/ha)	388	76			

N.B. : J0 = semis le 19 mars ; J14 = semis le 2 avril (J0 + 14 jours).

16b : PRODUITS BRUTS A L'HECTARE DANS L'ESSAI N° 8

Maïs à J0	408 170 CFA
Soja à J0	233 300 CFA
Maïs à J14	316 820 CFA
Soja à J14	200 800 CFA
M x S à J0	427 150 CFA
M x S à J14	373 600 CFA
M à J0 x S à J14	416 040 CFA
S à J0 x M à J14	364 580 CFA

N.B. : Calculs sur la base de 70 FCFA/kg maïs et 100 FCFA/kg soja.

ANNEXE 17

RESULTATS DE L'ESSAI N° 3

Traitements	Rendement maïs (kg/ha)	Rendement haricot (kg/ha)	LER
Maïs pur	5 326	-	1
Haricot pur	-	1 961	1
Mixte en vrac	4 519	922	1,32
Mixte rationalisé	4 824	910	1,39
Intercalaire	4 069	1 117	1,35
Mixte en vrac, semis haricot décalé	5 231	331	-
Mixte rationalisé, semis haricot décalé	5 097	492	-
Intercalaire, semis haricot décalé	5 397	592	-
Interprétation statistique	Signif.	S	S
	CV (%)	14,7	16
	ETM (kg/ha)	296	59

ANNEXE 18

RENDEMENTS PROTEIQUES AVEC OU SANS FERTILISATION AZOTEE SUR SOL FERRALLITIQUE COMPLEXE DE DSCHANG (ESSAI N° 9)

Traitement	Rendement maïs (kg/ha)	Rendement soja (kg/ha)	% N graines maïs	% N graines soja	Rendement protéique (kg/ha)	Rendement énergétique (Mcal/ha)
T ₁ maïs ON	2 612	-	1,34	-	218,4	9,3
T ₂ soja ON	-	2 169	-	6,31	854,0	7,3
T ₃ maïs-soja ON	3 302	939	1,50	6,89	713,3	14,9
T ₄ maïs 40N	4 347	-	1,37	-	371,6	15,4
T ₅ soja 40N	-	2 210	-	6,57	906,0	7,4
T ₆ maïs-soja 40N	4 168	886	1,29	6,82	712,6	17,8
T ₇ maïs 80N	5 862	-	1,47	-	537,7	20,8
T ₈ soja 80N	-	2 438	-	6,60	1 004,1	8,2
T ₉ maïs-soja 80N	5 364	888	1,49	6,62	865,5	22,0

ANNEXE 19

19a : RENDEMENT ET LER DANS LES CULTURES PURES OU ASSOCIEES DE MAIS ET HARICOT FERTILISEES OU NON (ESSAI N° 12).

Cultures	Fertilisation	Dschang		
		Rendement maïs (kg/ha)	Rendement haricot (kg/ha)	LER
Maïs Haricot M x H	0 N	5 566 b - 3 951 c	1 270 b 627 c	1,25
Maïs Haricot M x H	40 N	6 158 ab 5 161 b	1 664 a 923 bc	1,42
Maïs Haricot M x H	80 N	6 805 a 5 324 b	1 861 a 1 122 b	1,41
CV % ETM (kg/ha)		15 341	22 144	Friedman Khi2 Fr = 8,4

N.B. : LER calculés par méthode valeur intrablocs.

ANNEXE 19 (suite)

19b : ETUDE STATISTIQUE DE LA REPONSE DES CULTURES A L'ENGRAIS (ESSAI N° 12)

Maïs	C. moyens	F. Calc.		F(0,05)
Etude de l'effet doses de N significatif :				
Linéaire	14731367.0400	14.6825	s	4.24
Quadratique	709042.0138	0.7067		"
Effet significatif de la culture pure par rapport à la culture associée. Réponse linéaire aux doses N quel que soit le système de culture				
Haricot	C. moyens	F. Calc.		F(0,05)
Etude de l'effet doses de N significatif :				
Linéaire	2548668.3750	22.6101	s	4.24
Quadratique	62835.1250	0.5574		"
Effet significatif de la culture pure par rapport à la culture associée. Réponse linéaire aux doses N quel que soit le système de culture				

ANNEXE 20

20a : DENSITES DE PEUPELEMENT DANS L'ESSAI N° 1

Plantes	Sites				
	Dschang	Bansoa	Bamendou	Bamendjou	Bandjoun
Maïs après démarrage	37 500	43 000	30 000	31 000	36 000
Haricot levée	152 000	200 000	128 000	178 000	203 000
Haricot récolte	152 000	166 000	126 000	135 000	155 000

20b : RENDEMENTS DES CULTURES ASSOCIEES MAIS-HARICOT FERTILISEES OU NON EN PAYSANNAT (rendements en kg/ha à 13% hum)

Fertilisants	Sites									
	Dschang		Bansoa		Bamendou		Bamendjou		Bandjoun	
	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H
0	4 219 b	515	4 126 c	337 c	2 254 b	281	1 532 c	309 b	1 477	1 041
80 N	5 918 a	584	4 586 b	485 b	2 455 ab	293	2 059 bc	487 ab	2 184	1 173
40 N - 40 P	5 524 a	565	4 694 b	459 bc	2 159 b	302	2 727 ab	526 a	1 965	1 257
80 N - 80 P	6 604 a	558	5 183 a	627 a	3 283 a	308	3 125 a	596 a	2 869	1 089
Moyenne	5 566	556	4 647	477	2 538	296	2 361	480	2 124	1 140
Int. statistique	HS	NS	HS	HS	S	NS	S	S	NS	NS
CV (%)	12,7		5	16,9	20,1		24	57		
ETM (kg/ha)	355		128	40	255		286			

M : maïs; H : haricot.

ANNEXE 21

RENDEMENT DES CULTURES PURES ET ASSOCIEES DE MAIS, HARICOT ET MACABO A FOUMBOT (ESSAI N° 16).

Traitements	Rendement maïs (kg/ha)	Rendement haricot (kg/ha)	Rendement macabo* (kg/ha)
T ₁ : maïs pur	4 846 a	-	
T ₂ : haricot pur	-	141	
T ₃ : macabo pur	-	-	18 800
T ₄ : maïs (a) x haricot ** (b) x macabo	3 503 bc	36	3 280
T ₅ : maïs (a) x haricot (c) x macabo	3 229 c	79	3 510
T ₆ : maïs (b) x haricot (b) x macabo	4 169 ab	35	2 920
T ₇ : maïs (b) x haricot (c) x macabo	3 678 bc	69	2 440
T ₈ : maïs (a) x haricot (b) x macabo fertil.	4 719 a	56	4 640
T ₉ : maïs (b) x haricot (c) x macabo fertil.	4 681 a	55	2 140
Int. statistique	NS	NS	HS
CV (%)	15	53	65
ETM (kg/ha)	247		

* Tubercules secondaires uniquement.

** T₄ est le témoin « traditionnel ».

(a) 30 000 pieds/ha, (b) 40 000 pieds/ha, (c) 80 000 pieds/ha.

Fertilisation T₈ et T₉ = 60 N au semis + 40 N - 40 K à 90 JAS.

ANNEXE 22

22a : RENDEMENTS ENERGETIQUES A DSCHANG (en Mcal/ha) (ESSAI N° 16)

Traitements	Maïs	Haricot	Macabo	Total 1er camp.	Haricot 2e camp.	Total annuel
T ₁	19,13	-	-	19,13	7,52	26,65
T ₂	-	3,61	-	3,61	7,30	10,91
T ₃	-	-	17,93	17,93	-	17,93
T ₄	15,65	1,25	1,48	18,38	1,72	20,10
T ₅	14,70	1,98	1,47	18,15	1,34	19,49
T ₆	15,63	1,07	1,53	18,23	1,54	19,77
T ₇	15,69	1,95	1,23	18,87	1,72	20,59

N.B.: 1 Mcal = 10⁶ cal.

22b : RENDEMENTS PROTEIQUES A DSCHANG (en kg/ha) (ESSAI N° 16).

Traitements	Maïs	Haricot	Macabo	Total 1er camp.	Haricot 2e camp.	Total annuel
T ₁	373,5	-	-	373,5	497,7	871,2
T ₂	-	239,2	-	239,2	482,9	722,1
T ₃			655,5	655,5	-	655,5
T ₄	346,5	82,8	54,1	483,4	114,1	597,5
T ₅	346,2	131,2	53,7	531,1	88,7	619,8
T ₆	340,8	70,9	56,0	467,7	101,9	569,6
T ₇	369,5	128,9	44,9	543,3	114,1	657,4

ANNEXE 23

POIDS UNITAIRE DE MATIERE FRAICHE RACINAIRE
 DANS L'ESSAI N° 13 (g/pl)
 (2 rép. de 40 plantes de maïs et
 120 plantes de haricot par traitement)

Traitements		Dates			
		58 JAS	66 JAS	74 JAS	90 JAS
Sans engrais	Maïs pur	75,7	89,7	152,3	160,7
	Maïs associé	42,9	92,6	166,7	170,4
	Haricot pur	4,6	8,0	3,8	1,9
	Haricot associé	3,8	7,3	2,6	1,1
Avec 80 N - 100 P	Maïs pur	129,7	140,5	300,0	340,5
	Maïs associé	104,3	165,4	260,3	455,6
	Haricot pur	5,3	9,0	3,7	2,7
	Haricot associé	4,8	5,0	3,1	2,6

ANNEXE 24

POIDS UNITAIRE DE MATIERE SECHE AERIENNE DANS L'ESSAI N° 15 (g/pl).

Traitements	30 JAS	55 JAS	70 JAS	90 JAS	110 JAS
Maïs pur	4,9	-	97,9	163,3	-
Maïs avec haricot	3,9	-	103,6	208,3	-
Maïs avec soja	2,3	-	104,4	200,8	-
Haricot pur	2,1	9,9	15,4	11,4	-
Haricot associé	0,9	7,6	14,3	9,3	-
Soja pur	1,0	6,2	9,8	14,7	20,5
Soja associé	1,1	6,2	15,4	23,1	23,1
Int. statist.	-	-	-	-	-
CV (%)		22,7			
ETM		0,6			

N.B. : à 30, 70, 90 et 110 JAS : moyennes sur toutes les plantes d'un billon avec deux répétitions; à 55 JAS : moyennes de 10 plantes par traitement avec 8 répétitions;
traitement factoriel à 55 JAS : aucun effet de l'association, effet significatif de la légumineuse (haricot > soja).

ANNEXE 25

POIDS DE MATIERE SECHE AERIENNE DANS L'ESSAI N° 15 (kg/ha)

Traitements	30 JAS	55 JAS	70 JAS	90 JAS	110 JAS
T ₁ maïs pur	308	-	5 870	7 350	9 060
T ₂ haricot pur	490	2 481	2 510	1 870	-
T ₃ soja pur	338	1 329	2 940	4 930	7 970
T ₄ maïs associé	177	-	4 920	8 330	10 810
T ₄ haricot associé	224	343	960	920	-
T ₅ maïs associé	93	-	4 620	8 640	8 580
T ₅ soja associé	206	731	1 440	3 300	4 740

N.B. : Moyennes sur deux répétitions de 5,5 m² par traitement.

ANNEXE 26

SURFACES FOLIAIRES DU MAÏS DANS L'ESSAI N° 15 (stade 10 feuilles, 55 JAS) (cm²)

Traitements	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Moyenne
T ₁ maïs pur	428	585	587	519	344	509	439	426	560	527	492
T ₄ maïs avec haricot	526	502	442	627	430	532	400	426	509	512	491
T ₅ maïs avec soja	586	639	531	576	680	775	502	341	488	604	572
T ₆ maïs pur avec N	481	468	686	533	511	619	621	660	491	522	559
T ₉ maïs avec haricot avec N	588	470	669	565	596	565	495	692	446	542	563
T ₁₀ maïs avec soja avec N	435	652	663	823	650	646	544	533	574	366	589
Interp. statistique											
CV (%)											17
ETM (cm ²)											29

N.B. : Moyennes de 10 feuilles par plante et 10 plantes par traitement. Surface foliaire = longueur x largeur du limbe x 0,75.

Analyse factorielle : aucun effet de l'association et effet significatif de la fertilisation (Newman et Keuls).

ANNEXE 27

REPARTITION DE LA MATIERE SECHE AERIENNE (ESSAI N° 15) (en g/pl)

Traitements	70 JAS			90 JAS			
	Feuilles	Tiges + spathes ou tiges + gousses	MSA	Feuilles	Tiges + spathes ou tiges + gousses	Graines*	MSA
T ₁ maïs pur	41,4	56,5	97,9	47,5	70,4	45,4	163,3
T ₂ haricot pur	3,9	11,5	15,4	0	3,5	7,9	11,4
T ₃ soja pur	4,3	5,5	9,8	4,6	10,1	0	14,7
T ₄ maïs associé	47,9	55,7	103,6	44,6	91,8	71,9	208,3
T ₄ haricot associé	3,6	10,7	14,3	0	3,7	5,6	9,3
T ₅ maïs associé	46,5	57,9	104,4	40,0	78,0	82,8	200,8
T ₅ soja associé	4,7	10,7	15,4	5,7	17,4	0	23,1

* Pour maïs, il s'agit du poids d'épis + graines.

ANNEXE 28

28a : EXPORTATIONS TOTALES D'AZOTE EN L'ABSENCE D'ENGRAIS (ESSAI N° 15) (kg/ha)

Traitements	55 JAS	70 JAS	90 JAS	110 JAS
T ₁ maïs pur	-	73,9	85,5	82,0
T ₄ maïs avec haricot	-	56,9	77,0	109,5
T ₅ maïs avec soja	-	54,9	100,7	100,8
T ₂ haricot pur	63,2	64,5	51,8	-
T ₄ haricot associé	10,8	22,1	25,6	-
T ₃ soja pur	42,1	90,8	167,4	267,0
T ₅ soja associé	21,5	47,9	93,7	120,0

N.B. : Ces exportations sont calculées en effectuant la somme des exportations des différents organes à chaque période (moyennes sur 2 répétitions de 5,5 m² par traitement).

28b : EXPORTATIONS TOTALES D'AZOTE PAR LES LEGUMINEUSES PURES ET ASSOCIEES EN PRESENCE D'ENGRAIS AZOTE (ESSAI N° 15) (kg/ha)

Traitements	70 JAS	90 JAS	110 JAS
T ₇ haricot pur	80,3	89,0	-
T ₉ haricot associé	49,2	44,3	-
T ₈ soja pur	118,0	169,3	258,8
T ₁₀ soja associé	77,3	81,3	130,5

ANNEXE 29

EXPORTATIONS TOTALES DE PHOSPHORE EN L'ABSENCE D'ENGRAIS (ESSAI N° 15) (en kg/ha).

Traitements	55 JAS	70 JAS	90 JAS	110 JAS
T ₁ maïs pur	-	17,9	19,9	23,4
T ₄ maïs avec haricot	-	13,6	21,5	33,5
T ₅ maïs avec soja	-	12,0	23,3	25,1
T ₂ haricot pur	10,7	9,3	6,2	-
T ₄ haricot associé	1,3	2,9	2,9	-
T ₃ soja pur	4,8	10,1	16,6	31,1
T ₅ soja associé	2,3	4,0	9,3	12,2

N.B. : Même procédé de calcul que pour l'annexe 28.

ANNEXE 30

30a : EXPORTATIONS D'AZOTE DANS LES GRAINES A LA RECOLTE (ESSAI N° 15).

Traitements	Maïs		Légumineuse		N total (kg/ha)	LER N
	Rendement (kg/ha)	% N	Rendement	% N		
Maïs pur	5 765	1,31	-	-	75,5	1
Haricot pur	-	-	1 618	3,47	56,1	1
Soja pur	-	-	3 644	5,33	194,2	1
Maïs x haricot	5 067	1,33	713	4,01	96,0	1,40
Maïs x soja	4 942	1,43	2 094	5,23	180,2	1,50

30b : EXPORTATIONS DE PHOSPHORE DANS LES GRAINES A LA RECOLTE (ESSAI N° 15)

Traitements	Maïs		Légumineuse		P total (kg/ha)	LER P
	Rendement (kg/ha)	% P	Rendement	% P		
Maïs pur	5 765	0,52	-	-	30,0	1
Haricot pur	-	-	1 618	0,41	6,6	1
Soja pur	-	-	3 644	0,56	20,4	1
Maïs x haricot	5 067	0,55	713	0,46	31,1	1,42
Maïs x soja	4 942	0,54	2 094	0,52	37,6	1,42

ANNEXE 31

HAUTEUR DES PLANTES

31a : HAUTEUR DU MAIS (cm)

Traitements	Numéro des essais correspondants											Moyenne
	2	3	4	6	7	12	13D	13F	15H	15S	18	
Maïs pur	228	176	187	239	232	208	211	236	207	207	220	213
Maïs associé	227	166	188	238	232	196	202	235	204	204	219	209
Différence en % du pur	0	- 6	+ 1	0	0	- 6	- 4	0	0	- 1	0	- 2
Signif. stat.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	5	7,2	3			6,5	5			5	5,4	
ETM (cm)	4,5	5	3				4,6			5	-	

N.B. : D = Dschang, F = Foubot, H = haricot, S = soja. Dans chaque essai les chiffres sont des moyennes sur six répétitions de 10 plantes.

31b : HAUTEUR DES LEGUMINEUSES (cm)

Traitements	Numéros des essais correspondants									
	Haricot					Soja				
	13D	13F	15	15 (80 N)	Moyenne	4	15	15 (80 N)	18	Moyenne
Légumineuse en pur	41,6	45,5	43,9	64,6	48,9	38,3	63,7	70,4	66,2	59,7
Légumineuse associée	34,7	41,6	39,6	49,9	41,5	41,7	68,2	74,9	68,7	63,4
Différence en % du pur	- 17	- 9	- 10	- 23	- 15	+ 9	+ 7	+ 6	+ 4	+ 6
Signif. stat.	HS	NS	NS	HS	-	HS	HS	HS	NS	-
CV (%)	9	8,3	11	11	-	5	3	3	5,4	-
ETM (cm)	1,6	1,4	2,3	2,3	-	0,8	1,0	1,0		-

N.B. : D = Dschang, F = Foubot, H = haricot, S = soja. Dans chaque essai les chiffres sont des moyennes sur six répétitions de 10 plantes.

ANNEXE 32

NOMBRE DE GOUSSES PAR PLANTE DES LEGUMINEUSES

32a : SUR HARICOT

Traitements	Numéro des essais						Moyenne
	3	7	12D	12F	13D	15	
Haricot pur	18,8	14,1	10,6	11,1	14,2	18,4	14,5
Haricot associé	14,6	12,8	8,0	10,9	10,2	13,9	11,7
Différence en % du pur	- 22	- 9	- 25	- 2	- 28	- 24	- 19
Signif. stat.	HS	NS	HS	NS	S	HS	
CV (%)	19	20	14,7	15,1	15	13,9	
ETM	1		0,6		0,9	1,1	

N.B. : Les chiffres sont des moyennes effectuées sur six répétitions de 10 plantes par traitement.

D = Dschang, F = Foubot.

32b : SUR SOJA

Traitements	Numéro des essais				Moyenne
	2	4	6	15	
Soja pur	40,3	42,9	45,3	40,6	42,3
Soja associé	27,8	27,0	39,8	39,6	33,6
Différence en % du pur	- 31	- 37	- 12	- 2	- 21
Signif. stat.	HS	HS	NS	NS	
CV (%)	16	16	14,9	20	
ETM	2	1,9		3,4	

N.B. : Les chiffres sont des moyennes effectuées sur six répétitions de 10 plantes par traitement.

ANNEXE 33

NOMBRE DE GRAINES PAR GOUSSE ET PAR PLANTE

33a : NOMBRE DE GRAINES PAR GOUSSE DES LEGUMINEUSES

Traitements	Numéro des essais			
	3H	4S	15H	15S
Légumineuse pure	4,41	1,62	3,78	1,65
Soja associé	3,91	1,56	4,21	2,24
Différence en % du pur	- 11	- 4	+ 11	+ 36
Signif. stat.	NS	NS	NS	NS
CV (%)	14	5,4		
ETM		0,03		

N.B. : H = haricot et S = soja. Les chiffres sont des moyennes effectuées sur six répétitions de 10 plantes par traitement.

33b : NOMBRE DE GRAINES PAR PLANTE DU HARICOT.

Traitements	Numéro des essais			Moyenne
	3	15	15(80 N)	
Haricot pur	67,7	87,2	118,4	91,1
Haricot associé	51,2	64,0	71,7	62,3
Différence en % du pur	- 24	- 27	- 39	- 32
Signif. stat.	HS	HS	NS	
CV (%)	18	21	21	
ETM	3,6	7,3	7,3	

N.B. : H = haricot et S = soja. Les chiffres sont des moyennes effectuées sur six répétitions de 10 plantes par traitement.

ANNEXE 34

POIDS DE 1 000 GRAINES (en grammes)

34a : SUR MAIS

Traitements	Numéro des essais						Moyenne
	4	6	12D	12F	12D (80 N)	12F (80 N)	
Maïs pur	259	431,2	354,8	363,6	348,1	378,2	354,3
Maïs associé	272	448,9	358,5	373,4	380,7	401,3	372,5
Différence en % du pur	+ 5	+ 4	+ 4	+ 3	+ 9	+ 6	+ 5
Signif. stat.	NS	NS	HS	NS	HS	HS	
CV (%)			5,2	4,1	5,2	4,1	
ETM			7,7	6,3	7,7	6,3	

N.B. : Essai 4 = moyennes de 2 répétitions de 100 graines par traitement;

essai 6 = moyennes de 12 répétitions de 100 graines par traitement;

essai 12 = moyennes de 6 répétitions de 100 graines par traitement.

D : Dschang; F : Foubot.

34b : SUR LEGUMINEUSES

Traitements	Haricot					Soja	
	Numéro des essais				Moyenne	Numéro des essais	
	12D	12F	12D (80 N)	12F (80 N)		4	6
Légumineuse pure	164,1	188,8	168,3	193,7	178,7	99,5	120
Légumineuse associée	182,6	193,2	181,1	204,0	190,2	94,2	112,1
Différence en % du pur	+ 11	+ 2	+ 8	+ 5	+ 6	- 5	- 7
Signif. stat.	HS	NS	HS	HS		NS	NS
CV (%)	4,5	3,7	4,5	3,7		9	
ETM	3,2	2,9	3,2	2,9		3,4	

N.B. : Essai 4 = moyennes de 2 répétitions de 100 graines par traitement; essai 6 = moyennes de 12 répétitions de 100 graines par traitement; essai 12 = moyennes de 6 répétitions de 100 graines par traitement.

D : Dschang; F : Foubot.

ANNEXE 35

POIDS DE GRAINS PAR PLANTE (GRAMMES)

35a : Dans l'association maïs-haricot

Traitements	Maïs				Haricot			
	Essai 7	Essai 13	Essai 15	Moyenne	Essai 7	Essai 15	Essai 13	Moyenne
Pur	122,1	52,3	49,8	74,7	4,62	8,50	3,74	5,62
Associé	164,5	68,6	70,9	101,3	3,26	6,61	2,42	4,10
Différence en % du pur	+ 35	+ 31	+ 42	+ 36	- 29	- 22	- 35	- 27
Signif. stat.	NS	NS	NS		NS	NS	NS	

N.B. : Moyennes des plantes de 2 répétitions de 5,5 m².

35b : Dans l'association Maïs-soja.

Traitements	Maïs				Soja			
	Essai 2	Essai 4	Essai 9	Moyenne	Essai 2	Essai 4	Essai 9	Moyenne
Pur	99,5	46,3	68,5	71,4	7,64	6,9	9,76	8,10
Associé	115,9	61,5	100,9	92,8	5,27	4,7	8,76	6,24
Différence en % du pur	+ 16	+ 33	+ 47	+ 30	- 31	- 32	- 10	- 23
Signif. stat.	NS	NS	NS		NS	S	NS	
CV (%)						10,2		

N.B. : Essai n° 4 = Moyennes de 6 répétitions de 10 plantes par traitement; essai n° 15 = moyennes des plantes de 2 répétitions de 5,5 m².

ANNEXE 36

NODULATION DE LA LEGUMINEUSE

36a : NODULATION EN L'ABSENCE D'ENGRAIS

Traitements	Soja							Haricot	
	Numéro des essais						Moyenne	Numéro des essais	
	8	9	10	11	15	17		12	15
Nombre nodules sur 10 plantes en pur	281	523	421	544	285 b	-	405 (± 59)	34,3	62,0
Nombre nodules sur 10 plantes en associé	251	503	607	630	333 a CV = 33% ETM = 20	-	465 (± 75)	28,6	27,2
Poids sec nodules sur 10 plantes en pur	1,43	3,50	2,65	4,18	2,80	2,61	2,86 ($\pm 0,38$)	0,19	0,50
Poids sec nodules sur 10 plantes en associé	1,50	5,95	3,45	5,95	2,90	3,29	3,84 ($\pm 0,72$)	0,30	0,10

N.B. : Moyennes de 4 à 8 répétitions de 10 plantes par traitement.

36b : NODULATION EN PRESENCE DE FUMURE AZOTEE (80 N)

Traitements	Soja					Haricot
	Numéro des essais				Moyenne	Numéro de l'essai
	9	10	11	17		12
Nombre nodules sur 10 plantes en pur	49,0	159	202	-	137 (± 46)	26,1
Nombre nodules sur 10 plantes en associé	81,5	376	312	-	257 (± 89)	82,3
Poids sec nodules sur 10 plantes en pur	0,15	0,80	0,93	0,42	0,57 ($\pm 0,18$)	0,13
Poids sec nodules sur 10 plantes en associé	0,20	1,60	2,10	0,54	1,11 ($\pm 0,44$)	0,38

ANNEXE 38

LER DE L'ENSEMBLE DES ESSAIS

CARACTERISTIQUES DU FICHIER : C:LERMOY
TITRE : CHAP 7

NOMBRE D'OBSERVATIONS : 65 NOMBRE DE VARIABLES : 3

FICHIER DE DONNEES : C:LERMOYR

(LER_m = LER mais
LER_l = LER légumineuse

	1	2	3				
	LER	LER _m	LER _l				
1	1.48	1.19	0.29	41	1.01	0.98	0.41
2	1.41	1.00	0.41	42	1.27	1.64	0.63
3	1.20	0.85	0.35	43	1.39	0.94	0.45
4	1.17	0.77	0.40	44	1.11	0.59	0.32
5	1.21	0.80	0.41	45	1.29	0.84	0.45
6	1.32	0.85	0.47	46	1.23	0.91	0.32
7	1.35	0.77	0.56	47	1.17	0.87	0.32
8	1.39	0.92	0.47	48	1.25	0.74	0.33
9	1.40	0.91	0.49	49	1.42	0.86	0.56
10	1.26	0.68	0.58	50	1.41	0.80	0.61
11	1.30	0.71	0.59	51	1.25	0.83	0.38
12	1.31	0.83	0.46	52	1.22	0.71	0.51
13	1.24	0.77	0.47	53	1.12	0.72	0.40
14	1.25	0.73	0.52	54	1.22	0.62	0.60
15	1.27	0.68	0.59	55	1.44	0.86	0.58
16	1.37	0.66	0.71	56	1.41	0.92	0.49
17	1.46	0.79	0.67	57	1.32	0.88	0.45
18	1.41	0.87	0.54	58	1.25	0.92	0.43
19	1.33	0.72	0.61	59	1.44	0.96	0.48
20	1.40	0.74	0.66	60	1.47	0.96	0.51
21	1.33	0.93	0.40	61	1.23	0.86	0.37
22	1.27	0.87	0.40	62	1.28	0.93	0.35
23	1.30	0.81	0.49	63	1.05	0.77	0.28
24	1.36	0.89	0.47	64	1.26	1.01	0.25
25	1.33	0.77	0.56	65	1.12	0.78	0.34
26	1.34	0.83	0.51				
27	1.32	0.70	0.62				
28	1.16	0.67	0.47				
29	1.25	0.78	0.47				
30	1.31	0.95	0.36				
31	1.14	0.90	0.24				
32	1.31	0.71	0.60				
33	1.68	1.25	0.43				
34	1.05	0.63	0.42				
35	1.37	0.97	0.40				
36	1.01	0.68	0.33				
37	1.30	0.93	0.37				
38	0.93	0.63	0.30				
39	1.36	1.01	0.37				
40	1.20	1.17	0.50				

***** MATRICE DE CORRELATIONS *****

CARACTERISTIQUES DU FICHIER : C:LERMOY
TITRE : CHAP 7

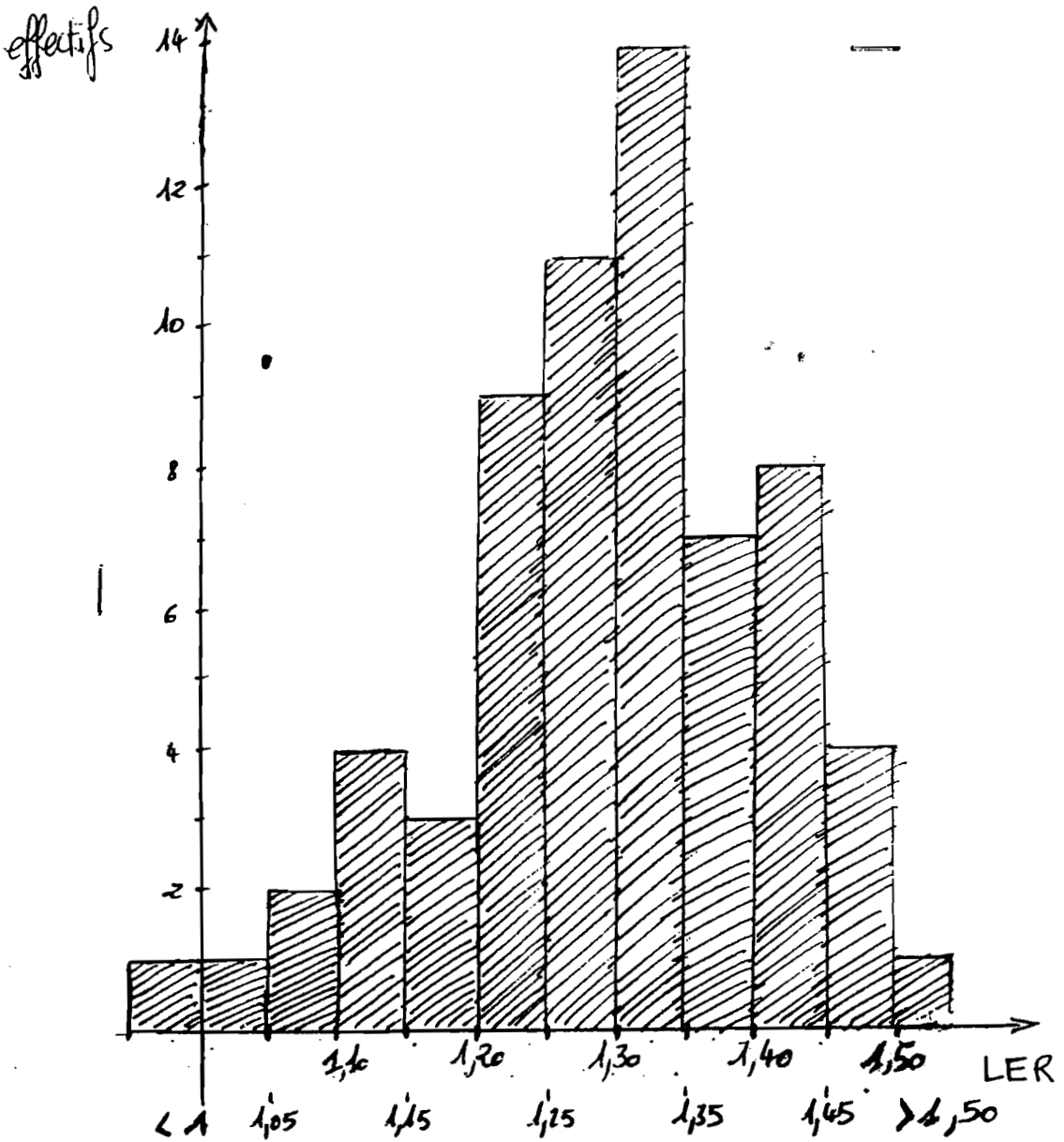
NOMBRE D'OBSERVATIONS : 65 NOMBRE DE VARIABLES : 3

TITRE DU DOSSIER : CHAP 7

MATRICE DE CORRELATIONS TOTALES

	LER	LER _m	LER _l
LER	1.000		
LER _m	0.631	1.000	
LER _l	0.400	-0.455	1.000

DIAGRAMME DE REPARTITION PAR CLASSE DES LER



....EN COMULE....

LIMITES DES CLASSES==== EFFECTIF POURCENTAGE EFFECTIF POURCENTAGE


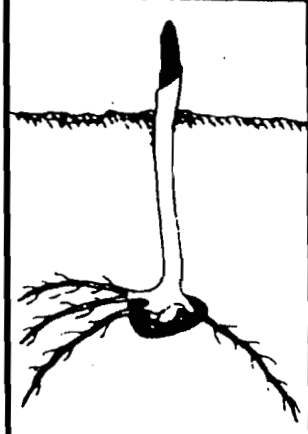
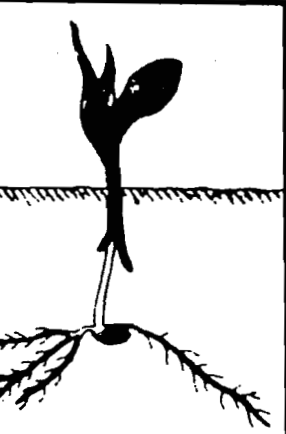
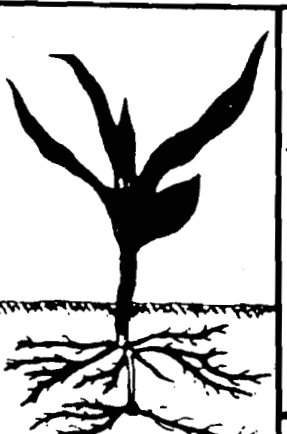







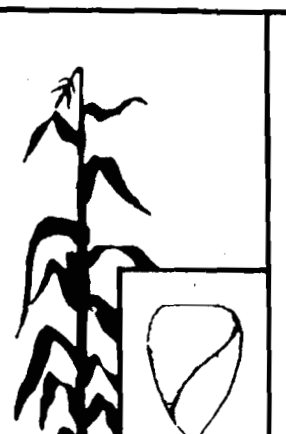


LIMITES DES CLASSES	EFFECTIF	POURCENTAGE	EFFECTIF	POURCENTAGE
0.90 <	0.95	1	1.54	1
0.95 <	1.00	0	0.00	1
1.00 <	1.05	1	1.54	2
1.05 <	1.10	2	3.08	4
1.10 <	1.15	4	6.15	8
1.15 <	1.20	2	4.62	11
1.20 <	1.25	9	13.85	20
1.25 <	1.30	11	16.92	31
1.30 <	1.35	14	21.54	45
1.35 <	1.40	7	10.77	52
1.40 <	1.45	8	13.85	61
1.45 <	1.50	4	4.62	64
1.50 <	1.55	0	0.00	64
1.55 <	1.60	0	0.00	64
1.60 <	1.65	0	0.00	64
1.65 <	1.70	1	1.54	65
TOTAL		65	100.00	

Ces stades Repères du maïs ont été réalisés par le Service Agronomique de Gavadoeur Cargill et font partie d'un tableau beaucoup plus complet présenté sous forme de poster, ou l'on retrouve pour chaque stade

le développement physiologique, les exigences thermiques, les besoins en eau, l'absorption des éléments fertilisants, l'évaluation de la matière sèche.

la répartition de la matière sèche. Ce tableau complet est disponible gratuitement sur simple demande auprès de Gavadoeur Cargill 40300 Puyehourade

gavadoeur
Cargill

						
Germination <i>Apparition de la radicle hors du grain</i>	Levée <ul style="list-style-type: none"> • Sortie du coleoptile de la surface du sol • Apparition de la première feuille • Développement du système racinaire primaire 	1 feuille <ul style="list-style-type: none"> • Apparition du système racinaire de tallage 	3 feuilles <ul style="list-style-type: none"> • Étend en horizontale du système racinaire de tallage 	6 feuilles <ul style="list-style-type: none"> • Apparition des premières racines d'ancrage • Développement en profondeur du système racinaire de tallage • Arrêt momentané d'expansion foliaire 	8-10 feuilles <ul style="list-style-type: none"> • Accélération croissance de la tige 	Epreison <i>Apparition de la panicle mâle dans le cône</i>
						
Floraison mâle	Floraison femelle	Fin fécondation	Grain laiteux	Grain pâteux	Grain vitreux	Dessiccation <i>faute</i>

STADES « REPERES. » DU MAÏS

ANNEXE 40