

INFORMATION TO USERS

This manuscript has been reproduced from the microfilm master. UMI films the text directly from the original or copy submitted. Thus, some thesis and dissertation copies are in typewriter face, while others may be from any type of computer printer.

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted. Broken or indistinct print, colored or poor quality illustrations and photographs, print bleedthrough, substandard margins, and improper alignment can adversely affect reproduction.

In the unlikely event that the author did not send UMI a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if unauthorized copyright material had to be removed, a note will indicate the deletion.

Oversize materials (e.g., maps, drawings, charts) are reproduced by sectioning the original, beginning at the upper left-hand corner and continuing from left to right in equal sections with small overlaps. Each original is also photographed in one exposure and is included in reduced form at the back of the book.

Photographs included in the original manuscript have been reproduced xerographically in this copy. Higher quality 6" x 9" black and white photographic prints are available for any photographs or illustrations appearing in this copy for an additional charge. Contact UMI directly to order.

UMI

A Bell & Howell Information Company
300 North Zeeb Road, Ann Arbor MI 48106-1346 USA
313/761-4700 800/521-0600

SAMBA ARONA NDIAYE SAMBA

**INFLUENCE DE *CORDYLA PINNATA* SUR LA FERTILITÉ D'UN SOL
FERRUGINEUX TROPICAL ET SUR LE MIL ET L'ARACHIDE DANS UN
SYSTÈME AGROFORESTIER TRADITIONNEL AU SÉNÉGAL**

Thèse
présentée
à la Faculté des études supérieures
de l'Université Laval
pour l'obtention
du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)

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

SEPTEMBRE 1997

© Samba A. Ndiaye Samba 1997



National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.




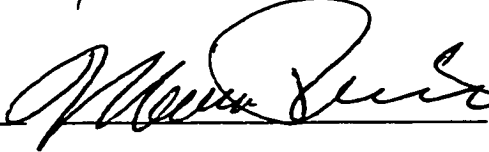
L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

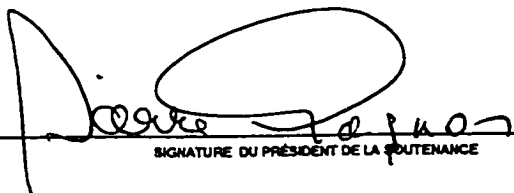
L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-25455-0

Canada


Ce 24^e jour du mois de septembre 19 97, les personnes soussignées, en leur qualité de membres du jury de la thèse de Samba Arona Ndiaye Samba, ont assisté à la soutenance de cette thèse.

<u>NOMS</u>	<u>UNIVERSITÉ</u>	<u>SIGNATURE</u>
<u>Hank Margolis</u>	<u>Université Laval</u>	
<u>Claude Camiré</u>	<u>Université Laval</u>	
<u>Pierre-André Dubé</u>	<u>Université Laval</u>	
<u>Marius Pineau</u>	<u>Université Laval</u>	
<u>Edouard Bonkougou (absent)</u>	<u>ICRAF</u>	


SIGNATURE DU PRÉSIDENT DE LA SOUTENANCE

Résumé court

L'influence de *Cordyla pinnata* sur le sol et sur le mil et arachide a été étudiée dans un parc arboré au Sénégal. Les teneurs en C organique, N total, P assimilable, Ca échangeable et la CEC du sol étaient respectivement 57%, 61%, 47%, 22% et 15% plus élevées sous le couvert (SC) que hors du couvert (HC) de *Cordyla*. La biomasse totale (BT) du mil a été réduite de 5% à SC comparé à HC. BT pour l'arachide a (1) augmenté avec la distance à proximité des arbres non élagués (26% de lumière) ou partiellement élagués (37 à 39% de lumière) et (2) diminué avec la distance pour les arbres totalement élagués (92% de lumière). Deux bioessais ont étudié l'influence (1) de la distance de prélèvement du sol de culture par rapport à l'espèce et (2) de la dose de litière foliaire (0, 39, 78 et 156 kg de litière / t de sol) sur le sol et les deux cultures. BT pour le mil et l'arachide ont respectivement été 47% et 48% plus élevées à SC qu'à HC et ont ainsi suivi le gradient de fertilité observé sur le terrain. BT pour l'arachide a été réduite par les apports de litière par rapport au témoin contrairement à celle du mil qui a augmenté pour atteindre un maximum avec la dose de 39 kg / t. L'interception de la pluie a représenté 22% des précipitations brutes dans le parc.



Samba Arona N. Samba



Hank Margolis



Claude Camiré

Résumé long

Les parcs arborés sont des systèmes agroforestiers dans lesquels les ligneux sont associés aux cultures. Ces associations entre différents types de végétaux créent des interactions qui peuvent être bénéfiques ou non pour le sol et les cultures associées. La biomasse foliaire sèche de *Cordyla pinnata* estimée dans un parc situé dans le sud du Bassin arachidier au Sénégal a été de 337 kg ha⁻¹ an⁻¹. L'influence du volume de la cime de l'espèce, de l'orientation, de la distance au tronc et de l'élagage sur les propriétés physico-chimiques du sol, la teneur en éléments nutritifs et le rendement du mil et de l'arachide a été étudiée. La présence de *C. pinnata* n'a été associée à aucune modification des propriétés physiques du sol étudiées (texture, masse volumique apparente et humidité). Les teneurs en C organique, N total, P assimilable, Ca échangeable et la CEC du sol étaient respectivement 57%, 61%, 47%, 22% et 15% plus élevées sous le couvert (SC) que hors du couvert (HC) de *C. pinnata*. Pour toutes les intensités d'élagage confondues, la biomasse des grains de mil a diminué de 18% à SC comparé à HC alors que la biomasse totale (BT) du mil a faiblement (- 0,5%), mais significativement, diminué à proximité de l'espèce. Par contre, la biomasse des gousses d'arachide a été réduite de 25% à SC par rapport à HC. Sous les arbres non élagués, BT pour l'arachide a augmenté avec la distance (1486 à 2084 et 2110 g m⁻²) mais sous les arbres entièrement élagués, BT a diminué avec la distance (2177 à 1829 et 1787 g m⁻²).

La productivité et la teneur en éléments nutritifs du mil et de l'arachide ont été étudiées en pépinière 1) sur des sols prélevés à différentes distances de *C. pinnata* et 2) sur des mélanges de sol avec différentes doses de litière (0, 39, 78 et 156 kg de litière / t de sol) de *C. pinnata*. BT pour l'arachide a respectivement été réduite de 11%, 13% et 29% par les doses 39, 78 et 156 kg / t, par rapport au témoin, alors que BT pour le mil a été multipliée par 1,7, 1,9 et 1,5. La teneur en K des feuilles d'arachide a également augmenté avec les apports de litière mais les teneurs en N, P, K et Ca des grains de mil ont été variables.

L'interception de l'eau de pluie a été étudiée en fonction du volume de la cime, de la distance par rapport à l'arbre et de l'éclairage relatif. Sous la cime de *C. pinnata*, l'interception de

la pluie représentait 22% de la pluviosité. La relation entre la précipitation brute et l'interception a été asymptotique et la capacité de stockage de l'espèce a été de 5 mm.



Samba Arona N. Samba



Hank Margolis



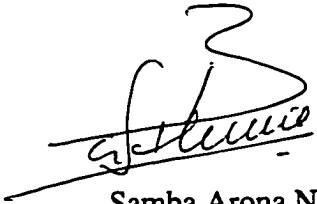
Claude Camiré

Extended abstract

Agroforestry parklands are agroforestry systems where trees are mixed with crops on the same unit of land. These tree-crop associations can have a positive, a negative or no effect on the soil or on the growth and yield of the plants. Foliar biomass production of the tree, *Cordyla pinnata*, was estimated to be 337 kg ha⁻¹ in a parkland located in the southern part of the peanut basin of Senegal. Effects of crown volume, orientation, distance from the trunk and pruning intensity of *C. pinnata* on soil physical and chemical properties, nutrient contents, and millet and peanut growth and yield were studied. *Cordyla pinnata* was not associated with any differences in soil physical properties (texture, bulk density or humidity). Soil organic C, total N, extractible P, exchangeable Ca and CEC were respectively 57%, 61%, 47%, 22%, and 15% higher under the canopy than in the open. For all pruning intensities combined, millet grain biomass (-18%) and total millet biomass (-0.5%) decreased significantly under *C. pinnata*. The biomass of peanut pods was also reduced (-25%) under the canopy compared to the open. Under the control (non-pruned trees), total biomass of peanut plants increased with distance (1486, 2084, and 2110 g m⁻²) while under completely pruned trees, total biomass of peanut plants decreased with distance (2177, 1829, and 1787 g m⁻²).

Millet and peanut yields and nutrient contents were studied using two bioassays in a nursery: 1) soils sampled at different distances from *Cordyla pinnata* and 2) soils mixed with different quantities of *C. pinnata* litter (0, 39, 78, and 156 kg of litter / t of soil). Millet and peanut plants grown on soils sampled under *C. pinnata* had a higher yield than those grown on soils sampled away from the canopy. Total biomass of peanut plants were reduced by litter additions (-11%, -13%, and -29% respectively with 39, 78, and 78 kg of litter / t of soil) compared to the control. Total biomass of millet was increased 17, 1.9 and 1.5 times by the same treatments. K content in peanut leaves also increased with litter additions but N, P, and Ca in millet grains varied greatly.

The interception of precipitation by *Cordyla pinnata* was studied in relationship to 1) tree crown volume, 2) distance from the tree and 3) relative light intensity. Under full canopy, 22% of gross precipitation was intercepted. There was a positive asymptotic relationship between gross precipitation and interception. The canopy storage capacity of *Cordyla pinnata* was 5 mm.



Samba Arona N. Samba



Hank Margolis



Claude Camiré

Avant-propos

Au terme de ces études, je tiens à remercier tout d'abord notre Seigneur Dieu, le Clément le Miséricordieux de m'avoir donné la santé, le courage et la patience de réaliser cette thèse. Je remercie les paysans de Darou, à travers le Chef Layine Dramé, pour avoir accepté que cette étude soit réalisée dans leur village. Je prie Hank Margolis et Claude Camiré, respectivement directeur et codirecteur de cette thèse de trouver ici l'expression de ma sincère gratitude. Ils ont toujours fait preuve d'une grande disponibilité et d'une grande rigueur scientifique. Je remercie le professeur P. A. Dubé de la Faculté d'agriculture d'avoir accepté de réviser cette thèse et de faire partie du jury.

Je remercie Sylvain Boisclair, consultant en statistiques au CRBF, qui m'a beaucoup aidé dans la réalisation des programmes et analyses statistiques avec le logiciel SAS. J'ai beaucoup apprécié sa disponibilité. Je remercie également A. Brousseau et R. Mercier qui ont effectué quelques-unes des analyses des tissus végétaux. Mes remerciements sont également adressés à G. Gendron, C. Webster ainsi qu'à J. Tomlinson pour leur disponibilité, leur compréhension et leur soutien. Je remercie l'Agence canadienne de développement international, à travers l'ICRAF, qui a financé ces études dans le cadre du programme AFRENA / SALWA. Je remercie aussi le CRBF, le Fonds de soutien au doctorat de l'Université Laval et le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada pour leur soutien financier.

Je remercie l'ISRA à travers la DRPF pour m'avoir permis de continuer ma formation et pour son soutien financier et logistique lors des travaux de terrain. Je remercie mes collègues de l'ISRA de Kaolack, notamment A. Mbaye, M. Kaïré, E. Faye, A. Séne, L. Diatta, A. Gueye et P. S. Sarr pour leur appui. Ces remerciements sont également adressés à tout le personnel du programme d'agroforesterie et à mes collègues de Dakar, à l'occurrence à P. Sall, A. Diarra, M. Wade, I. Gueye, J. Roussel, D. Manga ainsi qu'à Mesdames Ly, Diop et Fall. Que ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse, et qui n'ont pas été cités, soient assurés de ma reconnaissance.

Finaleme^{nt}, je dédie ce travail à mes parents qui ont beaucoup investi dans mes études, à ma femme et à mes enfants pour la patience d'avoir supporté ces longues périodes de séparation et à mes frères et soeurs qui m'ont toujours témoigné un sincère respect. Qu'ils soient tous assurés de mes sentiments les plus profonds.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Résumé court	i
Résumé long	ii
Extended abstract.....	iv
Avant-propos.....	vi
Table des matières.....	viii
Liste des tableaux	xii
Liste des figures	xv
Chapitre 1: Introduction générale	1
Chapitre 2: Interactions de <i>Cordyla pinnata</i> avec le mil et l'arachide dans un système agroforestier traditionnel au Sénégal.....	15
Résumé.....	16
2.1. Introduction.....	17
2.2. Matériel et méthodes.....	21
2.2.1. Site de l'étude.....	21
2.2.2. Inventaire, stratification et élagages des ligneux.....	21
2.2.3. Relations allométriques chez <i>Cordyla pinnata</i>	22
2.2.4. Influence de <i>Cordyla pinnata</i> sur les propriétés physico-chimiques du sol	24
2.2.5. Potentiel hydrique de l'arachide.....	26
2.2.6. Mesure de l'éclairement dans le parc à <i>Cordyla pinnata</i>	27
2.2.7. Ombrage de <i>Cordyla pinnata</i>	28
2.2.8. Rendement des cultures dans le parc à <i>Cordyla pinnata</i>	28
2.2.9. Analyse des tissus végétaux du mil.....	29

	Page
2.2.10. Relations entre le rendement, la teneur en éléments des cultures et les propriétés physico-chimiques du sol.....	30
2.3. Résultats.....	31
2.3.1. Relations allométriques chez <i>Cordyla pinnata</i>	31
2.3.2. Ombrage et éclairage relatif sous <i>Cordyla pinnata</i>	31
2.3.3. Propriétés physiques des sols.....	34
2.3.4. Propriétés chimiques des sols.....	34
2.3.5. Mil: Teneur en éléments minéraux.....	37
2.3.6. Mil: Rendement et biomasse.....	37
2.3.7. Mil: Relations entre les différents groupes de variables.....	44
2.3.8. Arachide: Potentiel hydrique.....	45
2.3.9. Arachide - Rendement et biomasse.....	45
2.3.10. Relations entre le rendement de l'arachide et la fertilité du sol.....	51
2.4. Discussion.....	52
2.5. Conclusion.....	64
Chapitre 3: Influence de la distance de prélèvement du sol de culture et de la dose de litière de <i>Cordyla pinnata</i> sur les cultures d'arachide et de mil.....	66
Résumé.....	67
3.1. Introduction.....	68
3.2. Matériel et méthodes.....	72
3.2.1. Site de l'étude.....	72
3.2.2. Biomasse foliaire produite dans le parc à <i>Cordyla pinnata</i>	72
3.2.3. Influence de la distance de prélèvement du sol de culture sur le rendement du mil (<i>Pennisetum thyphoides</i>) et de l'arachide (<i>Arachis hypogaea</i>).....	73

	Page
3.2.4. Influence de la dose de litière de <i>Cordyla pinnata</i> sur le sol, le rendement et la concentration en éléments du mil et de l'arachide.....	74
3.2.5. Relations entre la fertilité du sol de culture, le rendement et la teneur en éléments des cultures.....	76
3.3. Résultat.....	78
3.3.1. Biomasse foliaire produite par <i>Cordyla pinnata</i> dans le parc.....	78
3.3.2. Productivité du mil en fonction de la distance de prélèvement.....	78
3.3.3. Productivité de l'arachide suivant la distance de prélèvement.....	78
3.3.4. Corrélations entre le rendement des cultures et la fertilité du sol.....	82
3.3.5. Influence de la dose de litière de <i>Cordyla pinnata</i> sur le rendement de l'arachide.....	84
3.3.6. Influence de la dose de litière <i>Cordyla pinnata</i> sur les plants de mil.....	87
3.3.7. Influence de la dose de litière <i>Cordyla pinnata</i> sur le sol de culture.....	89
3.3.8. Teneurs en éléments des feuilles et graines d'arachide suivant la dose de litière de <i>Cordyla pinnata</i> dans le sol.....	89
3.3.9. Teneurs en éléments des grains de mil suivant la dose de litière dans le sol.....	91
3.3.10. Relations entre le rendement, la teneur en éléments des feuilles et graines d'arachide et la fertilité du sol.....	91
3.3.11. Relations entre le rendement, la teneur en éléments des grains de mil et la fertilité du sol.....	99
3.4. Discussion.....	102
3.5. Conclusion.....	109
Chapitre 4: Interception de la pluie dans le parc à <i>Cordyla pinnata</i>.....	111
Résumé.....	112

	Page
4.1. Introduction.....	113
4.2. Matériel et méthodes.....	117
4.2.1. Site de l'étude.....	117
4.2.2. Facteurs biophysiques.....	117
4.2.3. Dispositif expérimental.....	118
4.2.4. Mesure de la pluie et de l'interception.....	118
4.2.5. Capacité de saturation.....	119
4.2.6. Mesure de l'éclairement relatif.....	120
4.2.7. Surface foliaire.....	121
4.2.8. Autres analyses statistiques.....	121
4.3. Résultats et discussions.....	122
4.3.1. Composition et structure du parc à <i>Cordyla pinnata</i>	122
4.3.2. Épisodes pluvieux.....	122
4.3.3. Interception.....	122
4.3.4. Relation entre l'interception et la pluviosité.....	126
4.3.5. Relation entre l'interception et les variables de <i>Cordyla pinnata</i>	128
4.3.6. Capacité de saturation du houppier.....	130
4.3.7. Relation entre l'interception et l'éclairement relatif sous <i>Cordyla</i> <i>pinnata</i>	134
4.3.8. Relation entre la précipitation au sol et l'éclairement relatif.....	136
4.4. Conclusion.....	137
Chapitre 5: Conclusion générale	139
Références bibliographiques	147
Annexes	181

Liste des tableaux

	Page
Chapitre 2	
2.1. Caractéristiques dendrométriques moyennes de l'échantillon en fonction des classes de volume de la cime.....	23
2.2. Relation entre le diamètre à 1,30 m ou le diamètre au niveau de la première fourche et diverses variables dendrométriques de <i>Cordyla pinnata</i> selon le modèle $Y = a \cdot x^b$	32
2.3. Relation entre la biomasse foliaire ou la surface foliaire de <i>Cordyla pinnata</i> avec diverses variables dendrométriques selon le modèle $Y = a \cdot x^b$	33
2.4. Éclairement relatif (%) en fonction du volume de la cime et de l'intensité d'élagage de la longueur de la cime.....	35
2.5. Caractéristiques chimiques des sols en fonction de la distance au tronc et du volume de la cime de <i>Cordyla pinnata</i>	36
2.6. Teneur en éléments minéraux des grains de mil en fonction de l'interaction entre l'orientation et le volume de la cime et en fonction de la distance au tronc.....	39

Chapitre 3

3.1. ANOVA et niveau de signification des effets linéaire et quadratique des teneurs en éléments des sols de cultures en fonction de la dose de litière.....	88
3.2. Corrélations entre les variables d'origine de rendement pour l'arachide et les composantes principales de rendement.....	93
3.3. Corrélations entre les variables d'origine de fertilité du sol et les composantes principales de fertilité.....	95
3.4. Corrélations entre les variables d'origine de teneur en éléments des graines d'arachide et les composantes principales de teneur en éléments des graines et entre les variables d'origine de la teneur en éléments des feuilles d'arachide et les composantes principales de teneur en éléments des feuilles.....	96
3.5. Coefficient de Pearson et probabilité des corrélations entre la teneur en éléments des graines d'arachide et le rendement.....	97
3.6. Coefficient de Pearson et probabilités des corrélations entre la teneur en éléments des graines et feuilles d'arachide et le rendement..	98
3.7. Corrélations entre les variables d'origine de rendement du mil et les composantes principales de rendement du mil.....	100
3.8. Corrélations entre les variables d'origine de la teneur en éléments des grains mil et les composantes de teneur en éléments des grains de mil.....	101

Chapitre 4

4.1. Caractéristiques des variables mesurées pour les arbres utilisés dans l'étude de l'interception.....	123
4.2. Statistiques de la pluviosité et de l'interception en fonction de la distance au tronc à Darou en 1994.....	124
4.3. Interception moyenne et précipitation au sol par catégorie de hauteur et diamètre de la cime selon la distance au tronc.....	129
4.4. Capacité de saturation de la cime de <i>Cordyla pinnata</i> à partir de l'équation de prédiction $I_n = 1,76 * P_b^{0,2971}$ et en fonction de l'importance de la variation de l'interception entre des tranches pluviométriques de 5 mm.....	131
4.5. Capacité de saturation de <i>Cordyla pinnata</i> par la méthode des événements nocturnes importants et par l'équation de prédiction de l'interception.....	133

Liste des figures

	Page
Chapitre 1	
1.1. Situation géographique du Sénégal et site d'étude.....	3
Chapitre 2	
2.1. Interaction entre le volume de la cime de <i>Cordyla pinnata</i> et la distance au tronc sur la somme des bases échangeables.....	38
2.2. Influence des interactions entre la distance au tronc et l'élagage et entre le volume de la cime et l'orientation sur la teneur en P des grains de mil.....	40
2.3. Influence de la distance au tronc de <i>Cordyla pinnata</i> et du volume de sa cime sur la biomasse des grains de mil.....	41
2.4. Interaction entre la distance au tronc et l'orientation sur le rapport entre la biomasse des grains et celle des tiges de mil.....	42
2.5. Potentiel hydrique de l'arachide en fonction de l'heure de la journée.....	46
2.6. Interaction entre l'intensité d'élagage et la distance au tronc sur la biomasse des gousses et des fanes d'arachide.....	47

2.7. Influence du volume de la cime et de la distance au tronc de <i>Cordyla pinnata</i> sur le rapport entre la biomasse des fanes d'arachide et la biomasse des gousses d'arachide.....	49
2.8. Interaction entre la distance au tronc et l'intensité d'élagage sur la biomasse totale de l'arachide.....	50

Chapitre 3

3.1. Mil: influence de la distance de prélèvement du sol de culture par rapport au tronc de <i>Cordyla pinnata</i> sur les variables hauteur, biomasse aérienne, biomasse racinaire et biomasse totale.....	79
3.2. Arachide: influence de la distance de prélèvement du sol de culture par rapport au tronc de <i>Cordyla pinnata</i> sur la longueur des parties aérienne et souterraine, les biomasses des tiges, des feuilles, des racines, des gousses, de la biomasse totale ainsi que sur le rapport entre les biomasses des fanes et des gousses et entre celles des tiges et des feuilles.....	81
3.3. Influence de la dose de litière de <i>Cordyla pinnata</i> sur la hauteur à quatre mois et l'étalement et sur les biomasses aérienne, souterraine et totale de l'arachide.....	85
3.4. Influence de la dose de litière de <i>Cordyla pinnata</i> sur la hauteur à trois mois, les biomasses des grains, des tiges et la biomasse totale du mil.....	87

3.5. Influence de la dose de litière de <i>Cordyla pinnata</i> sur la teneur (%) en K des feuilles d'arachide.....	90
3.6. Teneur (%) en azote, phosphore, potassium et calcium des grains de mil en fonction de la dose de litière dans le sol de culture.....	92

Chapitre 4

4.1. Relation prédite entre l'interception et la précipitation brute en fonction de la distance au tronc dans le parc à <i>Cordyla pinnata</i>	127
4.2. Influence de l'interaction entre le volume de la cime et l'intensité d'élagage de la longueur de la cime sur l'éclairement relatif (%) dans le parc à <i>Cordyla pinnata</i>	135

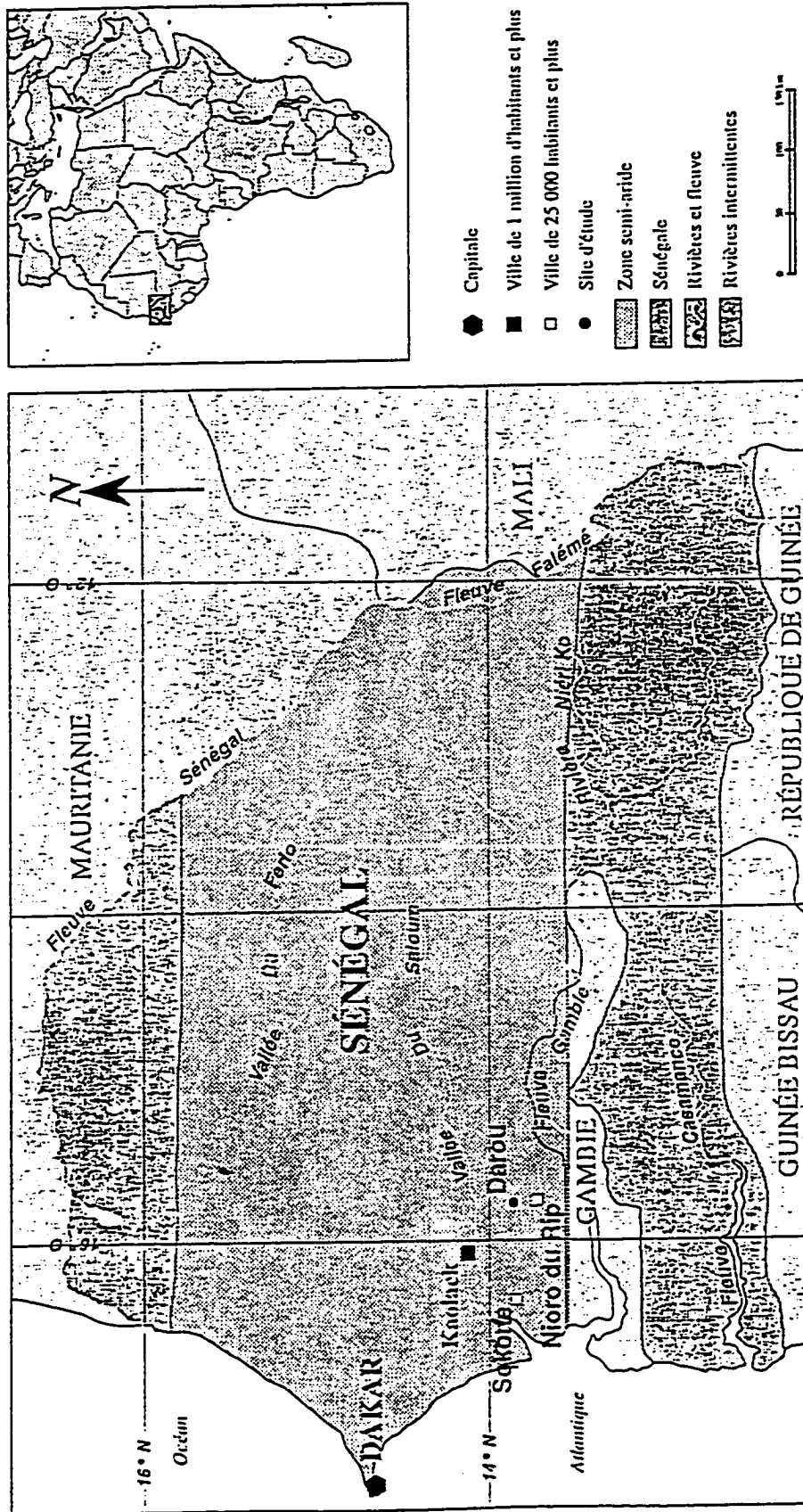
Chapitre 1

Introduction générale

1- Justification de l'étude

Le Sénégal qui couvre environ 197 000 km² est un pays sahélien dont les 2/3 appartiennent aux zones aride et semi-aride. Il est situé en Afrique de l'Ouest, en bordure de l'Océan Atlantique entre les latitudes 12° 30' et 16° 30' N (Figure 1.1). Son économie est essentiellement basée sur l'agriculture. Environ 60% de la population rurale vit dans le Bassin arachidier qui occupe 1/3 de la superficie totale et produit 75% de l'arachide (*Arachis hypogaea*) et 80% du mil (*Pennisetum thyphoides*) et du sorgho (*Sorghum vulgare*) (AFRENA, 1990a). Dans cette zone, les cultures sont associées aux arbres, depuis des générations, dans un système connu sous le nom de parc arboré que Baumer (1994) définit comme un type de peuplement végétal dominé par des ligneux, de tendance équienne, de densité faible à moyenne et dont les cimes ne se touchent jamais. Ces arbres forment un couvert discontinu sous lequel se pratiquent l'agriculture, l'élevage ou les deux à la fois.

Au Sénégal, les parcs arborés semblent résulter d'une sélection continue, opérée par les populations rurales sur la végétation originelle naturelle, d'une ou de plusieurs espèces dont les fonctions sont connues et appréciées des utilisateurs. L'espèce dominante donne généralement son nom au parc. Marchal (1980) montre que le parc à *Acacia albida* situé à Tugu au Burkina Faso est composé à 55% par *Acacia albida*, 15% par *Balanites aegyptiaca*, 10% par *Sclerocarya birrea*, 3% par *Acacia nilotica*, 1,5% par *Ficus gnaphalocarpa* et 1,5% par *Acacia tortilis raddiana*. Au Sénégal, chaque type de parc semble se confiner à des conditions écologiques particulières. C'est ainsi qu'on retrouve le parc à *Acacia raddiana* et à *A. senegal* au Nord du pays et les parcs à *Acacia albida* et à *Cordyla pinnata* respectivement dans le nord et le sud du Bassin arachidier. Cette cohabitation entre arbres et cultures engendre des interactions dont la nature dépend des espèces en présence, des pratiques ou de la gestion en vigueur dans le système, mais également des conditions environnementales.



Source: AICEM (1990)

Fig. 1.1. Situation géographique du Sénégal et site d'étude

Cordyla pinnata constitue l'élément dominant de ce système dans le sud du Bassin arachidier. L'espèce est controversée et les avis divisés en ce qui concerne son influence sur les cultures. D'autres espèces comme *Azadirachta indica*, *Parkia biglobosa*, *Adansonia digitata* et *Anacardium occidentale* font également l'objet de discussions quant à leurs effets sur les cultures. Certaines parmi ces espèces sont cependant très appréciées dans d'autres pays: c'est le cas de *Azadirachta indica* (Neem) qui est plantée dans plusieurs pays d'Afrique, comme le Nigéria et le Burkina Faso, en association avec les cultures pour l'amélioration des rendements. En Inde, l'espèce est également associée aux cultures dans un système de cultures en allées.

À l'opposé, il existe des espèces qui font l'unanimité pour leurs influences bénéfiques sur les rendements: c'est le cas de *Acacia albida*. Les résultats d'enquêtes récentes menées au Sénégal (AFRENA, 1990b; Séné, 1994) ont montré que *Acacia albida* n'était pas la seule espèce susceptible d'améliorer les rendements agricoles. D'autres espèces comme *Acacia nilotica* var. *adansonii*, *Balanites aegyptiaca*, *Zizyphus mauritiana* et même *Guiera senegalensis* auraient la faculté d'améliorer les rendements lorsqu'elles sont associées aux cultures.

Notre intérêt s'est porté sur *Cordyla pinnata* car il s'agit d'une espèce que les paysans ont préservée dans leurs champs sous la forme d'un parc arboré. Ce dernier est de type agrosylvopastoral avec une dominante agricole. Par conséquent, l'impact de l'espèce sur les cultures et les sols devrait être connu pour mieux garantir la productivité de ce système d'utilisation des terres avec l'application de modes de gestion appropriés. D'autre part, *Cordyla pinnata* est méconnue sur le plan scientifique, bien que son importance socio-économique locale soit indéniable. L'espèce est une Légumineuse de la sous-famille des *Ceasalpiniaceae*. Puisqu'elle est associée aux cultures, il est important de vérifier si elle possède les mêmes vertus (effets bénéfiques sur les cultures et le sol) que d'autres Légumineuses comme *Acacia albida* (*Mimosaceae*). Si l'association «*Cordyla pinnata*-Cultures» s'avère bénéfique pour les rendements et la conservation des potentialités

agricoles des sols, plusieurs avantages écologiques et économiques pourraient en découler si une gestion appropriée était appliquée. Si l'association n'est que partiellement bénéfique, des mesures sylvicoles pourraient être préconisées pour atténuer les méfaits.

L'aspect de la végétation naturelle dans le sud du Bassin arachidier révèle un état de dégradation du parc à *Cordyla pinnata* (absence de régénération, végétation clairsemée et peu diversifiée). Il paraît donc opportun de vérifier si la disparition d'une espèce aussi importante sur le plan socio-économique ne serait pas liée à sa performance agronomique. Il s'agit ainsi d'étudier une espèce en association avec les cultures et pour laquelle aucune information scientifique n'est actuellement disponible. Les processus suivant lesquels l'espèce influe positivement ou négativement sur les cultures ne sont pas connus, de même que les interventions sylvicoles à préconiser dans ce système agroforestier pour atténuer les effets négatifs de l'espèce sur les cultures. Par ailleurs, la densité optimale de *Cordyla pinnata* à maintenir dans les champs, pour optimiser les rendements des cultures, n'est pas connue. La croissance de l'espèce n'a également pas été étudiée, de même que sa productivité (bois de chauffe, bois de service, bois d'oeuvre, fruit, fourrage).

2- Objectifs de l'étude

2.1- Introduction

L'objectif général de notre recherche était d'étudier l'influence de *Cordyla pinnata* sur le rendement de *Pennisetum typhoides* (mil) et de *Arachis hypogaea* (arachide), mais également les effets que l'espèce pouvait provoquer sur le niveau de fertilité des sols. La question était de savoir si l'association *Cordyla pinnata*-Cultures était bénéfique pour une agriculture à long terme dans le sud du Bassin arachidier. La finalité était de contribuer à expliquer les processus par lesquels l'espèce influe sur les rendements et comment ce parc devrait être géré si l'objectif du paysan est l'optimisation des rendements dans un système agroforestier durable.

2.2- Hypothèses de recherche

L'objectif général de l'étude a été subdivisé en quatre objectifs spécifiques qui consistent à vérifier: 1) si l'humidité du sol et le potentiel hydrique des cultures sont modifiés par la présence de *Cordyla pinnata*, 2) si *Cordyla pinnata* a une influence sur la fertilité du sol, 3) d'identifier les types de relations qui existent (a) entre certaines variables de l'espèce et (b) entre ces variables et la biomasse ou la surface foliaire et 4) si la dimension du houppier de *Cordyla pinnata* exerce une influence sur l'interception de la pluie et sur le rendement des cultures.

Pour chacun de ces objectifs, une ou plusieurs hypothèses ont été vérifiées. Les cinq hypothèses ci-dessous ont ainsi été testées à travers des essais conduits au niveau des champs des paysans ou en pépinière:

- 1- l'humidité du profil cultural et le potentiel hydrique des plantes cultivées varient en fonction de l'intensité d'élagage de *C. pinnata*, de la proximité et de la dimension des arbres;
- 2- une augmentation du volume du houppier de *C. pinnata* s'associe à une diminution du rendement des cultures;
- 3- *Cordyla pinnata* modifie les propriétés physico-chimiques des sols;
- 4- des relations étroites lient les variables dendrométriques de *C. pinnata* entre elles et ces variables aux biomasse et surface foliaires;
- 5- une quantité importante de l'eau de pluie est interceptée par le houppier de *C. pinnata*.

3- Revue bibliographique

Cordyla pinnata est connu sous les noms scientifiques de *Cordyla pinnata* Lepr. (ex Rich) Milne-Redhead, *Cordyla pinnata* Lour. et *Calycandra pinnata* Lepr. ex A. Rich. Au Sénégal, le nom vernaculaire le plus commun est Dimb alors qu'en Afrique australe l'espèce est dénommée Wild Mango. Le mot *Cordyla* vient du grec *Kordyle* qui signifie massue ou gourdin en référence à l'ovaire de l'espèce qui est muni d'un long pédoncule. Aubreville (1950), Cowan (1968), Delwaulle (1979) et Malgras (1992) classent *Cordyla*

pinnata dans la famille des Papilionacées. Par contre, Berhaut (1967), Allen et Allen (1981), Geerling (1982) et Hans (1985) classent l'espèce parmi les Césalpiniacées.

La différenciation entre les trois familles de Légumineuses, à savoir les Mimosacées, les Papilionacées et les Césalpiniacées, est basée sur les différences florales (Borget, 1989). Pour les deux dernières, le nombre d'étamines par fleur est en général réduit à 10. Ce nombre, plus ou moins constant chez les Papilionacées (Pellegrin, 1948; Guignard, 1989) est sujet à quelques variations chez les Césalpiniacées pour lesquelles il peut être inférieur ou très supérieur à 10 étamines (De Condolle, 1966), avec un étendard assez discret recouvert par les pétales de la carène (Guignard, 1989), comme c'est le cas pour *Cordyla pinnata*. Chez les Papilionacées, l'étendard est très souvent volumineux et recouvre les pétales latéraux ou ailés qui, à leur tour, recouvrent les pétales de la carène.

Le fait que *Cordyla pinnata* soit parfois classée dans la famille des Papilionacées est dû, en général, à l'invariabilité du nombre d'étamines (10), quand celles-ci sont considérées comme première base d'identification. Selon Pelgrave (1988), *Cordyla pinnata* fait partie d'un genre intermédiaire entre les Papilionacées et les Césalpiniacées. Pour cette raison, l'espèce a été classée dans les deux familles. Des études microbiologiques réalisées par Corby (1974) et par Diem *et al.* (1981) ont montré que *Cordyla pinnata* est une Légumineuse à endomycorhizes et sans nodosité, donc non fixatrice d'azote.

Cordyla pinnata se rencontre dans les savanes boisées et les forêts claires de la zone soudano-guinéenne, à l'état disséminé. Les feuilles sont alternes, imparipennées à folioles ovales, à nervation peu saillante et à nervures tertiaires finement réticulées. Les fleurs sont blanches, odorantes et en racèmes (jusqu'à 8 cm de long). Elles apparaissent en mars-avril avant les feuilles. Les fruits en drupes ellipsoïdes de la grosseur d'une orange mûrissent vers juin-juillet; ils sont comestibles et ont le goût de la mangue (Berkhout, 1967; Geerling, 1982). Il s'agit d'un grand arbre à cime dense et très développée, à écorce crevassée présentant de grosses écailles brun-clair à noirâtres.

À cause de son importance, la cime de *Cordyla pinnata* pourrait modifier la quantité d'eau que reçoivent les cultures en interceptant une partie des précipitations qui serait ensuite perdue par évaporation. Suivant la structure de la couronne, la densité des arbres et l'intensité des précipitations, les quantités d'eau interceptées pourraient varier de manière importante. Des pluies fines peuvent en effet être entièrement interceptées par les cimes et perdues par évaporation sans arriver au sol. Vis (1986) signalait que les pertes par évaporation à partir des couronnes pouvaient représenter 10 à 30% des précipitations annuelles dans les zones humides. Une étude réalisée en Australie par Poore et Fries (1989) sur les effets écologiques des *Eucalyptus* avait permis de montrer que dans une large gamme de conditions, environ le quart des précipitations était intercepté par les forêts d'*Eucalyptus* et évaporé dans l'atmosphère. Cette proportion tendait selon les mêmes auteurs à être plus élevée pour les pins et plus faible pour les feuillus autres que les *Eucalyptus*. Lee (1980) confirma ces résultats en classant les différents types de végétation suivant un ordre décroissant du point de vue des quantités d'eau interceptées: pin > *Eucalyptus* > autres feuillus > formations buissonneuses > prairies.

L'interception de la pluie est un aspect qui mérite d'être étudié dans les systèmes agroforestiers car l'eau interceptée constitue une perte pour les cultures sous-jacentes. En intervenant sur le cheminement de l'eau de pluie, les arbres constituent des composantes qui agissent dans le cycle hydrologique (Aussenac, 1968; Anderson *et al.*, 1976; Plamondon *et al.*, 1984; Negi *et al.*, 1993). Ce dernier a une incidence sur le rendement des plantes cultivées, notamment dans les systèmes où les cultures sont associées aux arbres, en particulier dans les climats arides et semi-arides où l'eau est, sans nulle doute, un important facteur limitant pour la production agricole. Aussenac et Boulangeat (1980) rappellent que si l'ordre de grandeur de l'interception est connu, peu de données sont encore disponibles sur la variation de ce phénomène avec l'âge des peuplements. Cette situation demeure surtout vraie pour les espèces tropicales. L'effet de la plupart des ligneux sur les sols et les cultures est encore méconnu dans la majorité de ces écosystèmes.

Dans le Bassin arachidier, les sols ferrugineux tropicaux sont dominants et peuvent être subdivisés en trois principales catégories (Ndiaye, 1989): 1) les sols lessivés, à concrétions ferrugineuses sur arène granitique à texture sableuse à sablo-argileuse en profondeur, qui sont relativement pauvres en éléments nutritifs et présentent généralement un pH légèrement acide ou en voie d'acidification; 2) les sols sur arène granitique érodée à texture grossière, pauvres en éléments minéraux assimilables et fortement dégradés et 3) les sols faiblement ferralitiques, sur grès sablo-argileux, qui sont également pauvres en éléments minéraux nutritifs. Ces sols ont été soumis à la culture de l'arachide (en rotation avec le mil) sans apports significatifs de fertilisants minéraux ou organiques depuis des générations.

De plus, suite aux phénomènes de sécheresse, de désertification et d'exploitations irrationnelles de la végétation, ces sols ont été exposés aux différents agents érosifs notamment aux vents ou à l'eau. Les horizons les plus fertiles et arables (Ap) ont ainsi été décapés et les couches moins fertiles (B et C) exposées dans plusieurs zones. La productivité de ces sols dépend en grande partie du taux de matière organique et des apports importants de matière organique sont nécessaires pour maintenir un niveau de productivité raisonnable dans ces sols (Piéri, 1989; Rodale Institute, 1989). La protection mécanique, contre les effets de l'érosion éolienne et hydrique, exercée sur le sol par *Cordyla pinnata* et les autres espèces ligneuses devrait favoriser le maintien d'une bonne partie des éléments fins ou occasionner leur dépôt grâce à leur rôle d'obstacle. Une augmentation de la proportion d'éléments fins pourrait avoir une incidence bénéfique sur la capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs de ces sols.

Dans les systèmes agroforestiers traditionnels, la matière organique issue de la litière est la principale source d'éléments nutritifs pour la production végétale. *Cordyla pinnata* a un grand potentiel de production de biomasse foliaire et devrait assurer au sol des apports organiques non négligeables sous forme de litière. L'importance des débris organiques produits annuellement devrait augmenter le taux de matière organique dans les environs

immédiats de l'arbre. Ces apports de matières organiques au sol améliorent les conditions microenvironnementales des sites (Budelman, 1989) et augmentent généralement la productivité des cultures agricoles (Duguma *et al.*, 1988; Gutteridge, 1990; Onim *et al.*, 1990; Tiraa et Asghar, 1990; Yamoha et Burleigh, 1990). Ces apports constituent un recyclage d'éléments (Rustad et Cronan, 1989) sous la couronne des arbres mais aussi hors de leur couvert du fait de l'extension du système racinaire. Les recherches sur les caractéristiques physico-chimiques des sols révèlent généralement des teneurs plus élevées en éléments assimilables sous le couvert des arbres (Aggarwal *et al.*, 1976). De nombreuses études ont mentionné l'influence positive des arbres sur la fertilité des sols (Charreau et Vidal, 1965; Gerakis et Tsangarakis, 1970; Kellman, 1979; Reversat, 1982; Campbell *et al.*, 1990, 1994; Ersnt et Tolsma, 1989; Belsky *et al.*, 1989, 1993; Weltzin et Coughenour, 1990; Dunham, 1991; Isichei et Muoghalu, 1992; Kessler, 1992).

Les précipitations constituent également d'importants moyens d'apports d'éléments nutritifs pour les écosystèmes arborés (Fahey *et al.*, 1988), les pluviollessivats contenant de plus fortes concentrations en cations (Ca, Mg, Na, K) que la précipitation brute (Arthur et Fahey, 1993). Les arbres influencent aussi les propriétés physiques des sols (humidité, masse volumique apparente) ainsi que la population de micro-organismes (Tiedemann et Klemmedson, 1973).

Le rapport entre la demande en eau des végétaux et les ressources en eau disponibles est un élément essentiel à considérer dans un système agroforestier, la disponibilité et l'économie de l'eau conditionnant les phénomènes de croissance et de productivité des végétaux (Ibrahim *et al.*, 1982). Les plants utilisent une partie de l'eau infiltrée en incorporant une proportion dans leurs tissus vivants et en transpirant le reste dans l'atmosphère. La quantité d'eau dont peut disposer la plante pour sa croissance est principalement déterminée par le rapport entre le potentiel hydrique du sol et son contenu en eau (Gardner, 1961; Kramer et Boyer, 1995). Cette quantité dépend également de l'importance du système racinaire si bien que le développement et la distribution des

racines ainsi que la répartition de l'eau dans la zone des racines jouent un rôle important dans les relations eau-sol-plante (Gardner, 1961; Brown *et al.*, 1984; Kramer et Boyer, 1995). Taylor et Klepper (1978) constatent que plus le système racinaire est étendu, plus la quantité d'eau dont peut disposer le végétal est élevée. Ils concluent d'autre part que le régime d'extraction de l'eau de la zone des racines est directement lié à la distribution des racines. Cet aspect est important dans les zones arides et semi-arides où la résistance des plantes aux périodes de sécheresse est directement liée à l'architecture de l'enracinement (Michard et Riedacker, 1976). Dans les systèmes agroforestiers où les ligneux sont associés aux cultures, le type d'enracinement de la composante ligneuse revêt une importance encore plus particulière. On imagine facilement que les espèces ligneuses les mieux appropriées dans une association avec des cultures annuelles ne doivent pas développer un système racinaire traçant à faible profondeur.

Des études réalisées par Cannon (1983) dans les zones arides d'Arizona ont montré trois types d'architecture racinaire des espèces: 1) un système racinaire mixte avec un pivot et des racines latérales bien développés que l'on retrouve chez les genres *Encelia*, *Acacia*, *Lycium*, *Prosopis* et *Larrea*; 2) un système racinaire pivotant bien développé avec des racines latérales peu importantes que l'on retrouve chez les genres *Ephedra*, *Condalia* et *Koeberlina*, et 3) un système racinaire traçant bien développé avec peu ou une absence totale de développement du pivot qui caractérise les genres *Yucca*, *Cacti*, *Krameria* et *Jatropha*.

L'examen sur le terrain de la distribution du système racinaire, qui est d'un intérêt fondamental dans l'étude de la plante, se heurte toutefois à de grandes difficultés dans sa réalisation pratique, notamment dans le cas des ligneux pérennes dont les systèmes racinaires peuvent être très développés et difficilement accessibles pour une étude complète. Par ailleurs, les racines superficielles des ligneux peuvent subir des blessures profondes lors des travaux agricoles. Les traumatismes ainsi causés peuvent être à l'origine de profonds changements dans l'architecture racinaire. À ce propos Nejad (1968)

a observé que dans certaines situations, les racines plagiotropes pouvaient ne pas revenir à la plagiotropie après qu'on les ait contraintes à pousser verticalement vers le bas, c'est-à-dire dans une direction orthotrope. Par ailleurs, les propriétés du sol qui influencent la masse volumique apparente sont d'une grande importance puisqu'elles déterminent indirectement l'efficacité du système racinaire pour l'encrage et le prélèvement d'eau et de nutriments (Becker et Lévy, 1983).

D'une part, les arbres occupent un espace qui pourrait être utilisé pour l'agriculture. D'autre part, ils disputent aux cultures sous-jacentes la lumière, l'eau et les substances nutritives du sol. L'absence de croissance de plusieurs herbacées sous le couvert de nombreux arbres à usages multiples est ainsi très souvent attribuée à cette compétition pour l'eau, la lumière et les éléments minéraux (Loomis et Whitman, 1983). Cependant, l'allélopathie ou la production d'inhibiteurs chimiques peut également en être la cause (Shankla *et al.*, 1965; del Moral et Miller, 1969, 1970; Setiadi et Samingan, 1978; Shoup et Witcomb, 1981; Florence, 1986; Chou et Kuo, 1986; Story, 1987; Suresh et Rai, 1987). Pour que l'agriculteur tire un bénéfice de l'association arbre-culture, il faut donc que l'amélioration du système de production par la présence des arbres (productivité, durabilité) soit supérieure aux effets négatifs des ligneux (réduction des surfaces cultivées, ombrage, compétition, allélopathie).

L'augmentation de la matière sèche des végétaux sous le couvert d'autres végétaux indique une certaine compatibilité entre eux (Suresh et Rai, 1988). L'influence bénéfique de *Acacia albida* sur la nutrition et le rendement des cultures a été évoquée par plusieurs auteurs (Charreau et Vidal, 1965; Gerakis et Tsangarakis, 1970). Les paysans qui ont maintenu cette espèce en association avec leurs cultures pendant des générations ont également compris que la présence de *Acacia albida* dans les champs pouvait leur valoir des satisfactions sur le plan de l'amélioration et de la conservation des potentialités agricoles des parcelles de cultures.

Cependant, des recherches ont révélé une réduction des rendements sous l'influence d'autres espèces ligneuses (Somarriba, 1988; Jackson *et al.*, 1990). Dans les associations agroforestières, les ligneux consomment de l'eau, réduisent les quantités d'eau stockées dans le sol et créent des situations de concurrence hydrique avec les cultures associées là où les ressources en eau sont limitées. L'étude de la variabilité spatiale de la réserve hydrique dans le sol et son évolution dans le temps a fait l'objet de nombreux travaux réalisés aussi bien sur des sites agricoles que forestiers (Nielsen *et al.*, 1973; Rambal *et al.*, 1984; Jackson *et al.*, 1990). Pour se développer durant les périodes sèches, la plupart des végétaux pompent dans les réserves hydriques stockées dans le sol. La plante ne peut cependant pas utiliser toute l'eau qui se trouve dans la zone des racines. Elle en aura à sa disposition ou en manquera selon l'énergie avec laquelle le sol retient l'eau, selon la quantité d'eau qui pénètre dans le sol et parvient aux racines des plantes et selon les conditions micro météorologiques. Un déficit dans l'alimentation hydrique des végétaux affecte leur nutrition minérale car l'eau joue un rôle essentiel dans le transport des éléments nutritifs jusqu'aux racines (Viets, 1972).

D'autres facteurs comme l'ombrage des arbres peuvent avoir des effets divers sur les cultures ou la strate herbacée sous-jacentes. L'ombrage des ligneux contribue à modérer la température de l'air et à augmenter l'humidité relative (Lal et Cummings, 1979; Maranga, 1984). Mais l'ombrage modifie la quantité ou la qualité de la lumière (Messier et Bellefleur, 1988) nécessaire pour une activité photosynthétique optimale chez certains végétaux. Plusieurs espèces herbacées et de plantes cultivées modifient leur schéma de croissance sous différentes qualités et quantités de lumière (Hoddinot et Hall, 1982). De nombreux auteurs ont toutefois noté la tolérance de certaines espèces à l'ombre (Grime, 1965; Logan, 1965; Logan et Krotkov, 1969; Logan, 1973; Davies et Kolowski, 1974; Spurr et Barnes, 1980; Roussel, 1980). Cette notion de tolérance à l'ombre a été utilisée depuis très longtemps par les forestiers pour des fins sylvicoles (Grime, 1965; Spurr et Barnes, 1980). Les travaux de Logan (1965 et 1973) qui comparent la croissance de différentes espèces sous plusieurs intensités lumineuses ont confirmé cette tolérance à

l'ombre de certaines espèces. Il existe des espèces dont l'activité photosynthétique maximale est atteinte sous des éclairagements faibles ou modérés, de l'ordre de 5 à 10 ou 20% par rapport au plein découvert (Roussel, 1980). Suresh et Rai (1988) ont observé une augmentation de 10% de la croissance en hauteur et de 7% de la matière sèche chez *Sorghum vulgare* (sorgho) sous l'ombrage de *Azadirachta indica* (Neem).

En fonction des exigences des cultures, les effets relatifs ou combinés des facteurs précités peuvent soit diminuer (Bartolome, 1986) ou augmenter (Dancette et Poulain, 1969; Cresswell *et al.*, 1982) le rendement des cultures sous le couvert des ligneux.

La présente recherche se propose d'étudier l'influence de *Cordyla pinnata* sur un sol ferrugineux tropical et sur les cultures (mil et arachide). Elle est subdivisée en cinq chapitres. Les premier et cinquième chapitres constituent respectivement l'introduction et la conclusion. Le deuxième caractérise *Cordyla pinnata* en mettant en évidence les relations allométriques entre ses différentes variables dendrométriques, étudie l'influence de l'espèce sur les propriétés physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical et sur le rendement et la qualité des récoltes du mil et de l'arachide ainsi que les relations entre le rendement des cultures et la fertilité du sol ou entre le rendement et la concentration en éléments de ces cultures. Le troisième évalue d'une part la production foliaire de *Cordyla pinnata* et étudie d'autre part l'influence de la distance de prélèvement du sol et de la dose de litière de l'espèce dans le sol sur les cultures du mil et de l'arachide, à travers deux essais biologiques menés en pépinière. Le quatrième chapitre étudie l'importance de l'interception dans le parc à *Cordyla pinnata* et évalue la capacité de saturation de l'espèce.

Chapitre 2

Interactions de *Cordyla pinnata* avec le mil (*Pennisetum thyphoides*) et l'arachide (*Arachis hypogaea*) dans un système agroforestier traditionnel situé dans le sud du Bassin arachidier au Sénégal.

Résumé

Les relations allométriques entre les variables mesurées de *Cordyla pinnata* et l'influence de l'espèce sur le sol et les cultures (mil et arachide) ont été étudiées dans un système à parc au sud du Bassin arachidier au Sénégal. Les relations liant la biomasse (Bf) ou la surface (Sf) foliaire à différentes variables dendrométriques de l'arbre ont montré que le diamètre du tronc au niveau de la première fourche était plus étroitement lié à Bf ($R^2 = 0,99$) et à Sf ($R^2 = 0,97$) que les autres variables. C organique, N total, Ca échangeable et CEC du sol ont significativement augmenté avec le volume de la cime. C organique, N total, P assimilable, CEC et $K/(Ca+Mg)$ ont significativement été plus élevés sous le couvert qu'en dehors du couvert de *C. pinnata*. L'élagage du bas vers le haut de 33%, 66% et 100% de la longueur de la cime a augmenté l'éclairage relatif sous le couvert de *C. pinnata* de 26% à 37%, 39% et 92% respectivement. Pour le mil, la biomasse des grains, la biomasse des tiges, la biomasse totale et la biomasse unitaire des grains ont augmenté avec la distance au tronc. Les concentrations en Ca et Mg des grains de mil étaient plus élevées dans les micro sites plus riches en nutriments, donc à proximité des arbres à grand volume de cime et près des troncs. Pour l'arachide, la hauteur des plants avait tendance à diminuer avec la distance ($p = 0,061$), la biomasse totale a (1) augmenté avec la distance à proximité des arbres non élagués et (2) diminué avec la distance à proximité des arbres totalement défeuillés ($p < 0,0001$). Ces résultats suggèrent que, sous le couvert de *C. pinnata* non élagué, l'effet de l'ombrage a plus d'influence sur l'arachide et le mil que l'effet de la fertilité du sol.

2.1. Introduction

La présence de cultures sous le couvert de *Acacia albida*, *A. tortilis*, *Borassus aethiopum*, *Cordyla pinnata*, *Parkia biglobosa*, *Sterculia setigera* ou *Vitellaria paradoxa* est courante en Afrique de l'Ouest. Dans le Nord et le Sud du Bassin arachidier du Sénégal, *Acacia albida* et *Cordyla pinnata* sont respectivement associés à la culture de l'arachide, en rotation annuelle avec le mil, sous la forme d'un parc agroforestier. Le Bassin arachidier concentre 60% de la population rurale, occupe 1/3 du territoire national et produit 75% de l'arachide et 80% du mil et du sorgho (*Sorghum vulgare*) (AFRENA, 1990a). L'effet de l'association entre ces ligneux et les cultures n'est pas encore étudié pour la plupart des espèces concernées. Cependant, les observations indiquent que l'arachide et le mil sont plus productifs sous le couvert de certains ligneux dont *Acacia albida* (Bourke, 1963; Charreau et Vidal, 1965; Dancette, 1968; Dancette et Poulain, 1968; Charreau et Nicou, 1971).

En zone sahélienne, la présence d'arbres dans les champs peut avoir une action importante de lutte contre l'érosion éolienne par (1) l'augmentation de la rugosité de la surface du sol et (2) la diminution des mouvements de transport de particules (CTFT, 1986). Le couvert arboré peut constituer un obstacle qui favorise le dépôt de particules fines (argile, limon et éléments fertilisants) transportées par le vent à proximité des arbres ou sur le feuillage. Bien que faible (CTFT, 1986), cette augmentation de la fraction fine à proximité des arbres pourrait avoir des répercussions non négligeables sur les autres propriétés du sol, notamment la capacité d'échange cationique et l'humus.

La cohabitation entre arbres et cultures engendre des interactions dont la nature dépend des espèces en présence, des pratiques ou de la gestion en vigueur dans le système ainsi que des conditions environnementales et des ressources disponibles pour les végétaux. Les types d'effets généralement observés sur le terrain sont le recyclage des éléments minéraux, l'amélioration de la fertilité du sol et des conditions micro environnementales, la conservation du sol, l'augmentation de la productivité des cultures et la compétition (Ong, 1996).

Les interactions entre les diverses espèces au sein d'une communauté végétale appelées «interférences» par Radosevich et Holt (1984) représentent l'effet que la présence d'une plante a sur l'environnement de ses voisins. L'interférence peut être causée par plusieurs facteurs comme la consommation de ressources limitées, la production de toxines, la déprédation ou la protection (Radosevich et Holt, 1984).

En agroforesterie, l'interface arbre-culture est l'unité de base qui fait référence à la zone dans laquelle une forme quelconque d'interférence existe entre les composantes arbres et cultures (Huxley, 1983). Dans ces associations, l'habilité de la plante cultivée à obtenir de la lumière, de l'eau et des éléments nutritifs détermine son développement et sa survie (Radosevich et Holt, 1984). Les arbres peuvent exercer une compétition avec les cultures pour toutes les ressources, particulièrement au Sahel où les sols sont pauvres et les pluies insuffisantes ou mal réparties. Une espèce peut avoir un avantage compétitif sur une autre en acquérant une plus grande proportion de l'eau ou des éléments nutritifs dans le sol, en utilisant plus efficacement l'eau et les éléments nutritifs pour la production de biomasse ou en allouant les assimilats de façon à maximiser la survie ou la croissance (Nambiar et Sands, 1993).

Une espèce peut également influencer la germination, la croissance et le métabolisme d'une autre plante par l'émission de substances chimiques qui peuvent être soit bénéfiques soit nocives (Sankhla *et al.*, 1965; Story, 1987; del Moral et Miller, 1969, 1970; Setiadi et Samingan, 1978; Shoup et Witcomb, 1981; Florence, 1986; Chou et Kuo, 1986; Suresh et Rai, 1987). D'autre part, l'influence acidifiante de plusieurs espèces sur les sols a été mise en évidence dans de nombreuses études (Singh et Totey, 1985; Ranger *et al.*, 1990; Sushil *et al.*, 1991).

D'autres facteurs comme l'ombrage peuvent avoir des effets négatifs sur les cultures. Cependant, l'ombrage contribue à modérer la température de l'air et à augmenter l'humidité relative de l'air (Lal et Cummings, 1979; Maranga, 1984). Ces effets sont généralement bénéfiques aux cultures sous-jacentes et sont recherchés dans plusieurs systèmes agroforestiers

(Weber et Hoskins, 1983). L'ombrage modifie toutefois la quantité ou la qualité de la lumière (Messier et Bellefleur, 1988; Ong, 1996) nécessaire pour une activité photosynthétique optimale chez certaines espèces.

L'humidité du sol est également un critère important à considérer dans les systèmes agroforestiers car toutes les espèces en présence ne sont pas influencées de la même manière par les différents niveaux d'humidité du sol (Strong et Laroie, 1986). La disponibilité et l'économie de l'eau conditionnent non seulement toute la possibilité de colonisation du sol, mais encore, les phénomènes de croissance et de productivité des végétaux. Au niveau de l'écosystème, l'eau est un vecteur indispensable pour les échanges et les transferts de substances nutritives (Ibrahim *et al.*, 1982).

Dans les systèmes agroforestiers, la présence d'arbres à proximité des cultures augmente le nombre de facteurs et les interactions pouvant influencer la nutrition des plantes cultivées et rend plus complexes les relations entre la fertilité du sol, le rendement et le contenu minéral des cultures. Préval *et al.* (1984) avaient ainsi noté que les déficiences en éléments dans la plante pouvaient être en relation directe, mais également indépendantes, de leur disponibilité dans le sol et qu'elles étaient souvent l'expression d'un rapport défavorable entre les différents éléments dans le sol, affectant l'adsorption, la distribution et la possibilité de mutuelles interactions dans le végétal. Par ailleurs, l'immobilisation microbienne peut soustraire certains éléments du sol du stock d'éléments disponibles pour la nutrition des végétaux (Duchaufour, 1994).

Récemment, certains auteurs (Nair, 1984; Stepler et Nair, 1987) ont noté le potentiel de plusieurs espèces ligneuses des régions semi-arides à renforcer la durabilité des systèmes agricoles contrairement à d'autres (Grunow *et al.*, 1980; Somirriba, 1988; Jackson *et al.*, 1990). Ces études ont montré que des espèces telles que *Acacia albida*, *A. cineraria*, *A. leucophloea*, *Dalbergia sisso*, *Tectona grandis* et *Prosopis cineraria* contribuent à améliorer le rendement de certaines cultures (Bourke, 1963; Charreau et Vidal, 1965; Dancette, 1968;

Dancette et Poulain, 1968; Charreau et Nicou, 1971; Mishra et Prasad, 1980; Mann et Saxena, 1982; Suresh et Rai, 1988; Puri *et al.*, 1994) alors que d'autres comme *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus teriticornis* et *Leucaena leucocephala* ont, par contre, un effet dépressif (Rai et Suresh, 1988; Puri et Khara, 1991). Ces études ont surtout évalué l'influence de l'espèce ou de la distance, par rapport aux arbres, sur les rendements mais elles ont rarement sinon jamais étudié l'influence du volume de la cime et son intensité d'élagage sur les cultures.

Dans la présente étude, notre premier objectif était de caractériser *Cordyla pinnata* en mettant en évidence les relations allométriques qui existent entre son diamètre à hauteur de poitrine, sa surface ou sa biomasse foliaire et quelques-unes de ses variables dendrométriques. Le second objectif était d'étudier l'influence de l'espèce sur les propriétés physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical et sur le rendement et la qualité des récoltes du mil et de l'arachide. Les effets de l'orientation, du volume du houppier de l'espèce, de son intensité d'élagage et de la distance à son tronc ont été évalués. Les relations entre le rendement des cultures et la fertilité du sol ou entre le rendement et la concentration en éléments de ces cultures ont également été étudiées.

Les hypothèses suivantes ont ainsi été testées: 1) des relations étroites lient les variables dendrométriques de *Cordyla pinnata* entre elles et ces variables aux biomasse et surface foliaires; 2) *Cordyla pinnata* modifie les propriétés physico-chimiques des sols; 3) le rendement et la teneur en éléments minéraux des cultures varient en fonction de l'orientation, de l'intensité d'élagage de *Cordyla pinnata* ainsi que de la proximité et de la dimension des arbres; 4) des relations étroites lient les variables de fertilité du sol, de rendement et de teneur en éléments des cultures.

2.2. Matériel et méthodes

2.2.1. Site de l'étude

L'étude s'est déroulée au Sénégal, dans le village de Darou Keur Balla qui est localisé dans le département de Nioro (Figure 1.1), approximativement à 14° N et 16° O. Ce village couvre environ 100 ha. Ses sols appartiennent à la catégorie des sols ferrugineux tropicaux lessivés. Leur structure est peu développée et instable et leur capacité de rétention en eau est très réduite (AFRENA, 1990a). Le climat de cette région est de type soudano-sahélien, caractérisé par deux saisons nettement distinctes (saison sèche et saison des pluies). La moyenne des précipitations annuelles est d'environ 750 mm à Nioro, situé à 30 km au sud de Darou Keur Balla.

La végétation ligneuse est composée de plusieurs espèces avec une prédominance de *Cordyla pinnata*. La densité du peuplement ligneux (toutes espèces confondues) est de sept arbres à l'hectare et la densité de *Cordyla pinnata* de quatre arbres à l'hectare. Le choix du village a été guidé par la densité relativement élevée des arbres dans les parcelles de cultures et par les conditions de sol et de climat favorables aux cultures du mil (*Pennisetum thyphoides*) et de l'arachide (*Arachis hypogaea*).

2.2.2. Inventaire, stratification et élagages des ligneux

Un inventaire intégral des ligneux a permis de mesurer la hauteur totale des arbres, le diamètre à 1,30 m de haut, le diamètre et la longueur des houppiers ainsi que la circonférence du tronc au niveau de la première fourche. Le peuplement de *Cordyla pinnata* a ensuite été stratifié en trois catégories, suivant le volume du houppier: inférieur à 300 m³ (petit), entre 300 et 600 m³ (moyen) et supérieur à 600 m³ (grand). Le volume du houppier a été calculé sur la base d'une sphère: $V = 2/3 [(Dh1 + Dh2 + Lh) / 6]^3$, où Dh1 et Dh2 représentaient les diamètres du houppier suivant les directions est-ouest et nord-sud et Lh sa longueur. Des élagages du bas vers le haut de la cime, dont l'objectif visait à réduire la transpiration et l'ombrage de *Cordyla pinnata*, ont été effectués avec des machettes et ont permis de faire varier la longueur

du houppier et d'étudier l'effet de ce traitement sylvicole sur le rendement des cultures.

2.2.3. Relations allométriques chez *Cordyla pinnata*

La longueur du houppier a été mesurée avec un dendromètre Blum-Leiss (Hohemesser Blum Leiss Dendrometer BL7, Carl Leiss Co., Berlin, Germany) puis subdivisée en trois parties égales grâce à un marquage à la machette. Les branches feuillées de chaque tiers ont été élaguées, défeuillées et la biomasse des feuilles pesée. Des échantillons de feuilles ont été prélevés sur chaque tiers et séchés à l'étuve (85 °C pendant 24 h), pour déterminer la biomasse anhydre. Pour chaque classe de volume de houppier, six arbres ont été analysés en détail (Tableau 2.1). Dix-huit arbres ont ainsi été utilisés pour développer les relations entre les variables dendrométriques de *Cordyla pinnata* et entre celles-ci et la biomasse foliaire.

La surface foliaire a été déterminée sur neuf arbres (trois arbres par classe de volume) sur lesquels 10 feuilles ont été prélevées dans chacun des tiers inférieur, médian et supérieur du houppier, photocopiées puis pesées après séchage à l'étuve. Les photocopies des feuilles ont été photoplanimétrées (Area Meter, Decagon Devices Inc., Pullman, Washington) pour déterminer leur surface et les résultats extrapolés à chaque tiers du houppier et au houppier en entier.

Des relations allométriques ont été développées entre la surface foliaire de l'arbre et les variables diamètre à 1,30 m, diamètre du tronc au niveau de la première fourche, diamètre, longueur et volume du houppier en utilisant la régression non linéaire (Samprit et Price, 1977):

$$y = a \cdot x^b$$

Le calcul des coefficients a et b a été effectué par itération avec le logiciel SAS (SAS, 1991) et a permis d'obtenir les coefficients qui décrivaient le mieux la relation entre la surface foliaire (y) et les variables indépendantes (x). La distribution des résidus et le coefficient R² (obtenu par la différence: 1 - [somme des carrés de l'erreur / somme des carrés totaux

Tableau 2.1. Caractéristiques dendrométriques moyennes de l'échantillon en fonction des classes de volume du houppier (< 300 m³ ou petit, 300-600 m³ ou moyen, > 600 m³ ou grand), n = 6 pour chaque moyenne.

	Hauteur totale (m)	Longueur du houppier (m)	Diamètre du houppier (m)	Diamètre à 1,30 m (DHP) (cm)	Diamètre du tronc au niveau de la fourche (cm)	Volume du houppier (m ³)
Petit	11,5	9,2	8,9	40,3	34,6	199
Moyen	14,1	12,3	11,2	49,8	54,5	434
Grand	15,1	13,5	13,1	56,8	85,3	619

corrigée]) ont servi d'indices de qualité du pronostic.

2.2.4. Propriétés physico-chimiques des sols

Les propriétés physico-chimiques des sols sous et hors du couvert de *Cordyla pinnata* ont été évaluées sur des échantillons prélevés en mai 1994 dans les parcelles paysannes juste avant les semis du mil. Un échantillon composite a été formé à partir de quatre échantillons prélevés à l'aide d'une tarière, à la profondeur de 0-20 cm, suivant quatre orientations (est, ouest, nord, sud). Les prélèvements ont été effectués suivant trois distances des arbres (R/2, 1R, 2R, où R représente le rayon du houppier de l'arbre considéré).

Les variables suivantes ont été analysées au laboratoire: les taux d'argiles ($< 2 \mu\text{m}$), de limons (2 à $63 \mu\text{m}$) et de sables (63 à $2000 \mu\text{m}$), le carbone organique, l'azote total, le phosphore assimilable, les cations échangeables (K, Ca, Mg), la capacité d'échange cationique et le pH (eau).

La matière organique a été oxydée par un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique concentré. L'excès de bichromate a été titré par le sel de Mohr. L'azote total a été évalué par la méthode Kjeldahl (Bremner et Mulvaney, 1982) et le phosphore par la méthode Bray (NH_4F 1N + HCl 0,5N) (Bray et Kurtz, 1945). Les bases échangeables ont été déterminées par la méthode de l'acétate d'ammonium à pH 7. Les dosages ont été effectués par titrage. La capacité d'échange cationique a été déterminée par la saturation au NH_4 . Puis l'excès de sel a été enlevé avec l'éthanol et l'ion NH_4^+ remplacé par l'ion K^+ (KCl 10% à pH 2,5). Finalement NH_4 de la solution de déplacement a été dosé par titrage après distillation.

La méthode par la pipette de Robinson a été utilisée pour déterminer la texture. La destruction de la matière organique a été effectuée en utilisant de l'eau oxygénée et la dispersion des particules, par l'hexamétaphosphate de sodium. Les sables ont été fractionnés par tamisage avec des mailles bien définies.

Le dispositif expérimental pour les propriétés physico-chimiques des sols était un split-block avec trois répétitions et deux facteurs étudiés: le volume du houppier (petit, moyen, grand) en parcelle principale et la distance (R/2, 1R, 2R) par rapport à l'arbre (facteur systématique) en parcelle secondaire. Le test de Bartlett (Bartlett, 1947) a été effectué pour vérifier l'homogénéité des variances. Des transformations logarithmiques ont été faites sur le pH (eau), P assimilable, Ca échangeable, la somme des bases échangeables et sur les rapports Ca/Mg et K/Ca, ce qui a permis d'homogénéiser les variances et d'améliorer leur additivité et la normalité de l'erreur.

Une analyse de variance (Annexe 1) mettant en évidence trois termes d'erreur (le premier associé au volume du houppier, le second à la distance et le troisième étant l'erreur expérimentale) a été réalisée pour vérifier l'existence de différences significatives entre les moyennes des traitements (au seuil de 5% et 1% de probabilité respectivement pour les effets principaux et les effets d'interaction). Cette approche qui ne considère que les interactions hautement significatives a permis de simplifier l'interprétation des résultats. Ong (1996) proposait également pour l'analyse des interactions entre arbres et cultures de considérer les interactions importantes et facilement mesurables et d'éviter les interactions secondaires qui compliquent les modèles. Une analyse par les contrastes à posteriori a ensuite été réalisée pour étudier la nature des effets et leur seuil de signification.

L'humidité et la masse volumique apparente du sol ont été mesurées suivant les facteurs profondeur (20, 40, 60 cm) et exposition (ouest, sud) par rapport aux arbres, en plus des facteurs volume du houppier, intensité d'élagage et distance au tronc cités plus haut. Un prélèvement d'échantillons non remaniés de sol a été effectué en septembre 1994, après une période sèche de 6 jours, avec des pots de 330 cm³ de volume. Pour ce faire, des profils pédologiques ont été creusés et les pots de prélèvement enfoncés jusqu'à leur base dans les horizons à 20, 40 et 60 cm de profondeur. La terre entourant le pot a été éliminée à l'aide de couteaux, de manière à retirer le pot sans perturber la structure de l'échantillon. Les pots ont ensuite été hermétiquement fermés avec leur couvercle et pesés aussitôt. Ils ont ensuite été

séchés au laboratoire, dans une étuve, pendant 48 h à la température de 105 °C. L'humidité pondérale du sol (H_p ; %) a été évaluée par la relation:

$$H_p = [(P_h - P_s) / P_s] \times 100$$

où P_h est le poids de l'échantillon non remanié à l'état humide et P_s , son poids à l'état sec. La masse volumique apparente du sol (D ; g cm⁻³) qui réfère à la masse d'une unité de volume (V) de sol séché a été calculée à partir de:

$$D = P_s / V$$

Pour l'humidité et la masse volumique apparente du sol, le dispositif expérimental comprenait quatre facteurs étudiés: le volume de la cime de *Cordyla pinnata* (petit, moyen, grand), l'intensité d'élagage (E-0%, E-33%, E-66%), la distance au tronc (R/2, 1R, 2R) et la profondeur de prélèvement (20, 40, 60 cm).

Une analyse de variance (Annexe 2) mettant en évidence sept termes d'erreur (le premier associé au factoriel volume du houppier et intensité d'élagage, le second à la distance, le troisième aux interactions entre le volume du houppier, l'intensité d'élagage et la distance, le quatrième à la profondeur, le cinquième aux interactions entre le volume du houppier, l'intensité d'élagage et la profondeur, le sixième à l'interaction entre la distance et la profondeur et le septième étant l'erreur expérimentale) a été effectuée pour vérifier l'existence ou non de différences significatives (au seuil de 5% et 1% de probabilité, respectivement pour les effets principaux et ceux des interactions) entre les moyennes des traitements, suivie d'une analyse par les contrastes à posteriori.

2.2.5. Potentiel hydrique de l'arachide

Le patron diurne du potentiel hydrique de l'arachide a été évalué 8, 10, 13 et 14 semaines après les semis, effectués à partir de mi-juillet, à l'aide d'une chambre à pression, suivant deux

directions (ouest, sud) et par rapport à trois arbres, représentant chacun une classe de volume de houppier. La méthode de la chambre à pression a très largement été utilisée pour évaluer le potentiel hydrique des plantes (Ritchie et Hinckley, 1975; Aussenac et Granier, 1978). Afin de limiter au maximum les pertes d'eau entre le prélèvement et la mesure, celle-ci a été réalisée sur le terrain, le plus près des arbres retenus. Pour chaque mesure, une foliole a été prélevée au hasard sur les plants d'arachide choisis également au hasard et une cinétique journalière effectuée entre 5 et 17 h, à raison d'une mesure toutes les 2 h. Les mesures ont été effectuées après des périodes sans pluie de 5 à 6 jours. Pour chaque jour de mesure (ou bloc), les données ont été recueillies par rapport aux trois arbres retenus, donc dans 18 parcelles (3 arbres x 2 orientations x 3 distances) soit 126 observations (18 parcelles x 7 temps de mesures).

Le dispositif expérimental a été considéré comme un plan à mesures répétées (Annexe 3) comprenant quatre répétitions (ou blocs) qui représentaient les jours de mesures et quatre facteurs étudiés, le volume du houppier de *Cordyla pinnata* (petit, moyen, grand), le temps de mesure (5, 7, 9, 11, 13, 15, 17h), l'orientation (ouest, sud) et la distance par rapport au tronc (R/2, 1R, 2R). L'unité expérimentale était représentée par un plant de culture contenu dans une parcelle (d'un mètre carré de surface), située à une distance du tronc d'un arbre (R/2, 1R ou 2R) appartenant à une classe de volume de houppier.

2.2.6. Mesure de l'éclairement relatif dans le parc à *Cordyla pinnata*

L'éclairement (entre 400 et 700 nm) a été mesuré trois fois (29 juillet, 30 août, 25 septembre) à R/2 et à 2R en faisant la moyenne de quatre lectures instantanées (10, 12, 14 et 16h), suivant quatre directions (est, ouest, nord, sud) autour de l'arbre, à l'aide d'un luxmètre (Model 7002 Panlux Electronic 2 Light Meter, Gossen Inc., Germany). Le rapport entre les valeurs obtenues en ces deux points (R/2 et 1R) représente l'éclairement relatif ou le pourcentage d'éclairement à R/2.

Les traitements étaient constitués par la combinaison des niveaux des facteurs volume du houppier (petit, moyen, grand), intensité d'élagage (E-0%, E-33%, E-66%, E-100%) et distance aux arbres (R/2, 2R). Pour chaque jour, les mesures ont été effectuées par rapport aux 36 même arbres (3 volumes x 4 intensités d'élagage x 3 répétitions). Le dispositif expérimental et l'analyse statistique ont été les mêmes que pour le potentiel hydrique.

2.2.7. Ombrage de *Cordyla pinnata*

L'ombrage de *Cordyla pinnata* a été étudié en mesurant la longueur de l'ombre (L_{ombre}) suivant huit orientations (est, ouest, nord, sud et les quatre directions intermédiaires) et les trois catégories de volume retenues et mentionnées dans les sections précédentes. Les mesures ont été effectuées toutes les 2 h (de 8 à 18 h) à l'aide d'un ruban métrique et des piquets ont été utilisés pour matérialiser les limites de l'ombre. Sept jours de mesures ont été effectués, chaque jour étant considéré comme un bloc. Le dispositif était un plan à mesures répétées, avec les facteurs volume du houppier, orientation et temps de mesure.

2.2.8. Rendement des cultures dans le parc à *Cordyla pinnata*

La performance des cultures a été évaluée à travers plusieurs variables. Sur l'arachide, la hauteur et l'étalement (largeur perpendiculaire à la ligne de semis) de la partie aérienne, la biomasse totale et les biomasses séparées des fanes et gousses, après un séchage naturel de trois semaines au soleil, ont été mesurés en 1993.

Pour le mil, les hauteurs à un, deux et trois mois, la biomasse des tiges, la biomasse «épis+grains», le nombre d'épis m^{-2} , la biomasse des grains récoltés, la masse unitaire des grains ainsi que la biomasse totale ont été évalués en 1994. Après le séchage au soleil, la teneur en eau des différentes parties des cultures a été déterminée après un séchage à l'étuve (85 °C pendant 24 h) et les valeurs ajustées sur la base de la matière sèche. Les variables ont été mesurées dans des carrés de 1 m de côté, à différentes distances (R/2, 1R, 2R, R représentant le rayon du houppier) et suivant deux directions (ouest, sud).

Les traitements étaient constitués par la combinaison des niveaux des facteurs volume du houppier (petit, moyen, grand), intensité d'élagage (E-0%, E-33%, E-66%, E-100%), distance (R/2, 1R, 2R) et orientation (ouest, sud). Le dispositif était un plan hiérarchisé, complètement aléatoire, qui comptait trois répétitions. En parcelles principales, le volume du houppier et l'intensité d'élagage formaient un factoriel. En parcelles secondaires, se trouvait l'exposition (premier facteur systématique) alors que la distance était en parcelles tertiaires (deuxième facteur systématique).

Une analyse de variance (Annexe 4) mettant en évidence cinq termes d'erreur (le premier associé au factoriel volume du houppier et intensité d'élagage, le second à l'orientation, le troisième aux interactions entre le volume du houppier, l'intensité d'élagage et l'orientation, le quatrième à la distance, le cinquième étant l'erreur expérimentale) a été réalisée pour vérifier l'existence de différences entre les moyennes des traitements (seuils de 5% et 1% respectivement pour les effets principaux et les effets d'interaction).

Les contrastes à posteriori ont ensuite été utilisés pour étudier la nature et le seuil de signification des effets des traitements. Le test de Bartlett (Bartlett, 1947) a été effectué au préalable pour vérifier l'homogénéité des variances. Une transformation logarithmique a été faite sur la biomasse des gousses d'arachide, la masse unitaire des grains de mil et sur le rapport entre les biomasses de grains et de tiges de mil, ce qui a permis de rendre les variances homogènes et d'améliorer leur additivité et la normalité de l'erreur.

2.2.9. Analyse des tissus végétaux du mil

Des échantillons de tiges et de grains ont été prélevés dans chacune des unités expérimentales, séchés dans une étuve à 65 °C pendant 24 à 48 h puis broyés (100 mailles). Les tissus ont été digérés dans un mélange de $H_2SO_4-H_2O_2-Se$ à 380 °C. L'azote a été dosé par titrage après distillation tandis que P, K, Ca et Mg ont été dosés par ICP (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectroscopy). Le dispositif expérimental et les analyses statistiques effectuées sont les mêmes que celles réalisées dans la section précédente.

2.2.10. Relations entre le rendement, la teneur en éléments des cultures et la fertilité du sol

Pour étudier les relations entre la fertilité du sol, la teneur en éléments et le rendement des cultures, une analyse de corrélation canonique qui permet de comparer deux groupes de données, chaque groupe étant composé de plusieurs variables, a été utilisée. La procédure CANCORR de SAS permet d'obtenir une combinaison linéaire de chaque groupe ou variable canonique de telle sorte que la corrélation entre les deux variables canoniques soit maximisée. Les variables teneur en éléments (N, P, K, Ca, Mg) des grains et tiges de mil, rendement mil (hauteur, biomasse des grains, biomasse des tiges, masse unitaire des grains) et rendement arachide (hauteur, étalement, biomasse des gousses et des fanes) ont été définies pour étudier les relations entre ces trois nouvelles variables.

2.3. Résultats

2.3.1. Relations allométriques

Le diamètre du tronc à 1,30 m de *Cordyla pinnata* a expliqué la quasi-totalité de la variabilité de la hauteur totale ou du diamètre du houppier ($R^2 = 0,99$; Tableau 2.2). L'utilisation du diamètre du tronc au niveau de la première fourche a permis d'obtenir un R^2 légèrement plus élevé par rapport au diamètre à 1,30 m pour la prédiction de la longueur ($R^2 = 0,98$ versus 0,97) et du volume ($R^2 = 0,97$ versus 0,96; Tableau 2.2) du houppier.

Les relations entre les différentes variables dendrométriques et la biomasse foliaire de *Cordyla pinnata* ont produit des R^2 variant entre 0,90 et 0,99 (Tableau 2.3). Le diamètre à 1,30 m a expliqué 91% de la variabilité de la biomasse foliaire mais le diamètre au niveau de la première fourche a fourni un R^2 plus élevé de 0,99 (Tableau 2.3).

La surface foliaire a également été étroitement liée aux autres variables dendrométriques avec des valeurs de R^2 variant de 0,91 à 0,97 (Tableau 2.3). Comme pour la biomasse foliaire, le diamètre du tronc au niveau de la première fourche a été plus étroitement lié à la surface foliaire ($R^2 = 0,97$) que le diamètre du tronc à 1,30 m ($R^2 = 0,92$; Tableau 2.3). Les surfaces foliaires moyennes ont respectivement été de 200, 322 et 628 m² pour les petits, moyens et grands volumes de houppier pour des indices de surface foliaire respectifs de 3,0, 3,4 et 4,6 m² de feuilles par m² de surface projetée au sol pour les arbres individuels. L'indice de surface foliaire de *Cordyla pinnata* pour tout le site d'étude (100 ha) a été de 0,16.

2.3.2. Ombrage et éclairage relatif sous *Cordyla pinnata*

La longueur maximale de l'ombre de *Cordyla pinnata* a respectivement varié pour les petits, moyens et grands volumes de houppier de 5,8, 11,4 et 16,2 m à l'est des arbres, de 5,7, 7,8 et 11,8 m à l'ouest, de 1,2, 3,7 et 5,2 m au nord et de 0,85, 2,8 et 5,6 m au sud ($p < 0,0001$ pour l'interaction entre l'orientation et le volume du houppier).

Tableau 2.2. Relations entre le diamètre à 1,30 m ou le diamètre du tronc au niveau de la première fourche et diverses variables dendrométriques de *Cordyla pinnata* selon le modèle $y = a \cdot x^b$, où x représente le diamètre à 1,30 m ($D_{1,30m}$) ou le diamètre du tronc au niveau de la première fourche ($D_{fourche}$), a et b les paramètres et R^2 le coefficient de détermination (n = 18).

Variables dépendantes (y)	$D_{1,30m}$ (cm)			$D_{fourche}$ (cm)			
	a	b	R^2	a	b	R^2	P > F
Hauteur totale (m)	0,76	0,74	0,99	4,20	0,29	0,99	0,0001
Longueur du houppier (m)	1,08	0,97	0,97	2,44	0,39	0,98	0,0001
Diamètre du houppier (m)	0,65	0,73	0,99	2,04	0,42	0,99	0,0001
Volume du houppier (m ³)	0,04	2,35	0,96	4,77	1,10	0,97	0,0001

Table 2.3. Relations entre la biomasse foliaire ou la surface foliaire de *Cordyla pinnata* avec diverses variables dendrométriques selon le modèle: $y = a \cdot x^b$, où y représente la biomasse foliaire sèche (n = 18) ou la surface foliaire (n = 9) de *Cordyla pinnata*, a et b les paramètres et R² le coefficient de détermination.

Variables indépendantes (x)	Biomasse foliaire sèche (kg)				Surface foliaire (m ²)			
	a	b	R ²	P > F	a	b	R ²	P > F
Hauteur totale (m)	0,323	2,10	0,90	0,0001	1,34	2,18	0,92	0,0001 ^t
Diamètre à 1,30 m (cm)	0,028	2,03	0,91	0,0001	0,272	1,88	0,92	0,0001
Diamètre du tronc au niveau de la première fourche (cm)	0,419	1,28	0,99	0,0001	1,83	1,31	0,97	0,0001
Diamètre du houppier (m)	0,081	2,82	0,96	0,0001	0,813	2,52	0,91	0,0001
Longueur du houppier (m)	0,931	1,79	0,91	0,0001	7,96	1,60	0,92	0,0001
Volume du houppier (m ³)	0,269	0,941	0,96	0,0001	3,42	0,788	0,94	0,0001

L'éclaircissement relatif n'a pas varié suivant le volume du houppier ($p = 0,115$) pour une moyenne de 49%. Malgré l'élagage, il a faiblement augmenté entre E-0% et E-33% (26% à 37%) et entre E-33% et E-66% (37% à 39%). Avec E-100%, l'éclaircissement relatif a atteint 92%, soit 8% intercepté par les branches, pour un gain de 66% par rapport à E-0% (26% versus 92%) ($p < 0,0001$, linéaire; $p = 0,002$, quadratique; Tableau 2.4). La variabilité de l'éclaircissement relatif a été faible au sein de chaque intensité d'élagage, le coefficient de variation ayant varié entre 8 à 18%.

2.3.3. Propriétés physiques des sols

La masse volumique apparente du sol n'a pas varié en fonction de la distance par rapport aux arbres ($p = 0,21$) ou la profondeur du sol ($p = 0,33$). La valeur moyenne était de $1,29 \text{ g cm}^{-3}$, ce qui correspond à une porosité de 51%. L'humidité du sol avait tendance à augmenter avec la profondeur de prélèvement des échantillons passant de 24,4 à 25,5 et 27,4% à 20, 40 et 60 cm ($p = 0,074$).

Par rapport à la distance au tronc et au volume du houppier, les teneurs en argiles ($p = 0,625$ et $p = 0,331$), limons ($p = 0,482$ et $p = 0,160$) et sables ($p = 0,455$ et $p = 0,080$) n'ont pas varié. En général, les sols étaient sableux, avec une teneur moyenne en sables de 84% et des taux en argiles et limons de 8% chacun.

2.3.4. Propriétés chimiques des sols

Sous l'influence des arbres, les teneurs en C organique et N total du sol ont respectivement augmenté de 60% et 59% des petits volumes de houppier aux grands volumes (Tableau 2.5); Ca échangeable et la CEC ont suivi la même tendance ($p = 0,056$ et $p = 0,054$, respectivement). D'autre part, C organique, N total, P assimilable, CEC et le rapport $K/(Ca+Mg)$ ont respectivement diminué de 36, 38, 32, 13 et 22% de R/2 à 2R du tronc de *C. pinnata* (Tableau 2.5). La corrélation entre CEC et C organique du sol a été positive et significative ($R = 0,686$; $p < 0,0001$; $n = 35$).

Tableau 2.4. Eclaircissement relatif (%) en fonction du volume du houppier de *Cordyla pinnata* (petit, moyen, grand) et de l'intensité d'élagage de la longueur du houppier (E-0%, E-33%, E-66%, E-100%). Les mesures ont été effectuées le 29 juillet, le 30 août et le 25 septembre 1993 pour chacun des 36 arbres.

Sources de variation	DL	Niveaux des facteurs	Moyenne et ET	P > F	Partition (%) de la somme des carrés des facteurs
Volume du houppier (V)	2	petit	50 (8,1)	ns	0,0%
		moyen	48 (6,9)		
		grand	48 (8,4)		
Intensité d'élagage (E)	3	E-0%	26 (1,6)	0,0001	12%
		E-33%	37 (1,1)		
		E-66%	39 (1,6)		
		E-100%	92 (2,5)		
V x E	6	-	-	ns	0,3%

Contrastes					
E (L)	1			0,0001	9,3%
E (Q)	1			0,002	1,6%

DL = degrés de liberté; L = effet linéaire; Q = effet quadratique; ns = $p > 0,05$; les valeurs entre () représentent l'erreur type (ET).

Tableau 2.5. Caractéristiques chimiques des sols suivant la distance au tronc (R/2, 1R, 2R) et le volume du houppier de *Cordyla pinnata* (petit, moyen, grand), n = 12 pour chaque moyenne. Les échantillons ont été prélevés en mai 1994 avant les semis du mil.

Variables	Distance au tronc			Proportion de			Volume du houppier			Proportion de	
	R/2	1R	2R	P > F	SCT (%)	Petit	Moyen	Grand	P > F	SCT (%)	
C (%)	0,55	0,56	0,35	0,002 (L)	23,0	0,38	0,46	0,61	0,019 (L)	25,4	
N (%)	0,050	0,050	0,031	0,001 (L)	24,5	0,034	0,043	0,054	0,044 (L)	21,4	
C/N	10,9	11,2	11,5	ns	ns	11,4	10,9	11,3	ns	ns	
P (mg kg ⁻¹)	14,2	8,42	9,67	0,042 (Q)	21,3	11,6	10,4	10,4	ns	ns	
K (cmol(+) kg ⁻¹)	0,35	0,34	0,25	ns	ns	0,29	0,30	0,36	ns	ns	
Ca (cmol(+) kg ⁻¹)	1,80	1,67	1,47	ns	ns	1,51	1,52	1,92	0,056 (L)	15,0	
Mg (cmol(+) kg ⁻¹)	0,83	0,97	0,63	ns	ns	0,72	0,76	0,95	ns	ns	
CEC (cmol(+) kg ⁻¹)	3,30	3,64	2,86	0,050 (L)	6,6	2,68	3,27	3,84	0,054 (L)	28,3	
				0,054 (Q)	6,3						
pH (eau)	6,0	6,3	6,2	ns	ns	6,2	6,0	6,3	ns	ns	
Ca/Mg	4,08	1,81	2,36	ns	ns	2,48	2,52	3,27	ns	ns	
Ca/K	5,3	5,6	7,5	ns	ns	6,0	5,9	6,5	ns	ns	
Mg/K	2,57	3,13	2,91	ns	ns	2,91	2,61	3,09	ns	ns	
K/(Ca+Mg)	1,05	1,16	0,82	0,029 (L)	7,3	0,93	0,97	1,14	ns	ns	

SCT = somme des carrés totale; L = effet linéaire; Q = effet quadratique; ns = p > 0,05; P représente le phosphore assimilable et K, Ca et Mg représentent respectivement K, Ca et Mg échangeables.

L'interaction entre le volume du houppier et la distance au tronc a été significative ($p = 0,013$) pour la somme des bases échangeables qui a augmenté avec le volume du houppier pour les distances 1R et 2R mais qui n'a pas varié en fonction du volume du houppier à R/2 (Figure 2.1). Le pH (eau), le rapport C/N et les teneurs du sol en Mg et K échangeables n'ont pas varié en fonction du volume du houppier ou de la distance au tronc (Tableau 2.5).

2.3.5. Mil: Teneur en éléments minéraux

Chacun des facteurs volume du houppier, orientation ou intensité d'élagage a eu un effet sur au moins un élément nutritif des grains de mil. Cependant, les différences significatives observées dans la concentration en éléments des grains de mil n'ont varié que de 6 à 10% suivant les facteurs étudiés (Tableau 2.6). Les concentrations extrêmes des grains n'ont ainsi varié que de 1,1 mg g⁻¹ pour N, 0,3 mg g⁻¹ pour K, 0,12 mg g⁻¹ pour Mg et 0,16 mg g⁻¹ pour P (Tableau 2.6).

Les concentrations des grains en N, K et Mg étaient légèrement plus élevées à l'ouest de l'arbre (plus ombragé) qu'au sud (plus ensoleillé) (Tableau 2.6). La concentration en P a suivi la tendance opposée (Fig. 2.2). En diminuant des petits aux grands volumes de houppier, la concentration en N des grains de mil a aussi diminué avec l'augmentation des teneurs en N total du sol (Tableaux 2.5 et 2.6).

2.3.6. Mil: Rendement et biomasse

Hauteur - À quatre mois, la hauteur du mil n'a montré aucune variation significative en fonction du volume du houppier ($p = 0,84$), de l'intensité d'élagage ($p = 0,32$), de la distance au tronc ($p = 0,21$) ou de l'orientation ($p = 0,14$) pour une moyenne de 2,02 m.

Biomasse - Avec la distance, la biomasse des grains a évolué dans le même sens que le gradient de la lumière augmentant de 38% de R/2 (268 g m⁻²) à 1R (371 g m⁻²) et de 49% de R/2 à 2R (399 g m⁻²) ($p < 0,0001$, linéaire et $p < 0,0001$, quadratique; Figure 2.3a). La biomasse des grains a diminué en fonction du volume du houppier ($p = 0,013$, linéaire),

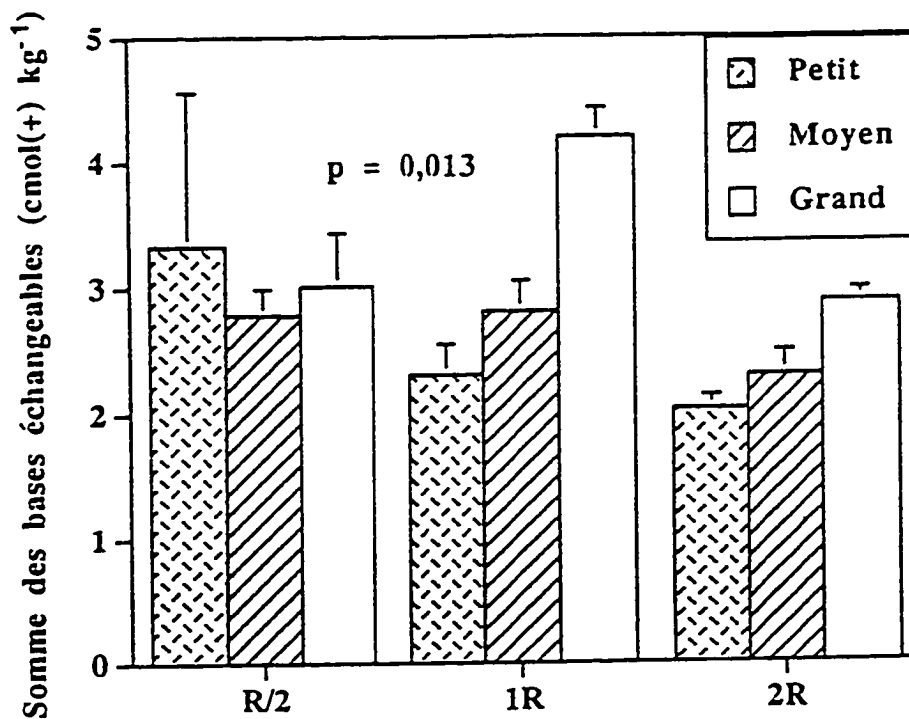


Fig. 2.1. Interaction ($p = 0,013$) entre le volume du houppier de *Cordyla pinnata* (Petit = volume inférieur à 300 m^3 , Moyen = volume compris entre 300 et 600 m^3 , Grand = volume supérieur à 600 m^3) et la distance au tronc ($R/2$ = à mi-distance du rayon du houppier, $1R$ = à 1 fois le rayon du houppier, $2R$ = distance égale à 2 fois le rayon du houppier) sur la somme des bases échangeables ($\text{cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$).

Tableau 2.6. Teneur en éléments minéraux des grains (n = 40 à 48) respectivement en fonction du volume de la cime de *Cordyla pinnata* (< 300 m³ ou petit (P), 300-600 m³ ou moyen (M), > 600 m³ ou grand (G)) et de l'orientation (ouest = O et sud = S).

	Volume du houppier (V)				Orientation (OR)			P > F
	P	M	G	P > F	S	O		
N (mg g ⁻¹)	17,0	17,6	16,5	0,038 (Q)	16,7	17,4	0,013	
P (mg g ⁻¹)	2,73	2,77	2,61	ns*	2,66	2,74	ns	
K (mg g ⁻¹)	3,86	3,93	3,87	ns	3,83	3,96	ns	
Ca (mg g ⁻¹)	0,135	0,147	0,144	ns	0,138	0,147	ns	
Mg (mg g ⁻¹)	1,20	1,22	1,19	ns	1,18	1,23	ns	
	Interactions (V x OR)							
	P-S	M-S	G-S	P-O	M-O	G-O	P > F	
K	3,90	3,85	3,73	3,82	4,03	4,02	0,016	
Mg	1,21	1,17	1,14	1,19	1,26	1,24	0,004	

L = effet linéaire; Q = effet quadratique; ns = p > 0,05; V x OR = interaction entre le volume du houppier et l'orientation;

* p = 0,064 (L)

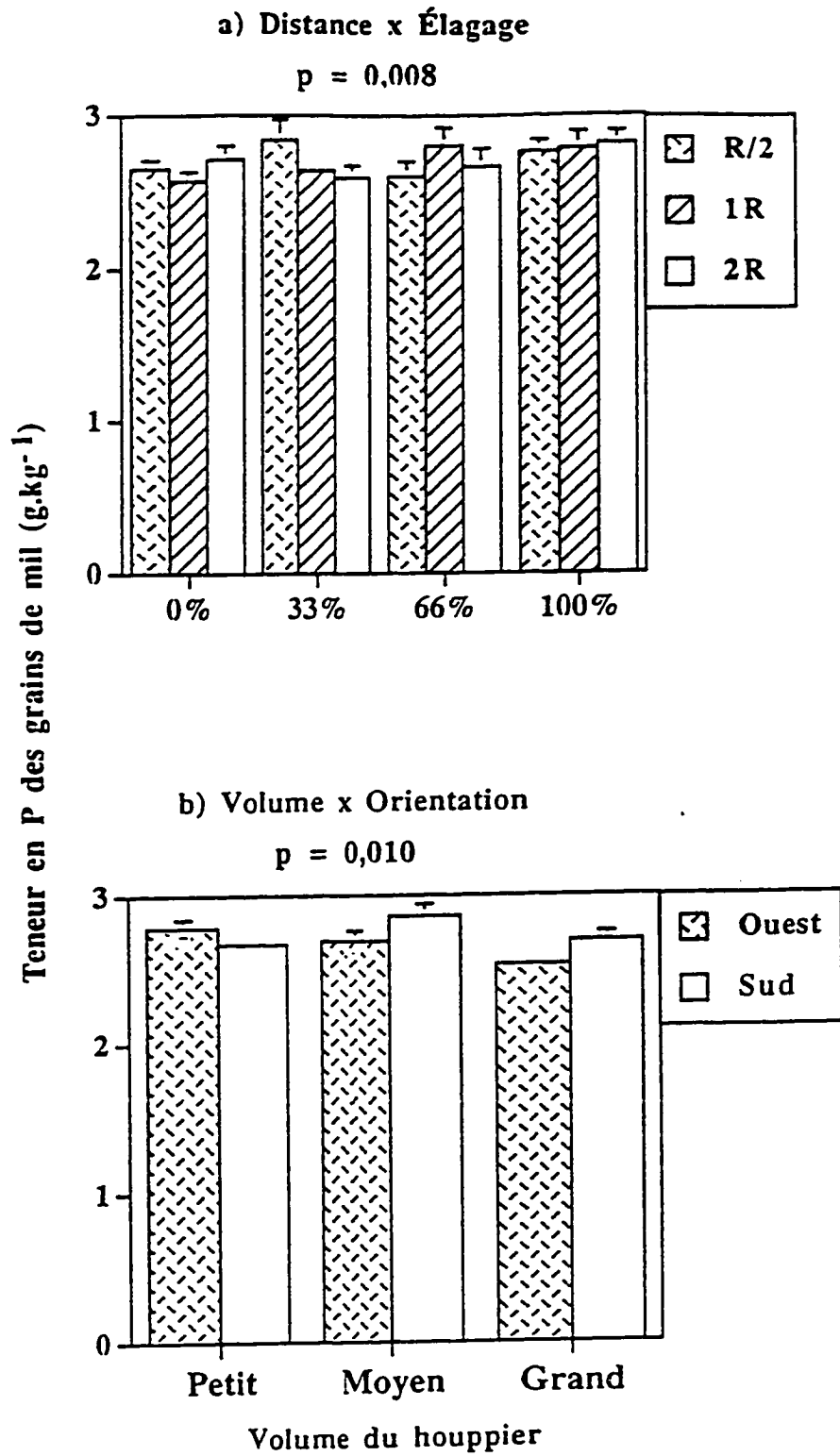


Fig. 2.2. Influence des interactions entre a) la distance au tronc (R/2, 1R, 2R) et l'élague (0, 33, 66 et 100%) ($p = 0,008$) et entre b) le volume du houppier ($< 300 \text{ m}^3$, entre 300 et 600 m^3 , $> 600 \text{ m}^3$) et l'orientation (ouest, sud) sur la teneur en P des grains de mil (g kg^{-1}).

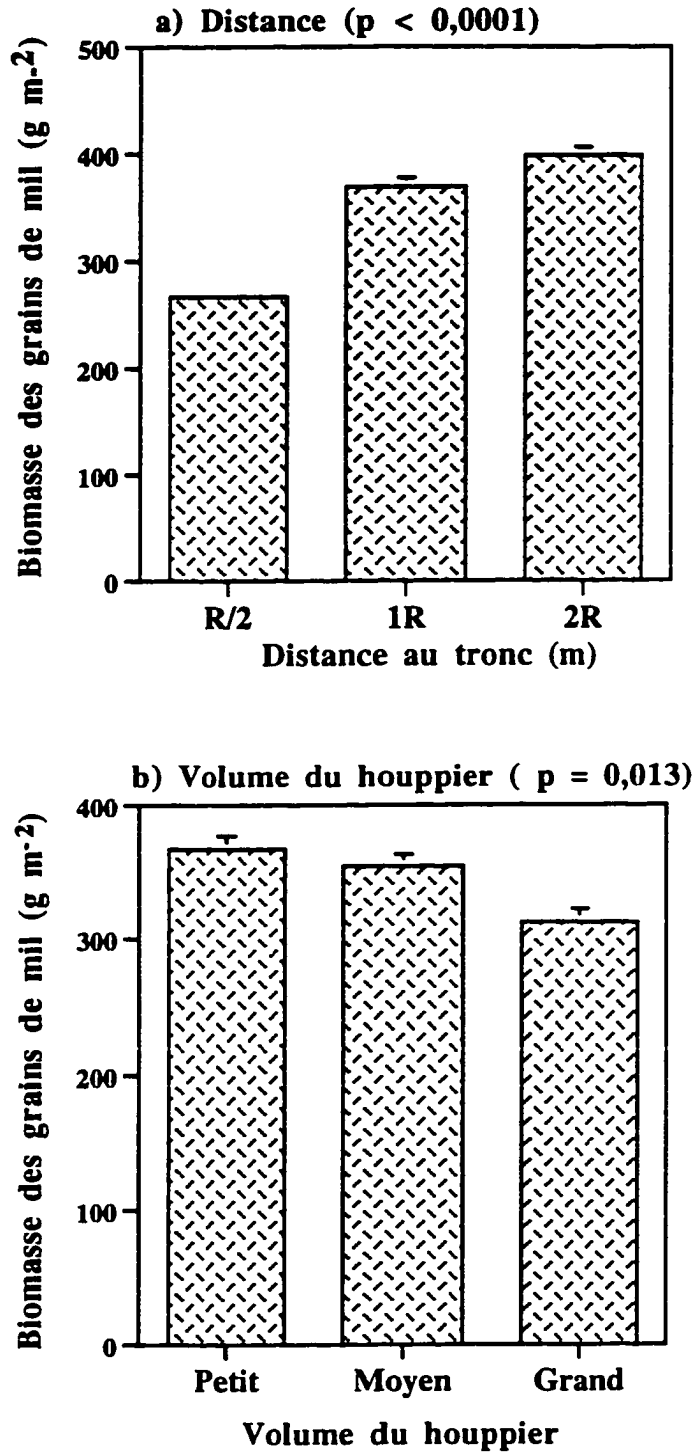


Fig. 2.3. Influence de (a) la distance au tronc de *Cordyla pinnata* et (b) du volume du houppier (p = 0,013) sur la biomasse des grains de mil (g m⁻²)

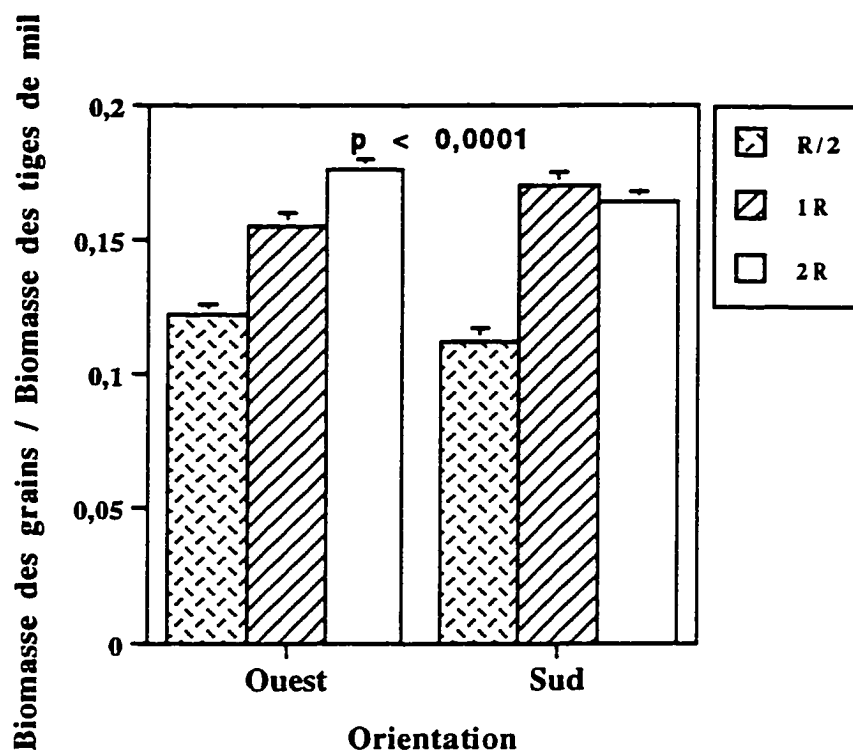


Fig. 2.4. Interaction ($p < 0,0001$) entre la distance au tronc (R/2, 1R, 2R) et l'orientation (ouest, sud) sur le rapport entre la biomasse des grains et la biomasse des tiges de mil.

passant de 368 g m⁻² à proximité des petits volumes de cime à respectivement 355 et 314 g m⁻² pour les moyens et grands volumes de cime (Figure 2.3b), soit des réductions respectives de 3,5 et 14,7%.

La masse unitaire des grains de mil a également augmenté dans le même sens que le gradient de la lumière ($p < 0,0001$, linéaire et $p = 0,003$, quadratique) en augmentant de 12% de R/2 (3,4 g pour 100 grains de mil) à 1R (3,8 g) et de 18% de R/2 à 2R (4,0 g).

Le ratio biomasse des grains / biomasse des tiges de mil a significativement varié suivant l'interaction entre l'orientation et la distance par rapport à l'arbre ($p < 0,0001$; Figure 2.4). À l'ouest de l'arbre où l'ombrage est plus important, le ratio a augmenté de R/2 à 1R et 2R en suivant le gradient de la lumière. Au sud des arbres, où l'ombrage est moins important, le ratio a augmenté de R/2 à 1R et n'a pas varié entre 1R et 2R.

Des interactions triples ont été observées entre le volume du houppier, la distance par rapport à l'arbre et l'intensité d'élagage sur la biomasse des tiges et la biomasse totale du mil ($p = 0,0003$ et $p = 0,0002$ respectivement), les deux variables étant hautement corrélées ($R = 0,969$, $p < 0,0001$, $n = 286$). L'interprétation de cette interaction étant complexe, l'effet des facteurs principaux a été examiné. Les résultats ont montré que la biomasse totale augmentait avec la distance au tronc ($p = 0,0012$, linéaire) passant de 2718 à 2732 et 2858 g m⁻² respectivement à R/2, 1R et 2R. La biomasse des tiges de mil a suivi la même tendance que la biomasse totale. Les deux variables étaient positivement corrélées à l'éclairage relatif ($R = 0,362$, $p < 0,0001$ et $R = 0,314$, $p = 0,0010$, respectivement). Les effets du volume du houppier ($p = 0,117$), de l'élagage ($p = 0,261$) et de l'orientation ($p = 0,121$) sur la biomasse totale n'étaient pas significatifs.

En résumé, la croissance en hauteur du mil n'a été influencée par aucun des facteurs étudiés. La biomasse des grains, la masse unitaire des grains, le ratio biomasse des grains / biomasse des tiges, la biomasse des tiges et la biomasse totale ont augmenté dans le même sens que le

gradient de la lumière, donc avec une augmentation de la distance par rapport à l'arbre. La biomasse des grains a par ailleurs diminué avec une augmentation du volume du houppier.

2.3.7. Mil: Relations entre les différents groupes de variables

La corrélation canonique entre la teneur en éléments minéraux des grains (N, P, K, Ca, Mg) et le rendement du mil (hauteur, biomasse des grains, biomasse des tiges, masse unitaire des grains) a été significative ($R_c = 0,84$; $p < 0,0001$).

Les corrélations canoniques entre la teneur en éléments des grains (N, P, K, Ca, Mg) ou des tiges de mil (N, P, K, Ca, Mg) et les variables de fertilité (N, P, K, Ca, Mg) du sol n'ont pas été significatives ($p = 0,31$ et $p = 0,86$, respectivement). La corrélation a cependant été significative ($R_c = 0,72$; $p = 0,020$) entre la fertilité du sol (N, P, K, Ca, Mg) et le rendement (hauteur, biomasse des grains, masse de 100 grains, biomasse des tiges). La proportion de variance standardisée de la fertilité du sol expliquée par la variable canonique du rendement du mil était de 6% alors que la proportion de variance standardisée du rendement du mil expliquée par la variable canonique de la fertilité du sol a été de 25%.

Les coefficients de corrélation entre la variable canonique de rendement et N total et $K/(Ca + Mg)$ étaient respectivement de - 0,380 et 0,322; ces variables de fertilité ont été les plus étroitement corrélées à la variable canonique du rendement du mil. L'influence de N total sur le rendement semblait être négative car les teneurs en N total étaient plus élevées sous le couvert de *C. pinnata* où l'ombrage exerçait un effet dépressif sur le rendement. D'autre part, le carré du coefficient de corrélation entre la hauteur ou le poids unitaire des grains de mil et la variable canonique de fertilité du sol a respectivement été de 0,404 et 0,308, indiquant de faibles niveaux de prédiction de ces variables de rendement par la variable canonique de fertilité.

2.3.8. Arachide: Potentiel hydrique

Le potentiel hydrique de l'arachide 10 à 14 semaines après les semis n'a pas varié sous l'influence du volume du houppier ($p = 0,227$), de l'orientation ($p = 0,372$) ou de la distance au tronc ($p = 0,423$). Le potentiel hydrique a cependant significativement fluctué en fonction de l'heure ($p = 0,0003$, linéaire; $p = 0,003$, cubique; Figure 2.5), pour un maximum à 7 h et un minimum à 13 h.

2.3.9. Arachide - Rendement et biomasse

Hauteur - La hauteur de l'arachide avait tendance à diminuer avec la distance au tronc ($p = 0,061$) passant de 54,7 à 50,6 et 50,2 cm respectivement à R/2, 1R et 2R.

Biomasse des gousses - L'interaction entre l'intensité d'élagage et la distance au tronc était significative ($p < 0,0001$; Fig. 2.6a) pour la biomasse des gousses qui a augmenté avec la distance au tronc, donc avec le gradient de la lumière, à proximité des arbres non élagués (E-0%) sous lesquels l'éclairement relatif était seulement de 26%. Avec E-100%, qui correspond à un éclairement relatif de 92% sous le houppier, la biomasse des gousses d'arachide n'a pas varié suivant la distance au tronc mais sa valeur était plus élevée à R/2, où le sol était plus fertile, comparé aux arbres non élagués (E-0%). Par contre, la biomasse des gousses d'arachide a significativement diminué à 1R et 2R avec E-100% par rapport à E-0%.

Avec E-33% qui a permis d'augmenter l'éclairement relatif sous le houppier de 26 à 37%, la biomasse des gousses d'arachide a atteint le même niveau de production à R/2 que celui observé avec E-100%. De plus, à 1R et 2R du tronc, E-33% a permis de maintenir le même niveau de production de gousses d'arachide que E-0% (Figure 2.6a).

Biomasse des fanes - L'interaction a également été significative pour la biomasse des fanes ($p < 0,0001$) qui a été plus élevée hors du couvert (1R et 2R) avec les arbres non élagués (E-0%). Quelle que soit l'intensité d'élagage, la biomasse des fanes d'arachide a augmenté sous le couvert de *Cordyla pinnata* comparé à E-0% avec un maximum (524 g m⁻²) qui a été atteint

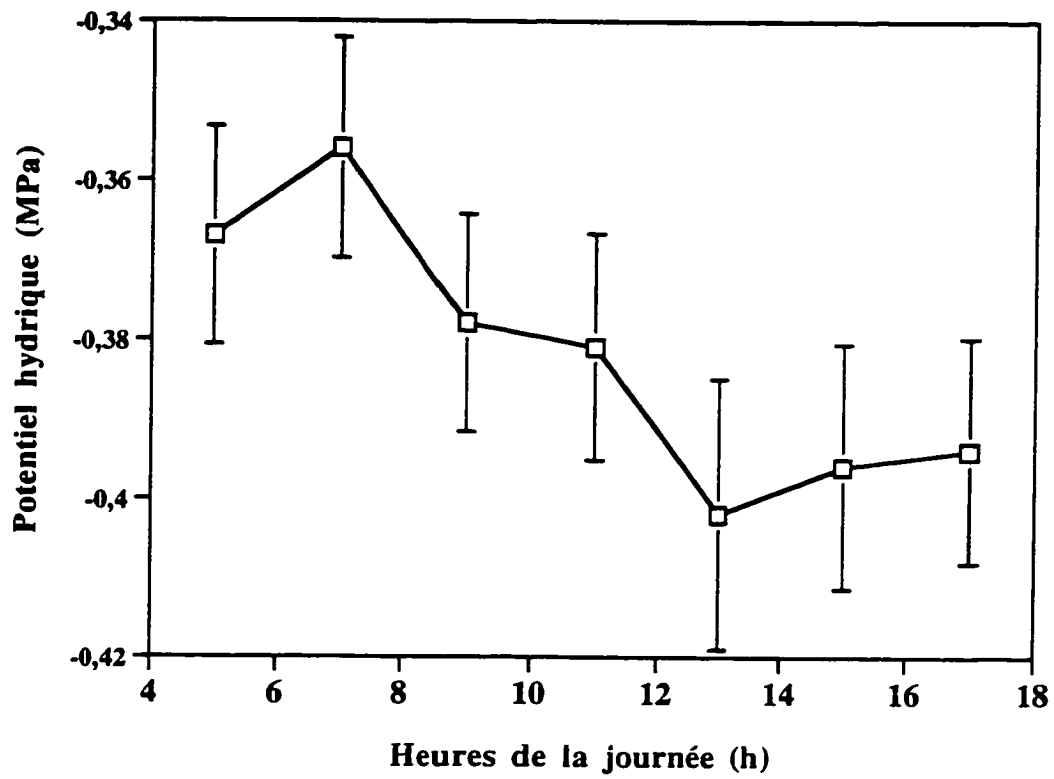


Fig. 2.5. Potentiel hydrique (MPa) de l'arachide en fonction de l'heure de la journée (5,7, 9, 11, 13, 15 et 17h).

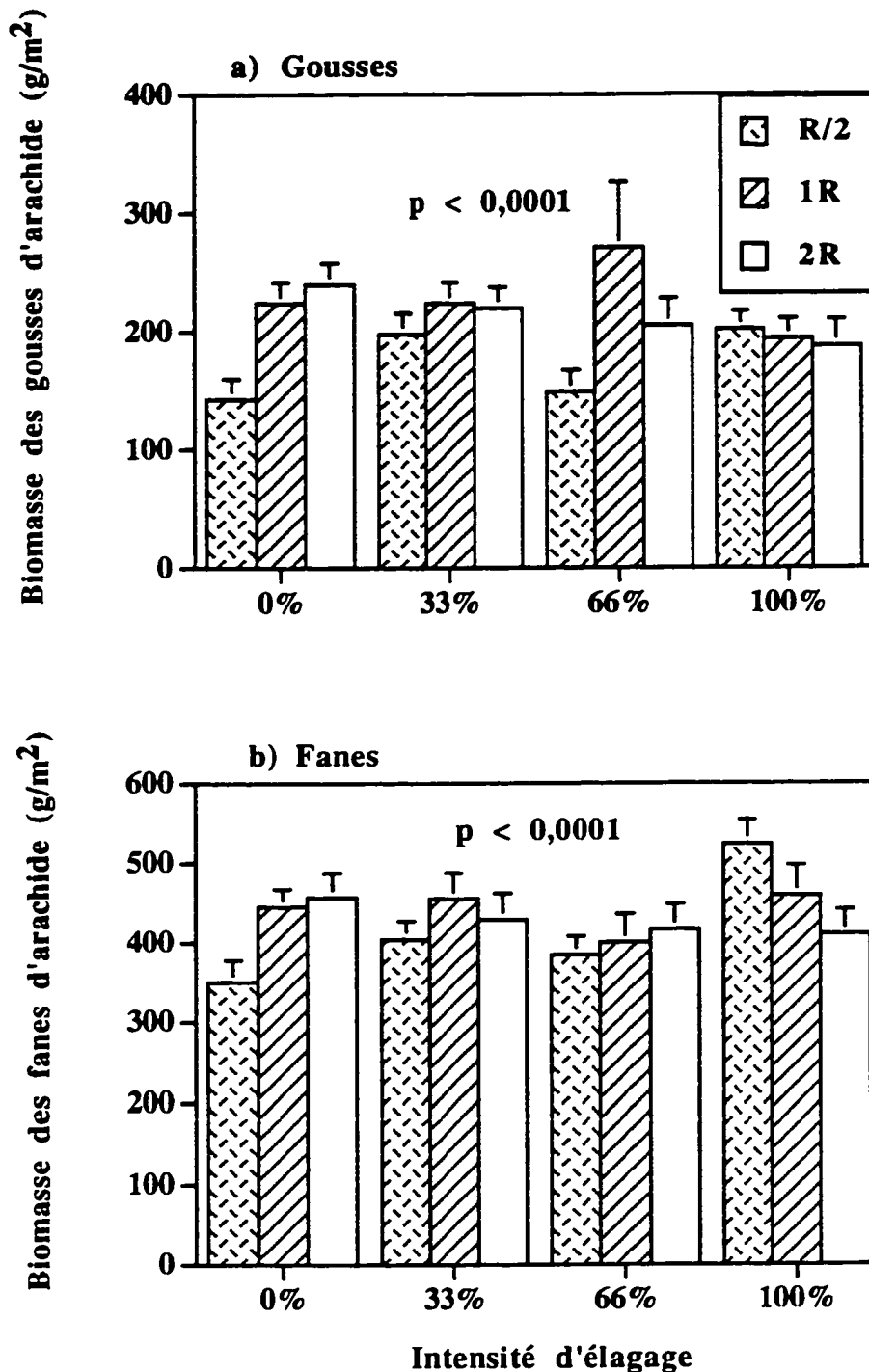


Fig. 2.6. Influence de l'interaction entre l'intensité d'élagage (témoin sans élagage = 0%, élagage de 1/3 de la longueur du houppier = 33%, élagage des 2/3 de la longueur du houppier = 66%, élagage intégral de la longueur du houppier = 100%) et la distance au tronc (R/2, 1R et 2R) sur (a) la biomasse des gousses (g/m²) ($p < 0,0001$) et (b) des fanés (g/m²) ($p < 0,0001$) d'arachide.

avec E-100%. À 1R et 2R, la biomasse des fanes d'arachide n'a pas semblé varier suivant l'intensité d'élagage (Figure 2.6b).

Ratio biomasse fanes:biomasse gousses - Le ratio entre la biomasse des fanes (tiges + feuilles) et la biomasse des gousses a augmenté avec le volume du houppier ($p = 0,036$, linéaire) de 2,4 sous les petits houppiers à 3,0 sous les grands (Figure 2.7a). Le ratio a diminué avec la distance au tronc ($p = 0,0005$, linéaire; $p = 0,002$, quadratique) passant de 3,0 à R/2 à 2,4 et 2,3 respectivement à 1R et 2R (Figure 2.7b).

Biomasse totale - L'interaction entre l'élagage, la distance et le volume du houppier a été significative ($p = 0,006$) pour la biomasse totale de l'arachide. L'interprétation de cette interaction triple étant complexe, nous avons analysé celle entre l'élagage et la distance ($p < 0,0001$; Figure 2.8) qui a montré (1) une augmentation de la biomasse totale avec la distance à proximité des arbres non élagués (E-0%) suivant le gradient de lumière et (2) une diminution de celle-ci avec la distance lorsque tout le houppier a été élagué (E-100%) suivant le gradient de fertilité du sol. E-33% a permis (1) d'augmenter la biomasse totale de l'arachide à R/2 par rapport à la valeur obtenue avec E-0% et (2) de maintenir le même niveau de production de biomasse totale à 1R et 2R que E-0%.

La biomasse totale de l'arachide récoltée en 1994 a positivement été corrélée à l'éclairement relatif mesuré en 1993 ($R = 0,352$; $p = 0,0024$). La faible production de feuilles entre 1993 et 1994 n'a probablement pas modifié l'éclairement relatif de manière significative. À part la distance au tronc ($p = 0,036$, quadratique), les effets principaux des autres facteurs n'ont pas été significatifs pour la biomasse totale de l'arachide.

En résumé, la hauteur de l'arachide et le ratio biomasse des fanes / biomasse des gousses ont diminué avec la distance au tronc. Le ratio biomasse des fanes / biomasse des gousses a par ailleurs augmenté avec le volume du houppier. La biomasse totale a augmenté avec la distance à proximité des arbres non élagués, suivant le gradient de lumière. Cependant lorsque toutes

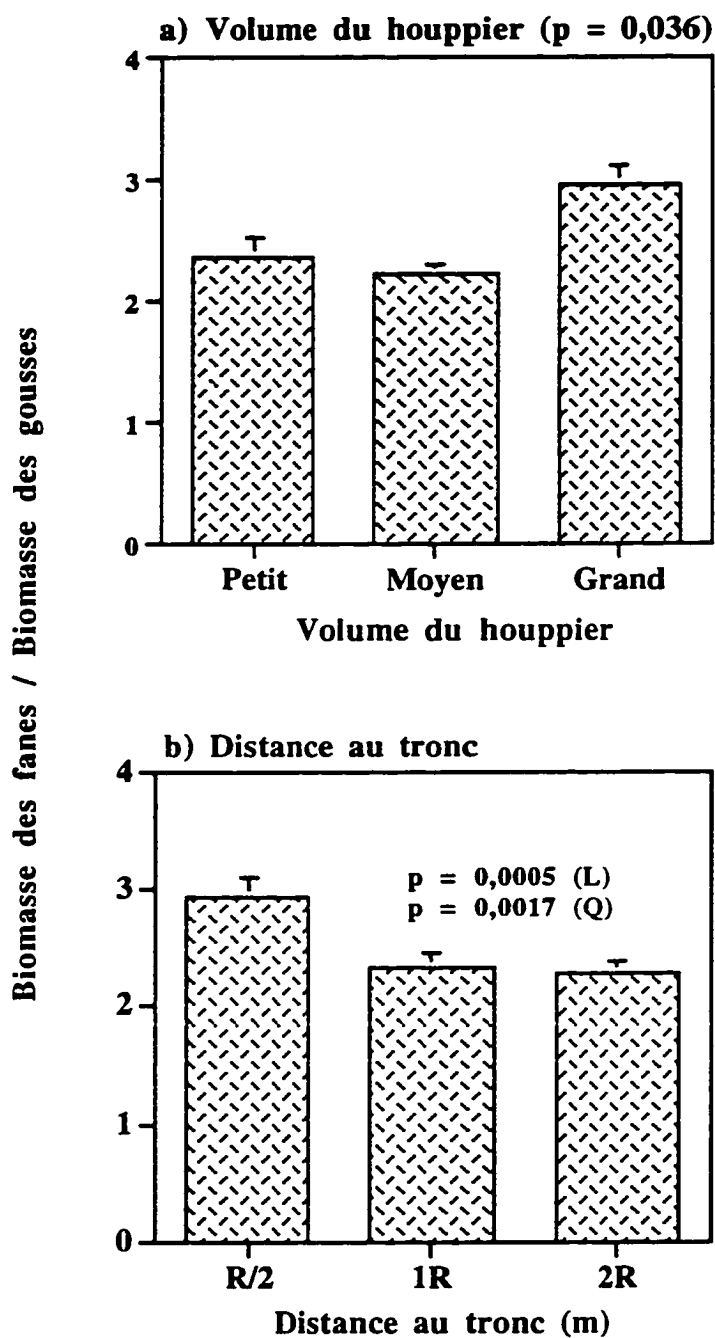


Fig. 2.7. Influence (a) du volume du houppier ($p = 0,036$) et (b) de la distance au tronc ($p = 0,0005$, linéaire; $p = 0,0017$, quadratique) sur le rapport entre la biomasse des fanes et la biomasse des gousses d'arachide.

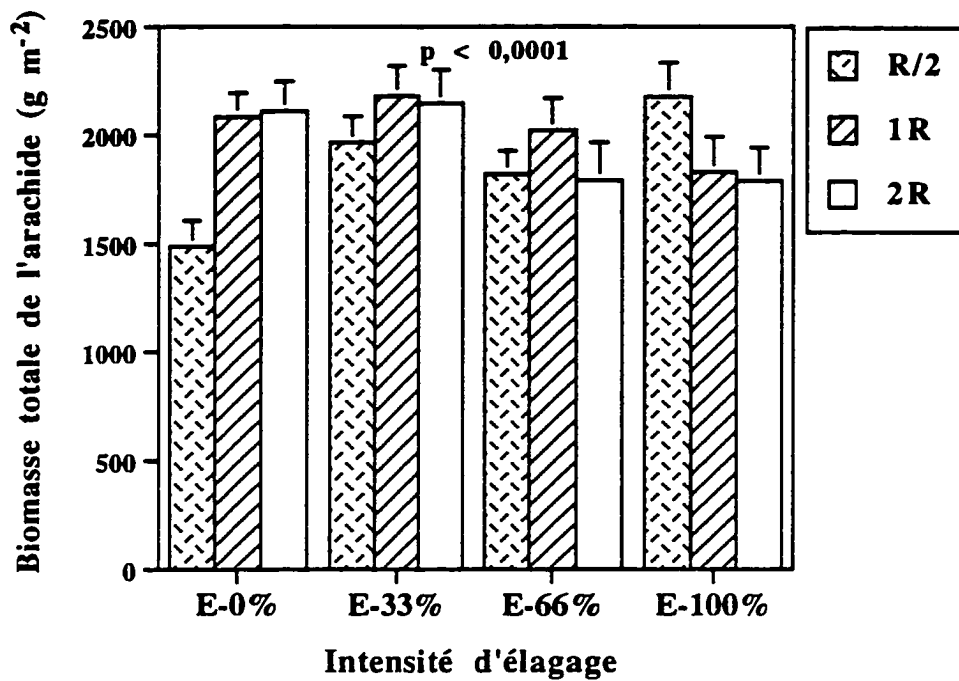


Fig. 2.8. Interaction entre la distance (R/2, 1R, 2R) et l'intensité d'élagage de la longueur du houppier (0% ou E-0%, 33% ou E-33%, 66% ou E-66% et 100% ou E-100%) sur la biomasse totale de l'arachide (g m⁻²).

les feuilles du houppier ont été supprimées, la biomasse totale de la culture a augmenté suivant le gradient de fertilité du sol. Par contre, le niveau de production a baissé hors du couvert par rapport aux arbres non élagués, probablement à cause de la suppression de l'ombrage qui modérait les températures du sol hors du couvert de l'arbre. L'élagage du tiers de la longueur du houppier a permis d'augmenter l'éclairement relatif sous la cime à 37% et s'est associé (1) à une augmentation de la biomasse totale de l'arachide sous le couvert de l'arbre et (2) au maintien du même niveau de production hors du couvert que celui obtenu sans élagage.

2.3.10. Relations entre le rendement de l'arachide et la fertilité du sol

La corrélation canonique entre le rendement (biomasse des fanes, biomasse totale, hauteur et largeur de l'arachide) et la fertilité (N, P, K, Ca, Mg) a été significative ($R_c = 0,69$; $p = 0,050$). La proportion de variance standardisée de la fertilité du sol expliquée par la variable canonique du rendement de l'arachide était de 18%. La proportion de variance standardisée du rendement de l'arachide expliquée par la variable canonique de la fertilité du sol a été moins élevée (10%). Les coefficients de corrélation ont été de 0,685, 0,555 et 0,308 respectivement entre la variable canonique de rendement et P assimilable, Ca et Mg échangeables qui ont été les variables de fertilité les plus étroitement liées à la variable canonique du rendement de l'arachide.

2.4. Discussion

Relations allométriques chez *Cordyla pinnata*

Pour la biomasse foliaire sèche, le diamètre du tronc au niveau de la première fourche, le diamètre du houppier et le volume du houppier de *Cordyla pinnata* ont été les meilleurs prédicteurs ($R^2 = 0,99, 0,96$ et $0,96$ respectivement) (Tableau 2.3). Les deux dernières variables indépendantes sont cependant difficiles à mesurer. Granier (1981) avait noté que la section à la base de la couronne vivante était un meilleur prédicteur de la masse foliaire que la section du tronc à 1,30 m de haut chez *Pseudotsuga menziesii*. L'auteur avait également mis en évidence chez le sapin Douglas une relation linéaire entre la masse foliaire sèche et la section à 1,30 m du bois d'aubier du tronc. Dans notre étude, la surface de l'aubier n'a pas été déterminée à cause de contraintes matérielles et des populations locales qui auraient mal apprécié l'abattage des arbres.

Cissé (1980) avait observé une fonction puissance (de degré 2,08) entre la biomasse foliaire de *Acacia albida* et la circonférence à hauteur de poitrine, avec un coefficient de détermination élevé ($R^2 = 0,96$). Dans notre étude, la relation entre le diamètre à hauteur de poitrine et la biomasse foliaire de *Cordyla pinnata* a également été une fonction puissance (de degré 2,03) (Tableau 2.3). Cependant le coefficient de détermination a été amélioré, chez *Cordyla pinnata*, par le diamètre du tronc au niveau de la première fourche par rapport au diamètre du tronc à hauteur de poitrine (Tableau 2.3). Cissé (1980) avait également noté que la biomasse foliaire chez *Acacia albida* était liée à la hauteur totale de l'espèce par une fonction puissance de degré 2,77 ($R^2 = 0,90$). Notre étude a montré chez *Cordyla pinnata* une fonction puissance entre les deux variables, mais avec une valeur relativement plus faible (2,10) (Tableau 2.3).

L'estimation de la surface foliaire de l'espèce par le diamètre au niveau de la première fourche a augmenté le coefficient de détermination (à 0,97) par rapport à toutes les autres variables étudiées, bien que ces derniers aient aussi été élevés (entre 0,91 et 0,94) (Tableau 2.3). Les relations ont également été non linéaires. Rogers et Hinckley (1979) avaient développé des

relations linéaires entre la surface foliaire et la surface de l'aubier, avec des coefficients de détermination respectifs de 0,75 et 0,96, pour le chêne blanc et le chêne noir. Margolis *et al.* (1995) ont mis à jour la liste, publiée par Waring *et al.* (1982), des relations linéaires obtenues jusqu'ici entre la surface foliaire et la surface de l'aubier de 20 espèces de conifères. Cependant, pour *Eucalyptus globulus*, Pereira *et al.* (1997) ont noté dans les modèles linéaires multiples de prédiction de la surface foliaire que la contribution du diamètre à hauteur de poitrine était plus importante que celle du diamètre à la base de la couronne vivante pour une variété d'âges, de densités, de régimes de fertilisation et de coupes de régénération.

Les relations allométriques obtenues pour *Cordyla pinnata* permettent de connaître les relations qui lient les variables dendrométriques de l'espèce et l'étroitesse de ces liens. Elles permettent aussi d'estimer, à partir de variables faciles à mesurer, d'autres variables plus difficiles à mesurer comme la surface foliaire (pour estimer l'interception de la pluie) ou la quantité des apports organiques en biomasse foliaire sans avoir recours à l'abattage ou même à l'élagage des arbres. Les relations allométriques pourraient également être utilisées pour modéliser la productivité des ligneux (fruits, fourrage ligneux) et des cultures dans les systèmes agroforestiers.

Influence de *Cordyla pinnata* sur les propriétés physico-chimiques du sol

La masse volumique apparente n'a pas significativement varié en fonction de la distance au tronc ou de la profondeur du sol dans le parc à *Cordyla pinnata*. Au Kenya, Belsky *et al.* (1993a) avaient trouvé que la masse volumique apparente était moins élevée à proximité de *Adansonia digitata* et *Acacia tortilis*. Belsky *et al.* (1993b) notaient, par la suite, que la masse volumique apparente était plus élevée hors couvert que sous le couvert de *Adansonia digitata* et *Acacia tortilis* mais seulement entre 0-5 cm, à cause des teneurs moins élevées en matière organique, mais qu'à partir de 10-15 cm, il n'y'avait aucune différence entre les deux zones.

Au Costa Rica, Montagni *et al.* (1993) ont aussi noté une masse volumique apparente plus faible sous le couvert de *Stryphnodendron microstachyum*, *Vochysia ferrugina*, *V.*

guatemalensis et *Hyeronima alchorneoides* qu'en dehors de leur couvert. Habituellement, dans les parcs agroforestiers, le labour s'effectue difficilement à proximité des arbres qui constituent des obstacles et rendent difficile le travail intégral et en profondeur du sol dans le voisinage immédiat des ligneux. Ces sols demeurent en général moins perturbés que le reste qui est labouré chaque année. Mais sur le sol ferrugineux tropical étudié, le labour et surtout la texture très sableuse des sols seraient probablement les causes de la faible variation de la masse volumique apparente en fonction de la distance par rapport aux arbres et de la profondeur.

Notre étude n'a également pas montré une variation significative de la texture ou de l'humidité du sol en fonction de la distance par rapport à l'arbre. L'humidité moyenne observée dans le parc à *Cordyla pinnata* en septembre, pour ce sol ferrugineux tropical, a été de 26,0%. Cette valeur se trouve à la limite inférieure de l'intervalle 25-50% d'humidité où se situerait, selon Fawusi et Agboola (1980), l'humidité optimale pour une bonne croissance du mil sur un loam sableux.

Par ailleurs, la teneur en carbone organique du sol a accusé une forte réduction hors du couvert de *Cordyla pinnata* par rapport à sa valeur sous couvert ($p = 0,002$; Tableau 2.5) probablement à cause des apports organiques plus élevés sous l'arbre (fruits, branches, racines, feuilles). Belsky *et al.* (1989) ont montré au Kenya que la teneur moyenne en carbone organique était 1,8 fois supérieure à proximité des troncs de *Adansonia digitata* et *Acacia tortilis spirocarpa* qu'à découvert. Jackson *et al.* (1990) ont obtenu, dans une savane à *Quercus douglasii* de la Sierra Nevada aux États-Unis, approximativement 1,3 fois plus de carbone organique sous l'espèce par rapport au découvert.

Dans notre étude, cette teneur a été 1,6 fois plus élevée à R/2 et 1R qu'à 2R (Tableau 2.5). Le même facteur a été observé pour l'azote total qui était 1,7 fois supérieur à R/2 et 1R de *Cordyla pinnata* qu'à 2R de l'espèce. Jackson *et al.* (1990) ont observé sous *Quercus douglasii* (1,3 fois) plus d'azote total que hors de son couvert, ce que Puri *et al.* (1994) ont confirmé sous

Prosopis cineraria. Une plus grande teneur en carbone organique entraîne généralement une plus grande activité microbienne, une meilleure structure du sol par la formation d'agrégats plus stables et une meilleure capacité de rétention de l'eau et des éléments minéraux.

La teneur en magnésium échangeable a été respectivement 1,3 et 1,5 fois supérieure à R/2 et 1R, par rapport à la valeur obtenue à 2R. Campbell *et al.* (1994) ont confirmé ces résultats avec *Terminalia serica* sur sols sableux. Belsky *et al.* (1993b) ont par contre observé des concentrations en Mg plus élevées hors des couverts de *Adansonia digitata* et *Acacia tortilis*, de même que Sushil *et al.* (1991) sous *Dalbergia sissoo* alors que Totey *et al.* (1986) trouvaient que les concentrations en Mg étaient les mêmes sous et hors couvert de cette espèce.

La concentration en phosphore assimilable a été plus importante sous *Cordyla pinnata* que hors de son couvert. Ce résultat confirme ceux de Jackson *et al.* (1990) et Puri *et al.* (1994) qui avaient également montré que les niveaux du phosphore assimilable étaient supérieurs sous *Quercus douglasii* et *Prosopis cineraria*, respectivement. La CEC à pH 7 a été plus élevée à 1R et R/2 que hors du couvert (2R), ce qui confirme les observations de Jackson *et al.* (1990) effectuées sur *Quercus douglasii*.

Notre étude a démontré d'autre part que le volume du houppier de *Cordyla pinnata* a eu un effet sur la plupart des caractéristiques chimiques étudiées au niveau du sol (Tableau 2.5). Les teneurs en carbone organique, azote total, Ca échangeable ainsi que la somme des bases et la CEC ont été multipliées par 1,2 à 1,3 lorsque le volume du houppier de *Cordyla pinnata* est passé de petit à grand.

Le potassium échangeable n'a été influencé ni par le volume du houppier, ni par la distance au tronc (Tableau 2.5). Les études menées sur cet élément ont donné des résultats discordants suivant les espèces. Certains auteurs ont observé des teneurs en K plus élevées sous les arbres (Totey *et al.*, 1986; Suresh et Rai, 1988; Belsky *et al.*, 1989; Campbell *et al.*, 1994; Puri *et al.*, 1994) mais d'autres ont trouvé des concentrations plus faibles sous le couvert des arbres

(Sushil *et al.*, 1991). Une importante partie de K serait libérée lors du lessivage des cimes et des litières (Lemée, 1974; Bonneau et Souchier, 1979; Waring et Running, 1996). Bien qu'aucune influence significative de l'espèce sur les teneurs en K du sol n'ait été statistiquement démontrée dans le parc à *Cordyla pinnata*, les concentrations en K ont eu tendance à être plus importantes sous le couvert de l'espèce, probablement à cause des pluviolessivats.

La pluie et les pluviolessivats assurent au sol un gain en éléments minéraux. Il s'agit d'éléments dissous dans les précipitations incidentes (dépôts humides) ou d'éléments sous forme d'aérosols se déposant sur la végétation (dépôts secs) puis remobilisés et restitués au sol sous forme de pluviolessivats (Gauquelin *et al.*, 1992). La rugosité de l'écorce et les diverses populations fongiques, algales ou lichéniques qui la colonisent favorisent également le piégeage des éléments sur les parties ligneuses (Gauquelin *et al.*, 1992). Dans les écosystèmes constitués d'arbres isolés, le phénomène de filtration des aérosols par le feuillage se manifeste avec une intensité supérieure. Ainsi dans les formations ouvertes à chênes verts en Espagne, les facteurs d'enrichissement observés sous les arbres sont très supérieurs à ceux généralement donnés pour les formations fermées équivalentes (Escudero, 1985).

Le rapport C/N n'a pas varié dans le parc à *Cordyla pinnata* suivant les facteurs étudiés (Tableau 2.5). Pourtant, Belsky *et al.* (1993a) avaient noté au Kenya des valeurs plus basses du rapport sous les arbres, ce que la tendance observée dans le parc à *Cordyla pinnata* a semblé confirmer.

Le pH du sol n'a été influencé ni par la distance au tronc ni par le volume du houppier (Tableau 2.5). Au Sénégal, Charreau et Vidal (1965) avaient mis en évidence des effets non significatifs de *Acacia albida* sur le pH des sols. Au Zimbabwe, Campbell *et al.* (1994) avaient noté que le pH était le même sous et hors couvert des arbres.

Par contre, d'autres résultats avaient suggéré que le pH du sol ait pu être réduit sous l'influence de certaines espèces. Gill et Abrol (1991) ont ainsi observé une réduction du pH sous *Acacia nilotica* et *Eucalyptus tereticornis*, mais la réduction ne s'était manifestée que dans les horizons de surface et avait graduellement diminué avec la profondeur pour devenir négligeable à partir de 60 cm de profondeur. En Inde, Sushil *et al.* (1991) ont observé l'effet acidifiant de *Dalbergia sissoo* sur les sols. Singh et Totey (1985) ont noté des pH relativement bas au niveau des sols de plusieurs plantations forestières alors que Belsky *et al.* (1989) et Jackson *et al.* (1990) ont trouvé un pH plus faible respectivement sous *Quercus douglasii* et sous *Acacia tortilis spirocarpa* que hors de leur couvert.

Les résultats de notre étude ont montré que *Cordyla pinnata* était une espèce non acidifiante. Habituellement, les espèces acidifiantes ont des feuilles avec les caractéristiques suivantes: rapport C/N élevé (> 50), forte teneur en lignine, tannins condensés, présence de résine et de cire dont les effets sont toxiques pour les microorganismes du sol (Duchaufour, 1994).

Influence de *Cordyla pinnata* sur le rendement des cultures

La croissance en hauteur du mil et de l'arachide n'a pas été affectée par *Cordyla pinnata*. Dembélé (1990) a également observé que *Vitellaria paradoxa* (Karité) n'exerçait aucune influence sur la croissance en hauteur du mil, quel que soit le stade de développement de la culture. Par ailleurs, plus le volume du houppier de *Cordyla pinnata* était important, plus son effet sur la biomasse des grains de mil était dépressif (Fig. 2.3b). La proximité de *Cordyla pinnata* a non seulement réduit la biomasse en grains de mil (Fig. 2.3a), mais également la masse unitaire des grains de l'ordre de 12 à 18%.

Les recherches conduites en Inde par Shankarharayan *et al.* (1987) n'avaient montré aucun effet dépressif de *Prosopis cineraria* sur la production de grains de *Vigna mungo* et de *Cyamopsis tetragonoloba*. L'influence de *Cordyla pinnata* sur toutes ces variables a entraîné une réduction relativement faible (0,5%) de la biomasse totale du mil suivant la distance au tronc. La biomasse totale de la culture était positivement corrélée à l'éclaircissement relatif.

Plusieurs auteurs ont montré que l'ombrage de certaines espèces avaient un effet dépressif sur le rendement de certaines cultures (Grunow *et al.*, 1980; Somirriba, 1988; Jackson *et al.*, 1990; Yadav *et al.*, 1993; Singh *et al.*, 1993). Yadav *et al.* (1993) ont ainsi observé une réduction de 65% de la biomasse de la moutarde (*Brassica campestris*) en condition irriguée, sous l'influence de *Acacia nilotica*. En Inde, Singh *et al.* (1993) ont également observé une réduction des rendements de trois différentes variétés d'orge (*Triticum aestivum*) sous le couvert d'une plantation de *Populus deltoides*.

La réduction de l'effet d'ombrage de *Cordyla pinnata* par l'élagage a eu un effet important sur les récoltes suivant l'intensité de l'élagage et la distance au tronc de l'espèce. La biomasse des gousses, des fanes et la biomasse totale de l'arachide ont été plus basses sous le couvert des arbres excepté lorsque tout le feuillage de l'arbre est supprimé (Fig. 2.6 et Fig. 2.8). Sans élagage ou avec un élagage partiel de la cime, la production de biomasse (gousses, fanes ou totale) d'arachide a augmenté avec le gradient de la lumière.

Avec l'élagage intégral du houppier, la production de biomasse d'arachide a augmenté dans le même sens que le gradient de fertilité du sol et a donc été plus importante sous l'arbre. Cependant, cette opération a réduit la biomasse des gousses et la biomasse totale à 1R et 2R par rapport aux arbres non élagués (Fig. 2.6), probablement à cause des températures élevées à la surface du sol à 1R et 2R après la suppression presque totale de l'ombrage. Cette réduction des biomasses produites s'est étendue sur des distances plus importantes que celle à l'intérieur de laquelle (R/2) les biomasses ont augmenté après l'élagage. Par conséquent, une suppression totale du feuillage des arbres dans le parc à *Cordyla pinnata* conduirait probablement à une diminution de la biomasse totale d'arachide récoltée par rapport à un système dans lequel les arbres ne sont pas élagués.

Dans les mêmes conditions, il est probable qu'un système de cultures sans arbre produise des rendements (arachide) plus bas que ceux obtenus dans le parc à *Cordyla pinnata* où la moyenne des températures maximales au sol devrait être moins élevée. Il serait ainsi

recommandable de maintenir un écartement de $4R$ (R étant le rayon moyen de la cime de *C. pinnata*) entre les arbres pour bénéficier de l'effet d'ombrage jusqu'à $2R$ de part et d'autre des arbres, soit une densité maximale à l'hectare de:

$$D_{\max} = 10\,000 / (4R)^2 = 625 / R^2$$

La réduction du tiers de la longueur de la cime a été associée à une biomasse totale moyenne plus élevée pour l'arachide. Il est probable que l'augmentation de l'éclairement relatif de 26% à 37% sous le couvert de l'espèce ait augmenté la photosynthèse et par conséquent la biomasse totale de l'arachide sous le couvert de *Cordyla pinnata* et que le maintien d'un ombrage suffisant à $1R$ et $2R$ ait réduit les températures à la surface du sol hors du couvert de l'arbre, ce qui a permis de maintenir le même niveau de production à ces distances que le traitement sans élagage.

Vandenbelt et Williams (1992) ont montré au Niger, qu'en après midi, l'ombre de *Acacia albida* a contribué à réduire de 10 °C les températures maximales au sol (à 2 cm de profondeur) sous le couvert de l'espèce par rapport au découvert. Ils ont également observé une forte réduction de la croissance du mil lorsque la température du sol a augmenté de 43 à 46 °C . Selon eux, les températures au sol plus basses sous *Acacia albida* seraient à l'origine de la plus grande productivité du mil observée sous son couvert.

Au Nigéria, Lal (1974) avait auparavant montré qu'une diminution des températures maximales au sol (à $5\text{-}20\text{ cm}$), grâce au paillage, augmentait le rendement en grains du maïs. Selon l'auteur, les températures élevées dans les horizons de surface du sol pourraient constituer un facteur limitant pour la production agricole dans les tropiques. La température optimale au sol pour le maïs varierait de 25 à 34 °C (Lal, 1974).

Peacock *et al.* (1990) ont montré que les températures observées à la surface des sols dans la zone sahéenne pouvaient provoquer la mort par échauffement des vaisseaux du phloème. Cette annulation par la chaleur empêche la translocation des assimilats vers les racines, réduit

le développement des racines (Stomph, 1990) ou provoque la mort de la plante, même si l'alimentation en eau est suffisante (Peacock *et al.*, 1990; Vandenbeldt et Williams, 1993). Une augmentation de la température du sol peut également entraîner une augmentation du taux de respiration des racines et réduire les quantités de carbone utilisées pour la croissance racinaire (Landsberg et Gower, 1997). Si les températures au sol sont suffisamment élevées, elles peuvent causer des dommages aux membranes cellulaires ou à l'activité enzymatique, ce qui peut réduire la croissance racinaire et la nutrition hydrique et minérale.

Dans le parc étudié, *Cordyla pinnata* semble agir comme isolant en protégeant le sol des radiations solaires qui augmentent la température du sol et provoquent des taux élevés de transmission de chaleur. L'élagage du tiers de la longueur de la cime de *Cordyla pinnata* pourrait être recommandé en combinaison avec D_{\max} dans le parc pour augmenter le niveau de production de cette culture.

Influence de *Cordyla pinnata* sur la qualité des récoltes

L'action de *Cordyla pinnata* ne s'est pas seulement limitée à son influence sur les propriétés physico-chimiques des sols et sur le rendement de l'arachide et du mil, mais la présence de l'espèce a légèrement modifié la richesse minérale (Tableau 2.6), donc la qualité des récoltes. Il semble que la durée d'exposition des cultures au soleil ait modifié la richesse en N, P, K et Mg des grains de mil (Tableau 2.6). Charreau et Vidal (1965) avaient observé que la teneur en Mg des feuilles de mil augmentait de 171% sous le couvert de *Acacia albida* par rapport à la valeur obtenue hors de son couvert, où la durée d'exposition des cultures au soleil était plus importante. Les auteurs n'avaient cependant pas étudié l'effet de l'orientation et de la taille du houppier sur la teneur en Mg des grains de mil. Si nous considérons le facteur ombrage qui est plus important sous le couvert de l'arbre, nos résultats confirment ceux obtenus par Charreau et Vidal (1965) pour de grands volumes de houppier et montrent la tendance à une réduction de la concentration en Mg des grains de mil avec une augmentation de la durée d'exposition des cultures au soleil.

La teneur en K des grains de mil a varié en fonction de l'interaction entre le volume de la cime et l'orientation. En moyenne, elle a semblé plus élevée à l'ouest des arbres où l'ombrage était plus important (Tableaux 2.6). Avec *Acacia albida*, la teneur en K des feuilles de mil et d'arachide avait également été plus élevée sous le couvert (plus ombragé) que hors du couvert (Charreau et Vidal, 1965; CTFT, 1986). Nos résultats montrent ainsi que la présence de *Cordyla pinnata* modifie les conditions micro environnementales des cultures associées, notamment la lumière interceptée par les cultures, les températures maximales au sol ainsi que le statut nutritif du sol, ce qui influe légèrement sur la qualité des récoltes.

Relations entre le rendement du mil, sa richesse minérale et la fertilité du sol

Une corrélation positive a lié le rendement du mil à la fertilité du sol. Van Duivenbooden et Cissé (1993) avaient également observé une relation linéaire positive entre la biomasse aérienne du mil et la fertilité (K, Ca et Mg échangeables) d'un sol ferrugineux tropical. Gill *et al.* (1995) avaient noté que la biomasse sèche du sorgho (*Sorghum vulgare*) et du mil était plus élevée sur les sols où la teneur en P assimilable (méthode Olsen) était plus importante, la concentration critique en P (méthode Bray) pour la production chez le mil étant de 11 mg P kg⁻¹ de sol et celle requise pour une production optimale étant de 15 mg (Doumbia *et al.*, 1992). La teneur en P assimilable du sol sous étude a été de 10,8 mg P kg⁻¹, soit la valeur critique obtenue par Doumbia *et al.* (1992) pour des sols ferrugineux tropicaux.

La corrélation entre le rendement du mil et la concentration en éléments des grains a également été significative. D'après Bouma (1983), cette relation est souvent curvilinéaire entre les variables individuelles de rendement et de fertilité mais peut également être linéaire ou la combinaison des deux. Hanson (1987) a observé des corrélations faibles mais significatives entre les teneurs en éléments du sol et celles du bleuet (*Vaccinium corymbosum*) pour P, K, Ca et Mg. Bien que ces relations puissent être affectées par plusieurs facteurs dont le stade de développement de la plante, les âges différents des tissus prélevés, l'âge de la plante et les interactions entre les éléments nutritifs et les facteurs de l'environnement (Bouma, 1983), la présente étude a montré d'une façon générale qu'une amélioration de la nutrition du mil se

traduit par une augmentation du rendement dans le parc à *Cordyla pinnata* étudié.

Les résultats obtenus dans cette étude suggèrent que *Cordyla pinnata* fertilise le sol sous-jacent par ses apports de litière (feuilles, branches, écorces, fruits et racines) et que l'espèce est plus compatible avec le mil qu'avec l'arachide. L'influence de la dose de litière de *Cordyla pinnata* sur le sol et la culture pourrait faire l'objet d'un essai biologique, ce qui permettrait d'étudier l'influence de la dose de litière de *Cordyla pinnata* dans le sol sur les deux cultures.

Relations entre le rendement de l'arachide et la fertilité du sol

Pour l'arachide, la corrélation entre le rendement et la fertilité du sol a été significative mais cependant plus faible que celle observée pour le mil. Il est probable que les variations des éléments dans le sol n'aient pas été suffisamment importantes pour l'arachide qui a semblé être plus exigeante que le mil. Cependant, P assimilable, Ca et Mg échangeables ont eu plus d'influence sur le rendement que les autres variables de fertilité. Borget (1989) avait aussi observé qu'un supplément de P était toujours positif pour l'arachide. Cet élément a une influence sur la quantité des nodosités, leur densité et sur le taux d'azote fixé par unité de poids de nodosités (Ndao, 1989). Par ailleurs, l'arachide est une culture qui a besoin d'une source constante de Ca durant la période de développement des gousses (Walker *et al.*, 1981) car le calcium constitue un élément important pour la production de grosses graines (Borget, 1989). L'essentiel de l'alimentation azotée de la plante provient de la fixation biologique de l'azote atmosphérique par des micro-organismes symbiotiques (*Rhizobium*) (van Rossum *et al.*, 1993).

L'augmentation des niveaux de matière organique accroît généralement la production de fanes d'arachide et réduit celle des gousses (Rodale Institute, 1989), ce qui est confirmé par nos résultats qui ont révélé une production de fanes plus élevée d'une part à proximité des grands volumes de houppier (Fig 2.7a) qui produisent plus de matière organique et d'autre part à R/2 (Fig 2.7b) où la teneur en carbone organique a été plus élevée qu'à 2R (Tableau 2.9).

En résumé, les résultats ont montré que sous le couvert de *Cordyla pinnata*, l'arachide était plus sensible à l'effet dépressif de l'ombrage de l'espèce qu'à son effet bénéfique sur la fertilité du sol et que l'élagage du tiers de la longueur de la cime, qui correspond à un éclaircissement relatif de 37% (sous le houppier), semblait augmenter les biomasses récoltées dans le parc.

Conclusion

Toutes les variables dendrométriques mesurées chez *Cordyla pinnata* ont étroitement été liées entre elles. Cependant, le diamètre du tronc au niveau de la première fourche a été le meilleur estimateur de la biomasse et de la surface foliaire ainsi que de toutes les variables dendrométriques de *Cordyla pinnata*.

Les teneurs en N total, P assimilable et CEC du sol ont été plus élevées sous le couvert de *Cordyla pinnata*. Il existe ainsi un gradient de fertilité allant de l'extérieur du couvert vers le tronc de l'arbre. Pourtant la proximité de l'arbre réduit significativement la masse unitaire des grains de mil ainsi que le rendement de l'arachide, probablement à cause de l'ombrage. Cette étude a ainsi permis de montrer que le gradient du rendement des cultures était opposé à celui de la fertilité du sol et que sous le couvert, d'autres facteurs ou leurs interactions ont eu plus de poids que la fertilité du sol sur la productivité des cultures.

À cause de la densité élevée de la voûte foliacée de *C. pinnata*, l'éclairement relatif sous le couvert de l'espèce ne représente environ que le quart de l'éclairement à plein découvert. Cependant l'étude a montré qu'un léger élagage (1/3 de la longueur de la cime) permet d'augmenter l'éclairement sous la cime à environ 40%, ce qui provoque une augmentation du rendement sous la cime et le maintien d'une bonne productivité à 1R et 2R du tronc.

L'étude montre, par contre, qu'un élagage intensif de tout le feuillage est associé à une réduction de la biomasse totale de l'arachide hors du couvert de l'arbre, probablement à cause de la suppression de l'ombrage qui atténuait les températures du sol à ces distances. Il est donc logique de penser que le système agricole sans arbres, toutes choses étant égales par ailleurs, devrait produire moins de biomasse totale (arachide) que le système qui intègre les ligneux.

Les faibles relations observées entre la teneur en éléments des cultures et celle du sol suggèrent que des facteurs autres que les nutriments ont eu un impact plus important dans l'alimentation et la richesse minérale des deux cultures. Enfin, les interactions entre l'élagage et d'autres facteurs comme la distance ou le volume du houppier ont modifié quelques variables de rendement des cultures comme la biomasse des gousses d'arachide et la biomasse totale du mil. L'étude des interactions entre arbres et cultures dans les systèmes à parc est nécessaire pour une bonne compréhension du fonctionnement et de la productivité de ces écosystèmes agroforestiers. Les recherches devraient cependant être plus orientées vers la modélisation des processus biophysiques qui influencent la productivité de ces écosystèmes.

Chapitre 3

Influence de la distance de prélèvement du sol de culture et de la dose de litière de *Cordyla pinnata* sur les cultures d'arachide et de mil

Résumé

Dans les parcs agroforestiers, la litière provenant des ligneux peut constituer un important moyen de transfert d'éléments des végétaux aux sols. La biomasse foliaire anhydre de *Cordyla pinnata* estimée à partir du diamètre à hauteur de poitrine (DHP), dans un parc agroforestier au sud du Bassin arachidier (Sénégal), était de 33,7 g m⁻² avec une moyenne de 82 kg arbre⁻¹ an⁻¹. La productivité du mil et de l'arachide sur des sols prélevés à différentes distances (R/2, 1R et 2R, R étant le rayon du houppier) de *Cordyla pinnata* et l'influence de différentes doses de litière (0, 39, 78, 156 kg / t de sol) de l'espèce sur le sol et les cultures ont été évaluées avec des bioessais. La hauteur et les biomasses aérienne, racinaire et totale du mil ont augmenté sur les sols prélevés à R/2 de *Cordyla pinnata*, par rapport aux valeurs obtenues à 2R, de même que la longueur des racines, la biomasse des tiges, des feuilles, des gousses, des racines et la biomasse totale de l'arachide. N total, Ca, Mg et K échangeables du sol ont augmenté avec la dose de litière. Par contre, plus la dose de litière du sol était élevée, plus la teneur en P assimilable était faible. La biomasse totale de l'arachide a été réduite par l'augmentation de la dose de litière du sol contrairement à la biomasse totale du mil qui a augmenté, atteignant cependant un maximum avec la dose de 39 kg de litière / t de sol. La teneur en K des feuilles d'arachide a également augmenté avec les apports de litière alors que les teneurs en N, P, K et Ca des grains de mil ont significativement fluctué avec la dose de litière. La litière de *Cordyla pinnata* montrait ainsi un potentiel certain pour modifier la fertilité des sols ferrugineux tropicaux et la qualité des produits récoltés.

3.1. Introduction

Dans les systèmes agroforestiers traditionnels, sans apport de fumures minérales, la matière organique est la principale source d'éléments nutritifs pour la production végétale. La chute de la litière provenant des arbres représente un important moyen de transfert d'éléments des végétaux aux sols (Rustad et Cronan, 1989). Sa minéralisation constituerait la principale source de nutriments pour la croissance des végétaux (Switzer et Nelson, 1972). Ces nutriments sont indispensables dans le cycle végétatif ou dans la reproduction des plantes. Cependant, l'absorption des éléments par les végétaux dépend non seulement de leur système racinaire, de la présence et de la disponibilité des éléments dans le sol, mais aussi de l'ensemble des facteurs externes tels que la température, la lumière et l'eau (Sauvageot, 1980).

L'absorption d'un ion donné est fortement influencée par la concentration de cet ion dans la solution du sol et par la présence simultanée d'autres ions (Mazliak, 1974). Les variations dans la concentration minérale des plantes peuvent être dues à plusieurs facteurs dont la variété au sein des espèces, le sol, le taux de croissance, la partie prélevée sur le végétal, son âge et sa position (exposition au soleil ou non, orientation, hauteur) (Thakur *et al.*, 1981). Les déficiences en éléments dans la plante peuvent ainsi être en relation directe, mais également indépendantes, de leur disponibilité dans le sol, et elles sont souvent l'expression d'un rapport défavorable dans le sol, affectant l'adsorption, la distribution et la possibilité de mutuelles interactions dans le végétal (Préval *et al.*, 1984). Beaucoup d'auteurs estiment que les équilibres ioniques du sol sont plus importants que les concentrations absolues des éléments individuels (Steele *et al.*, 1981; Ingestad et Lund, 1986). Selon Duchaufour (1994), il est essentiel d'avoir un équilibre nutritionnel entre les cations bivalents (Ca, Mg) et monovalents (K). Les rapports entre les cations échangeables Mg/K et Ca/K, au sein du complexe absorbant, doivent rester entre certaines limites. L'excès d'un des cations (Ca, Mg ou K) peut provoquer un phénomène d'antagonisme à l'égard des autres.

L'étude de la vitesse de décomposition de la litière a été effectuée par plusieurs auteurs (Dabemire et Prusso, 1963; Fogel et Cromack, 1977; Gloaguen et Touffet, 1980, 1982) et des modèles quantitatifs ont été développés à cet égard (Aber *et al.*, 1982; Goubière et Corman, 1987; Parton *et al.*, 1988). Quelques études ont été effectuées dans la zone tropicale sèche (Singh, 1969; Gaur et Pandey, 1978; Singh et Gupta, 1978; Pandey *et al.*, 1980). L'approche la plus utilisée évalue la perte en masse du matériel en décomposition (Falconer *et al.*, 1933; Lunt, 1933; Witkamp et Crossley, 1966; St John, 1980; Whitford *et al.*, 1981; Will *et al.*, 1983; Wallace et Freedman, 1986; Goubière et Corman, 1987; Pillers et Stuart, 1993). Durant le processus de décomposition, la masse mais également les caractéristiques biochimiques de la litière change avec le temps (Swift *et al.*, 1979; Berg et Staaf, 1980; Taylor *et al.*, 1989). La perte de masse est non seulement la conséquence d'un processus de décomposition microbologique mais aussi celle de processus physiques et chimiques (Yin *et al.*, 1989).

La vitesse de décomposition varie suivant plusieurs facteurs dont le climat (Jensen, 1974; Bunnell *et al.*, 1977; Meentemeyer, 1978; Ruel *et al.*, 1988), l'humidité, la température (Kononova, 1961; Witkamp, 1966; Lousier et Parkinson, 1976; Fogel et Cromack, 1977; Edmonds, 1979; *et al.*, 1980; Edmonds, 1980; Moore, 1986) et la fertilité du sol (Witkamp et Van Der Drift, 1961), mais aussi suivant la nature du matériel en décomposition. La teneur initiale en azote (Fogel et Cromack, 1977; Meentemeyer, 1978; Mangenot, 1980; Melillo *et al.*, 1982; Gholz *et al.*, 1985; Berg, 1988; Taylor *et al.*, 1989; Palm et Sanchez, 1990, 1991; Szott *et al.*, 1991; Stöckli, 1991; Hendricks et Boring, 1992), phosphore (Taylor *et al.*, 1989; Palm et Sanchez, 1990, 1991; Szott *et al.*, 1991; Stöckli, 1991), lignine (Meentemeyer, 1978; Melillo *et al.*, 1982; Berg, 1988; White *et al.*, 1988; Palm et Sanchez, 1990, 1991; Szott *et al.*, 1991; Stöckli, 1991; Hendricks et Boring, 1992), tanins (Davis *et al.*, 1964a, 1964b), le rapport C/N (Edmonds, 1980; Berg et Staaf, 1981; Berg et Ekbohm, 1983), l'activité biologique (Vogt et Edmonds, 1980), l'âge du peuplement (Edmonds, 1979; Gholz *et al.*, 1985) et l'espèce (Morris *et al.*, 1982) peuvent être déterminants dans le processus de décomposition.

L'importance de la matière organique dans les sols ferrugineux tropicaux a été évoquée dans plusieurs études effectuées dans le Sahel (Piéri, 1989; Rodale Institute, 1989), mais les études relatives à la contribution de la litière foliaire au fonctionnement écologique des parcs agroforestiers de cette zone sont rares sinon inexistantes. Ces systèmes agroforestiers traditionnels représentent les systèmes d'utilisation des terres les plus utilisés et les plus étendus dans les pays sahéliens. Au Sénégal, le parc à *Cordyla pinnata*, situé dans le Bassin arachidier, constitue un exemple de ces systèmes. Dans cette zone qui occupe le tiers du territoire national et produit 75% de l'arachide (principale culture de rente) et 80% du mil (principale culture vivrière) et du sorgho (*Sorghum vulgare*) (AFRENA, 1990), *Cordyla pinnata* est associée, dans la partie sud, à la culture de l'arachide en rotation annuelle avec le mil. L'espèce développe une cime relativement importante et très dense qui pourrait produire une importante quantité de matière organique (litière foliaire) en plus de celle des branches, racines, fruits et écorce. Les cultures associées situées sous le couvert de l'espèce pourraient ainsi bénéficier d'une quantité plus importante de nutriments, après la minéralisation de cette matière organique, que celles qui se trouvent hors de son couvert. L'ICRAF (International Centre for Research in Agroforestry) de concert avec les pays membres du Programme AFRENA (Agroforestry Research Networks for Africa) avait retenu les parcs agroforestiers comme une priorité de la recherche agroforestière pour la région semi-aride d'Afrique de l'Ouest (ICRAF, 1995).

La présente étude se propose d'évaluer la production foliaire de *Cordyla pinnata* dans un parc arboré et d'étudier, d'une part, l'influence de la distance de prélèvement du sol (par rapport au tronc de *Cordyla pinnata*) sur le rendement du mil et de l'arachide et, d'autre part, celle de la dose de litière de l'espèce sur le sol et sur les deux cultures précitées (rendement et richesse minérale), à travers deux essais biologiques menés en pépinière.

Les hypothèses suivantes ont ainsi été testées: 1) la productivité du mil et de l'arachide diminue avec la distance de prélèvement des sols de cultures par rapport à *C. pinnata*; 2) la quantité de litière de *C. pinnata* modifie les propriétés physico-chimiques des sols de cultures

3) le rendement et la teneur en éléments minéraux du mil et de l'arachide augmentent avec la dose de litière de *C. pinnata* dans le sol; et 4) des relations étroites lient les variables de fertilité du sol, de rendement et de teneur en éléments des cultures.

3.2. Matériel et méthodes

3.2.1. Site de l'étude

L'étude a été réalisée au Sénégal, dans le village de Darou Keur Balla localisé dans le département de Nioro (Figure 1.1), approximativement à 14° N et 16° O. Le village couvre environ 100 ha. Les sols, dont la structure est peu développée et instable, appartiennent à la catégorie des sols ferrugineux tropicaux lessivés. Leur capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs est très réduite.

Cette région appartient au climat soudano-sahélien qui est caractérisé par deux saisons nettement distinctes: la saison sèche (7 à 8 mois) et la saison des pluies (4 à 5 mois). La moyenne des précipitations annuelles est d'environ 750 mm à Nioro, situé à 30 km au sud de Darou Keur Balla. La végétation est composée de plusieurs espèces avec une prédominance de *Cordyla pinnata*. Les autres espèces sont dans des proportions moindres et très variées.

3.2.2. Biomasse foliaire produite dans le parc à *Cordyla pinnata*

La biomasse foliaire de *Cordyla pinnata* a été évaluée en défeuillant 18 arbres appartenant à trois classes de volume de houppier (< 300 m³ ou petit, entre 300 et 600 m³ ou moyen, > 600 m³ ou grand), à raison de six arbres par classe de volume de houppier. Le volume du houppier a été calculé sur la base d'une sphère: $V = 2/3 [(Dh1 + Dh2 + Lh) / 6]^3$, où Dh1 et Dh2 représentaient les diamètres du houppier suivant les directions est-ouest et nord-sud et Lh sa longueur. Des échantillons de feuilles ont été prélevés puis séchés (85 °C pendant 24 h) pour détermination de la masse anhydre.

Une analyse de variance a été effectuée sur la biomasse foliaire produite en fonction de la catégorie de volume du houppier. La biomasse foliaire de *C. pinnata* dans le parc a été estimée à partir de la relation allométrique (Tableau 2.3) établie entre la biomasse foliaire (kg) et le diamètre (cm) à hauteur de poitrine (DHP):

$$\text{Biomasse foliaire} = 0,0280 \cdot \text{DHP}^{2,03}$$

La biomasse foliaire totale de *C. pinnata* produite dans le parc a été estimée en appliquant ce modèle aux 413 arbres de l'espèce.

3.2.3. Influence de la distance de prélèvement du sol de culture sur le rendement du mil et de l'arachide

Des plants de mil et d'arachide ont été cultivés (durant trois et quatre mois respectivement) en pépinière dans des sachets de polyéthylène (30 cm de long x 22 cm de large) remplis de sols prélevés à différentes distances de *Cordyla pinnata*. L'objectif de cet essai était de mettre en évidence des différences au niveau de la croissance et de la biomasse des plants produits si des différences de fertilité existaient au niveau des sols prélevés.

Les sols ont été prélevés au début de la saison des pluies (mai 1994) avant les semis, dans les parcelles paysannes, suivant quatre orientations (est, ouest, nord, sud), à l'aide d'une tarière et à la profondeur de 0-20 cm. Ils ont ensuite été mélangés pour former un échantillon composite par arbre et pour chacune des trois distances de prélèvement (R/2, 1R, 2R des troncs de *Cordyla pinnata*, R représentant le rayon du houppier) qui constituaient les trois traitements du dispositif expérimental.

Quarante-cinq plants de chacune des deux cultures (mil et arachide) ont été produits par traitement, soit 270 sachets au total (45 plants x 3 distances x 2 cultures). Les variables suivantes ont été mesurées pour le mil: la biomasse anhydre (85 °C pendant 24 h) des parties aérienne et racinaire, la longueur de la partie aérienne ainsi que la longueur maximale de la racine. Pour l'arachide, la longueur des parties aérienne et souterraine, la largeur moyenne de la partie aérienne (ou étalement), la biomasse totale anhydre (85 °C pendant 24 h) et la biomasse anhydre des parties aérienne et souterraine ont été évaluées. Les mesures ont été effectuées sur tous les plants qui représentaient chacun une répétition. Les variables de croissance des cultures ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée en cm. Les biomasses

des cultures ont été pesées au milligramme près avec une balance de précision.

Le test de Bartlett (Bartlett, 1947) a permis de vérifier l'homogénéité des variances. Des transformations logarithmiques ont été effectuées sur les biomasses aérienne et totale de l'arachide pour rendre les variances homogènes. Une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée pour vérifier l'existence ou non de différences significatives entre les traitements (constitués par les trois distances au tronc de *C. pinnata*). Une analyse par les contrastes à posteriori a ensuite été réalisée pour étudier la nature des effets des traitements et leur niveau de signification. Une analyse de corrélation a permis d'étudier les relations linéaires entre les variables de rendement des cultures et les variables de fertilité du sol. Le coefficient R de Pearson a servi d'indice de pronostic de la relation entre les variables. Le seuil de signification a été fixé à 5% pour l'ANOVA, les contrastes à posteriori et la corrélation.

3.2.4. Influence de la dose de litière de *Cordyla pinnata* sur le sol, le rendement et la concentration en éléments du mil et de l'arachide

L'essai a été conduit en pépinière, en ajoutant de la poudre de litière de *Cordyla pinnata* à un sol ferrugineux tropical. L'objectif était de faire varier la quantité de litière (de *Cordyla pinnata*) dans des sols de culture et d'étudier l'effet (1) sur le rendement des cultures (mil et arachide) et (2) sur le statut nutritif de ces sols. La litière a été collectée 2 à 3 semaines après la chute des feuilles, entre février et mars 1994, grâce à des pièges constitués par des filets en nylon à mailles de 1 cm de côté, installés autour de 9 arbres avec un rayon qui égalait deux fois le diamètre des houppiers.

La litière a été broyée, réduite en poudre (maille de 1 mm) et incorporée au sol suivant quatre doses qui constituaient les traitements: un témoin (sans apport ou D0), 39 kg de litière / t de sol (D39), 78 kg de litière / t de sol (D78) et 156 kg de litière / t de sol (D156). Les mélanges ont été humidifiés (40 L d'eau / 5 jours en moyenne) et retournés périodiquement (tous les 5 jours) pendant deux mois dans l'optique d'accélérer les processus d'humification et de minéralisation de la litière. Des fosses en ciment de 1,70 m x 1,50 m x 1,50 m ont servi de

cadre pour effectuer ces opérations. Après chaque arrosage suivi d'un retournement du mélange, les fosses étaient recouvertes avec des bâches. Durant cette période (juin-juillet), la température ambiante a varié entre 30 et 33 °C. Au préalable, la litière a été caractérisée et était composée à 39,7% de lignine et 23,7% de celluloses brutes. Elle contenait en moyenne 0,85% N, 0,16% P et 0,66% K et avait un pH de 4,7.

Après deux mois, les substrats ont été caractérisés pour le pH (eau) et les teneurs en carbone organique, azote total, phosphore assimilable, bases échangeables (calcium, magnésium, potassium) et la capacité d'échange cationique. Les méthodes d'analyse sont les mêmes que celles décrites dans le chapitre 2. Le dispositif expérimental de cette partie relative au sol était complètement aléatoire et comportait quatre répétitions de chaque dose de litière.

Des sachets en polyéthylène (30 cm de long x 22 cm de large) ont ensuite été repotés avec les mélanges de sol et de litière. L'arachide et le mil ont été semés dans les sachets, à raison de 45 sachets par traitement (D0, D39, D78 et D156) et par type de culture (mil et arachide), soit 360 sachets au total. Le dispositif expérimental était le même que celui décrit précédemment.

Après une période de croissance de trois et quatre mois respectivement pour le mil et l'arachide, les variables suivantes ont été mesurées pour le mil: la biomasse sèche (85 °C pendant 24 h) de la partie aérienne, la biomasse sèche des graines, la biomasse sèche de la partie racinaire, la biomasse sèche totale, la longueur des épis et la hauteur à maturité. Pour l'arachide, la longueur maximale des parties aérienne et souterraine, la largeur de la partie aérienne (ou étalement) mesurée perpendiculairement à la ligne de semis, la biomasse sèche des parties aérienne et souterraine ainsi que la biomasse totale sèche ont été évaluées. Les mesures ont été effectuées sur tous les plants (45 par traitement) qui représentaient chacun une répétition.

Les concentrations en N, P, K, Ca et Mg des grains de mil ainsi que celles des feuilles et graines d'arachide ont été déterminées. Quatre échantillons, de chaque type d'organe, par traitement ont été utilisés pour les analyses, pour chacune des deux cultures. La destruction de la matière organique a été effectuée par combustion en présence d'air et la dissolution des cendres dans des acides qui rendent solubles les éléments minéraux. Les réactifs utilisés étaient des mélanges de HCl concentré et de HNO₃ concentré. N total a été déterminé par la méthode Kjeldahl, P par colorimétrie, K par émission de flamme et Ca et Mg par la méthode de titrimétrie par l'EDTA.

L'analyse statistique a consisté en une analyse de variance suivie d'une analyse par les contrastes à posteriori pour étudier la nature des effets et leur niveau de signification. Dans un souci de simplifier l'interprétation des résultats, seuls les effets linéaires et quadratiques ont été étudiés. Le seuil de signification a été fixé à 5%. Au préalable, le test de Bartlett (Bartlett, 1947) a permis de vérifier l'homogénéité des variances. Des transformations logarithmiques ont été effectuées sur la somme des bases échangeables (S), sur les rapports C/N, Mg/K, Ca/K et Ca/Mg et sur les biomasses aérienne et totale de l'arachide. La transformation arc sinus (sqrt) a été utilisée (Anderson et McLean, 1974) pour le taux de saturation en bases échangeables. Ces transformations de variables ont permis d'homogénéiser les variances et d'améliorer leur additivité et la normalité de l'erreur.

3.2.5. Relations entre la fertilité du sol, le rendement et la teneur en éléments des cultures

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de regrouper certaines variables de rendement du mil et de l'arachide en composantes de rendement (pour chacune des deux cultures) qui étaient des combinaisons linéaires des variables retenues. L'ACP a également été utilisée pour regrouper certaines variables de fertilité des sols de culture en composantes de fertilité du sol qui constituaient des combinaisons linéaires de ces variables de nutrition. La même opération a été effectuée avec la teneur en éléments des grains de mil avec la création de composantes de la teneur en éléments des grains. Une analyse de corrélation, pour chacune des deux cultures, a ensuite été effectuée entre les variables d'origine, les

composantes de rendement, de fertilité du sol et de teneur en éléments des organes étudiés.

L'analyse par la corrélation canonique (CANCORR) a été utilisée (avec les variables d'origine) pour étudier les relations entre les propriétés chimiques du sol et la concentration en éléments des grains de mil. Cette dernière technique statistique d'analyse multivariée permet de comparer deux groupes de données, chaque groupe étant composé de plusieurs variables. La procédure CANCORR permet aussi d'obtenir une combinaison linéaire (ou variable canonique) de chaque groupe de telle sorte que la corrélation entre les deux variables canoniques soit maximisée (SAS, 1988). Les variables d'origine de la teneur en éléments (N, P, K, Ca, Mg) des organes (graines et feuilles d'arachide) et du rendement de l'arachide (hauteur, étalement, biomasse aérienne, biomasse souterraine et rapport biomasse des gousses / biomasse des fanes) et de la fertilité ont été soumises à la procédure CANCORR pour étudier les relations entre ces trois groupes de variables. L'analyse a été effectuée à l'aide du logiciel SAS. Le seuil de signification a été fixé à 5%.

3.3. Résultats

3.3.1. Biomasse foliaire produite par *Cordyla pinnata* dans le parc

La biomasse foliaire anhydre de *Cordyla pinnata* a augmenté ($p < 0,0001$, linéaire et $p = 0,012$, quadratique) avec le volume du houppier passant de 39 à 70 et 127 kg arbre⁻¹, respectivement pour les petits, moyens et grands volumes de houppier. La biomasse foliaire moyenne estimée à partir de la relation allométrique entre la biomasse foliaire et le diamètre à hauteur de poitrine (Tableau 2.3) a été de 82 kg par arbre. La biomasse foliaire totale produite annuellement dans le parc était de 33,7 g m⁻².

3.3.2. Productivité du mil suivant la distance de prélèvement du sol

L'influence de *C. pinnata* sur les propriétés du sol, en fonction de la distance au tronc (ou de prélèvement) a été étudiée au chapitre 2. La longueur maximale des racines du mil n'a pas varié en fonction de la distance de prélèvement du sol de culture ($p = 0,088$). La longueur de la partie aérienne ($p = 0,008$, linéaire; $p = 0,007$, quadratique; Figure 3.1a), la biomasse aérienne ($p = 0,025$, linéaire; Figure 3.1b) et la biomasse des racines ($p = 0,036$, quadratique; Figure 3.1c) des plants cultivés sur le sol prélevé à R/2 de *C. pinnata* ont respectivement augmenté de 39, 111 et 61% par rapport à ceux cultivés sur le sol prélevé à 2R. Par conséquent, la biomasse totale du mil a augmenté de 90% sur le sol prélevé à R/2 comparé à 2R ($p = 0,0363$, linéaire; Figure 3.1d). La longueur de la partie aérienne et la biomasse des racines des plants ont par contre respectivement été significativement réduites (Fig. 3.1) de 13 et 19% sur le sol prélevé à 1R par rapport à 2R.

3.3.3. Productivité de l'arachide suivant la distance de prélèvement du sol

Hauteur de l'arachide - Après quatre mois, la hauteur n'a pas varié entre les plants d'arachide cultivés sur les sols prélevés à 2R (13,9 cm) et R/2 (14,0 cm) de *C. pinnata*; elle a toutefois été 9% supérieure sur le sol collecté à 1R (15,2 cm) ($p = 0,030$, quadratique; Figure 3.2a). La longueur des racines des plants a respectivement augmenté ($p < 0,0001$, linéaire; Figure 3.2a) de 33 et 12% sur les sols prélevés à R/2 (48,7 cm) et 1R (40,9 cm) du tronc de *C.*

Mil

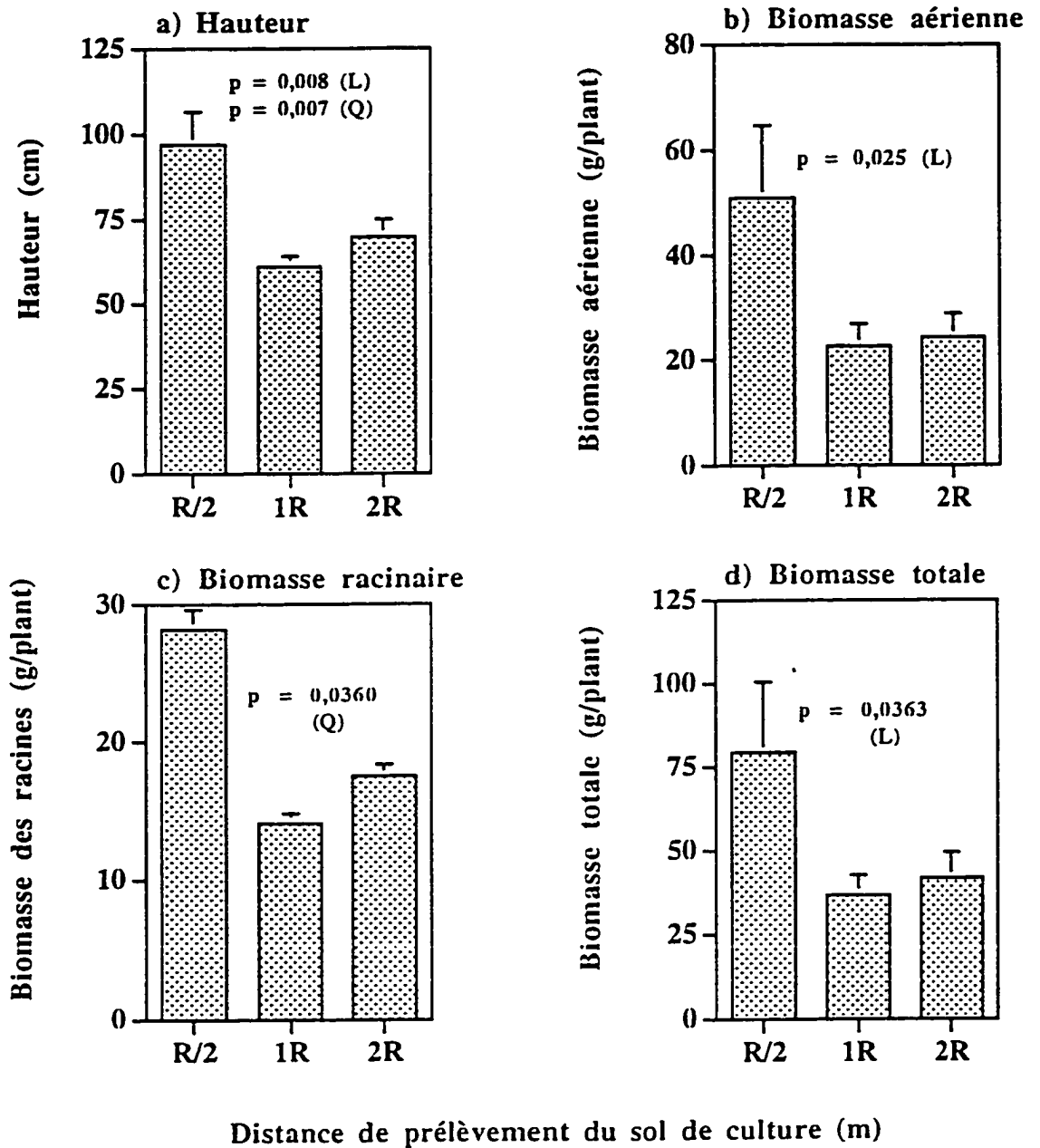
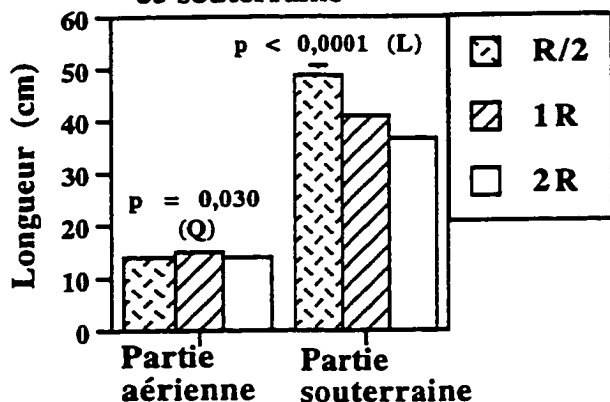


Fig. 3.1. Influence de la distance de prélèvement du sol de culture par rapport au tronc de *Cordyla pinnata* (R/2, 1R, 2R) sur les variables a) hauteur (cm), b) biomasse aérienne (g plant⁻¹), c) biomasse racinaire (g plant⁻¹) et d) biomasse totale (g plant⁻¹) des plants de mil.

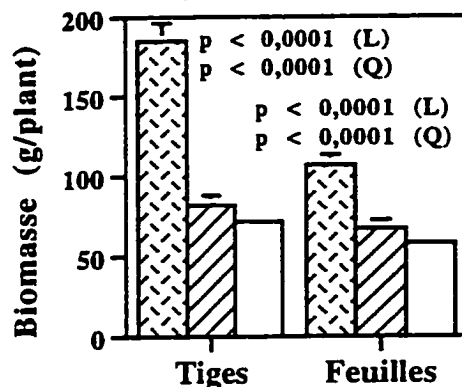
Fig. 3.2. Pour l'arachide, influence de la distance de prélèvement du sol de culture par rapport au tronc de *Cordyla pinnata* sur a) la longueur (cm) des parties aérienne ($p = 0,030$, quadratique) et souterraine ($p < 0,0001$, linéaire), b) les biomasses (g plant^{-1}) des tiges ($p < 0,0001$, linéaire; $p < 0,0001$, quadratique), des feuilles ($p < 0,0001$, linéaire; $p = 0,008$, quadratique), c) des racines ($p = 0,020$, linéaire; $p = 0,053$, quadratique), des gousses ($p = 0,001$), d) de la biomasse totale ($p < 0,0001$, linéaire; $p < 0,0001$, quadratique) ainsi que sur e) le rapport entre les biomasses des fanes et des gousses ($p = 0,0370$, linéaire) et entre celles des tiges et des feuilles ($p < 0,0001$, linéaire; $p < 0,0001$, quadratique).

ARACHIDE

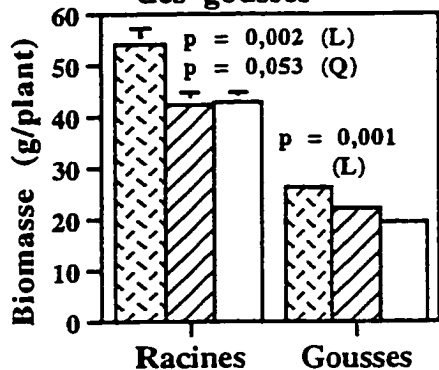
a) Longueur des parties aérienne et souterraine



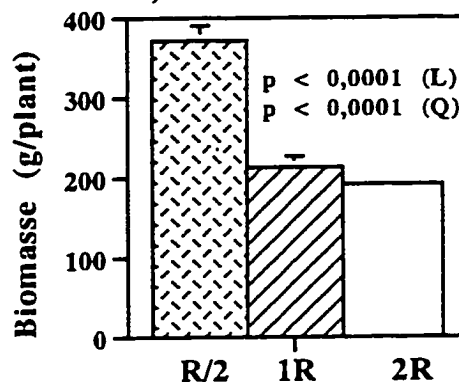
b) Biomasse des tiges et des feuilles



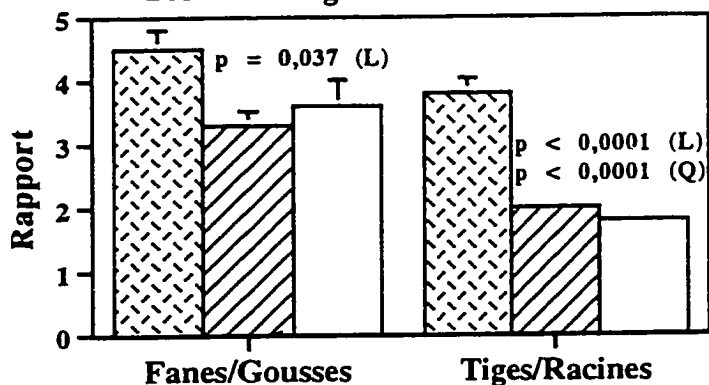
c) Biomasse des racines et des gousses



d) Biomasse totale



**e) Biomasse fanes / Biomasse gousses
Biomasse tiges / biomasse racines**



pinnata par rapport à celle des plants cultivés sur le sol prélevé à 2R (36,6 cm). La longueur totale (partie aérienne + partie racinaire) des plants a augmenté avec une réduction de la distance de prélèvement des sols de culture, passant de 50,6 cm sur le sol prélevé à 2R à 56,2 et 62,8 cm respectivement à 1R et R/2, soit des augmentations respectives de 11 et 24% ($p < 0,0001$, linéaire).

Biomasse de l'arachide - Les biomasses des tiges ($p < 0,0001$, linéaire; $p < 0,0001$, quadratique; Figure 3.2b), des feuilles ($p < 0,0001$, linéaire; $p < 0,008$, quadratique; Figure 3.2b), gousses ($p < 0,001$, linéaire; Figure 3.2c) et des racines ($p = 0,002$, linéaire; $p = 0,053$, quadratique; Figure 3.2c) des plants d'arachide ont augmenté avec la proximité de la distance de prélèvement du sol. Par conséquent, la biomasse totale des plants a augmenté de 11% de 2R (192 g plant⁻¹) à 1R (213 g plant⁻¹) et de 94% de 2R à R/2 (372 g plant⁻¹) ($p < 0,0001$, linéaire; $p < 0,0001$, quadratique; Figure 3.2d).

Le rapport entre la biomasse des fanes d'arachide (tiges + feuilles) et celle des gousses n'a pas significativement varié entre les plants cultivés sur les sols prélevés à 2R (3,6) et 1R (3,3). Elle a par contre augmenté sur le sol prélevé à R/2 (4,5) comparé aux deux autres distances de prélèvement ($p = 0,037$, linéaire; Figure 3.2e). Le rapport entre la biomasse des tiges et celle des racines des plants d'arachide a augmenté de 2R à 1R et R/2, passant de 1,8 à 2,0 et 3,8 respectivement ($p < 0,0001$, linéaire et $p < 0,0001$, quadratique; Figure 3.2e).

En somme, toutes les variables mesurées sur les plants des deux cultures ont été plus élevées sur les sols prélevés à R/2 du tronc de *C. pinnata*, probablement à cause de leur statut nutritif plus élevé (Tableau 2.5).

3.3.4. Corrélations entre le rendement des cultures et la fertilité du sol

Arachide - La longueur maximale de la partie souterraine ($R = 0,558$; $p = 0,059$), la longueur totale ($R = 0,643$; $p = 0,024$), la biomasse aérienne ($R = 0,603$; $p = 0,038$), la biomasse totale ($R = 0,563$; $p = 0,056$) et les ratios biomasse des feuilles / biomasses des gousses ($R = 0,585$;

$p = 0,046$) et biomasse aérienne (feuilles + tiges) / biomasse souterraine ($R = 0,679$; $p = 0,015$) des plants ont positivement été corrélés à la teneur en phosphore assimilable des sols de culture. La biomasse des gousses a négativement été corrélée au rapport N/K ($R = - 0,602$; $p = 0,0382$).

La corrélation canonique entre la fertilité du sol (N total, P assimilable, K, Ca et Mg échangeables, la CEC et le pH) et le rendement de l'arachide (longueur et biomasse des parties aérienne et souterraine et le diamètre au collet) a été significative ($R_c = 1,00$; $p < 0,0001$). Les coefficients de corrélation entre les variables d'origine de fertilité du sol et la variable canonique de rendement ont respectivement été de 0,633, 0,500 et 0,489 pour N total, Mg échangeable et P assimilable. L'analyse canonique de redondance a révélé que 14% de la variance standardisée du rendement de l'arachide a été expliquée par la variable canonique de fertilité du sol alors que 17% de la variance standardisée de la fertilité du sol était expliquée par la variable canonique de rendement.

Hauteur du mil - Fertilité du sol - La longueur de la partie aérienne des plants a négativement été corrélée à la teneur en carbone organique ($R = - 0,552$; $p = 0,063$) et aux rapports N/P ($R = - 0,711$; $p = 0,010$), N/Ca ($R = - 0,547$; $p = 0,066$) et N/K ($R = - 0,611$; $p = 0,035$) du sol. La longueur totale a également diminué avec l'augmentation du rapport N/Ca ($R = - 0,543$; $p = 0,068$).

Biomasse du mil - Fertilité du sol - Les biomasses souterraine (BS) et totale (BT) des plants étaient corrélées (1) positivement à la teneur en potassium échangeable du sol de culture ($R = 0,717$; $p = 0,009$ pour BS et $R = 0,699$; $p = 0,011$ pour BT) et (2) négativement à N/K ($R = - 0,650$; $p = 0,022$ pour BS et $R = - 0,747$; $p = 0,005$ pour BT). La biomasse aérienne des plants était négativement corrélée à la teneur en carbone organique du sol ($R = - 0,551$; $p = 0,063$) et à N/K ($R = - 0,623$; $p = 0,030$). Le ratio biomasse aérienne / biomasse souterraine des plants était négativement corrélé au pH (eau) du sol ($R = - 0,585$; $p = 0,046$).

La corrélation canonique entre la fertilité du sol (N total, P assimilable, K, Ca et Mg échangeables, N/P, N/Ca et le pH) et le rendement du mil (longueur totale, biomasse des parties aérienne et souterraine et le ratio longueur partie aérienne / longueur partie souterraine) a été significative ($R_c = 1,00$; $p < 0,0001$). Les coefficients de corrélation canonique entre les variables d'origine de fertilité du sol et la première variable canonique de rendement du mil ont respectivement été de 0,542 et 0,385 pour le rapport N/Ca et l'azote total. L'analyse canonique de redondance a révélé que 34% de la variance standardisée du rendement du mil a été expliquée par la variable canonique de fertilité alors que la variable canonique du rendement du mil n'expliquait que 6% de la variance standardisée de la fertilité du sol.

3.3.5. Influence de la dose de litière de *Cordyla pinnata* sur le rendement de l'arachide

Hauteur - Après quatre mois, la dose de litière de *C. pinnata* dans le sol de culture a eu un effet significatif sur la hauteur des plants ($p = 0,003$, linéaire et $p = 0,009$, quadratique; Figure 3.3a) et sur leur croissance latérale (ou étalement) avec des maxima à D39 (17,6 et 28,4 cm respectivement pour la hauteur et l'étalement). La croissance en hauteur des plants a été inhibée (- 29%) lorsque la dose de litière est passée de D39 à D156 alors que l'étalement était réduit de 40% par rapport au témoin par la dose D156 (14,3 cm) ($p < 0,0001$, linéaire et $p < 0,0001$, quadratique; Figure 3.3a).

Biomasse - La biomasse aérienne des plants a augmenté de D0 (19,0 g plant⁻¹) à D39 (20,3 g plant⁻¹) et diminué de D0 à D78 (17,7 g plant⁻¹) et de D0 à D156 (14,5 g plant⁻¹) ($p < 0,0001$, linéaire; Figure 3.3b). La biomasse souterraine des plants a été réduite par les apports de litière, passant de 42,1 g plant⁻¹ avec D0 à 34,1, 35,4 et 28,9 g plant⁻¹ à D39, D78 et D156 respectivement ($p < 0,0001$, linéaire; Figure 3.3b). En réponse à la diminution de la biomasse racinaire, la biomasse totale de l'arachide a été moins élevée avec les apports que sans les apports de litière ($p < 0,0001$, linéaire; Figure 3.3b) avec des moyennes respectives de 61,1, 54,4, 53,1 et 43,4 g plant⁻¹ pour D0, D39, D78 et D156.

ARACHIDE

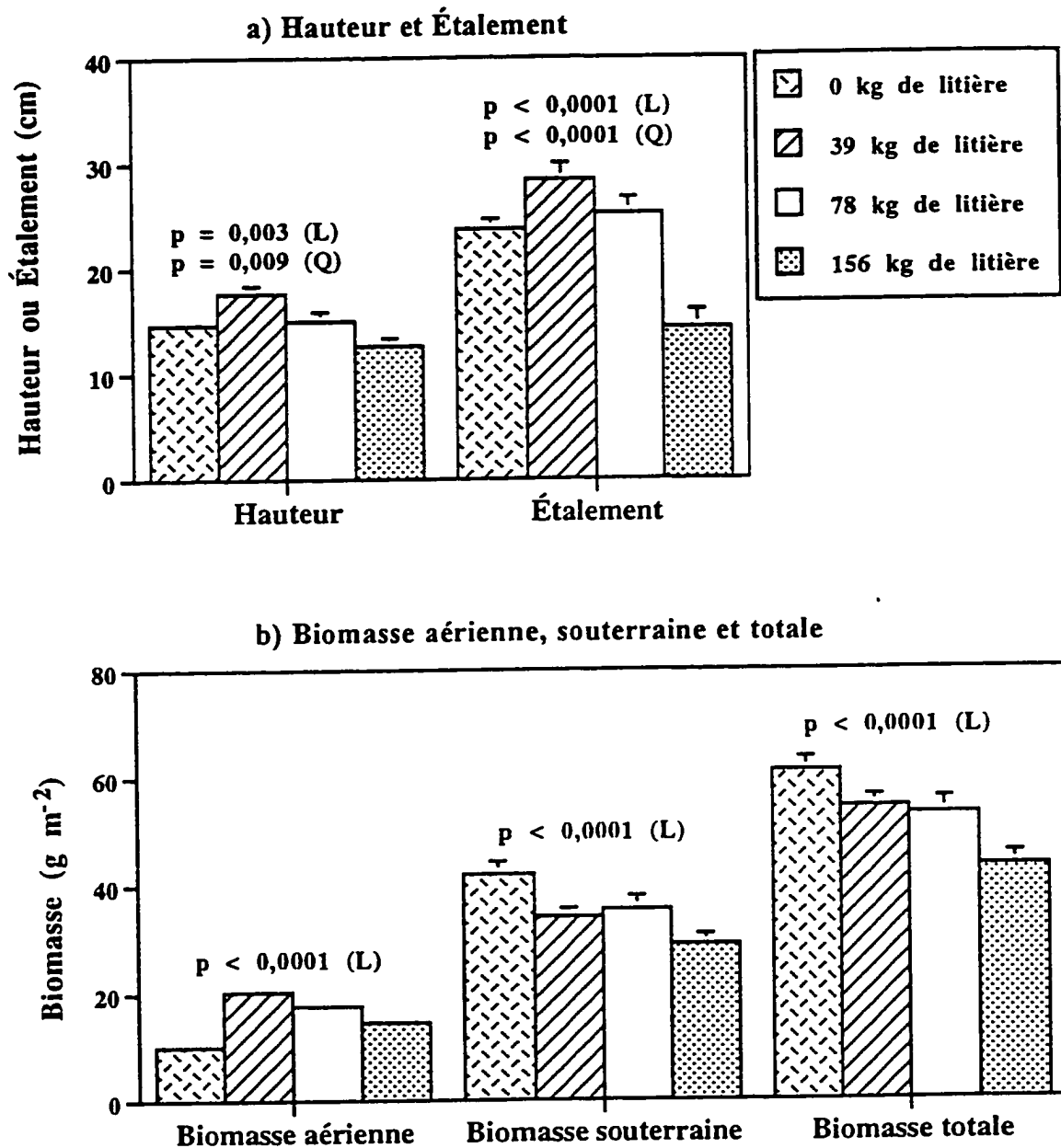


Fig. 3.3. Pour l'arachide, influence de la dose de litière de *Cordyla pinnata* (témoin sans apport ou D0, 39 kg de litière / t de sol ou D39, 78 kg de litière / t de sol ou D78 et 156 kg de litière / t de sol ou D156) (n = 45) sur a) la hauteur (cm) à 4 mois (p = 0,003, linéaire; p = 0,009, quadratique), l'étalement (cm) (p < 0,0001, linéaire; p < 0,0001, quadratique) et b) les biomasses (g plant⁻¹) aérienne (p < 0,0001, linéaire), souterraine (p < 0,0001, linéaire) et totale (p < 0,0001, linéaire).

3.3.6. Influence de la dose de litière de *Cordyla pinnata* sur les plants de mil

Hauteur - À la fin de la période de croissance (3 mois), l'effet de la dose de litière du sol de culture a été significatif sur la hauteur des plants ($p < 0,0001$, linéaire et $p < 0,0001$, quadratique; Figure 3.4a) qui a augmenté de D0 (53,9 cm) à D39 (142,9 cm) et de D0 à D78 (95,6 cm); par rapport à D0, la hauteur des plants a été réduite de 21% lorsque la dose de litière a atteint D156 (42,8 cm).

La longueur des tiges de mil a augmenté de 135% de D0 (45,5 cm) à D39 (107,0 cm) et de 61% de D0 à D78 (73,3 cm); elle a diminué de 25% par rapport à D0 lorsque la dose a atteint D156 (43,2 cm) ($p < 0,0001$, linéaire et $p < 0,0001$, quadratique). Une élongation de 327% de la longueur des épis de mil a été observée de D0 (8,4 cm) à D39 (35,0 cm) et de 165% de D0 à D78 (22,3 cm); le gain était nul par rapport à D0 avec la dose D156 (8,5 cm) ($p = 0,0007$, linéaire et $p < 0,0001$, quadratique).

Biomasse - L'effet de la dose de litière du sol de culture a été significatif sur les biomasses grains ($p = 0,012$, linéaire et $p < 0,0001$, quadratique; Figure 3.4b) et tiges ($p = 0,008$, linéaire et $p < 0,0001$, quadratique; Figure 3.4c) de mil qui ont été plus élevées avec les apports que sans les apports de litière, avec des maxima atteints avec D39. Par conséquent, la biomasse totale du mil a suivi la même tendance, passant de 11,2 à 196, 21,5 et 16,5 g plant⁻¹ pour D0, D39, D78 et D156 respectivement ($p = 0,005$, linéaire et $p < 0,0001$, quadratique; Figure 3.4d).

En résumé, la longueur des tiges, la longueur des épis et la longueur totale du mil n'ont diminué par rapport à D0 que lorsque la dose de litière a atteint D156. La biomasse des graines, la biomasse des tiges et la biomasse totale ont cependant augmenté par rapport à D0, quelle que soit la dose de litière dans le sol. La valeur de toutes les variables étudiées pour le mil a été plus élevée avec la dose D39.

MIL

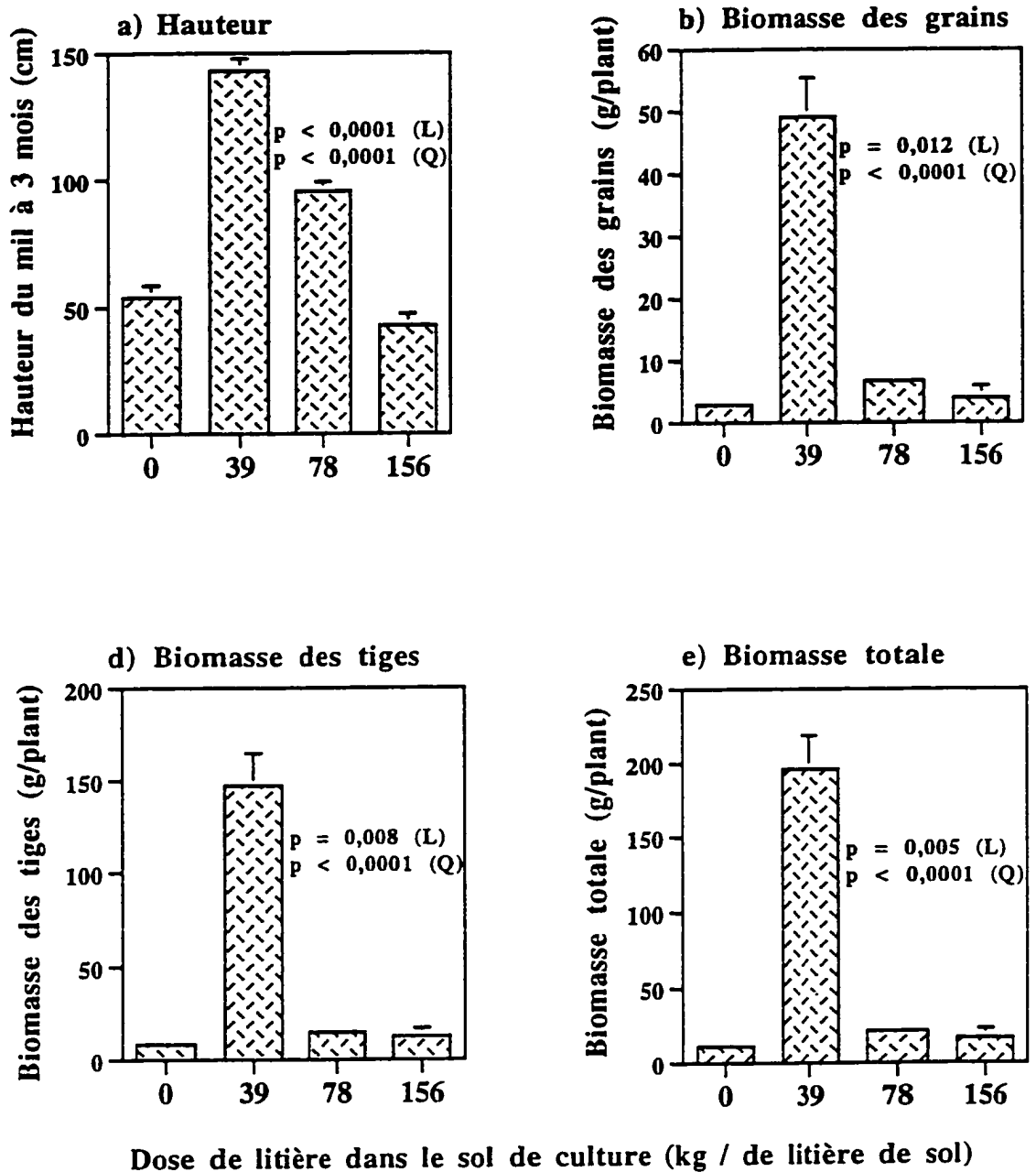


Fig. 3.4. Pour le mil, influence de la dose de litière de *Cordyla pinnata* (témoin sans apport ou D0, 39 kg de litière / t de sol ou D39, 78 kg de litière / t de sol ou D78 et 156 kg de litière / t de sol ou D156) sur a) la hauteur (cm) à 3 mois, b) la biomasse des grains (g plant^{-1}), c) la biomasse des tiges (g plant^{-1}) et d) la biomasse totale (g plant^{-1}) ($n = 45$ pour chaque moyenne).

3.3.7. Influence de la dose litière de *Cordyla pinnata* sur le sol de culture

L'augmentation de la dose de litière dans le sol de culture a modifié la concentration de chacun des éléments du sol ainsi que les rapports entre ces éléments. Les teneurs en carbone organique et en azote total ont augmenté avec la dose de litière mais le rapport C/N du sol de culture n'a cependant pas varié, pour une moyenne de 11,8 (Tableau 3.1).

Le taux de phosphore assimilable a diminué avec l'augmentation de la dose de litière dans le sol. Par contre, les teneurs en cations échangeables, la somme des bases échangeables et la capacité d'échange cationique ont été d'autant plus élevées que la dose de litière du sol était importante (Tableau 3.1).

En variant respectivement de 42,5 à 2,05 et de 155 à 5,53 entre D0 et D156, Mg/K et Ca/K ont fortement diminué avec l'augmentation de la dose de litière. Les variations de Ca/Mg ont été significatives mais moins importantes (5,22 à 1,72) que celles des rapports précédents. K/(Ca+Mg) a par contre augmenté avec les apports de litière. Le pH (eau) du sol n'a pas varié avec la dose de litière (Tableau 3.1).

En résumé, les teneurs en N total, C organique, K, Ca et Mg échangeables, la somme des bases échangeables, la CEC ainsi que K/(Ca + Mg) ont augmenté avec la dose de litière. Par contre, P assimilable et les rapports Ca/Mg et Ca/K ont diminué avec la dose de litière.

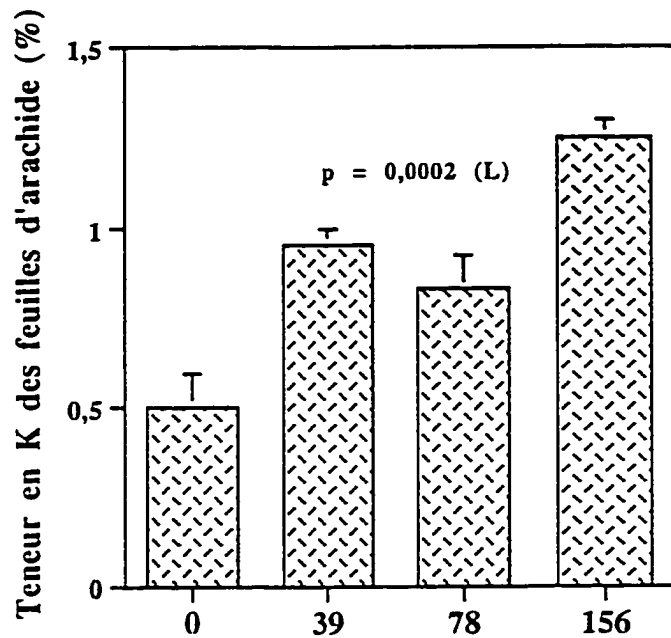
3.3.8. Teneurs en éléments des feuilles et graines d'arachide suivant la dose de litière de *Cordyla pinnata* dans le sol

Feuilles - La dose de litière du sol de culture n'a eu aucun effet sur les teneurs en N ($p = 0,528$), P ($p = 0,647$), Ca ($p = 0,531$) et Mg ($p = 0,656$) des feuilles d'arachide avec des moyennes respectives de 1,80, 0,086, 1,91 et 0,92%. Cependant, la teneur en K des feuilles d'arachide a varié avec la dose de litière du sol ($p = 0,0002$, linéaire; Figure 3.5) passant de 0,50 à 0,95, 0,83 et 1,25% pour D0, D39, D78 et D156 respectivement.

Tableau 3.1 ANOVA et niveau de signification des effets linéaire et quadratique des teneurs en éléments et des rapports entre les teneurs en cations basiques des sols de cultures en fonction de la dose de litière (D0, D39, D78 et D156) (n = 4 pour chaque moyenne).

Variables	Moyenne / dose de litière				Contrastes (P > F) et proportion (%) de SCT expliquée par la dose de litière	
	D0	D39	D78	D156	L	Q
C (%)	0,067	0,225	0,422	0,815	0,0001 (95,4)	ns
N (%)	0,005	0,018	0,037	0,072	0,0001 (95,0)	ns
C/N	12,3	12,3	11,3	11,4	ns	ns
P (mg kg ⁻¹)	4,20	3,36	2,73	2,52	0,0428 (28,2)	ns
K (cmol(+) kg ⁻¹)	0,01	0,22	0,50	0,78	0,0001 (96,3)	0,0020 (1,7)
Ca (cmol(+) kg ⁻¹)	1,55	2,60	3,67	4,32	0,0001 (90,4)	0,0001 (7,6)
Mg (cmol(+) kg ⁻¹)	0,42	1,22	1,82	2,60	0,0001 (83,1)	ns
Bases (cmol(+) kg ⁻¹)	2,07	4,17	6,20	7,97	0,0001 (85,1)	0,0001 (14,9)
CEC (cmol(+) kg ⁻¹)	2,92	4,65	7,72	8,80	0,0001 (97,0)	0,042 (2,1)
Mg/K	42,5	5,74	3,61	3,30	0,0001 (61,0)	0,0002 (35,0)
Ca/K	155	12,0	7,28	5,53	0,0001 (49,8)	0,0001 (40,5)
Ca/Mg	5,22	2,29	2,01	1,72	0,0226 (29,4)	ns
K/(Ca+Mg)	0,431	1,31	1,96	2,78	0,0001 (84,4)	ns
pH (eau)	8,1	8,0	8,0	8,0	ns	ns

SCT = somme des carrés totale; L = effet linéaire; Q = effet quadratique; les chiffres entre () représentent la proportion de SC totale expliquée par chaque effet; Bases= somme des bases échangeables; ns = p > 0,05.



Dose de litière dans le sol de culture (kg de litière / t de sol)

Fig. 3.5. Influence de la dose de litière (témoin sans apport ou D0, 39 kg de litière / t de sol ou D39, 78 kg de litière / t de sol ou D78 et 156 kg de litière / t de sol ou D156) sur la teneur (%) en K des feuilles d'arachide ($p = 0,0002$, linéaire) ($n = 4$).

Les rapports Mg/K ($p = 0,309$) et Ca/Mg ($p = 0,844$) des feuilles d'arachide n'ont pas varié suivant la dose de litière du sol, pour des moyennes respectives de 1,4 et 3,9. Ca/K des feuilles a cependant diminué ($p = 0,024$) avec une augmentation de la dose de litière, pour des moyennes de 3,9, 2,4, 2,4 et 1,3, respectivement pour D0, D39, D78 et D156.

Graines - La teneur des graines d'arachide en N ($p = 0,650$), P ($p = 0,173$), K ($p = 0,910$), Ca ($p = 0,475$) et Mg ($p = 0,826$) n'a pas varié en fonction de la dose de litière du sol avec des moyennes respectives de 3,65, 0,25, 0,48, 0,47 et 0,26%. Les rapports Ca/K ($p = 0,562$) et Mg/K ($p = 0,879$) des graines n'ont également pas varié en fonction de la dose de litière, pour des moyennes respectives de 1,0 et 0,55.

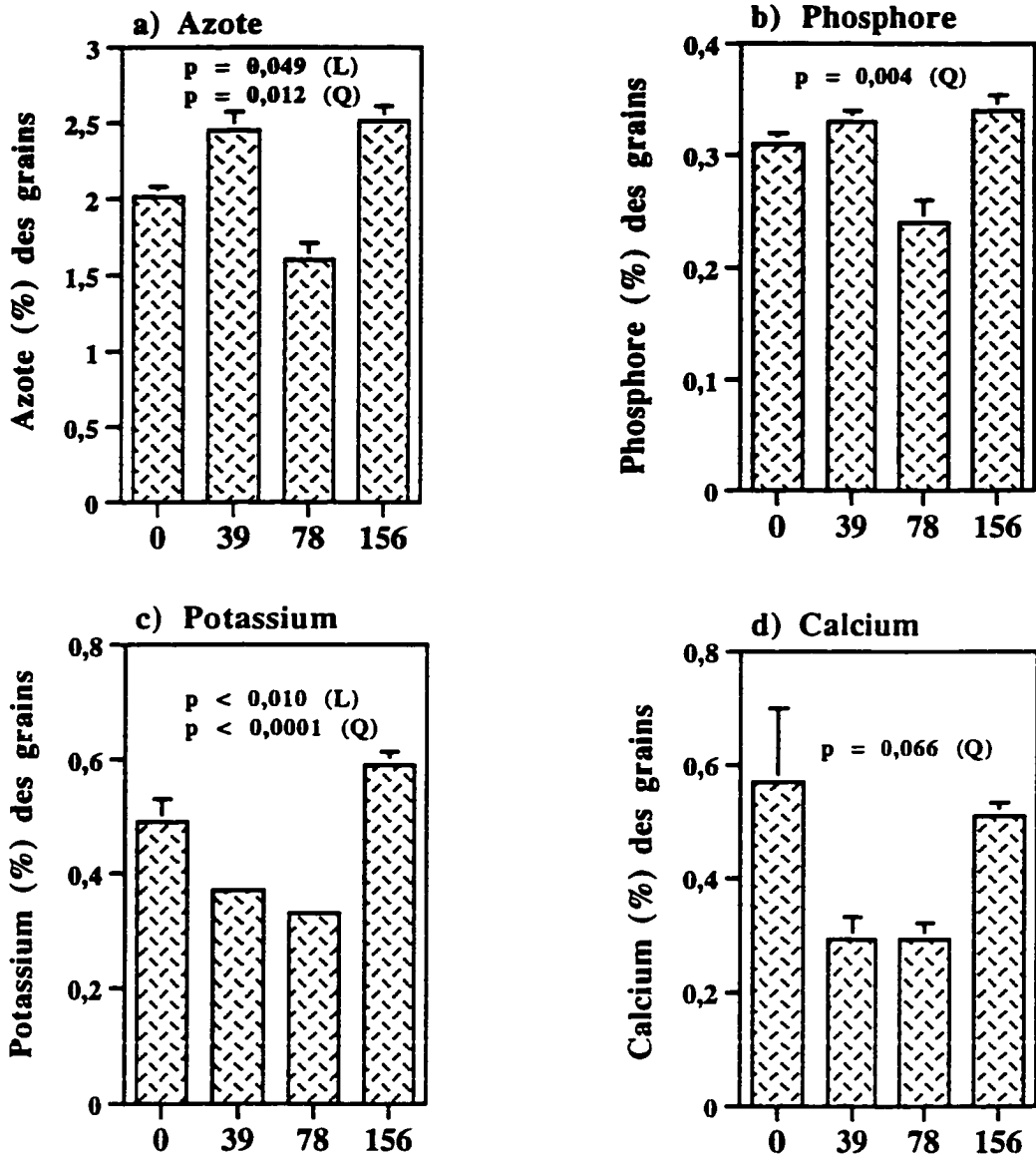
3.3.9. Teneurs en éléments des grains de mil suivant la dose de litière dans le sol

L'augmentation de la dose de litière de D0 à D39, D78 et D156 a fait varier N de 2,01 à 2,45, 1,60 et 2,51% ($p = 0,049$, linéaire et $p = 0,012$, quadratique; Figure 3.6a), P de 0,31 à 0,33, 0,24 et 0,34% ($p = 0,004$, quadratique; Figure 3.6b), K de 0,49 à 0,37, 0,33 et 0,59% ($p = 0,010$, linéaire et $p < 0,0001$, quadratique; Figure 3.6c) et Ca de 0,57 à 0,29, 0,29 et 0,51% ($p = 0,066$, quadratique; Figure 3.6d). Toutefois, la teneur en Mg des grains n'a pas été influencée par la dose de litière du sol ($p = 0,642$) pour une moyenne de 0,39%.

3.3.10. Relations entre le rendement, la teneur en éléments des graines et feuilles d'arachide et la fertilité du sol

Rendement arachide - L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de regrouper la hauteur à maturité, l'étalement, la biomasse aérienne, la biomasse souterraine et le rapport entre la biomasse des fanes et la biomasse des gousses (RGF) de l'arachide en deux composantes, Rend1.ara et Rend2.ara. Après une rotation Varimax, elles expliquaient respectivement 49 et 34% de la variance du groupe de variables de rendement. Rend1.ara était surtout corrélé à la hauteur, l'étalement et à la biomasse aérienne et Rend2.ara plus à la biomasse souterraine et au rapport RGF qui variaient en sens opposés (Tableau 3.2).

MIL



Doses de litière dans le sol de culture (kg de litière / t de sol)

Fig. 3.6. Teneur en a) azote ($p = 0,049$, linéaire; $p = 0,012$, quadratique), b) phosphore ($p = 0,004$, quadratique), c) potassium ($p = 0,010$, linéaire; $p < 0,0001$, quadratique) et d) calcium ($p = 0,066$, quadratique) des grains de mil en fonction de la dose de litière (témoin sans apport ou D0, 39 kg de litière / t de sol ou D39, 78 kg de litière / t de sol ou D78 et 156 kg de litière / t de sol) dans le sol de culture ($n = 4$).

Tableau 3.2. Corrélations entre les variables d'origine de rendement pour l'arachide et les composantes Rend1.ara et Rend2.ara de l'ACP et proportion de la variance du groupe de variables d'origine expliquée par chacune des deux composantes, n = 16.

Composantes de l'ACP	Variables d'origine de rendement pour l'arachide					Variance expliquée (%)
	Hauteur	Étalement	Biomasse aérienne	Biomasse souterraine	RGF	
Rend1.ara	0,86	0,77	0,93	0,083	0,46	2,43
Rend2.ara	-0,021	0,28	0,12	0,96	-0,84	1,73

RGF = biomasse des gousses / biomasse des fanes; Rend1.ara et Rend2.ara représentent les première et deuxième composantes principales du rendement pour l'arachide.

Fertilité sol - Après une ACP avec une rotation Varimax, les composantes Fertilité 1 et Fertilité 2 des variables de nutrition des sols ont été retenues (valeurs propres > 1). Fertilité 1 était mieux corrélée à N total, P assimilable, K, Ca et Mg échangeables et à $K/(Ca + Mg)$ et représentait 75% de la variance du groupe de variables de nutrition. P assimilable diminuait avec une augmentation des teneurs en N total, K, Ca et Mg échangeables ou du rapport $K/(Ca + Mg)$ (Tableau 3.3). Fertilité 2 était mieux corrélée au pH (eau) et représentait 14% de la variance.

Graines d'arachide - Les teneurs des graines d'arachide en N, P, K, Ca et Mg ont été regroupées en trois composantes: TEG1.ara, TEG2.ara et TEG3.ara. Après une rotation Varimax, ces composantes expliquaient respectivement 30, 27 et 23% de la variance du groupe de variables d'origine. TEG1.ara était mieux corrélée à Ca et Mg qui variaient en sens opposés (Tableau 3.4). TEG2.ara était surtout corrélée à N et P et TEG3.ara surtout à K.

Feuilles d'arachide - Les teneurs en N, P, K, Ca et Mg des feuilles d'arachide ont été regroupées en trois composantes (TEF1.ara, TEF2.ara et TEF3.ara) après une ACP. Suite à une rotation Varimax, elles expliquaient respectivement 43, 26 et 19% de la variance du groupe de variables d'origine. TEF1.ara était plus corrélée à N et P, TEF2.ara plus à Ca et Mg qui variaient en sens opposés, et TEF3.ara plus à K (Tableau 3.4).

Rendement arachide - Concentration en éléments des graines: Rend1.ara et Rend2.ara ont positivement été corrélées à la teneur en P des graines (Tableau 3.5) et à TEG2.ara. La hauteur de l'arachide et RGF ont augmenté avec une diminution de TEG3.ara (Tableau 3.5).

Concentration en éléments de l'arachide - Fertilité du sol: TEG3.ara des graines d'arachide a augmenté avec la teneur en P assimilable du sol et diminué avec une augmentation de Fertilité 2 (Tableau 3.6). TEF3.ara a augmenté avec N total, K, Ca et Mg échangeables, $K/(Ca+Mg)$ et avec la composante Fertilité 1 (Tableau 3.6). La corrélation canonique entre la teneur en éléments des feuilles d'arachide et la fertilité du sol a également été significative

Tableau 3.3. Corrélations entre les variables d'origine de fertilité du sol et les composantes Fertilité 1 et Fertilité 2 de l'ACP et proportion de la variance du groupe de variables d'origine expliquée par chacune des deux composantes, n = 16.

Composantes de l'ACP	Variables d'origine de fertilité du sol							Variance expliquée	Variance expliquée (%)
	pH (eau)	N total	P	K	Ca	Mg	K/(Ca+Mg)		
Fertilité 1	-0,32	0,93	-0,71	0,96	0,96	0,91	0,92	5,05	75
Fertilité 2	0,84	-0,12	-0,50	-0,22	-0,19	-0,27	-0,27	1,20	14

P = phosphore assimilable; K, Ca et Mg représentent les cations échangeables; Fertilité 1 et Fertilité 2 représentent les première et deuxième composantes principales des variables de fertilité du sol.

Tableau 3.4. Corrélations entre 1) les variables d'origine de la teneur en éléments des graines d'arachide et les composantes TEG1, TEG2 et TEG3 de l'ACP et proportion de la variance du groupe de variables d'origine expliquée par chacune des trois composantes, n = 16 et entre 2) les variables d'origine de la teneur en éléments des feuilles d'arachide et les composantes TEF1, TEF2 et TEF3 de l'ACP et proportion de la variance du groupe de variables d'origine expliquée par chacune des trois composantes, n = 16.

Composantes de l'ACP	Variables d'origine de la teneur en éléments de l'arachide						Variance expliquée (%)
	N	P	K	Ca	Mg	Variance expliquée	
Graines							
TEG1.ara	-0,027	0,048	-0,004	-0,83	0,90	1,51	30
TEG2.ara	0,62	0,83	0,40	0,31	-0,0005	1,33	27
TEG3.ara	0,23	-0,36	0,96	0,22	0,16	1,16	23
Feuilles							
TEF1.ara	0,91	0,88	0,20	0,14	0,018	1,66	43
TEF2.ara	0,16	-0,015	0,018	0,93	-0,76	1,47	26
TEF3.ara	0,007	0,26	0,94	-0,12	-0,54	1,26	19

TEG1.ara, TEG2.ara et TEG3.ara représentent les première, deuxième et troisième composantes principales de la teneur en éléments des graines d'arachide; TEF1.ara, TEF2.ara et TEF3.ara représentent les première, deuxième et troisième composantes principales de la teneur en éléments des feuilles d'arachide.

Tableau 3.5. Coefficient de Pearson et probabilité des corrélations entre la teneur en éléments des graines d'arachide et le rendement, n = 16.

Teneur en élément des graines d'arachide		Variables d'origine de rendement pour l'arachide					Composantes principales de rendement pour l'arachide	
		Hauteur	Étalement	BA	BS	RGF	Rend1.ara	Rend2.ara
Variables d'origine	P	0,727 (0,026)	0,958 (0,001)	0,882 (0,002)	0,808 (0,008)	0,234 (0,544)	0,902 (0,001)	0,806 (0,009)
	K	- 0,522 (0,149)	- 0,177 (0,648)	- 0,353 (0,351)	- 0,077 (0,844)	- 0,741 (0,022)	- 0,408 (0,275)	0,0347 (0,929)
Composantes principales	TEG2.ara	0,432 (0,246)	0,753 (0,019)	0,740 (0,023)	0,779 (0,013)	- 0,067 (0,865)	0,677 (0,045)	0,792 (0,011)
	TEG3.ara	- 0,649 (0,059)	- 0,339 (0,372)	- 0,445 (0,230)	- 0,157 (0,686)	- 0,765 (0,016)	- 0,478 (0,116)	0,064 (0,844)

RGF = biomasse des gousses / biomasse des fanes; Rend1.ara et Rend2.ara sont les première et deuxième composantes de rendement pour l'arachide; TEG2.ara et TEG3.ara sont les deuxième et troisième composantes des variables de la teneur en éléments des graines d'arachide; BA = biomasse aérienne; BS = biomasse souterraine.

Tableau 3.6. Coefficient de Pearson et probabilités associées entre la teneur en éléments des graines et feuilles d'arachide et le rendement, n = 16.

Teneur des graines et feuilles d'arachide	Variables d'origine de la fertilité du sol							Composantes de la fertilité	
	N	P	K	Ca	Mg	K/(Ca+Mg)	Fertilité 1	Fertilité 2	
Graines	K	-0,033 (0,932)	0,656 (0,055)	-0,097 (0,803)	-0,157 (0,687)	-0,022 (0,956)	-0,025 (0,949)	-0,346 (0,366)	-0,765 (0,016)
	TEG3.ara	-0,142 (0,715)	0,714 (0,031)	-0,172 (0,659)	-0,256 (0,505)	-0,064 (0,871)	-0,071 (0,856)	-0,416 (0,266)	-0,691 (0,039)
Feuilles	K	0,793 (0,002)	-0,529 (0,077)	0,826 (0,001)	0,804 (0,002)	0,817 (0,001)	0,824 (0,001)	0,844 (0,001)	-0,115 (0,722)
	TEF2.ara	-0,164 (0,611)	0,440 (0,153)	-0,107 (0,741)	-0,160 (0,619)	-0,073 (0,821)	-0,068 (0,835)	-0,243 (0,447)	0,525 (0,080)
	TEF3.ara	0,877 (0,001)	-0,359 (0,252)	0,857 (0,001)	0,821 (0,001)	0,851 (0,001)	0,857 (0,001)	0,834 (0,001)	-0,227 (0,478)

TEG3.ara est la troisième composante de la teneur en éléments des graines d'arachide; TEF2.ara et TEF3.ara sont les deuxième et troisième composantes des variables de teneur en éléments des feuilles d'arachide; Fertilité 1 et Fertilité 2 sont les première et deuxième composantes de la fertilité du sol.

($R_c = 0,881$; $p = 0,021$).

3.3.11. Relations entre le rendement, la teneur en éléments des grains de mil et la fertilité du sol

Rendement du mil - Fertilité du sol: La hauteur à maturité, la longueur des épis, le nombre d'épis, la biomasse des grains, la biomasse des tiges et la biomasse totale du mil ont été regroupés en deux composantes, Rend1.mil et Rend2.mil, après une ACP avec une rotation Varimax (Tableau 3.7). Rend1.mil était surtout corrélé aux variables biomasse des grains, biomasse des tiges, biomasse totale et au nombre d'épis m^{-2} et Rend2.mil aux variables hauteur à maturité et longueur des épis. La longueur des épis de mil avait tendance à diminuer avec une augmentation de la teneur en N total du sol ($R = - 0,488$; $p = 0,055$).

Concentration en éléments des grains de mil - Fertilité du sol: Les teneurs en N, P, K, Ca et Mg des grains de mil ont été regroupées en deux composantes TEG1.mil et TEG2.mil, qui expliquaient respectivement 52 et 32% de la variance du groupe de variables d'origine, après une ACP avec une rotation Varimax. TEG1.mil était surtout corrélé à N, P et K (Tableau 3.8). TEG2.mil était plus corrélé à Ca et Mg qui variaient en sens opposés. La concentration en Ca des grains de mil avait tendance à augmenter avec le pH du sol ($R = 0,580$; $p = 0,050$).

Rendement du mil - Concentration en éléments des grains de mil: Rend1.mil et Rend2.mil ont respectivement été négativement corrélés à la concentration en Ca ($R = - 0,672$; $p = 0,033$) et en K ($R = - 0,693$; $p = 0,026$) des grains de mil. Par contre, Rend1.mil et Rend2.mil ont augmenté avec TEG2.mil ($R = 0,632$; $p = 0,50$ et $R = 0,648$; $p = 0,043$ respectivement).

Tableau 3.7. Corrélations entre les variables d'origine de rendement du mil et les composantes Rend1.mil et Rend2.mil de l'ACP et proportion de la variance des variables d'origine expliquée par chacune des deux composantes, n = 16.

Composantes de l'ACP	Variables d'origine de rendement du mil					Variance expliquée		Variance expliquée (%)
	Hauteur	Longueur des épis	Nombre d'épis	Biomasse des grains	Biomasse des tiges	Biomasse totale		
Rend1.mil	0,19	0,57	0,82	0,86	0,92	0,91	3,46	78
Rend2.mil	0,96	0,79	0,14	0,48	0,33	0,37	2,04	14

Rend1.mil et Rend2.mil représentent les première et deuxième composantes de rendement du mil.

Tableau 3.8. Corrélations entre les variables d'origine de la teneur en éléments des grains mil et les composantes TEG1.mil et TEG2.mil de l'ACP et proportion de la variance du groupe de variables d'origine expliquée par chacune des deux composantes, n = 16.

Composantes de l'ACP	Variables d'origine de la teneur en éléments des grains de mil				Variance expliquée	Variance expliquée (%)	
	N	P	K	Ca			Mg
TEG1.mil	0,92	0,91	0,72	0,23	0,072	2,58	52
TEG2.mil	0,22	- 0,21	- 0,45	- 0,88	0,93	1,61	32

TEG1.mil et TEG2.mil représentent respectivement les première et deuxième composantes de la teneur en éléments des grains mil.

3.4. Discussion

Biomasse foliaire produite par *Cordyla pinnata* dans le parc

La biomasse foliaire anhydre produite par *Cordyla pinnata* a été de 82 kg arbre⁻¹ an⁻¹ soit 33,7 g m⁻² à l'échelle du parc. Charreau et Vidal (1965) avaient obtenu une moyenne légèrement supérieure (97 kg arbre⁻¹ an⁻¹) dans un parc à *Acacia albida* situé dans le Nord-ouest du Sénégal. La litière foliaire produite dans le parc à *C. pinnata* demeure cependant très inférieure à celle obtenue dans les peuplements forestiers denses (Pandey *et al.*, 1980; Vogt *et al.*, 1986; Rustad et Cronan, 1989; Prescott *et al.*, 1989; Morrison, 1991), les forêts tropicales pouvant produire entre 10 et 15 t de litière ha⁻¹ an⁻¹ (tous débris confondus) (Duchaufour, 1994) soit 30 à 45 fois plus que la litière foliaire obtenue dans le parc à *C. pinnata*.

Par rapport aux analyses effectuées par Charreau et Vidal (1965) sur la litière foliaire de *A. albida*, celle de *C. pinnata* a semblé être 2,4 fois moins riche en azote. *A. albida* est une Mimosacée fixatrice d'azote et *C. pinnata* une Césalpinacée qui ne fixe pas l'azote. Cependant, la litière de *C. pinnata* était respectivement 2,7 et 1,4 fois plus riche en phosphore et en potassium que celle de *A. albida*. Il est cependant probable que l'effet de site puisse également expliquer les différences observées.

Influence de la distance de prélèvement du sol de culture sur le mil et l'arachide

Pour l'arachide, plus la distance de prélèvement du sol par rapport au tronc de *C. pinnata* a augmenté, plus la quantité de racines nécessaires pour produire une unité de tige a été élevée. Il est probable que le plus faible statut nutritif du sol prélevé hors du couvert oblige l'arachide à prospecter un volume de sol plus important (par rapport au plant cultivé sur un sol plus riche) pour avoir accès à suffisamment d'éléments nutritifs. En outre, plus la distance de prélèvement du sol a augmenté, plus la quantité de fanes d'arachide nécessaires pour produire une unité de gousse était réduite.

Pour le mil, la hauteur, la longueur totale, la biomasse de la partie aérienne et la biomasse totale ont également été plus élevées sur le sol prélevé à R/2 des troncs. Verinumbe (1993) avait observé, à l'aide d'un essai biologique, que la biomasse aérienne ainsi que la croissance en hauteur de *Sorghum vulgare* étaient plus importantes sur le substrat collecté sous le couvert que hors du couvert de *A. albida* et *Ziziphus spina christi*. Selon l'auteur, les deux espèces avaient amélioré la fertilité du sol sur une distance équivalente à deux fois le rayon du houppier des arbres. Les résultats obtenus au chapitre 2 (Tableau 2.5) avaient montré des valeurs significativement plus élevées pour l'azote total, le calcium échangeable, les bases totales et la capacité d'échange cationique sous le couvert de *Cordyla pinnata* (à R/2) comparativement aux valeurs obtenues à 2R des troncs.

Notre essai biologique a aussi révélé que les variables de rendement de l'arachide et du mil n'étaient pas liés aux mêmes variables de fertilité du sol et que les relations pouvaient être positives ou négatives suivant la culture et l'élément du sol concerné. Globalement, le rendement de l'arachide a été positivement corrélé aux teneurs en N total, P assimilable et Mg échangeable, plus élevées sur le sol prélevé sous la cime de *C. pinnata*. Borget (1989) avait également noté qu'un supplément de P était toujours positif pour l'arachide. Cet élément a une influence sur la quantité des nodosités, leur densité et sur le taux d'azote fixé par unité de poids de nodosités (Ndao, 1989). Globalement, le rendement du mil a été positivement corrélé à N total et au rapport N/Ca qui étaient également plus élevés sur les sols prélevés sous la cime de *C. pinnata*.

Le meilleur statut nutritif du sol sous le couvert de *C. pinnata* (Tableau 2.5) a ainsi été à l'origine de la meilleure productivité des plants cultivés sur ce sol. Ces résultats suggèrent, d'une part, que *Cordyla pinnata* puise les éléments nutritifs dans les horizons du sol, les ramène à la surface sous forme de litière (feuilles, branches, écorce, fruit) et se comporte comme une importante source d'éléments nutritifs et que, d'autre part, l'espèce est compatible avec la culture du mil et de l'arachide. Dans ces systèmes agroforestiers traditionnels où les apports de fertilisants minéraux ou organiques sont très souvent insuffisants sinon inexistantes,

la litière est la principale source d'éléments nutritifs (excepté pour K) pour la production végétale. L'importance des débris organiques produits annuellement par *C. pinnata* a ainsi augmenté les teneurs en éléments dans les environs immédiats de l'arbre. Ces apports constituent un recyclage d'éléments sous la cime des arbres.

Cordyla pinnata s'est ainsi comporté comme une espèce qui concentre au sein de sa litière et sous son couvert les éléments nutritifs prélevés dans le sol. De plus, les pluviollessivats ont probablement apporté, sous le couvert de l'espèce, un supplément d'éléments nutritifs disponibles pour la production végétale, particulièrement K.

Influence de la dose de litière de *Cordyla pinnata* sur le sol de culture

L'augmentation de la dose de litière n'a pas modifié le pH (eau) du sol (Tableau 3.1). Ce résultat confirme celui obtenu dans le chapitre 2 (Tableau 2.5) qui avait montré que le pH (eau) du sol demeurait invariable, dans les parcelles de cultures, quel que soit le volume de la cime (donc la quantité de litière foliaire) de l'espèce. La litière foliaire de *Cordyla pinnata* peut ainsi être considérée comme étant non acidifiante.

Les variations des teneurs en carbone organique et en N total des sols de culture ont été proportionnelles à l'importance des doses de litière (Tableau 3.1). Nous avons également montré dans le second chapitre que plus le volume de la cime (donc la quantité de litière foliaire) était élevé, plus les teneurs en carbone organique et en azote total du sol étaient importantes (Tableau 2.5).

Le taux de phosphore assimilable a été réduit suite aux apports de litière et la réduction a été d'autant plus importante que la dose de litière apportée était élevée. Il est probable que l'augmentation de la matière organique du sol, à travers la litière incorporée, ait stimulé une plus importante activité biologique qui pourrait être à l'origine de l'immobilisation du phosphore. Par ailleurs, lorsque le pH du sol dépasse 8 (ce qui est le cas dans notre étude), il peut y avoir une insolubilisation du phosphore et de certains oligo-éléments, car la mobilité

du phosphore décroît fortement dès la neutralité; en milieu alcalin où les ions Ca sont dominants, une rétrogradation apatitique du phosphore (par formation de phosphates tricalciques) peut également être observée (Duchaufour (1994)).

La teneur en Ca échangeable du substrat de culture a augmenté avec la dose de litière mais dans des proportions moindres que celles de Mg échangeable. K échangeable a subi la plus forte variation et sa teneur a été multipliée par 22 rien qu'avec la dose D39 (Tableau 3.1). La teneur en K échangeable n'avait cependant pas varié sur le terrain en fonction du volume (petit, moyen et grand) de la cime, donc de la quantité de litière foliaire (en plus des apports par les pluviollessivats) dans les parcelles de cultures (Tableau 2.5).

Les doses D39, D78 et D156 ont permis de doubler, tripler et quadrupler la somme des bases (S) par rapport à D0 (Tableau 3.1) et d'augmenter significativement la CEC. Sur le terrain, la somme des bases et la CEC avaient également tendance à augmenter avec le volume de la cime de *C. pinnata* ($p = 0,076$ et $0,054$ respectivement pour S et CEC), donc avec la quantité de biomasse foliaire; la CEC était par ailleurs positivement corrélée à la concentration en carbone organique dans le sol ($R = 0,686$; $p < 0,0001$).

Les rapports Ca/Mg mais surtout Ca/K et Mg/K ont été plus élevés sans les apports de litière, manifestant même un déséquilibre certain pour la dose témoin. Généralement, l'excès d'un des cations échangeables (Ca, Mg ou K) au sein du complexe absorbant peut provoquer un phénomène d'antagonisme à l'égard des autres (Duchaufour, 1994) et affecter la nutrition minérale des plantes. La litière de *Cordyla pinnata* peut ainsi être considérée comme ayant un potentiel réel pour modifier la teneur en éléments des sols ferrugineux tropicaux ainsi que les rapports entre les cations échangeables de ces sols.

Influence de la dose de litière de *Cordyla pinnata* sur les cultures

Les variables de croissance de l'arachide et du mil ont été stimulées par l'augmentation de la dose de litière du sol de culture, si l'augmentation n'a pas excédé D78. Les gains de

croissance obtenus par le mil, en fonction des doses de litière dans le sol, ont cependant été relativement plus importants que ceux de l'arachide. Ainsi par rapport au témoin, la production de biomasse du mil a été plus élevée avec les apports de litière, quelle que soit la dose. D39 a cependant permis d'obtenir des biomasses 17 fois supérieures à celles obtenues par les témoins.

En Australie, Gutteridge (1990) avait montré que les feuilles de *Sesbania sesban* et de *Leucaena leucocephala* amélioraient la production du maïs. La quantité de feuilles utilisées par unité de sol n'a cependant pas été précisée dans l'étude. Tilander (1993) avait observé que le mulch constitué de feuilles de *Azadirachta indica* et de *Albizia lebbeck* avait également permis d'augmenter le rendement du sorgho (*Sorghum vulgare*) et que le degré d'amélioration du rendement était positivement corrélé à la quantité de feuilles utilisée pour le mulch. Dans notre étude, pour un temps de minéralisation de deux mois, la dose de 39 kg de litière / t de sol a été associée aux meilleurs rendements mais la dose optimale de litière reste à déterminer.

Les rendements du mil étaient plus faibles avec les doses extrêmes (D0 et D156). D0 était associée aux rapports les plus élevés entre les cations échangeables K, Ca et Mg et D156 aux rapports les plus faibles (Tableau 4.1). Les valeurs ont indiqué, pour D0, qu'il y avait manifestement un déséquilibre entre Mg et K (rapport de 42,5) et entre Ca et K (rapport de 155). Ce déséquilibre pourrait être à l'origine des faibles rendements observés au niveau des témoins. Pour D156, les faibles rapports observés entre les cations échangeables, par rapport à ceux de D39 (pris comme références), pourraient éventuellement expliquer les faibles rendements obtenus.

La réponse de l'arachide à ces apports de litière a été différente de celle du mil. D'une part, la biomasse aérienne de cette culture n'a augmenté, par rapport au témoin, qu'avec D39; d'autre part, l'immobilisation du phosphore observée avec l'augmentation de la dose de litière du sol, a probablement provoqué la réduction de la croissance racinaire et de la biomasse souterraine de l'arachide, ce qui a évidemment entraîné une réduction de la biomasse totale.

Il est également possible que cette forte dose de litière dans le sol de culture ait provoqué des effets allélopathiques qui ont inhibé la production de l'arachide. Suresh et Rai (1987) avaient étudié l'influence de *Eucalyptus tereticornis*, *Casuarina equisetifolia* et *Leucaena leucocephala* en cultivant le sorgho, le niébé (*Vigna unguiculata*) et le tournesol sur la couche arable et la rhizosphère provenant de plantations de ces espèces et sur un sol de champs fumé avec les feuilles sèches ou irrigué avec les extraits aqueux des feuilles. La germination des graines des cultures, la longueur des racines et la production de matière sèche avaient également baissé par rapport aux témoins.

Les extraits aqueux de *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus globulus*, *E. camaldulensis* et *E. saligna* sur les cultures de *Cicer arietinum* (chickpea), *Zea mays* (maïs), *Pisim sativum* (haricot) et *Eragrotis tef* avaient également réduit la germination et la croissance des espèces cultivées (Lisanework et Michelsen, 1993). En utilisant des extraits de feuilles et d'écorce de *E. tereticornis*, Puri et Khara (1991) avaient aussi observé une réduction de la germination de *Phaseous vulgaris* accompagnée d'une diminution de la biomasse totale.

Les résultats montrent d'autre part que la dose de litière du sol n'avait un effet significatif que sur la teneur en K et sur Ca/K des feuilles d'arachide. Par contre, pour les grains de mil, les concentrations en N, P et K ont significativement été modifiées par les apports de litière. Des analyses foliaires réalisées sur l'arachide avaient révélé une carence en phosphore plus prononcée sur les plants localisés sous *Acacia albida*, où les apports organiques étaient pourtant plus importants (Charreau et Vidal, 1965).

Par conséquent, la quantité de litière de *Cordyla pinnata* dans le sol a modifié la teneur potassique des feuilles d'arachide ainsi que le rapport Ca/K mais encore plus la teneur en éléments des grains de mil, ce qui pourrait avoir une incidence sur la qualité des produits pour la nutrition humaine et animale.

Relations entre le rendement, la teneur en éléments des cultures et la fertilité du sol

Arachide - Globalement, le rendement de l'arachide a positivement été corrélé à la concentration en P des graines. Le phosphore joue un rôle dans les réactions de transfert d'énergie et dans la physiologie de la floraison, de la fructification et du développement racinaire (Marschner, 1994). Une réduction de la croissance traduit souvent une carence en P chez les végétaux et un système racinaire mal développé. La teneur en éléments des feuilles d'arachide (N, P, K, Ca et Mg) était corrélée à la fertilité du sol (N total, P assimilable, K, Ca et Mg échangeables et $K/(Ca + Mg)$ et pH).

Mil - La teneur en K des grains de mil était négativement corrélée à la croissance des plants et la biomasse du mil a globalement été réduite avec une augmentation de la teneur en Ca des grains. Cette teneur en Ca des grains de mil a augmenté avec le pH du sol.

Ces résultats confirment que le mil et l'arachide (1) ont des exigences différentes en termes de fertilité du sol, et (2) qu'une amélioration de la nutrition des cultures suivant leurs exigences permet d'augmenter les rendements et de modifier la qualité des récoltes.

3.5. Conclusion

Le prélèvement d'échantillons de sols à différentes distances de *Cordyla pinnata* a permis d'isoler le facteur fertilité et de montrer que la différence (observée sur le terrain) dans le statut nutritif des sols prélevés, explique la différence dans la productivité des plants de mil et d'arachide cultivés sur ces échantillons de sol. Cependant, si le rendement de l'arachide a positivement été corrélé à N total, P assimilable et Mg échangeable, le rendement du mil a par contre été positivement corrélé à N total et au rapport N/Ca. En diminuant avec une augmentation de la distance de prélèvement du sol par rapport au tronc de *C. pinnata*, la productivité des deux cultures a suivi le gradient de fertilité observé sur le terrain.

Il importe toutefois de souligner que les apports d'éléments nutritifs sur le terrain ont des origines diverses qui englobent non seulement ceux issus de la minéralisation de la litière foliaire mais également les apports des autres litières (branches, fruits, écorces, racines, cadavres de microorganismes) ainsi que des pluviollessivats. La nature de la litière des parcelles de cultures ainsi que l'importance relative des apports en éléments nutritifs peuvent de ce fait être différentes de celles observées dans notre essai biologique.

À un certain niveau de concentration, la litière foliaire de *C. pinnata* peut provoquer des effets dépressifs sur le rendement des deux cultures. Après un temps de minéralisation de deux mois, D39 a permis d'obtenir une biomasse aérienne plus élevée pour les deux cultures. Toutefois, D39 qui correspond à la plus faible augmentation de litière dans notre étude a réduit la biomasse totale de l'arachide de 11% par rapport au témoin. Il est donc probable que cette dose soit excessive pour l'arachide.

Par conséquent, le comportement, la productivité et la richesse minérale des deux cultures devraient être étudiées avec des doses de litière inférieures à D39. Cependant, un temps de minéralisation plus long de la litière pourrait générer des résultats différents. Enfin, l'étude a confirmé qu'une amélioration de la nutrition des cultures avec un bon équilibre entre les

éléments nutritifs du sol se traduit par une augmentation des rendements.

Chapitre 4

Interception de la pluie dans un parc agroforestier à *Cordyla pinnata* dans le sud du Bassin arachidier au Sénégal.

Résumé

L'interception d'une partie des eaux de pluie par le couvert végétal réduit l'approvisionnement hydrique des cultures sous-jacentes dans les parcs agroforestiers. Cependant, les proportions interceptées ne sont pas connues dans la plupart de ces systèmes, notamment dans la région sahélienne. L'interception de la pluie par le houppier de *Cordyla pinnata* et la précipitation au sol ont été étudiées en fonction de la distance par rapport aux arbres ($R/2$, $1R$, $2R$, R étant le rayon du houppier de l'arbre), de la longueur (L_h) et du diamètre (D_h) du houppier, de l'indice de surface foliaire et de l'éclairement relatif (ER) dans un parc agroforestier situé dans le sud du Bassin arachidier au Sénégal. À mi-distance du rayon du houppier de l'espèce, l'interception saisonnière a représenté 22% de la pluviosité. À $1R$, elle ne représentait que 9% de la précipitation brute. L'interception a varié avec une augmentation de L_h à $R/2$ ($p = 0,015$). La relation entre la précipitation brute et l'interception a été de type asymptotique et la précipitation brute a été un bon prédicteur ($R^2 = 0,85$ et $0,53$ respectivement à $R/2$ et $1R$) de l'interception dans le parc à *Cordyla pinnata*. Un maximum de 5 mm d'interception a été atteint à une cote pluviométrique de 30 mm et a représenté la capacité de stockage estimée du houppier de l'espèce. L'interception a diminué avec une augmentation de ER ($R = -0,216$; $p < 0,0001$). Parmi les variables dendrométriques de l'espèce, seule L_h a fait varier significativement la précipitation au sol ($p = 0,024$). L'étude démontre ainsi que *Cordyla pinnata* constitue un élément qui modifie le cycle de l'eau dans ce parc agroforestier.

4.1. Introduction

Le cycle de l'eau d'un écosystème s'articule autour d'une série d'apports, de pertes et de fluctuations internes au système (Ibrahim, 1982). En présence d'un peuplement ligneux, la couverture végétale peut avoir une importante influence sur le cycle de l'eau car elle intercepte et évapore vers l'atmosphère une partie de l'eau de pluie. Les arbres diminuent ainsi la quantité d'eau qui arrive au sol et que reçoivent les cultures dans les systèmes agroforestiers. En agissant sur le cheminement de l'eau de pluie, les arbres constituent des composantes importantes qui interviennent dans le cycle hydrologique (Aussenac, 1968; Anderson *et al.*, 1976; Plamondon *et al.*, 1984). Les précipitations sont également interceptées par la couverture morte faite de litière et de débris organiques divers (Aussenac et Boulangeat, 1980). Les études sur les pluies incidentes dans les peuplements forestiers ont suscité un intérêt accru durant ces trois dernières décennies (Rouse, 1965; Fréchette, 1969; Pressland, 1976; Schulze *et al.*, 1978; Ghose *et al.*, 1980; Moore 1983; Lovett et Lindberg 1984; Lovett *et al.*, 1985; Ghuman et Lal, 1987; Fahey *et al.*, 1988; Blew *et al.*, 1993; Viville *et al.*, 1993).

Les quantités d'eau interceptées par les végétaux sont influencées par plusieurs facteurs parmi lesquels les facteurs intrinsèques à l'arbre et les facteurs climatiques. L'intensité des précipitations a une action prépondérante (Schnock et Galoux, 1967; Aussenac, 1968; Fréchette, 1969; Rutter *et al.*, 1971; Bultot *et al.*, 1972; Jackson, 1975; Schulze *et al.*, 1978; Plamondon *et al.*, 1984; Viville *et al.*, 1993). Une augmentation de l'intensité de la pluie s'associe généralement à une diminution de l'interception de l'eau de pluie (Schnock et Galoux, 1967; Aussenac, 1968; Fréchette, 1969; Bultot *et al.*, 1972; Ettehad *et al.*, 1973; Jackson, 1975; Schulze *et al.*, 1978; Ghuman et Lal, 1987; Plamondon *et al.*, 1984; Viville *et al.*, 1993). Pour d'autres, le pouvoir évaporant de l'air joue un rôle important dans l'interception et serait l'un des plus importants facteurs climatiques qui influence l'interception (Bultot *et al.*, 1972; Schulze *et al.*, 1978).

Parmi les autres paramètres climatiques, le vent et la température de l'air peuvent aussi influencer le taux d'interception (Bultot *et al.*, 1972; Schulze *et al.*, 1978). L'interception varie également suivant les saisons (Lull et Reinhart, 1975; Aussenac et Boulangeat, 1980; Chebini, 1991), mais l'espèce aurait une grande influence sur l'interception (Aussenac, 1968; Butolt *et al.*, 1972; Calder et Newson, 1979; Aussenac, 1984). Selon Aussenac (1968) et Chassagneux et Choissel (1986), l'interception dépend de la surface foliaire mais aussi de la morphologie des rameaux et des branches. Ces paramètres étant difficiles à évaluer par des mesures directes, Aussenac (1968) a proposé de mesurer l'éclairement relatif pour contourner ces difficultés. Selon l'auteur, l'éclairement relatif dépend, toutes choses étant égales par ailleurs, de l'épaisseur de la cime, de la disposition des feuilles et des branches et de la densité de la voûte foliacée.

Selon Butolt *et al.* (1972), Calder et Newson (1979) et Aussenac (1984), l'interception est supérieure chez les résineux du fait que les gouttelettes sont mieux retenues. Les nombreuses études sur l'interception font état de taux d'interception de la pluie allant de 15 à 25% pour les essences feuillues et de 25 à 60% pour les peuplements résineux aux États-Unis (Helvy et Patrick, 1965; Zinke, 1967; Anderson *et al.*, 1976), en France (Aussenac et Boulangeat, 1980; Forgéard *et al.*, 1980; Ibrahim *et al.*, 1982) et au Canada (Fréchette, 1969; Mahendrapa et Kingston, 1982; Plamondon *et al.*, 1984).

Plusieurs auteurs ont montré que le taux d'interception est influencé par les caractéristiques des peuplements dont les plus importantes sont la densité et l'âge (Ovington, 1954; Delf, 1967; Lawson, 1967; Schnock et Galoux, 1967; White et Carlisle, 1968; Plamondon *et al.*, 1984). L'interception aurait tendance à augmenter avec la densité du peuplement et à diminuer après une coupe (Verry, 1980; Aussenac *et al.*, 1982). L'interception varie aussi avec la densité de la cime, son épaisseur et le stade d'évolution du peuplement (Delfs, 1967).

Aussenac et Boulangeat (1980) ont montré que dans des conditions de climats identiques, la quantité d'eau interceptée par un peuplement forestier dépend principalement de la capacité

de saturation (de stockage ou d'emmagasinage) des cimes. Elle serait caractéristique de l'espèce et fonction de la surface et de la morphologie des feuilles et des branches (Aussenac, 1968; Aussenac et Boulangeat, 1980), de leur orientation, structure et propriétés hydrophiles et de la force du vent.

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la capacité de saturation de la cime des arbres (Aussenac, 1968; Jackson, 1975; Rowe, 1975; 1979; Singh, 1977; Schulze *et al.*, 1978; Negi *et al.*, 1993). Jackson (1975) et Schulze *et al.* (1978) ont développé une méthode graphique pour l'évaluer alors que Aussenac (1968) a utilisé les précipitations nocturnes importantes et les interceptions correspondantes pour l'estimer. Certaines études (Aussenac 1968; Schulze *et al.*, 1978; Plamondon *et al.*, 1984; Viville *et al.*, 1993) ont montré que la capacité de saturation varie entre 3 et 6 mm chez les résineux et entre 2 et 4 mm chez les feuillus.

Une partie de l'eau de pluie s'écoule le long des troncs et des branches avant d'arriver au sol. Les études effectuées jusque-là montrent que l'eau de ruissellement le long du tronc et des branches représente une proportion variable de la précipitation totale selon les espèces (Fréchette, 1969; Bultot *et al.*, 1972; Mahendrappa, 1974; Rowe, 1983; Plamondon *et al.*, 1984). En général, cet écoulement représente 1 à 3% des précipitations brutes dans les peuplements résineux et 10 à 20% dans les feuillus (Delfs, 1967; Aussenac, 1968; Tiedmann, 1980). Les facteurs qui augmentent le volume d'eau qui ruisselle le long des troncs et des branches sont la taille du tronc et des branches, la présence de branches verticales et d'une écorce lisse (Falkengren, 1989; Baldy et Stigter, 1993; Navar, 1993), le volume occupé par les houppiers, les caractéristiques morphologiques des feuillages de chacune des espèces en présence (ou de l'absence temporaire de feuilles) et les caractéristiques de chaque pluie (Baldy et Stigter, 1993). Plusieurs auteurs (Beall, 1934; Wilm, 1943; Rogerson, 1967; Fréchette, 1969; Bultot *et al.*, 1972) ont négligé l'écoulement le long des fûts dans leurs études malgré le fait que ce dernier soit souvent relativement important, particulièrement chez les feuillus dotés d'une écorce lisse.

La multitude et la grande diversité des facteurs qui modifient l'interception font que de nos jours des modèles empiriques sont utilisés pour la calculer. Diverses formulations mathématiques de l'interception ont ainsi été proposées par de nombreux auteurs (Aussenac, 1968; Bultot *et al.*, 1972; Ibrahim *et al.*, 1982; Ghuman et Lal., 1987). La plupart de ces modèles sont linéaires ou logarithmiques et ne décrivent pas la véritable relation entre la précipitation brute et l'interception qui est normalement asymptotique.

Les études sur l'interception ont cependant très peu porté sur les systèmes agroforestiers. Pourtant l'interaction qui existe entre les ligneux et les cultures dans de tels systèmes et la modification du cycle hydrologique par les ligneux, à travers le phénomène d'interception, justifient amplement ces études. Au Sénégal, *Cordyla pinnata* est associée aux cultures dans le sud du Bassin arachidier. Cette région occupe 1/3 du territoire national et produit 75% de l'arachide (principale culture de rente) et 80% du mil (principale culture vivrière) et du sorgho (*Sorghum vulgare*) (AFRENA, 1990a). L'espèce développe une cime relativement importante et très dense qui peut intercepter une part non négligeable des précipitations. Les cultures associées, situées sous le couvert de l'espèce, pourraient ainsi recevoir moins d'eau de pluie que celles qui se trouvent hors de son couvert, ce qui pourrait éventuellement avoir une incidence sur leur rendement. L'effet de cette association entre ligneux et cultures n'est pas encore étudié pour la plupart des espèces formant des parcs agroforestiers.

Dans la présente étude, nous avons proposé d'étudier l'importance de l'interception dans le parc à *Cordyla pinnata* en fonction de la taille des cimes, de l'intensité d'élagage et de la distance par rapport aux arbres. Notre objectif était d'identifier parmi les variables mesurées, celles qui ont une influence sur l'interception et d'évaluer leur importance relative en fonction des épisodes pluvieux et à travers des équations de prédiction. Nous avons par ailleurs évalué la capacité de saturation de *Cordyla pinnata* avec trois méthodes dont deux ont été proposées par cette étude.

4.2. Matériel et méthode

4.2.1. Site de l'étude

L'étude a été réalisée au Sénégal, à Darou Keur Balla, village localisé dans le département de Nioro (Figure 1.1), au sud du Bassin arachidier, approximativement à 14° N et 16° O. Le village couvre environ 100 ha. La particularité de son système d'utilisation des terres réside dans le fait que les cultures du mil et de l'arachide sont effectuées dans des parcelles boisées par un peuplement naturel ouvert avec une prédominance de *Cordyla pinnata*. La rotation arachide-mil, de rigueur, est annuelle avec souvent une jachère en troisième année. Le choix du village a été guidé par 1) la densité du peuplement de *Cordyla pinnata* relativement élevée par rapport à celle des villages environnants et 2) les conditions pédoclimatiques favorables aux cultures du mil et de l'arachide.

4.2.2. Facteurs biophysiques

Les sols du village appartiennent à la catégorie des sols ferrugineux tropicaux lessivés. Les analyses pédologiques réalisées dans le cadre de cette étude montrent qu'ils sont caractérisés par un pH (eau) d'environ 6,1, une forte teneur en sable (84%), de faibles quantités d'argile, de limon (8% chacun) et de matière organique (0,8%). Le rapport C/N est de 11,2 et la capacité d'échange cationique de 3,3 cmol(+) kg⁻¹. Leur structure est peu développée et instable et leur capacité de rétention en eau très réduite. Ces caractéristiques expliquent dans une large mesure la grande susceptibilité de ces sols à l'érosion éolienne (AFRENA, 1990).

Le climat de la région est de type soudano-sahélien à deux saisons nettement distinctes: la saison sèche qui est aussi la saison la plus froide et la saison des pluies (ou hivernage). À cette dernière qui s'établit en juin et se termine en octobre, correspond la période de pleine végétation des plantes. L'arachide et le mil accomplissent toutes les phases de leur développement durant cette période. La moyenne des précipitations annuelles est d'environ 750 mm à Nioro situé à 30 km au sud de Darou. Un inventaire intégral mené au niveau des parcelles de cultures a dénombré plusieurs espèces avec une prédominance de *C. pinnata*.

4.2.3. Dispositif expérimental

Un plan complètement aléatoire comprenant trois répétitions et trois facteurs (volume du houppier, élagage, distance au tronc) a été adopté pour mener cette étude. Pour ce faire, les arbres avaient été classés en trois catégories sur la base du volume du houppier ($< 300 \text{ m}^3$, $300\text{-}600 \text{ m}^3$, $> 600 \text{ m}^3$). Le volume a été calculé suivant celui d'une sphère: $\frac{2}{3} [(D_{h1} + D_{h2} + L_h) / 6]^3$, D_{h1} représentant le diamètre du houppier suivant la direction est-ouest, D_{h2} le diamètre du houppier suivant la direction nord-sud et L_h la longueur du houppier.

Trois intensités d'élagage avaient été appliquées à chaque classe de volume, ce qui a permis de faire varier la longueur du houppier des arbres: élagage du tiers (E-33%) et des deux tiers inférieurs de la longueur du houppier (E-66%) et un témoin sans élagage (E-0%). L'élagage a été réalisé avec des machettes et seules les branches secondaires ont été coupées. Au total 27 arbres ont été utilisés pour cette étude (3 répétitions x 3 volumes de cime x 3 intensités d'élagage).

Les variables dépendantes étaient l'interception et la précipitation au sol. Elles ont été estimées à partir des quantités d'eau recueillies dans des pluviomètres soutenus par un support en métal de 1,50 m de haut et placés à l'ouest de chaque arbre retenu (cette direction étant celle des vents dominants en période hivernale). Les pluviomètres ont été placés à trois distances des arbres (R/2, 1R, 2R, R étant le rayon du houppier de l'arbre considéré). Au total, 81 pluviomètres ont été utilisés pour cette étude (3 répétitions x 3 volumes de cime x 3 intensités d'élagage x 3 distances). Les variables indépendantes étaient la longueur du houppier, le diamètre du houppier, l'indice de surface foliaire, l'éclairement relatif et la distance au tronc.

4.2.4. Mesure de la pluie et de l'interception

La précipitation brute et la précipitation au sol ont été mesurées à l'aide de pluviomètres à anneau tournant (TFA-Dostmann Rain- Gauge, No. 38145, Wertheim, Germany), gradués en mm, ayant une ouverture de 177 cm^2 . Les pluviomètres ont été installés au début de

l'hivernage, ce qui a permis d'enregistrer tous les épisodes pluvieux de l'année 1994. Après chaque pluie, la hauteur d'eau a été mesurée et enregistrée sur une fiche de suivi et les pluviomètres vidés de leur contenu.

L'interception a été estimée en faisant la différence entre les hauteurs des précipitations recueillies dans les pluviomètres placés à 2R et ceux placés à R/2 et 1R, la hauteur d'eau collectée à la distance 2R étant considérée comme témoin. L'écoulement le long des tiges a été négligé (*Cordyla pinnata* a une écorce rugueuse) comme dans plusieurs études antérieures (Rogerson, 1967; Fréchette, 1969; Bultot *et al.*, 1972; Plamondon *et al.*, 1984; Prévost et Plamondon, 1987).

4.2.5. Capacité de saturation

Trois méthodes ont été utilisées pour estimer la quantité maximale d'eau susceptible d'être retenue par la cime de *Cordyla pinnata*. La première a été proposée par Aussenac (1968). Elle considère les précipitations nocturnes, pour minimiser l'évaporation, suffisamment importantes pour saturer le houppier (ou cime) des arbres et les interceptions correspondantes. La moyenne de ces dernières est un estimé de la capacité de saturation.

La seconde est une méthode graphique proposée par Jackson (1975) qui considère les précipitations brutes enregistrées lors de chacun des épisodes pluvieux et les interceptions correspondantes. Un graphique ayant pour abscisse le logarithme de la précipitation de chaque épisode pluvieux et en ordonnée l'interception permet d'estimer, à partir de la courbe obtenue, la capacité de saturation. Cette méthode a été utilisée par plusieurs auteurs (Jackson, 1975; De Villiers, 1975 cité par Schulze *et al.*, 1978; Schulze *et al.*, 1978; Plamondon *et al.*, 1984). Cependant, dans la présente étude, une transformation sur l'échelle de puissance, de la pluviosité, a été utilisée grâce au modèle de régression non linéaire (Ratkowsky, 1983):

$$y = a * x^b$$

à la place de la transformation logarithmique. Le calcul des coefficients a et b a été effectué par itération avec le logiciel SAS (SAS, 1991) et a permis d'obtenir les coefficients qui décrivent le mieux la relation entre l'interception (y) et la pluviosité (x). Cette transformation permet par ailleurs de linéariser la relation entre les deux variables et d'introduire la variable transformée dans le modèle linéaire. Enfin, en forçant la droite de régression à passer par l'origine, le modèle obtenu permet d'éviter la prédiction d'interception avec des précipitations nulles. Ceci a fait défaut aux modèles précédents. Un modèle modifié entre l'interception et la pluviosité est ainsi proposé dans cette étude.

La troisième méthode est basée sur l'importance de la variation de l'amplitude de l'interception entre deux tranches pluviométriques de 5 mm. La variation de cette amplitude étant de l'ordre de quelques dixièmes de millimètres entre les tranches pluviométriques, nous la considérons négligeable lorsqu'elle devient inférieure ou égale à 5% de l'interception enregistrée. À partir de cette limite, l'interception semble atteindre un palier qui correspond à un maximum d'interception qui traduit la capacité de saturation du houppier. L'utilisation de ces trois méthodes avait pour objectif de comparer les résultats obtenus à partir des deux méthodes proposées par cette étude aux résultats obtenus avec la première méthode développée par Aussenac (1968).

4.2.6. Mesure de l'éclairement relatif

L'éclairement dans la gamme de la radiation visible (400-700 nm) a été mesuré à R/2 et à 2R à l'aide d'un luxmètre (Model 7002 Panlux Light Meter, Gossen Inc., Germany). Le rapport entre les valeurs obtenues en ces deux points a représenté l'éclairement relatif ou le pourcentage d'éclairement sous couvert par rapport à l'éclairement hors couvert. Une transformation angulaire [arc sinus (sqrt)] (Anderson et McLean, 1974) a été effectuée sur cette variable. Ce genre de transformation est habituellement utilisé lorsque les données représentent des proportions ou des rapports.

4.2.7. Surface foliaire

La surface foliaire pour chacun des 27 arbres utilisés dans cette expérience a été estimée à partir de la relation allométrique:

$$\text{Surface foliaire} = 0,272 * \text{DHP}^{1,88} \text{ (Tableau 2.3)}$$

établie entre la surface foliaire (m²) par arbre et le diamètre (cm) à 1,30 m (DHP) et obtenue à partir de 9 arbres, hors du dispositif expérimental (la méthodologie a été décrite au chapitre 2). L'indice de surface foliaire qui exprime la surface foliaire (m²) par unité de surface projetée au sol (m²) a été calculé pour chaque arbre en faisant le rapport entre la surface foliaire et la surface de sa projection au sol.

4.2.8. Autres analyses statistiques

Une analyse de régression linéaire simple a été effectuée entre la précipitation au sol et l'éclairement relatif. Ce modèle repose sur les hypothèses d'indépendance des erreurs, de distribution normale des résidus (Laforge, 1979; Draper et Smith, 1981) et de linéarité entre la variable indépendante et la variable dépendante. La distribution des résidus et le coefficient de détermination R² ont servi d'indices de qualité des pronostics (Samprit et Price, 1977). Une analyse de corrélation a été réalisée entre 1) l'interception et l'éclairement relatif et 2) entre l'interception et l'indice de surface foliaire. Le niveau de signification générale de R² (ou du coefficient R de Pearson) a été fixé à 5%.

Une analyse de variance a été faite sur l'éclairement relatif en fonction du volume du houppier et de l'intensité d'élagage et un test de T sur la précipitation au sol et l'interception, en fonction des classes de hauteur et de diamètre du houppier. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel SAS.

4.3. Résultats et discussions

4.3.1. Composition et structure du parc à *Cordyla pinnata*

Le parc étudié était composé de 687 arbres répartis en 38 espèces dans les parcelles de cultures. *Cordyla pinnata* était l'espèce dominante avec 413 individus soit 60,1% de la population. *Lannea acida*, avec 80 individus, représentait une proportion de 11,6%. *Anogeisus leoicarpus* était la troisième espèce en importance avec 39 individus soit 5,9% suivie de *Tamarindus indica* qui représentait 2,5%. Ces quatre espèces formaient plus de 80% de la population totale. Les autres espèces se trouvaient dans des proportions variant entre 2 et 0,1%.

La hauteur totale des 27 *Cordyla pinnata* de l'étude a varié entre 6,5 et 17,8 m et la longueur de leur houppier entre 3,3 et 14,7 m (Tableau 4.1). Le diamètre minimal du tronc à 1,30 m de hauteur était de 27 cm et le maximum de 75 cm. Le diamètre moyen du houppier (suivant les orientations est-ouest et nord-sud) variait entre 4,30 et 15,7 m. La surface foliaire des neuf arbres non élagués a varié entre 252 et 576 m² pour une moyenne de 422 m². L'indice de surface foliaire par arbre a varié entre 3,1 et 5,5 m² de feuilles par m² de surface projetée au sol pour une moyenne de 4,3. Toutes espèces confondues, la superficie couverte par la projection au sol des cimes était de 4,0 % dont 3,3 % par *Cordyla pinnata*.

4.3.2. Épisodes pluvieux

Au total, 40 épisodes pluvieux ont été enregistrés du 19 juin au 24 octobre 1994 pour un cumul saisonnier de 714 mm. La moyenne par épisode au cours de la saison a été de 17,8 mm (Tableau 4.2). Les quantités de pluies recueillies par épisode pluvieux au niveau du témoin (2R) ont varié entre 2 et 40 mm. Le cumul saisonnier à R/2 a été de 556 mm et les valeurs enregistrées par épisode pluvieux ont été inférieures à celles obtenues à 1R et à 2R. À R/2, elles ont varié entre 0 et 39 mm avec une moyenne de 13,9 mm. À 1R le cumul a été de 650 mm, le minimum enregistré de 0 et le maximum de 40 mm comme au niveau du témoin; cependant la moyenne épisodique a été moins élevée avec 16,2 mm.

Tableau 4.1. Caractéristiques des variables mesurées pour les arbres utilisés dans l'étude de l'interception dans le parc à *Cordia pinnata* à Darou, au Sénégal en 1994.

Variables	n	Statistiques		
		Minimum	Maximum	Moyenne
Hauteur totale (m)	27	6,5	17,8	12,8 (0,56)
Diamètre à 1,30 m (cm)	27	27	75,0	49,4 (2,3)
Longueur du houppier (m)	27	3,3	14,7	8,13 (0,67)
Diamètre du houppier (m)	27	4,9	15,7	10,8 (0,59)
Surface foliaire* (m ²)	9	132	595	423 (58,4)
Indice de surface foliaire* (ISF)	9	3,1	5,5	4,3 (0,28)
Volume du houppier (m ³)	27	31,7	1012	406 (55,2)

n = nombre d'arbres; les valeurs entre () représentent l'erreur type; * arbres non élagués.

Tableau 4.2- Valeurs de la pluviosité (mm) et de l'interception (mm) en fonction de la distance (R/2, 1R, 2R) au tronc à Darou, Sénégal, du 19 juin au 24 octobre 1994.

Variables	Distances (m)	Étendue (mm)	Moyenne (mm)	Total (mm)	In / P _{total} (%)
Précipitation (P, mm)	R/2	0-39	13,9 (0,32)	556	
	1R	0-40	16,2 (0,32)	650	
	2R	2-40	17,8 (0,34)	714	
Interception (In, mm)	R/2	0-9	3,9 (0,057)	158	22
	1R	-2-6	1,6 (0,050)	64,1	9
	2R	0	0	0	0

R/2 = à mi-distance du rayon de la cime; 1R = à un rayon de la cime de l'arbre; 2R = à deux rayons de la cime de l'arbre;

Les chiffres () représentent l'erreur type; P_{Total} = précipitation totale enregistrée à 2R; In / P_{total} (%) = proportion de la pluie interceptée; n = 1080 (40 épisodes pluvieux x 27 arbres).

4.3.3. Interception

À R/2, l'interception saisonnière a été de 158 mm, représentant 22,1% des précipitations brutes. À cette distance, l'interception par épisode a varié entre 0 et 9 mm avec une moyenne de 3,9 mm (Tableau 4.2). Cette proportion d'interception est similaire aux 22,1 et 22,9% obtenus en 1984 et 1985 au Nigéria par Ghuman et Lal (1987). Manokaran (1980) avait également obtenu pour un peuplement feuillu en Malaisie une interception saisonnière de 21,8% et Fréchette (1969) obtenait 21,3% avec *Alnus rugosa*. Rowe (1983) avait estimé à 21% l'interception par le couvert dominé par *Nothofagus fusca*, *N. truncata* et quelques espèces du genre *Podocarpus* en Nouvelle Zélande. Cornet (1977) avait obtenu à Madagascar de 16 à 20% d'interception dans une parcelle de *Uapaca bojeri*. L'interception obtenue dans le parc à *Cordyla pinnata* est comprise dans l'intervalle de 7 à 27,5% observé par Puckett (1991) pour des peuplements feuillus dans le nord de la Virginie.

Ce résultat confirme également ceux obtenus par de nombreux autres auteurs qui situaient l'interception saisonnière des peuplements feuillus entre 15 et 25%, notamment aux États-Unis (Beall, 1934; Wilm, 1943; Kittredge, 1948; Rothacher, 1963; Helvy et Patrick, 1965; Zinke, 1967; Anderson *et al.*, 1976), en France (Aussenac, 1968; Aussenac et Boulangeat, 1980; Forgéard *et al.*, 1980; Aussenac *et al.*, 1982; Ibrahim *et al.*, 1982) et au Canada (Fréchette, 1969; Mahendrappa et Kingston, 1982). D'autres valeurs observées dans des peuplements feuillus d'Europe (Bodeux, 1954; Noirfalise, 1959; Eidmann, 1959; Schnock et Galoux, 1967; Molchanov, 1971; Forgéard *et al.*, 1980) donnaient un intervalle plus large (6 à 35,4%).

L'interception a sensiblement diminué à 1R: le total saisonnier était de 64,1 mm, ce qui représentait 9% des précipitations totales, soit une réduction d'environ 59% de la valeur de l'interception dans le parc à *Cordyla pinnata* par rapport à R/2. Les valeurs enregistrées par épisode pluvieux ont varié entre -2 et 6 mm pour une moyenne de 1,6 mm. La valeur négative -2 mm signifie que pour certains épisodes, des précipitations au sol supérieures aux précipitations brutes ont été enregistrées à 1R. Ce phénomène a déjà été signalé par certains auteurs comme Aussenac (1968) et Plamondon *et al.* (1984) qui avaient observé que la précipitation au sol pouvait être maximale au niveau du contour

de la cime. Aussenac (1968) l'a dénommé phénomène de gouttière qui, selon lui, est susceptible de se manifester chez les espèces à rameaux tombants.

La plupart des études précédentes n'ont pas porté sur l'influence de la distance, par rapport aux troncs des arbres, sur l'interception. Cependant, la variabilité de l'interception suivant la distance au tronc peut s'avérer importante dans des systèmes où les ligneux sont associés aux cultures. Aucun modèle de prédiction de l'interception utilisant la distance n'a été trouvé dans la bibliographie consultée.

4.3.4. Relation entre l'interception et la pluviosité

Des relations non linéaires, de type asymptotique ont lié l'interception à la précipitation brute suivant la distance au tronc (Figure 4.1). L'interception avait ainsi tendance à atteindre un maximum et à se maintenir à ce niveau même si les précipitations continuaient d'augmenter. Ces relations ont été prédites par les modèles suivants:

$$I_n = 1,76 * P_b^{0,2971} \quad (R^2 = 0,855; p < 0,0001; n = 1080) \text{ à } R/2$$

$$\text{et } I_n = 0,50 * P_b^{0,4253} \quad (R^2 = 0,532; p < 0,0001; n = 1080) \text{ à } 1R$$

où P_b représentait la précipitation brute, I_n l'interception et n le nombre d'observations (40 épisodes x 27 arbres).

Les équations de prédiction de l'interception obtenues à $R/2$ et $1R$ des troncs ont été bâties à partir d'un modèle de régression non linéaire sans ordonnée à l'origine. Ce type de modèle traduit mieux la réalité que les modèles qui prédisent des interceptions négatives ou des interceptions, même lorsque la pluviosité est nulle. À l'exception de Ghuman et Lal (1987), la plupart des auteurs ont utilisé des modèles avec une ordonnée à l'origine (Aussenac, 1968; Jackson, 1975; Schulze *et al.*, 1978; Ibrahim *et al.*, 1982; Plamondon *et al.*, 1984).

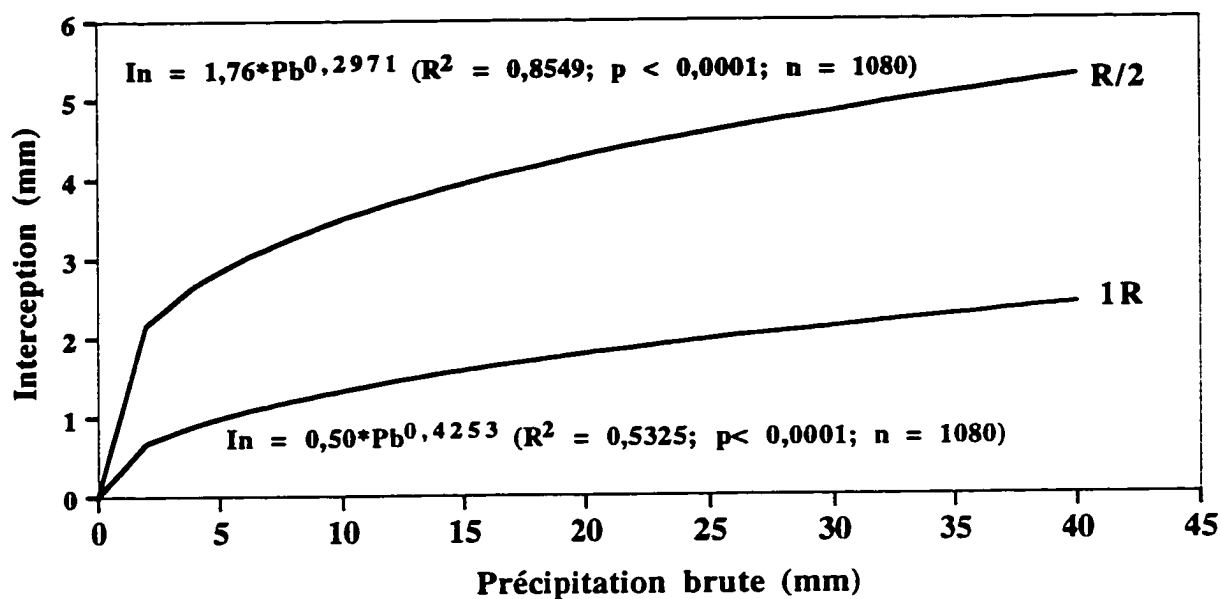


Fig. 4.1. Relation prédite entre l'interception (I_n , mm) et la précipitation brute (P_b , mm) en fonction de la distance au tronc (R/2, 1R) dans le parc à *Cordyla pinnata*.

Par ailleurs, la transformation sur l'échelle des puissances par le biais de la régression non linéaire s'est avérée meilleure que la transformation logarithmique utilisée par de nombreux auteurs (Jackson, 1975; De Villiers, 1975 cité par Schulze, 1978, Viville *et al.*, 1993) et dont l'application systématique à toutes les situations ne se justifie pas. Elle a été systématisée durant ces 20 dernières années malgré le fait qu'elle ne soit pas la meilleure pour décrire la relation entre l'interception et la précipitation. La transformation sur l'échelle des puissances a permis de mettre en évidence la relation asymptotique qui lie l'interception et la précipitation brute et de montrer que cette dernière constitue un bon prédicteur de l'interception dans le parc à *Cordyla pinnata*. Dans certaines études, aucune transformation n'a été effectuée sur la précipitation (Ibrahim, 1982; Ghuman et Lal, 1987), présumant de l'existence d'une relation linéaire entre l'interception et la précipitation.

4.3.5. Relation entre l'interception et les variables dendrométriques de *Cordyla pinnata*

Une classification en deux catégories (basée sur les critères de longueur et de diamètre du houppier) comprenant chacune deux classes (classe 1 et classe 2; Tableau 4.3) a montré que 1) l'interception était plus élevée à R/2 pour les deux catégories (quel que soit le critère de classification) et que 2) l'ampleur de sa variation a été plus grande entre les classes 1 et 2 (de diamètre et de longueur de cime) à R/2 qu'à 1R (Tableau 4.3). L'interception a semblé plus élevée au niveau de la classe 2 quel que soit le critère de classification.

À R/2 des troncs, l'interception a significativement augmenté avec la longueur du houppier ($T_{\text{corrigé}} = -2,7$; $p = 0,015$) mais n'a pas varié suivant le diamètre du houppier ($T = -0,650$; $p = 0,522$). Plamondon *et al.* (1984) et Anderson et Pyatt (1986) avaient également observé que plus le couvert des arbres était profond, plus l'interception était élevée.

À 1R des troncs, les différences entre les interceptions moyennes des classes 1 (1,5 mm) et 2 (1,7 mm) de longueur de houppier n'ont pas été significatives ($T_{\text{corrigé}} = -0,891$; $p = 0,385$). L'interception n'a également pas été influencée par le diamètre du houppier à cette distance ($T = 0,258$; $p = 0,798$).

Tableau 4.3. Interception (mm) et précipitation au sol (mm) moyennes par classe de hauteur (m) et de diamètre (m) de la cime selon la distance (R/2 et IR) au tronc et pour 40 événements pluvieux.

Critères de classification	n	Caracéristiques des classes			
		moyenne	Distance R/2	Distance IR	Précipitation au sol (mm)
Longueur de la cime (m)					
Classe 1	14	5,5 (0,4)	3,5 (0,1)	1,5 (0,1)	14,4 (0,2)
Classe 2	13	11,0 (0,7)	4,4 (0,3)	1,7 (0,3)	13,4 (0,3)
Diamètre de la cime (m)					
Classe 1	14	8,4 (0,7)	3,8 (0,3)	1,6 (0,2)	14,0 (0,3)
Classe 2	13	13,3 (0,4)	4,1 (0,3)	1,6 (0,2)	13,8 (0,3)

moyenne = moyenne dendrométrique des classes suivant le critère de classification; les valeurs () représentent l'erreur-type; n = nombre total d'arbres par classe.

La corrélation entre l'interception et l'indice de surface foliaire n'a pas été significative ($p = 0,673$). Pourtant Chassagneux et Choisnel (1986) avaient trouvé, dans un peuplement mixte de hêtre (*Fagus salvatika*) et de douglas (*Pseudotsuga menziesii*), que l'interception dépendait de la surface foliaire et le modèle hydrologique BROOK utilise comme paramètre d'estimation de l'interception de la pluie ou de la neige, l'indice foliaire et l'indice de tige (SAI = stem area index) des strates arbustives et arborescentes (Devillez et Laudelout, 1986). Il semble que la variation de l'indice de surface foliaire des arbres non élagués étudiés (3,1 à 5,5) n'ait pas été suffisante pour faire varier significativement l'interception dans le parc. En définitive, la longueur du houppier a été la seule variable étudiée qui a significativement fait varier l'interception dans le parc à *C. pinnata*.

4.3.6. Capacité de saturation du houppier

La première méthode proposée dans cette étude, pour calculer la capacité de saturation du houppier, est basée sur l'équation de prédiction de l'interception et l'amplitude de la variation de celle-ci suivant l'importance de la pluviosité. L'amplitude de la variation de l'interception a décru avec l'importance de la pluviosité et a paru être du même ordre entre 25-30 mm, 30-35 mm et 35-40 mm de pluie avec des variations respectives de 0,25 mm, 0,23 mm et 0,21 mm (Tableau 4.4). Ces variations ne représentaient en termes de pourcentage qu'une augmentation de l'interception de 5,2, 4,5 et 4,0% respectivement. Une augmentation de 5% ou moins de l'interception entre deux tranches pluviométriques de 5 mm (qui n'est que de quelques dixièmes de mm) peut être considérée comme négligeable. La cime de *Cordyla pinnata* tendait ainsi à atteindre sa capacité de saturation vers 4,83 mm. Ce seuil représenterait un estimé du maximum d'interception pour *Cordyla pinnata* et a semblé être atteint à partir d'une cote pluviométrique d'environ 30 mm pour l'ensemble des classes de volume de houppier dans le parc agroforestier étudié.

Lorsque la méthode graphique a été utilisée pour déterminer la capacité de saturation du houppier (Figure 4.1: $I_n = 1,76 * P_b^{0,2971}$), l'amplitude de l'augmentation de l'interception entre deux tranches pluviométriques a diminué avec l'importance de la précipitation. La pente de

Tableau 4.4. Capacité de saturation de la cime (mm) de *Cordyla pinnata* à partir de l'équation de prédiction $I_p = 1,76 * P_p^{0,2971}$ et en fonction de l'importance de la variation de l'interception (mm) entre des tranches pluviométriques de 5 mm.

Pluviosité (mm)	Interception (mm)	Augmentation de l'interception (mm)	Augmentation de l'interception (%)
5	2,84	-	-
10	3,49	0,65	18,6
15	3,93	0,44	11,2
20	4,29	0,36	8,4
25	4,58	0,29	6,3
30	4,83	0,25	5,2
35	5,06	0,23	4,5
40	5,27	0,21	4,0

la courbe a changé et elle est devenue plus faible entre 3 et 4 mm, ce qui a montré qu'à partir de cette limite, l'augmentation de la variation de l'interception en fonction de la pluviosité devenait de moins en moins importante. Toutefois, l'interception a semblé tendre vers un palier en dehors de l'intervalle étudié (0-40 mm de pluie). Avec cette méthode, la capacité de saturation de la cime était plus difficile à estimer.

Lorsque la transformation logarithmique de la précipitation brute a été utilisée en relation avec l'interception [(méthode de Jackson (1975))], l'équation de prédiction était:

$$I_n = 1,60 * \log_{10} * P_b \quad (p < 0,0001)$$

et n'expliquait que 44,7% de la variabilité totale contre 85,5% pour le modèle proposé dans notre étude. Ce dernier a ainsi donné un meilleur estimé de l'interception. En outre, pour la même tranche pluviométrique, le modèle obtenu par la transformation logarithmique sous-estime l'interception par rapport au modèle proposé.

La troisième méthode développée par Aussenac (1968) pour calculer la capacité de saturation tient compte des précipitations nocturnes importantes et des interceptions correspondantes. Elle montre que la capacité de saturation obtenue au cours de ces épisodes a été de 4,9 mm (Tableau 4.5). Cette valeur a été obtenue pour une cote pluviométrique de 34,3 mm. La valeur estimée pour les arbres non élagués était approximativement la même (5,6 mm pour une cote pluviométrique de 34,5 mm).

Les résultats étaient similaires pour deux méthodes sur les trois présentées et montraient que la valeur estimée de la capacité de stockage de *Cordyla pinnata* se situerait autour de 5 mm et qu'elle serait atteinte à partir d'une cote pluviométrique d'environ 30 mm. Cependant, la méthode que nous proposons a le double avantage de 1) se baser sur un modèle mathématique qui décrit la véritable relation qui lie l'interception à la pluviosité et 2) de permettre, par un

Tableau 4.5. Capacité de saturation (mm) de *Cordyla pinnata* par la méthode des événements nocturnes importants et par l'équation de prédiction de l'interception.

Épisodes pluvieux nocturnes importants	Date	Pluviométrie moyenne (mm)	Interception moyenne (mm)	
			Méthode 1	Méthode 2
Épisode #10	28 au 29 juillet	35,7	4,3	5,1
Épisode #27	24 au 25 août	28,7	5,1	4,8
Épisode #38	30 septembre au 1 octobre	38,1	4,8	5,2
Épisode #39	4 au 5 octobre	30,2	4,9	4,8
Épisode #40	23 au 24 octobre	38,6	5,3	5,2
Moyenne		34,3	4,9	5,0

Méthode 1: interceptions correspondantes aux précipitations nocturnes importantes;

Méthode 2: interception calculée à partir de la relation de prédiction $I_n = 1,76 * P_b^{0,2971}$.

calcul relativement simple, d'estimer la capacité de stockage de la cime des arbres de manière plus précise que la méthode graphique.

La valeur observée de 5 mm est supérieure aux valeurs obtenues par certains auteurs (Aussenac 1968; Schulze *et al.*, 1978; Viville *et al.*, 1993) qui situent la capacité de stockage de la cime des feuillus entre 2 et 4 mm. Cependant celle-ci est dépendante, entre autres, des caractéristiques du houppier. La longueur du houppier de *Cordyla pinnata* a été un facteur influent de l'interception. En effet, avec une cime d'une longueur moyenne de 8 m et un diamètre moyen de 10,8 m, *Cordyla pinnata* a présenté un houppier dense et très développé qui pourrait expliquer cette valeur relativement élevée. À ce propos, Anderson et Pyatt (1986) notaient que les couverts profonds devraient avoir une capacité de stockage plus grande.

Par ailleurs, comme nous l'avons déjà signalé, plusieurs modèles utilisés dans les études précédentes présentaient des limites (transformation inadéquate de variables ou modèles avec des ordonnées à l'origine, de surcroît négatives très souvent) qui pourraient être à l'origine de cette légère différence.

4.3.7. Relation entre l'interception et l'éclairement relatif sous *Cordyla pinnata*.

Pour toutes les catégories de volume de cime, l'éclairement relatif a augmenté avec une augmentation de l'intensité d'élagage ($p < 0,0001$ pour l'interaction entre le volume de cime et l'élagage). Les différences observées sur l'éclairement relatif sous les intensités d'élagage 33% et 66% n'étaient cependant significatives que pour les grands volumes de cime (Figure 4.2).

La corrélation entre l'éclairement relatif et l'interception a été significative ($p < 0,0001$) mais faible et négative ($R = -0,216$). L'étude a toutefois permis de confirmer que l'interception diminuait avec une augmentation de l'éclairement relatif. En effet, Aussenac (1968, 1970) avait observé que la précipitation au sol augmentait avec un accroissement de l'éclairement relatif. En combinant l'éclairement relatif, la précipitation au sol et son carré dans un modèle

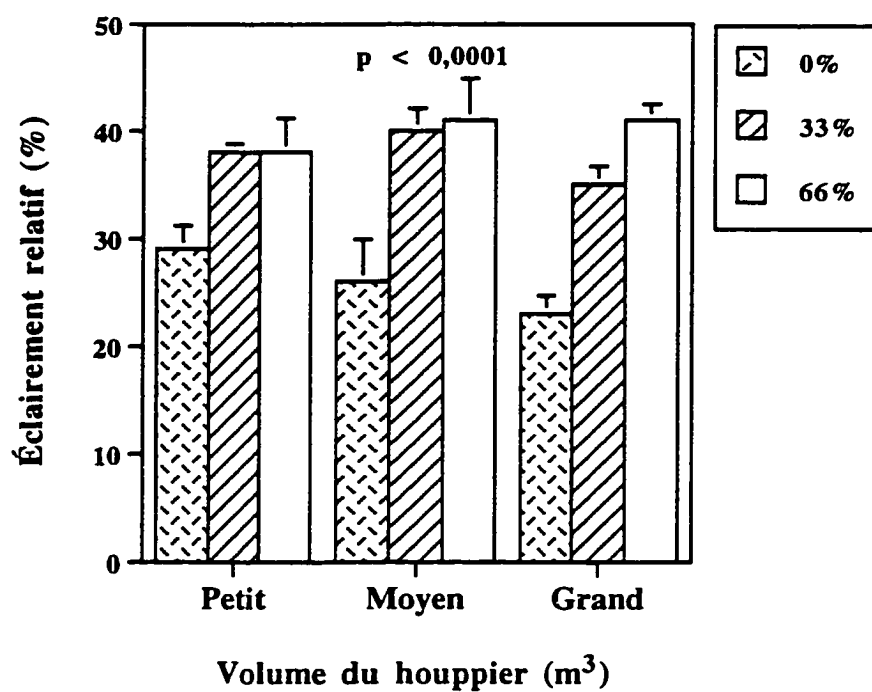


Fig. 4.2. Influence de l'interaction entre le volume du houppier de *Cordyla pinnata* (Petit, Moyen et Grand) et l'élagage de la longueur du houppier (E-0%, E-33% et E-66%) sur l'éclairage relatif ($p < 0,0001$).

linéaire de prédiction de l'interception, Aussenac (1968) avait obtenu des coefficients de détermination élevés (0,954 pour le pin sylvestre et 0,919 pour le sapin Douglas et *Picea abies*). Le coefficient de détermination partiel de l'éclairement n'avait, cependant, pas été mentionné dans son étude.

4.3.8. Relation entre la précipitation au sol et l'éclairement relatif

L'éclairement relatif (ER) a positivement été lié à la précipitation au sol, sous la cime (R/2), par la relation:

$$P_s = 39,1 * ER \text{ (R}^2 = 0,620; p < 0,0001)$$

et a été un bon prédicteur de la précipitation au sol dans le parc à *Cordyla pinnata*. L'étude confirme ainsi les résultats obtenus par Aussenac (1968; 1970) qui avait observé que la précipitation au sol augmentait avec un accroissement de l'éclairement relatif.

4.4. Conclusion

Les résultats de cette étude donnent une bonne idée de l'interception dans le parc à *Cordyla pinnata* et de la contribution relative de chacune des variables étudiées au fonctionnement de ce phénomène. L'étude montre que l'interception varie avec la distance au tronc. À mi-distance ($R/2$) du rayon du houppier de *Cordyla pinnata*, l'interception saisonnière a représenté 22,1% des précipitations brutes mais à 1R des troncs, elle ne représentait plus que 9% des précipitations brutes. Les cultures sous-jacentes ont ainsi reçu 22% moins de pluies que celles situées hors du couvert de *Cordyla pinnata*.

L'équation $I_n = 1,76 * P_b^{0,2971}$ obtenue sous la cime de *Cordyla pinnata* indique une relation de type asymptotique entre la précipitation brute et l'interception. Cette équation obtenue grâce à l'utilisation d'un modèle de régression non linéaire sans ordonnée à l'origine présente deux avantages par rapport aux modèles précédents.

D'une part, elle ne prédit pas de valeurs pour l'interception lorsque la précipitation est nulle. D'autre part, le modèle non linéaire permet une transformation de la précipitation brute sur l'échelle des puissances qui s'avère meilleure que la transformation logarithmique, car le calcul des coefficients de la fonction de régression s'effectue par itération et permet d'obtenir les coefficients qui décrivent mieux la relation entre l'interception et la précipitation brute.

Grâce à la transformation sur l'échelle des puissances, la relation asymptotique qui lie l'interception à la pluviosité a pu être décrite et a permis de montrer que la précipitation brute est un bon prédicteur de l'interception dans le parc à *Cordyla pinnata*. L'étude démontre ainsi que la transformation logarithmique de la précipitation brute ne devrait pas être utilisée.

Dès lors que la relation entre la précipitation brute et l'interception est non linéaire, celle entre la précipitation au sol et la pluviosité sera également non linéaire puisque la précipitation au sol est obtenue par la différence entre la précipitation brute et l'interception (le ruissellement

le long du tronc ayant été négligé).

En ce qui concerne les variables dendrométriques de l'espèce, l'étude montre que l'interception a été plus élevée à proximité des arbres et qu'elle a augmenté avec la longueur de la cime. C'est également la longueur de la cime qui a fait varier négativement la précipitation au sol mais seulement à $R/2$ des troncs. À la distance $1R$, l'influence de la longueur de la cime sur l'interception ou la précipitation au sol n'a pas été significative. Le diamètre du houppier et l'indice de surface foliaire n'ont également eu aucun effet significatif sur l'interception de l'eau de pluie dans le parc.

Par ailleurs, la capacité de stockage de *Cordyla pinnata* (5 mm) est légèrement supérieure aux valeurs observées (2-4 mm), jusqu'ici, en Europe et en Amérique du Nord pour des peuplements feuillus, probablement à cause de la taille et de la densité de la cime de l'espèce mais aussi des modèles qui étaient utilisés.

Enfin, cette étude sur le parc à *Cordyla pinnata* révèle que l'interception n'a pas été significativement corrélée à l'indice de surface foliaire des *C. pinnata* non élagués mais que l'éclairement relatif, avec un R^2 de 0,62, a été un bon prédicteur de la précipitation au sol. *Cordyla pinnata* constitue ainsi un élément important qui modifie de manière significative le cycle de l'eau dans le parc agroforestier, ce qui crée des différences dans l'approvisionnement en eau des cultures sous-jacentes.

Chapitre 5

Conclusion générale

L'agroforesterie est un système d'utilisation des terres connu et pratiqué par les populations rurales du Sahel depuis longtemps. Ce n'est que récemment que les chercheurs se sont cependant penchés sur cette discipline pour étudier les potentialités qu'elle offre 1) pour la recherche de solutions aux faibles rendements agricoles et à leurs fortes variations annuelles et 2) pour l'amélioration ou la mise au point de technologies susceptibles de résoudre d'autres problèmes non moins importants, comme la diversification des produits alimentaires et le renforcement ou le maintien de la durabilité des systèmes de production.

De nombreuses recherches ont déjà été effectuées à travers le monde et dans des conditions très diverses sur l'interface arbre-culture, notamment dans les parcs agroforestiers et dans la technologie des cultures en couloirs. Les résultats ont montré que beaucoup de questions relatives à l'interaction arbre-culture restaient encore sans réponse, avec parfois beaucoup de contradictions, et que le besoin de trouver une méthodologie de recherche efficace pour arriver à des résultats fiables, comparables et reproductibles s'imposait.

La première difficulté, inhérente à ce type de recherche qui est effectuée sur le terrain, réside dans l'identification et dans le choix des principaux facteurs qui sont à l'origine de la variation des phénomènes étudiés. La deuxième difficulté consiste à évaluer l'importance relative de chacun de ces facteurs et de leurs interactions. La troisième difficulté est d'arriver à interpréter les résultats complexes obtenus et à tirer l'essentiel de l'information nécessaire pour l'avancement de la discipline.

Pour cette thèse qui avait pour objectif général d'étudier l'influence de *Cordyla pinnata* 1) sur le rendement de *Pennisetum typhoides* (mil) et de *Arachis hypogaea* (arachide) et 2) sur le niveau de fertilité des sols, nous avons trouvé qu'il était primordial de caractériser au préalable le peuplement étudié avec des modèles allométriques. Ces modèles décrivent les relations entre les diverses variables mesurées et permettent, à partir de mesures effectuées sur des variables plus accessibles, de prédire d'autres moins accessibles mais importantes comme la biomasse foliaire totale ou la surface foliaire des ligneux. Les résultats ont montré que les

variables dendrométriques de *Cordyla pinnata* sont étroitement liées entre elles mais que la circonférence du tronc au niveau de la première fourche devrait être choisie, parmi les variables étudiées, comme estimateur de la biomasse foliaire anhydre dont la production a varié entre 39 et 127 kg arbre⁻¹ an⁻¹ suivant le volume de la cime, avec une moyenne de 82 kg arbre⁻¹. *Cordyla pinnata* développe une cime importante qui se traduit par des surfaces foliaires moyennes variant entre 200 et 628 m² selon la classe de volume de cime.

Ensuite nous avons choisi, à priori, quatre facteurs qui nous paraissaient fondamentaux pour l'étude de l'interface arbre-culture. Il s'agissait: 1) de *l'importance du volume de la cime* des arbres qui modifie a) la quantité et la qualité des radiations interceptées par les cultures associées, b) l'évaporation à partir de la surface du sol et la transpiration des végétaux sous couvert, c) le stock hydrique du sol, d) l'importance de l'ombrage et des apports d'éléments nutritifs par l'intermédiaire de la litière et des pluviollessivats; 2) de *l'intensité d'élagage de la cime* des arbres qui atténue les effets du volume de la cime sur les cultures et le sol et qui permet d'évaluer la variation des phénomènes étudiés en fonction de la variation du volume de la cime, à l'intérieur d'une même classe mais aussi entre les différentes classes de volume de cime; 3) de *l'orientation* qui détermine la durée d'exposition des cultures aux radiations solaires; et 4) de la *distance relative à l'arbre*, qui augmente ou diminue les effets (préalablement cités) liés à la présence de l'arbre, en plus de *l'interception de l'eau de pluie* qui peut jouer un rôle déterminant dans les écosystèmes où l'approvisionnement des cultures en eau constitue un facteur limitant pour la production agricole.

Les résultats ont montré que la présence de *Cordyla pinnata* a modifié la plupart des caractéristiques chimiques étudiées du sol grâce aux apports organiques sous forme de litière (feuilles, fruits, écorce, racines) mais probablement aussi grâce aux apports par l'intermédiaire des pluviollessivats. Une concentration importante d'éléments minéraux a ainsi été observée sous le couvert de l'espèce mais le pH du sol n'a cependant pas été modifié par sa présence.

L'ombrage de *Cordyla pinnata* a réduit de 10% la biomasse récoltée des gousses d'arachide à l'ouest de l'arbre (plus ombragé) comparativement à la valeur obtenue au sud (moins ombragé). Par ailleurs, sous le couvert de l'espèce où il y a moins de lumière, la biomasse totale de l'arachide a été réduite par rapport à la valeur obtenue hors du couvert. En réponse à l'élagage du tiers de la longueur du houppier, cette biomasse a globalement augmenté, par rapport aux autres traitements, probablement à cause 1) de l'augmentation de la lumière sous le couvert de l'arbre et 2) du maintien d'un ombrage suffisant, hors du couvert, qui contribue à atténuer les températures maximales au sol.

L'étude a également montré que *Cordyla pinnata* intercepte environ 22% des précipitations et que l'interception augmente avec la longueur de la cime. *Cordyla pinnata* modifie ainsi la répartition des précipitations et emmagasine dans sa cime un maximum de 5 mm de pluie. Les cultures localisées sous son couvert reçoivent de ce fait moins d'eau que celles situées à découvert.

Nous avons ensuite isolé le facteur fertilité du sol, variable suivant 1) la distance de prélèvement du sol par rapport à l'arbre ou 2) la dose de litière incorporée dans le sol, pour étudier le comportement des deux cultures à travers des essais biologiques. Cette démarche a permis 1) de vérifier que la productivité des cultures suivait le gradient de fertilité observé sur le terrain et 2) de confirmer que le comportement des cultures dans les parcelles paysannes était la résultante de plusieurs facteurs parmi lesquels l'ombrage des arbres semblait jouer un rôle important (négatif sous le couvert mais positif hors du couvert).

La valeur de la plupart des variables mesurées pour le mil et l'arachide a été plus élevée sur le sol prélevé sous la cime de *Cordyla pinnata*, où la quantité des débris organiques provenant des fruits, des branches, de l'écorce et des racines est plus élevée. Il s'agit également de la zone où des apports probables d'éléments par les pluviocivats devraient être observés. Les feuilles tombées des arbres ne seraient probablement pas responsables du plus haut niveau de fertilité des sols à proximité des arbres car ces dernières sont déplacées sous l'effet des vents

violents qui soufflent durant la période sèche. Par contre, l'importante quantité de fruits (durant l'hivernage), de branches fines et d'écorce (durant la saison sèche) qui tombent de l'arbre et qui se décomposent sur place pourrait en être responsable (en plus des débris organiques issus de la décomposition des racines et des apports d'éléments par l'intermédiaire des pluviollessivats). Cet aspect n'a pas été étudié à cause de contraintes diverses mais surtout d'ordre financier qu'il aurait entraîné pour la collecte des données. Il mérite cependant d'être étudié pour mieux comprendre l'importance relative de toutes les variables de l'arbre qui pourraient contribuer à modifier, dans un sens ou dans un autre, la fertilité des sols dans le parc à *Cordyla pinnata*.

Toutefois, l'utilisation de différentes doses de litière foliaire a permis de confirmer les résultats obtenus dans les parcelles paysannes en démontrant que la quantité de litière foliaire de *Cordyla pinnata* incorporée au substrat de culture contribue à modifier la plupart des propriétés chimiques du sol. La variation des teneurs en carbone organique des sols de culture a ainsi été proportionnelle à l'importance des doses de litière foliaire incorporée.

Cette litière foliaire a eu un effet réel sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux étudiés mais également sur le rendement des cultures. Les variables de croissance de l'arachide et du mil ont été stimulées par une augmentation de la dose de litière foliaire de *Cordyla pinnata*, si le seuil de 39 kg de litière / t de sol n'est pas dépassé. Les gains de croissance obtenus par le mil, en fonction de la dose de litière dans le sol de culture, ont été un peu plus importants que ceux de l'arachide.

Par rapport au témoin (sans litière), la production de biomasse du mil a été plus élevée avec les apports de litière, quelle que soit la dose. Par contre, la biomasse totale de l'arachide a été réduite par les apports, quelle que soit la dose. Ceci a démontré que l'arachide semblait tolérer une quantité moins élevée de litière de *Cordyla pinnata* dans le sol que le mil.

Enfin, nous avons utilisé l'analyse multidimensionnelle pour étudier les relations entre la fertilité du sol, le rendement et la qualité des récoltes. Ce type d'analyse statistique permet de regrouper plusieurs variables en de nouvelles composantes qui constituaient des combinaisons linéaires des variables d'origine. Ceci a été particulièrement intéressant dans cette étude car cet outil a permis 1) d'identifier les variables de fertilité qui avaient le plus d'influence sur le rendement de chacune des deux cultures et 2) de montrer que les relations entre le rendement, la concentration en éléments des cultures et la fertilité du sol étaient plus fortes dans le bioessai, ce qui a confirmé sur le terrain que la présence de *Cordyla pinnata* (ombrage) réduit l'influence de la fertilité du sol sur les cultures, surtout sous son couvert.

Pour terminer, des perspectives de recherches biophysiques doivent être dégagées pour améliorer la démarche adoptée mais aussi pour en approfondir certains aspects. Parmi celles qui nous semblent prioritaires pour la compréhension de ces écosystèmes complexes, nous pouvons citer l'effet de la densité de *Cordyla pinnata* sur la régénération des sols et le rendement des cultures. La présente étude ne pouvait pas répondre à cette question car le site choisi ne présentait pas les caractéristiques pour effectuer une telle recherche, la variabilité des densités d'arbres étant faible.

D'après les résultats obtenus dans cette étude, la résultante des facteurs qui ont exercé un effet dépressif sur les cultures a primé sur l'amélioration des propriétés chimiques du sol sous le couvert de l'espèce. En dehors du couvert (1R et 2R), *Cordyla pinnata* a semblé avoir un effet positif sur les cultures en atténuant les températures maximales au sol. Une densité plus élevée de la végétation ligneuse pourrait éventuellement 1) produire plus d'apports organiques et relever le niveau de fertilité des sols de manière à annuler l'effet des facteurs dépressifs, 2) atténuer les températures maximales au sol sur l'ensemble du parc et 3) augmenter significativement le rendement des cultures. Elle pourrait aussi mettre en évidence les phénomènes de concurrence entre les ligneux et les cultures (eau, nutriments, lumière) et avoir des effets encore plus néfastes sur les cultures. Cette étude recommande cependant une densité maximale de $625 / R^2$, où R représente le rayon moyen du houppier du peuplement

ligneux. Les apports d'éléments nutritifs au sol par les fruits, branches et écorces qui tombent des arbres ainsi que les apports par le pluviollessivage devraient aussi être quantifiés.

Une étude systématique du bilan hydrique, en fonction de la distance et durant toute la période de végétation, aiderait à mieux apprécier l'importance des variations hydriques du sol au cours de la saison pluvieuse et la compétition exercée par les ligneux, particulièrement durant les poches de sécheresse. L'étude du potentiel hydrique des cultures et des ligneux sur toute la saison de végétation, associée à l'étude précédente, permettrait de mieux comprendre les relations entre les teneurs en eau du sol et le niveau de stress hydrique et minéral des végétaux.

L'orientation a souvent montré seule ou en interaction avec d'autres facteurs une influence sur le rendement des cultures ou sur leur richesse minérale. L'orientation détermine la durée d'exposition des cultures à la lumière. Elle a un effet sur la photosynthèse, donc sur la production de biomasse. L'étude de la photosynthèse et l'identification des facteurs (particulièrement la disponibilité de l'eau dans le sol, l'importance et la durée de l'ombrage et les températures maximales élevées qui dépassent souvent 40 °C) qui la limitent, ainsi que leur importance relative dans le parc agroforestier, doivent être effectuées.

L'analyse des tissus végétaux devrait être effectuée à plusieurs stades d'évolution des cultures afin de pouvoir étudier l'évolution de l'état nutritionnel de la culture en fonction de l'âge mais aussi pour pouvoir étudier les relations entre l'état nutritionnel de la culture à un stade de développement donné et d'autres facteurs comme la fertilité et l'humidité du sol, le taux de photosynthèse et le niveau de stress hydrique.

L'amélioration de la qualité des récoltes par *Cordyla pinnata* devrait faire l'objet d'études nutritionnelles pour mieux apprécier la contribution de l'espèce à l'amélioration de la qualité des produits agricoles. Cet aspect a rarement été considéré dans les études agroforestières bien que la performance agronomique des espèces ligneuses ne doive pas uniquement être jugée par rapport à l'augmentation ou non des quantités récoltées. Elle devrait également être jugée

sur la base de la qualité des produits récoltés: une espèce peut avoir un effet dépressif sur la quantité de produits agricoles récoltés mais améliorer significativement la qualité de ces produits. Tout devrait donc se résumer en termes de rapport entre la quantité et la qualité des produits obtenus.

Enfin, les recherches agroforestières devraient être orientées vers la modélisation de la productivité, du fonctionnement ou de la gestion des systèmes à parc. Les modèles devront avoir pour but de donner aux décideurs des indications leur permettant de faire des choix de gestion à des niveaux agroécologiques. Ils devraient permettre de simuler l'effet de la densité des ligneux sur le rendement des cultures associées, la production fruitière des ligneux ou même la dynamique des parcs. Ils pourraient ainsi 1) donner aux agroforestiers les informations nécessaires pour optimiser la gestion des parcs et 2) être utilisés pour faire la planification d'une politique agroforestière.

Références bibliographiques

Aber, J.D., Mellilo, J.M. et Federer, C.A. 1982. Predicting the effects of rotation length, harvest intensity and fertilization on fiber yield from northern hardwood forests in New England. *For. Sci.* 28: 31-45.

AFRENA. 1990a. Potentialités agroforestières dans les systèmes d'utilisation des terres de la zone semi-aride du Sénégal. Rapport AFRENA, n°33, Agroforestry Research Network for Africa, International Centre of Research in Africa, Nairobi, Kenya, 194 pages.

AFRENA, 1990b. Propositions de solutions agroforestières dans le système du bassin arachidier du Sénégal. Rapport AFRENA n°37, Agroforestry Research Network for Africa, International Centre of Research in Africa, Nairobi, Kenya, 89 pages.

Aggarwal, R.K., Gupta, J.P., Saxena, S.K. et Muthana, K.D. 1976. Studies on soil physico-chemical and ecological changes under twelve years old five desert species of Western Rajasthan. *Indian Forester* 102: 863-872.

Allen, O.N. et Allen, E.K. 1981. *The Leguminosae. A source book of characteristics, uses and nodulation.* University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, 812 pages.

Anderson, V.L. et MacLean, R.A. 1974. *Design of Experiments: A Realistic Approach.* Marcel Dekker Inc., New York, 418 pages.

Anderson, H.W., Hoover, M.D. et Reinhart, K.G. 1976. Forests and water: effects of management on floods, sedimentation and water supply. *USDA Forest Serv. Techn. Rep., PSW.* 18, 115 pages.

Anderson, A.R et Pyatt, D.G. 1986. Interception of precipitation by pole-stage sitka spruce and lodgepole pine and a mature sitka spruce at Kielder Forest, Northumberland. *Forestry* 59: 29-38.

Arthur, M.A. et Fahey, T.J. 1993. Throughfall chemistry in an Engelmann spruce-subalpine fir forest in north central Colorado. *Can. J. For. Res.* 23: 738-742.

Aubreville, A. 1950. Flore forestière soudano-guinéenne. Société d'Éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris, 523 pages.

Aussenac, G. 1968. Interception des précipitations par le couvert forestier. *Ann. Sci. For.* 25: 135-156.

Aussenac, G. 1970. Action du couvert forestier sur la distribution au sol des précipitations. *Ann. Sci. For.* 27: 383-399.

Aussenac, G. et Granier, A. 1978. Quelques résultats de cinétique journalière du potentiel de sève chez les arbres forestier. *Ann. Sci. For.* 35: 19-32.

Aussenac, G. et Boulangeat, C. 1980. Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillus (*Fagus sylvatica* L.) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco). *Ann. Sci. For.* 37: 91-107.

Aussenac, G., Granier, A. et Naud, R. 1982. Influence d'une éclaircie sur la croissance et le bilan hydrique d'un jeune peuplement de Douglas. *Can. J. For. Res.* 12: 222-231.

Aussenac, G. 1984. Rôle de la microclimatologie et de la bioclimatologie en sylviculture. *La Météorologie* 5: 11-17.

Baldy, C. et Stigter, C.J. 1993. Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes. Éditions de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris, 246 pages.

Bartlett, M.S. 1947. The use of transformations. *Biom.* 3: 39-52.

Bartolome, J.W. 1986. Herbaceous productivity in oak woodland. *Trans. West Sect. Wild. Soc.* 22: 112-116.

Baumer, M. 1994. Forêts-Parc ou Parcs arborés? *Bois et Forêts des Tropiques* 240: 53-66.

Beall, H.W. 1934. The penetration of rainfall through hardwood and softwood forest canopy. *Ecology* 15: 412-415.

Becker, M. et Levy, G. 1983. Influence d'un assèchement du sol sur la nutrition minérale de jeunes plants de résineux. *Ann. Sci. For.* 40: 325-336.

Belsky, A.J., Amundjon, R.G., Duxbury, J.M., Riha, S.J., Ali, A.R. et Mwonga, S.M. 1989. The effects of trees on their physical, chemical, and biological environments in semi-arid savanna in Kenya. *Journal of Applied Ecology* 26: 1005-1024.

Belsky, A.J., Mwonga, S.M., Amundson, R.G., Duxbury, J.M. et Ali, A.R. 1993a. Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high and low rainfall savannas. *J. Appl. Ecol.* 30: 143-155.

Belsky, A.J., Mwonga, S.M. et Duxbury, J.M. 1993b. Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannas. *Agrofor. Syst.* 24: 1-20.

Berg, B. et Staaf, H. 1980. Decomposition rate and chemical change of Scots pine needle litter. II. Influence of chemical composition. pp 375-390. In: *Structure and Fonction of Northern Coniferous Forests - An Ecosystem Study - Edited by T. Persson. Ecol. Bull (Stockholm) n° 32, Swedish Natural Science Research Council, Stockholm, Sweden.*

Berg, B. et Staaf, H. 1981. Leaching, accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter. pp 163-178. In: Terrestrial nitrogen cycles: ecosystem strategies and management impacts. Edited by F.E. Clark and T. Rosswall. Ecol. Bull. (Stockholm) n° 33. Swedish Natural Science Research Council, Stockholm, Sweden.

Berg, B. et Ekbohm, G. 1983. Nitrogen immobilization in decomposing needles at variable carbon: nitrogen ratios. Ecology 64: 63-67.

Berg, B. 1988. Dynamics of nitrogen (^{15}N) in decomposing Scots pine (*Pinus sylvestris*) needle litter. Long term decomposition in a Scots pine forest. Can. J. Bot. 66: 1539 -1546.

Berhaut, J. 1967. Flore du Sénégal. Deuxième édition. Editions Clairafrique, Dakar, 485 pages.

Blew, R.D., Iredale, D.R. et Parkinson, D. 1993. Throughfall nitrogen in a white spruce forest in southwest Alberta, Canada. Can. J. For. Res. 23: 2389-2394.

Bodeux, A. 1954. Recherches écologiques sur le bilan d'eau sous la forêt et la lande de la Haute Campine. Agricultura 2: 1- 80.

Bonneau, M. et Souchier, B. 1979. Pédologie. 2. Constituants et propriétés du sol. Éditions Masson, Paris, 459.

Borget, M. 1989. Les légumineuses vivrières tropicales. Agence de Coopération Culturelle et Technique (ACCT). Centre de Coopération Agricole et Rurale (CTA). Collection Le Technicien d'Agriculture Tropicale, n°9. Editions Maisonneuve et Larose, Paris, 161 pages.

Bouma, D. 1983. Diagnosis of mineral deficiencies using plant tests, pp 120-146. In: Inorganic Plant Nutrition. Edited by A. Lauchli and R.L. Bielecki. Springer-Verlag, Berlin.

Bourke, D. 1963. The West African millet crop and its improvement. *Afr. Soils* 8: 121-142.

Bray, R.L. et Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soils Sci.* 59: 39-45.

Bremner, J.M. et Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen - Total. pp 595-624. In: *Methods of Soils Analysis. Part 2. Chemicals and Microbiological Properties* (second edition). Edited by A.L. Page, R.H. Miller., and D.R. Keeney. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.

Brown, D.A. et Don Scott, H. 1984. Dependence of crop growth and yield on root development and activity. pp 101-136. In: *Roots, Nutrient and Water Influx, and Plant Growth*. Edited by S.A. Barber and D.R. Bouldin. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.

Buldelman, A. 1988. The decomposition of leaf mulches of *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* and *Flaminga macrophylla* under humid tropical conditions. *Agrofor. Syst.* 7: 33-45.

Bultot, F., Dupriez, G.L. et Bodeux, A. 1972. Interception de la pluie par la végétation forestière. Estimation de l'interception journalière à l'aide d'un modèle mathématique. *J. Hydrol.* 17: 193-223.

Bunnel, F.L., Tait, D.E.N., Flanagan, P.W. et van Cleve, K. 1977. Microbial respiration and substrate weight loss. I. A general model of the influences of abiotic variables. *Soil Biol. Biochem.* 9: 33-40.

Calder, I.R. et Newson, M.D. 1979. Land-use and upland water resources in Britain. A strategic look. *Wat. Res. Bull.* 15: 1628-1639.

Campbell, B.M., Lynam, T. et Hatton, J.C. 1990. Small-scale patterning in the recruitment of forest species during succession in tropical dry forest, Mozambique. *Vegetatio* 87: 51-57.

Campbell, B.M., Frost, P., King, J.A., Mawanga, M., et Mhlanga, L. 1994. The influence of trees on soil fertility on two contrasting semi-arid soils types at Matopos, Zimbabwe. *Agrofor. Syst.* 28: 159-172.

Cannon, W.A. 1983. The root habits of desert plants. pp 6-16. In: *Terrestrial trace fossils*. Edited by A.S. Sarjeant-William. Hutchinson Ross Publ. Co., Stroudsburg, Pennsylvania, United States.

Charreau, C. et Vidal, P. 1965. Influence de l'*Acacia albida* Del. sur le sol, la nutrition minérale et le rendement des mil *Pennisetum* au Sénégal. *Agronomie Tropicale* 20: 600-625.

Charreau, C. et Nicou, R. 1971. L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques. *Agronomie Tropicale* 26: 209-255.

Chassagneux, P. et Choisnel, E. 1986. Modélisation de l'évaporation globale d'un couvert forestier. *Ann. Sci. For.* 43: 505-520.

Chebini, R. 1991. Modélisation du bilan hydrique en milieu humide boisé. Mémoire de maîtrise ès sciences (M. Sc). Faculté de Foresterie et Géomatique. Université Laval, Québec, 85 pages.

Chou, C.H. et Kuo, Y.L. 1986. Allelopathic research of subtropical vegetation in Taiwan. III. Allelopathic exclusion of understory by *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. *Journal of Chemical Ecology* 12: 1431-1448.

Cissé, M.I. 1980. Production fourragère de quelques arbres sahéliens: relations entre la biomasse foliaire maximale et divers paramètres physiques. pp 203-212. Compte rendu du colloque sur les fourrages ligneux en Afrique, Addis Abéba. Édité par H.N. Le Houérou. Centre International pour l'élevage en Afrique, Addis Abéba, Éthiopie.

Corby, H.D.L. 1974. Systematic implications of nodulation among Rhodesian legumes. *Kirkia* 9: 301-329.

Cornet, A. 1977. Étude comparative du bilan hydrique d'une parcelle boisée et d'une parcelle herbeuse à Madagascar. *Bois et Forêts des Tropiques* 176: 3-11.

Cowan, R.S. 1968. *Swartzia* (Leguminosae, Ceasalpinioideae, Swartzieae). *Flora Neotropica*. Monograph n° 1. Hafner, New York, 288 pages.

Cresswell, C.F., Ferrar, P., Grunow, J.O., Grossman, D., Rutherford, M.C. et van Wyk, J.J.P. 1982. Phytomass, seasonal phenology and photosynthetic studies. pp 476-497. In: *Ecology of Tropical Savannas*. Edited by B.J. Huntley and B.H. Walker, Springer-Verlag, Berlin.

CTFT. 1986. *Faidherbia albida* (Del) A. Chev (Synonyme: *Acacia albida*). Monographie. Centre Technique Forestier Tropical (CTFT), Nogent - sur - Marne, France, 111 pages.

Dabemire, R. et Prusso, D.C. 1963. Studies of the decomposition rate of tree litter. *Ecology* 44: 589-592.

Dancette, C. 1968. Note sur les avantages d'une utilisation rationnelle de *Acacia albida* au Sénégal. Institut de Recherches en Agronomie Tropicale (IRAT), Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA), Bambey, Sénégal, 6 p.

Dancette, C. et Poulain, J.F. 1968. Influence de *Acacia albida* sur les facteurs pédoclimatiques et les rendements des cultures. *African Soils* 13: 197-239.

Davis, R.I., Coulson, C.B. et Lewis, D.A. 1964a. Polyphenols in plants, humus and soil. III. Stabilization of gelatin by polyphenol tanning. *J. Soil Sci.* 15: 299-309.

Davis, R.I., Coulson, C.B. et Lewis, D.A. 1964b. Polyphenols in plant, humus and soil. IV. Factors leading to increase in biosynthesis of polyphenols in leaves and their relationship to mull and mor formation. *J. Soil Sci.* 15: 310-318.

Davies, W.T. et Kozlowski, T.T. 1974. Stomatal responses of five woody angiosperms to light intensity and humidity. *Can. J. Bot.* 52: 1525-1534.

De Candolle, A.P. 1966. Mémoires de la famille des Légumineuses. Wheldon and Wesley Ltd., New York, N.Y., 525 pages.

Delfs, J. 1967. Interception of stemflow in stands of Norway spruce and beech in West Germany. pp 137-161. In: International Symposium on Forest Hydrology. Edited by W.E. Sopper et H.W. Lull, University Park, PA. Pergamon Press, New York.

del Moral, R. et Miller, C.H. 1969. Fog drip: a mechanism of toxin transport from *Eucalyptus globulus*. *Bull. Torrey Bot. Club* 96: 467-497.

del Moral, R. et Miller, C.H. 1970. The allelopathic effect of *Eucalyptus camaldulensis*. *Ann. Midl. Nat.* 83: 254-282.

Delwaulle, J.C. 1979. Plantations forestières en Afrique Tropicale sèche. Techniques et espèces à utiliser. *Bois et Forêts des Tropiques* 187: 3-30.

Dembélé, D.M. 1990. Étude du rôle des arbres épargnés dans les exploitations agricoles dans la zone de Koutiala (Mali). Institut Polytechnique Rural de Katibougou. Katibougou, Mali, 61 pages.

Devillez, F. et Laudelout, H. 1986. Application d'un modèle hydrologique à un bassin versant forestier de Wallonie. Ann. Sci. For. 43: 475-505.

De Villiers, G. Du T. 1975. Rëevalonderskeppingsverliese in die Republiek van Suid Afrika. 'n Streekstudie. Ph.D Thesis, University of The Orange Free State, Bloemfontein.

Diem, H.G., Guèye, I., Gianinazzi, P.V., Fortin, J.A. et Dommergues, Y.R. 1981. Ecology of VA mycorrhiza in the tropics: the semi-arid Zone of Senegal. Oecol. Plant 2: 53-62.

Doumbia, M.D., Ouattara, M., Hossner, L.R. et Onken, A.B. 1992. Phosphorus status and sorption in sandy soils of the Sahel region of West Africa. Trop. Soils Bulletin 92: 45-58.

Draper, N.R. et Smith, H. 1981. Applied Regression Analysis. Second edition. Wiley series in probability and mathematical statistics. John Wiley and sons Inc., New York, 709 pages.

Duchaufour, P. 1994. Pédologie. Sol, Végétation, Environnement. Re-édition, Masson, Paris, 324 pages.

Duguma, B., Kang, B.T. et Okali, D.U.U. 1988. Effect of pruning intensities of three Leguminous species grown in alley cropping with maize and cowpea on an alfisol. Agrofor. Syst. 6: 19-35.

Dunham, K.M. 1991. Comparative effects of *Acacia albida* and *Kigelia africana* trees on soil characteristics in Zimbezi riverine woodlands. Journal of Tropical Ecology 7: 215-220.

- Edmonds, R.L. 1979. Decomposition and nutrient release in Douglas fir needle litter in relation to stand development. *Can. J. For. Res.* 9: 132-140.
- Edmonds, R.L. 1980. Litter decomposition and nutrient release in Douglas fir, red alder, wester hemlock and Pacific silver fir ecosystems in Western Washington. *Can. J. For. Res.* 10: 327-337.
- Eidmann, F.E. 1959. Die interception in Buchen und Fichtenbeständen, ergebnis mehrjähriger untersuchungen im Rothaagebirge (Sauerland). *Ass. Internation. Hydrol. Sci.* 48: 5-26.
- Ersnt, W.H.O. et Tolsma, D.J. 1989. Mineral nutrients in some Botswana savanna types. pp 97-120. In: *Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems*. Edited by J. Proctor. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.
- Escudero, A. 1985. Efectos de arboles aislados sobre las propiedades quimicas del suelo. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 22: 149-159.
- Ettehad, R., Lossaint, P. et Rapp, M. 1973. Recherches sur la dynamique et le bilan de l'eau des sols de deux écosystèmes méditerranéens à chêne vert. Volume n° 3, pp 129-288. Programme Biologique Internationnal (P.B.I.), Recherche Coopérative sur Programme - France (R.C.P) du C.N.R.S., Paris.
- Fahey, T., Yavitt, J. et Joyce, G. 1988. Precipitation and throughfall chemistry in *Pinus contorta ssp. latifolia* ecosystems, Southeastern Wyoming. *Can. J. For. Res.* 18: 337-345.
- Falconer, G.J., Wright, J.W. et Beall, H.W. 1933. The decomposition of certains types of fresh litter under field conditions. *Am. J. Bot.* 20: 196-203.

Falkengren, G.U. 1989. Effect of stemflow on beech forest soils and vegetation in southern Sweden. *J. Appl. Ecol.* 26: 341-352.

Fawusi, M.O.A. et Agboola, A.A. 1980. Soil moisture requirements for germination of sorghum, millet, tomato and celosia. *Agron. J.* 72: 353-357.

Florence, R.G. 1986. Cultural problems of Eucalyptus as exotic. *Commonwealth Forestry Review* 65: 141-163.

Fogel, R. et Cromack, K.J. 1977. Effect of habitat and substrat quality on Douglas fir litter decomposition in Western Oregon. *Can J. Bot.* 55: 1632-1640.

Forgéard, F., Gloaguen, J.C. et Touffet, J. 1980. Interception des précipitations et apports au sol d'éléments minéraux par les eaux de pluies et les pluviolessivats dans une hêtraie atlantique et dans quelques peuplements résineux en Bretagne. *Ann. Sci. For.* 37: 53-71.

Fréchette, G.J. 1969. Interception de la pluie par une sapinière Laurentienne. *Nat. Can.* 96: 523-529.

Gardner, W.R. 1961. Échanges hydriques des plantes en milieu aride ou semi-aride. pp 41-69. *Compte-rendu de recherches. U. N. E. S. C. O, Paris, 250 pages.*

Gauquelin, T., Fromard, F., Badri, W. et Dagnac, J. 1992. Apports d'éléments minéraux au sol par l'intermédiaire de la litière, des pluies et des pluviolessivats dans un peuplement à genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) du Haut Atlas Occidental (Maroc). *Ann. Sci. For.* 49: 599-614.

Gaur, J.P. et Pandey, H.N. 1978. Litter production in two tropical deciduous forest communities at Varanasi, India. *Oikos* 30: 570-575.

Geerling, C. 1982. Guide de terrain des ligneux sahéliens et soudano-guinéens. H. Veenman & Zonen B.V. Wageningen, Holland, 340 pages.

Gerakis, P.A. et Tsangarakis, C.Z. 1970. The influence of *Acacia senegal* on the fertility of a sand sheet (Goz) soil in the central Sudan. *Plant Soil* 33: 81-86.

Gholz, H.L., Fisher, R.F. et Pritchett, W.L. 1985. Nutrient dynamics in slash pine plantation ecosystems. *Ecology* 66: 647-659.

Ghose, R.C., Rao, S.B.K. et Ramola, B.C. 1980. Interception studies in Sal (*Shorea robusta*) coppice forest. *Indian Forester* 106: 513-525.

Ghuman, B.S. et Lal, R. 1987. Effects of partial clearing on microclimate in a humid tropical forest. *Agric. For. Meteorol.* 40: 17-29.

Gill, H.S. et Abrol, I.P. 1991. Salt affected soil, their afforestation and its ameliorating influence. *International Tree Crops Journal* 6: 239-260.

Gill, M.P.S., Dhillon, N.S. et Dev, G. 1995. Fertilizer phosphorus requirements of pearl millet and sorghum fodders as affected by native fertility of arid brown soil. *Indian Journal of Agricultural Research* 29: 83-88.

Gloaguen, J.C. et Touffet, J. 1980. Vitesse de décomposition et évolution minérale des litières sous climat atlantique. I. Le hêtre et quelques conifères. *Acta Oecol.* 15: 3-25.

Gloaguen, J.C. et Touffet, J. 1982. Évolution du rapport C/N dans les feuilles et au cours de la décomposition des litières sous climat atlantique: hêtre et quelques conifères. *Ann. Sci. For.* 39: 219-230.

Goubière, F. et Corman, A. 1987. Décomposition des aiguilles d'*Abies alba*: hétérogénéité du substrat et de la mycoflore, rôle de *Marasminus androsaceus*. Soil Biol. Biochem. 19: 69-75.

Granier, A. 1981. Étude des relations entre la section du bois d'aubier et de la masse foliaire chez le Douglas (*Pseudotsuga menziensis* Mirb. Franco). Ann. Sci. For. 38: 503-512.

Grime, J.P. 1965. Shade tolerance in flowering plants. Nature (London) 208: 161-163.

Grunow, J.O., Groeneveld, H.T. et Du Toit, S.H.C. 1980. Aboveground dry matter dynamics of the grass African tree savanna. J. Ecol. 68: 877-889.

Guignard, J.L. 1989. Botanique. 7ème édition. Editions Masson, Paris, 259 pages.

Gutteridge, R.C. 1990. The use of the leaf of nitrogen fixing trees as a source of nitrogen for maize. Nitrogen Fixing Tree Research Reports 8: 27-28.

Hans, A.S. 1985. The importance of agroforestry research in Zambia. International Tree Crops Journal 3: 101-111.

Hanson, E.J. 1987. Integrating soil tests and tissue analysis to manage the nutrition of highbush blueberries. Journal of Plant Nutrition 10: 1419-1427.

Helvy, J.D. et Patrick, J.H. 1965. Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. Water Resour. Res. 1: 474-481.

Hendricks, J.J. et Boring, L.R. 1992. Litter quality of native herbaceous legumes in a burned pine forest of Georgia Piedmont. Can. J. For. Res. 22: 2007-2010.

Hoddinot, J. et Hall, L.M. 1982. The response of photosynthesis and translocation rates in the R:FR ratio of light. *Can. J. Bot.* 60: 1285-1291.

Huxley, P.A. 1983. Simplifying the biological / environmental study of mixed cropping agroforestry systems. Document de travail n°13, International Centre of Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenya, 30 pages.

Ibrahim, M., Rapp, M. et Lossaint, P. 1982. Économie de l'eau d'un écosystème à pin pignon (*Pinus pinea* L.) du Littoral méditerranéen. *Ann. Sci. For.* 39: 289-306.

ICRAF 1995. Agroforestry for natural resource management and food production in the Sahel. A research strategy. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenya, 27 pages.

Ingestad, T. et Lund, A.B. 1986. Theory and techniques for steady state mineral nutrition and growth of plants. *Scand. J. For. Res.* 1: 439-453.

Isichei, A.O et Muoghalu, J.I. 1992. The effects of tree canopy cover on soil fertility in a Nigerian savanna. *Journal of Tropical Ecology* 8: 329-338.

Jackson, I.J. 1975. Relationships between rainfall parameters and interception by tropical forests. *J. Hydrol.* 24: 215-238.

Jackson, L.E., Strauss, R.B., Firestone, M.K. et Bartolome, J.W. 1990. Influence of tree canopies on grassland productivity and nitrogen dynamics in deciduous oak savanna. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 32: 89-105.

Jensen, V. 1974. Decomposition of angiosperm tree leaf litter. pp 69-104. In: *Biology of plant litter decomposition*. Edited by C.H. Dickenson and G.J.F. Pugh. Academic Press, London, U.K.

Kellman, M. 1979. Soil enrichment by neotropical savanna trees. *Journal of Ecology* 67: 565-577.

Kessler, J.J. 1992. The influence of Karité (*Vitellaria paradoxa*) and Néré (*Parkia biglobosa*) trees on sorghum production in Burkina Faso. *Agrofor. Syst.* 17: 97-118.

Kittredge, J. 1948. *Forest Influences*. McGraw Hill Book Co., New York, 104 pages.

Kononova, M.M. 1961. *Soil Organic Matter: Its Nature, Its Role in Soil Formation and Soil Fertility*. Pergamon Press, New York, 450 pages.

Kramer, P.J. et Boyer, J.S. 1995. *Water Relations of Plants and Soils*. Academic Press Inc., New York, 495 pages.

Laforge, H. 1979. *Analyse multivariée en sciences sociales et biologiques. Présentation matricielle et usage des programmes d'ordinateur BMD, BMDP et SPSS*. Les Presses de l'Université Laval, 450 pages.

Lal, R. 1974. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. *Plant and Soil* 40: 129-143.

Lal, R. et Cummings, D.J. 1979. Clearing a tropical forest. Effects on soils and microclimate. *Field Crops Research* 2: 91-107.

Landsberg, J.J. et Gower, S.T. 1997. Applications of Physiological Ecology to Forest Management. Academic Press Inc., San Diego. 354 p.

Lawson, E.R. 1967. Throughfall and stemflow in a pine-hardwood stand in the Ouachita Mountains of Arkansas. *Water Res.* 3: 731-735.

Lee, R. 1980. Forest Hydrology. Columbia University Press, New York, 349 pages.

Lemée, G. 1974. Recherches sur les écosystème des réserves biologiques dans les forêts de Fontainebleau. IV. *Oecol. Plant* 17: 187-200.

Lisanework, N. et Michelsen, A. 1993. Allelopathy in agroforestry systems: the effects of leaf extracts of *Cupressus lusitanica* and three Eucalyptus species on four Ethiopian crops. *Agroforestry Systems* 21: 63-74.

Logan, K.T. 1965. Growth of tree seedlings as affected by light intensity. I. White birch, yellow birch, sugar maple and silver maple. *Can. For. Serv., Pub.* n°1121.

Logan, K.T. et Krotkov, G. 1969. Adaptations of the photosynthetic mechanism of sugar maple (*Acer saccharum*) seedlings grown in various light intensities. *Physiol. Plant.* 22: 104-116.

Logan, K.T. 1973. Growth of tree seedlings as affected by light intensity. V. White ash, beech, eastern hemlock and general conclusions. *Can. For. Serv., Pub.* n°1323.

Loomis, R.S. et Whitman, C.E. 1983. Systems analysis in production ecology. Plant research and agroforestry. pp 209-220. Proceedings of a meeting held in Nairobi, 8-10 April 1981. Edited by P.A. Huxley. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenya.

Lousier, J.D. et Parkinson, D. 1976. Litter decomposition in a cool temperate deciduous forest. *Can. J. Bot.* 54: 419-436.

Lovett, G.S et Lindberg, S.E. 1984 . Dry deposition and canopy exchange in a mixed oak forest as determined by analysis of throughfall. *J. Appl. Ecol.* 21: 1013-1027.

Lovett, G.M., Lindberg, S.E., Richter, D.D. et Johnson, D.W. 1985. The effects of acidic deposition on cation leaching from three deciduous forest canopies. *Can. J. For Res.* 15: 1055-1060.

Lull, H.W. et Reinhart, K.G. 1975. *Readings in Forest Hydrology*. Edited by A.R. Eschner et K.G. Black. SUNY College of Environmental Science and Forestry, Syracuse. MSS Information Corporation, New York, 293 pages.

Lunt, H.A. 1933. Effect of weathering upon composition of hardwood leaves. *J. For.* 31: 43-45.

Mahendrappa, M.K. 1974. Chemical composition of stemflow from eastern Canadian tree species. *Can. J. For. Res.* 4: 1-7.

Mahendrappa, M.K. et Kingstone, D.G.O. 1982. Prediction of throughfall quantities under different forest stands. *Can. J. For. Res.* 12: 474-481.

Malgras, D. 1992. *Arbres et arbustes guérisseurs des savanes maliennes*. Collection Économie et Développement (Paris, France). Editions Karthala et ACCT, Paris, 478 pages.

Mangenot, F. 1980. Les litières forestières: signification écologique et pédologique. *Rev. For. Fr.* 32: 339-335.

Mann, H.S. et Saxena, S.K. 1982. Improvement of energy resources in Indian arid zone. *Prosopis cineraria*, forestry production, pp 283-292. In: Improvement of Forest Biomass. Symposium Proceedings edited by P.K. Khosla. Indian Society of Tree Scientists, Solan, India.

Manokaran, N. 1980. Stemflow, throughfall and rainfall interception in a lowland tropical rainforest in Peninsular Malaysia. pp 91-94. In: Tropical Ecology and Development. Edited by J.I. Furtado, Tropical Ecology and Development. International Society of Tropical Ecology, Kuala Lumpur, Malaysia.

Maranga, E.K. 1984. Influence of *Acacia tortilis* trees on the distribution of *Panicum maximum* and *Digitaria macroblephara* in South Central Kenya. MS Thesis, Texas A & M University cité par Belsky *et al.* (1989).

Marchal, J.Y. 1980. Arbre et brousses du paysage soudano-sahélien. Dynamique des formations végétales au nord de la Haute-Volta. Cahiers ORSTOM, Sér. Sc. Hum. 17: 151-154.

Margolis, H., Oren, R., Whitehead, D. et Kaufmann, M.R. 1995. Leaf Area Dynamics of Conifer Forests. pp 181-223. In: Ecophysiology of Coniferous Forests. Edited by W.K. Smith and T.M. Hinckley. Academic Press Inc., San Diego, California, 338 pages.

Marschner, H. 1994. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition, Academic Press, London.

Mazliak, P. 1974. Nutrition et Métabolisme. Physiologie Végétale. Collection Méthodes, Hermann, Paris, 350 pages.

- Meentemeyer, V. 1978. Macroclimatic and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology* 59: 465-472.
- Mellilo, J.M., Aber, J.D. et Muratore, J.F. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology* 63: 621-626.
- Messier, C. et Bellefleur, P. 1988. Light quantity and quality on the forest floor of pioneer and climax stages in a birch-beech-sugar maple stand. *Can. J. For. Res.* 18: 615-622.
- Meyer, B.S., Anderson, D.B., Bohning, R.H. et Fratianne, D.G. 1973. *Introduction To Plant Physiology*. Second Edition. D. Van Nostrand Company, New york, N.Y, 565 pages.
- Michard, J.G. et Riedacker, A. 1976. Morphogenèse et mycorhizes: morphogenèse, tropismes, et direction de croissance. Institut National de Recherches Agronomiques (INRA), CNRF, Nancy, France, 265 pages.
- Mishra, J. et Prasad, V.N. 1980. Agrisilvicultural studies on raising of oilseed like *Sesamum indicum* Linn (til), *Arachis hypogaea* Lin. (groundnut) and *Eglycine max*, Merrill (soybean) as cash crops in conjunction with *Dalbergia sissoo* Roxb. and *Tectona grandis* Linn. at Mandar, Ranchi. *Indian Forester* 106: 675-695.
- Molchanov, A.A. 1971. Cycles of atmospheric precipitation in different types of natural zones of the USSR, pp 49-68. In: *Productivity of Forest Ecosystems*. Edited by P. Duvigneaud. UNESCO, Paris.
- Montagni, F., Ramstad, K. et Sancho, F. 1993. Litterfall, litter decomposition and use of four indigenous tree species in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Agrofor. Syst.* 23: 39-61.

- Moore, LD. 1983. Throughfall pH: effect of precipitation timing and amount. *Water Res. Bull.* 19: 961-965.
- Moore, A.M. 1986. Temperature and moisture dependance of decomposition rates of hardwood and coniferous leaf litter. *Soil Biol. Biochem.* 18: 427-435.
- Morris, J.W., Bezuidenhout, J.J. et Furniss, P.R. 1982. Litter decomposition. pp 535-553. In: *Ecology of Tropical Savannas*. Edited by B.J. Huntley and B.H. Walker. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Nair, P.K.R. 1984. Soil productivity aspects of agroforestry. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenya, 85 pages.
- Nambiar, E.K.S. et Sands, R. 1993. Competition for water and nutrients in forests. *Can. J. For. Res.* 23: 1955-1968.
- Navar, J. 1993. The causes of stemflow variation in three semi-arid growing species of northeastern Mexico. *J. Hydrol.* 145: 197-190.
- Ndao, A. 1988. Analyse des effets induits par *Acacia senegal* sur une culture d'arachide (*Arachis hypogaea*, var. 55-437). Cas de la forêt de Déaly (Sénégal). Direction Nationale de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, République du Mali, 52 pages.
- Ndiaye, J.P. 1989. Bilan diagnostic du bassin arachidier en matière de développement rural. Dossier sectoriel Tome II. Ministère du développement rural, Dakar, Sénégal, 147 pages.
- Negi, J.D.S., Sharma, S.C. et Teneja, P.L. 1993. Interception and chemical composition of precipitation in *Pinus caribea* stand. *Indian Forester* 119: 25-32.

- Nejad, D.H. 1968. Étude expérimentale du polymorphisme des racines de cacaoyer. Contrôle de la plagiotropie des racines latérales chez *Theobroma cacao*. Bull. Bot. Fr. Mem. 1970: 183-192.
- Nielsen, D.R., Biggar, J.W. et Erh, K.T. 1973. Spatial variability of field measured soil water balance. Water Resour. 23: 2135-2143.
- Noirfalise, A. 1959. Sur l'interception de la pluie par le couvert dans quelques forêts belges. Bull. Soc. R. For. Belgique 66: 433-439.
- Ong, C.K. 1996. A framework for quantifying the various effects of tree-crop interactions. pp 1-23. In: Tree-Crop Interactions. A Physiological Approach. Edited by C.K. Ong and P.A. Huxley. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenya.
- Onim, J.F.M., Mathuva, M., Otieno, K. et Fitzhugh, H.A. 1990. Soil fertility changes and response of maize and beans to green manure of *Leucaena*, *Sesbania* and Pigeonpea. Agrofor. Syst. 12: 197-215.
- Ovington, J.D. 1954. A comparaison of rainfall in different woodlands. Forestry 27: 41-53.
- Palm, C.A. et Sanchez, P.A. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. Biotropica 22: 330-338.
- Palm, C.A. et Sanchez, P.A. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. Soil Biology and Biochemistry 23: 83-88.

Pandey, J.P., Gaur, J.P. et Singh, R.N. 1980. Litter input and decomposition in tropical dry deciduous forest, grassland and abandoned crop field communities at Varanasi, India. *Acta Oecologica* 15: 317-323.

Parton, W.J., Stewart, J.W.B. et Cole, C.V. 1988. Dynamics of C, N, P, and S in grassland soils: a model. *Biogeochemistry* 5: 109-132.

Peacock, J.M., Miller, W.B., Matsuda, K. et Robinson, D.L. 1990. Role of heat girdling in early seedling death of sorghum. *Crop Sci.* 30: 138-143.

Pelgrave, K.C. 1977. *Trees of Southern Africa*. Edited by E. J. Moll. Co. Struik Publisher, Cape Town, South Africa, 959 pages.

Pellegrin, F. 1948. *Les Légumineuses du Gabon*. Collection Mémoires de l'Institut d'études Centrafricaines, Brazzaville, n° 1., Librairie Larose, Paris, 284 pages.

Pereira, J.M.C., Tomé, M., Carreiras, M.M., Tomé, J.A., Pereira, J.S., David, J.S., Fabiao, A.M.D. 1997. Leaf area estimation from tree allometries in *Eucalyptus globulus* plantations. *Can. J. For. Res.* 27: 166-173.

Piéri, C. 1989. *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara*. Ministère de la Coopération et du Développement, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Paris, France, 444 pages.

Pillers, M.D. et Stuart, J.D. 1993. Leaf litter decomposition in interior and coastal old growth redwood stands. *Can. J. For.* 23: 552-557.

- Plamondon, A.P., Prévost, M. et Naud, R.C. 1984. Interception de la pluie dans la sapinière à bouleau blanc, Forêt Montmorency. *Can. J. For. Res.* 14: 722-730.
- Poore, M.E.D. et Fries, C. 1989. Les effets écologiques des Eucalyptus. Collection Étude FAO: Forêts 59. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, F.A.O., Rome, 118 pages.
- Prescott, E.C., Corbin, P.J. et Parkinson, D. 1989. Input, accumulation, and residence times of carbon, nitrogen, and phosphorus in four Rocky Mountain coniferous forests. *Can. J. For. Res.* 19: 489-498.
- Pressland, A.J. 1976. Soil moisture distribution as affected by throughfall and stemflow in an arid zone shrub community. *Austr. J. Bot.* 24: 641-649.
- Préval, P. M., Gagnard, J. et Gautier, P. 1984. L'Analyse Végétale dans le Contrôle de l'Alimentation des Plantes Tempérées et Tropicales. Technique et Documentation Lavoisier, Paris, France, 810 pages.
- Prévost, M. et Plamondon, A. 1987. Interception de la pluie par les débris et la couverture végétale établie après la coupe à blanc. *Nat. Can.* 114: 127-132.
- Pukett, L.J. 1991. Spatial variability and collector requirements for sampling throughfall volume and chemistry under a mixed hardwood canopy. *Can. J. For. Res.* 21: 1581-1588.
- Puri, S. et Khara, A. 1991. Allelopathic effects of *Eucalyptus tereticornis* on *Phaseolus vulgaris* seedlings. *International Tree Crops Journal* 5: 143-151.

Puri, S., Kumar, A. et Singh, S. 1994. Productivity of *Cicer arietinum* (chickpea) under a *Prosopis cineraria* agroforestry system in the arid regions of India. *Journal of Arid Environments* 27: 85-98.

Radosevich, R.R. et Holt, J.S. 1984. *Weed Ecology: Implications for Vegetation Management*. John Wiley and Sons Inc., New York, 265 pages.

Rai, V.R.S. et Suresh, K.K. 1988. Agrisilvicultural studies. Optimum species combination. *International Tree Crops Journal* 5: 1-8.

Rambal, S., Ibrahim, M. et Rapp, M. 1984. Variabilité spatiale des variations de stock d'eau dans le sol sous forêt. *Catena* 11: 177-186.

Ranger, J., Robert, M., Bonnaud, P.B. et Nys, C. 1990. Les minéreaux-test, une approche expérimentale in situ de l'altération biologique et du fonctionnement des écosystèmes forestiers. Effets des types de sols et des essences feuillues et résineuses. *Ann. Sci. For.* 21: 529-550.

Ratkowsky, D.A. 1983. *Nonlinear Regression Modeling. A Unified Practical Approach*. Marcel Dekker Inc., New York, 276 pages.

Reversat, B.F. 1982. Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna. *Oikos* 38: 321-332.

Ritchie, G.A. et Hinckley, T.M. 1975. The pressure chamber as an instrument for ecological research. *Adv. Ecol. Res.* 9: 165-264.

Rodale Institute 1989. La dégradation du sol et possibilité d'agriculture régénératrice dans le bassin arachidier. US Agency for International Development (USAID), Sénégal, 88 pages.

Rogers, R. et Hinckley, T.M. 1979. Foliar weight and area related to current sapwood area in oak. *For. Sci.* 25: 298-303.

Rogerson, T.L. 1967. Throughfall in pole sized loblolly pine as affected by stand density. pp 187-190. In: *Forest Hydrology*. Edited by W.E. Sopper et H.W. Lull. Pergamon Press Ltd., Oxford, London.

Rothacher, J. 1963. Net precipitation under a Douglas fir forest. *Forest Sci.* 9: 23-29.

Rouse, W.R. 1965. Aspects of a forest microclimate. Ph.D Thesis. Dept. of Geogr., McGill University, Montreal, Quebec.

Roussel, L. 1980. Essences d'ombre et de lumière. Vues modernes sur une notion ancienne. *Rev. For. Fr.* 32: 35-43.

Rowe, L.K. 1975. Rainfall interception by mountain beech. *N. Z. J. For. Sci.* 5: 45-61.

Rowe, L.K. 1979. Rainfall interception by a beech - *Podocarpus* - hardwood forest near Reefton, North Westland, New Zealand. *N. Z. J. Hydrol.* 18: 63-72.

Rowe, L.K. 1983. Rainfall interception by an evergreen beech forest, Nelson, N. Z. *J. Hydrol.* 66: 143-158.

Ruel, J.C., Loustau, D. et Pineau, M. 1988. Relationships between microtopography, litter characteristics and species distribution in a maple stand with yellow birch. *Can. J. For. Res.* 18: 1196-1202.

Rustad, L.E. et Cronan, C.S. 1989. Cycling of aluminum and nutrients in litterfall of a red spruce (*Picea rubens* Sarg.) stand in Maine. *Can. J. For. Res.* 19: 18-23.

Rutter, A.J., Kershaw, K.A., Robins, P.C. et Morton, A.J. 1971. A predictive model of rainfall interception in forests. I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. *Agricultural Meteorology* 9: 367-387.

Samprit, C. et Price, B. 1977. *Regression Analysis by Example*. John Wiley and Sons, New York, 228 pages.

Sankhla, N., Baxi, D. et Chatterji, U.N. 1965. Ecophysiological studies on arid zone plants. I. Phytotoxic effects of aqueous extracts of mesquite, *Prosopis juliflora* DC. *Current Science* 34: 612-614.

SAS Institute Inc. 1988. *SAS / STAT User' s Guide*. Release 6.03 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 1028 pages.

SAS Institute Inc. 1991. *SAS System for Linear Models*. Third edition, SAS Institute Inc., Cary, N.C., USA, 329 pages.

Sauvageot, A. 1980. Contribution à l'étude de la nutrition minérale de quelques résineux au Maroc. *Ann. Rech. For. (Maroc)* 20: 291-330.

Schnock, G. et Galoux, A. 1967. Recherches sur l'écosystème forêt, série B. La chênaie mélangée calcicole de Virelles-Blaimont. Contribution n°8: réception des précipitations et égouttement. *Bull. Inst. Sci. Nat. Belg.* 43: 1-30.

Schulze, R.E., Scott - Shaw, C.R. et Nänni, U.W. 1978. Interception by *Pinus patula* in relation to rainfall parameters. *J. Hydrol.* 36: 393-396.

Séne, A. 1994. Étude socioéconomique des systèmes à parc dans le Bassin arachidier. Cas de *Sterculia setigera* et de *Cordyla pinnata*. Institut Sénégalais de Recherches Agronomiques (ISRA), Direction des Recherches sur les Productions Forestières (DRPF), Dakar-Hann, Sénégal, 86 pages.

Setiadi, D.S. et Samingan, T. 1978. Allelopathic effects of *Acacia auriculiformis*, *A. villosa* and *Albizia falcataria* on seedlings of *Tamarindus indica*. *Kehutanan (Indonesia)* 5: 6-20.

Shankarharayan, K.A., Harsh, L.N. et Kathju, S. 1987. Agroforestry in the arid zones of India. *Agrofor. Syst.* 5: 69-88.

Shoup, S. et Witcomb, C.E. 1981. Interaction between trees and ground covers. *Journal of Arboriculture* 7: 186-187.

Singh, K.P. 1969. Studies in decomposition of litter of important trees of tropical deciduous forests at Varanasi, India. *Oikos* 30: 570-575.

Singh, J.S. et Gupta, R.S. 1978. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystem. *Bot. Rev.* 43: 449-522.

Singh, A.K. et Totey, N.G. 1985. Physico-chemical properties of Bhata soils of Raipur (M.P.) as affected by plantations of different tree species. *J. Trop. For.* 1: 61-63.

Singh, B., Sing, B., Khandelwal, R.B. et Singh, B. 1993. Response of groundnut to phosphatic fertilizer and their mode of application with and without gypsum on yield, quality and P uptake. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 41: 383-384.

Somirriba, E. 1988. Pasture growth and floristic composition under the shade of guava (*Psidium guajava L.*) trees in Costa Rica. *Agrofor. Syst.* 6: 153-162.

- Spurr, S.H. et Barnes, B.V. 1980. *Forest Ecology*. Third edition. John Wiley & Sons, New York, 687 pages.
- Steele, K.W., McCormick, S.J., Percival, N. et Brown, N.S. 1981. Nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, and sulphur requirements for maize grain production. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 9: 243-249.
- Steppler, H.A. et Nair, P.K.R. 1987. *Agroforestry. A decade of development*. International Centre of Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenya, 335 pages.
- St John, T.V. 1980. Influence of litter bags on growth of fungal vegetative structures. *Oecologia* 46: 130-132.
- Stöckli, H. 1991. Influence of stemflow upon the decomposing system in two beech stands. *Rev. Ecol. Biol. Sol* 28: 265-286.
- Stomph, T.J. 1990. Seedling establishment in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L) R.Br.). The influence of genotypes, physiological seed quality, soil temperature and soil water. D. Phil. Thesis, University of Reading, U.K. Cité par Vandenbeldt et Williams (1992).
- Story, R. 1987. Pasture patterns and associated soil water in partially cleared woodland. *Aust. J. Bot.* 15: 175-187.
- Strong, W.L. et Laroi, G.H. 1986. A strategy for concurrently monitoring the plant water potentials of spatially separated forest ecosystems. *Can. J. For. Res.* 16: 346-351.
- Suresh, K. K. et Rai, V.R.S. 1987. Studies on allelopathic effect of some agroforestry crops. *International Tree Crops Journal* 4: 109-115.

Suresh, K.K. et Rai, V.R.S. 1988. Allelopathic exclusion of understory by multipurpose trees. *International Tree Crops Journal* 5: 143-151.

Sushil, K., Kumar, R., Bangarwa, K.S. et Singh, D. 1991. Impact of *Dalbergia sisoo* on soil physical-chemical properties. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 9: 103-104.

Swift, M.J., Heal, O.W. et Anderson, J.M. 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. University of California Press, Berkeley, 362 pages.

Swift, M.J., Cook, A.G. et Perfect, T.J. 1980. The effect of changing agricultural practice on the biology of a forest soil in the subhumid tropics: 2. Decomposition. pp 541-548. In: *Tropical Ecology and Development*. Edited by J. I. Furtado. The International Society of Tropical Ecology, Kuala Lumpur, Malaysia.

Switzer, G.L. et Nelson, L.E. 1972. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems: the first twenty years. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 143-147.

Szott, L.T., Fernandes, E.C.M. et Sanchez, P.A. 1991. Soil - plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45: 127-152.

Taylor, H.M. et Klepper, B. 1978. The role of rooting characteristics in the supply of water to plants. *Adv. Agron.* 30: 99-128.

Taylor, B., Parkinson, D. et Parsons, W.F.J. 1989. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. *Ecology* 70: 97-104.

Taylor, B.R., Parsons, W.F.J. et Parkinson, D. 1989. Decomposition of *Populus tremuloides* leaf litter accelerated by addition of *Alnus crispa* litter. *Can. J. For. Res.* 19: 674-679.

Thakur, R.S., Prasad, R.G.S., Chadha, K.L. et Samra, J.S. 1981. Variation in mineral composition of mango leaves as contributed by leaf sampling factors. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 12: 331-343.

Tiedemann, A.R et Klemmedson, J.O. 1973. Effects of mesquite on physical and chemical properties of soil. *J. Range Manage.* 26: 27-29.

Tiedmann, A.R., Helvey, J.D. et Anderson, T.D. 1980. Effects of chemical defoliation of an *Abies grandis* habitat on amount and chemistry of throughfall and stemflow. *J. Environ. Qual.* 9: 320-328.

Tilander, Y. 1993. Effects of mulching with *Azadirachta indica* and *Albizia lebbeck* leaves on yield of sorghum under semi-arid conditions in Burkina Faso. *Agrofor. Syst.* 24: 277-293.

Tiraa, A.N. et Asghar, M. 1990. Corn growth as affected by nitrogen tree and grass plant materials supplemented by P and K fertilizers. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 8: 83-84.

Totey, N.G., Singh, A.K., Bhomik, A.K et Khatri, P.K. 1986. Effects of forest cover on physical-chemical properties of soil developed on sandstone. *Indian Forester* 112: 314-327.

Vandenbelt, R.J. et Williams, J.H. 1992. The effect of soil surface temperature on the growth of millet in relation to the effect of *Faidherbia albida* trees. *Agricultural and Forest Meteorology* 60: 93-100.

van Duivenbooden, N. et Cissé, L. 1993. Fertilization of millet cv. Souna III in Senegal: dry matter production and nutrient uptake. *Fertilizer Research* 35: 217-226.

- van Rossum, D., Muyotcha, A., van Verseveld, H.W., Stouthamer, A.H. et Boogerd, F.C. 1993. Effects of *Bradyrhizobium* strain and host genotype, nodule dry weight and leaf area on groundnut (*Arachis hypogaea* L. ssp. *Fastigiata*) yield. *Plant and Soil* 154: 279-288.
- Verimumbe, I. 1993. Soil and *Leucaena leucocephala* L. growth variability under *Faidherbia albida* Del. and *Ziziphus spina christi* L. Desf. *Agrofor. Syst.* 21: 287-292.
- Verry, E.S. 1976. Estimating water yield differences between hardwood and pine forest: an application of net precipitation data. U.S. For. Rep., NC-128.
- Viets, F.G. 1972. Water deficits and nutrient availability. pp 217-239. In: *Water deficits and plant growth*, vol. III. Edited by T.T Kozlowski, Department of Forestry, University of Wisconsin, Madison. Academic Press, New York.
- Vis, M. 1986. Interception, drop size and rainfall kinetic energy in four Columbian forest ecosystems. *Earth Surface Process and Landforms* 11: 591-603.
- Viville, D., Biron, P., Granier, A., Probst, A. 1993. Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France). *J. Hydrol.* 144: 273-282.
- Vogt, K.A. et Edmonds, R.L. 1980. Patterns of nutrient concentration in basidiocarps in western Washington. *Can. J. Bot.* 58: 694-698.
- Vogt, K.A., Grier, C.C. et Vogt, D.J. 1986. Production, turnover and nutrient dynamics of above and below ground detritus of world forests. *Adv. Ecol. Res.* 15: 303-377.
- Walker, M.E., Millinex, B.G.Jr. et Keisling, T.C. 1981. Calcium level in the peanut fruiting zone as influenced by gypsum particle size and application rate and time. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 12: 427-439.

Wallace, E.S. et Freedman, B. 1986. Forest floor dynamics in a chronosequence of hardwood stands in central Nova Scotia. *Can. J. For. Res.* 16: 293-302.

Waring, R.H., Schroeder, P.E. et Oren, R. 1982. Application of the pipe model theory to predict canopy leaf area. *Can. J. For. Res.* 12: 556-560.

Waring, R.H. et Running, S.W. 1997. *Forest Ecosystems: Analysis at Multiple Scales*. Academic Press, San Diego, California (sous presse).

Weber, F. et Hoskins, M. 1983. *Agroforestry in the Sahel*. Department of Sociology, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Virginia, 102 pages.

Weltzin, J.F. et Coughenour, M.B. 1990. Savanna trees influence on understorey vegetation and soil nutrients in northwestern Kenya. *Journal of Vegetation Science* 1: 325-334.

White, E.J. et Carlisle, A. 1986. The interception of rainfall by mixed deciduous woodland. *Quart. J. For.* 62: 310-320.

White, D.L., Haines, B.L. et Boring, L.R. 1988. Litter decomposition in southern Appalachian black locust and pine - hardwood stands: litter quality and nitrogen dynamics. *Can. J. For. Res.* 18: 54-63.

Whitford, W.G., Meentemeyer, V., Seastedt, T.R., Cromack, K.J. et Waide, D.A. 1981. Exceptions to the AET model: deserts and clearcut forest. *Ecology* 62: 275-277.

Will, G.M., Hodgkiss, P.D. et Madgick, H.A.I. 1983. Nutrient losses from litter bags containing *Pinus radiata* litter: influences of thinning, clearfelling and urea fertiliser. *N. Z. J. For. Sci.* 13: 291-304.

Wilm, H.G. 1943. Determining net rainfall under a conifer forest. *J. Agric. Res.* 67: 501-512.

Witkamp, M. et van Der Drift, J. 1961. Breakdown of forest litter in relation to environmental factors. *Plant Soil* 15: 295-311.

Witkamp, M. 1966. Decomposition of leaf litter in relation to environment, microflora, and microbial respiration. *Ecology* 47: 194-201.

Witkamp, M. et Crossley, D.A. 1966. The role of arthropods and microflora in breakdown of white oak litter. *Pedobiologia* 6: 293-303.

Yadav, J.P, Sharma, K.K et Khanna, P. 1993. Effect of *Acacia nilotica* on mustard crop. *Agrofor. Syst.* 21: 91-98.

Yamoha, C.F. et Burleigh, J.R. 1990. Alley cropping *Sesbania sesban* (L.) Merrill with food crops in the high region of Rwanda. *Agrofor. Syst.* 10: 169-181.

Yin, X., Perry, J.A. et Dixon R.K. 1989. Influence of canopy removal on oak floor decomposition. *Can. J. For. Res.* 19: 204-214.

Zinke, P.J. 1967. Forest interception studies in the United States, pp 137-161. In: *Forest Hydrology*. Edited by W.E. Sopper and H.W. Lull, Pergamon Press, Oxford.

Annexes

Annexe 1. Décomposition de l'ANOVA effectuée sur les propriétés chimiques et la texture du sol.

Sources de variation	Degrés de liberté
Bloc	3
Volume du houppier (V)	2
Erreur 1	6
Distance au tronc (R)	2
Erreur 2	6
Interaction V x R	4
Erreur résiduelle	12
Total	35

Annexe 2. Décomposition de l'ANOVA effectuée sur l'humidité et la masse volumique apparente du sol.

Sources de variation	Degrés de liberté
Volume du houppier (V)	2
Élagage (E)	2
V x E	4
Erreur 1	12
Distance au tronc (R)	2
Erreur 2	6
R x V	4
R x E	4
R x V x R	8
Erreur 3	24
Profondeur (P)	2
Erreur 4	6
P x V	4
P x E	4
P x V x E	8
Erreur 5	24
R x P	4
Erreur 6	12
P x R x V	8
P x R x E	8
P x R x V x E	16
Erreur résiduelle	159
Total corrigé	323

Annexe 3. Décomposition de l'ANOVA effectuée sur le potentiel hydrique de l'arachide.

Sources de variation	Degrés de liberté
Bloc	2
Volume du houppier (V)	2
Bloc*(V)	4
Orientation (O)	1
Bloc*(O)	2
V x O	2
Bloc*(V x O)	4
Distance (R)	2
Bloc*(R)	4
V x R	4
Bloc*(V x R)	8
O x R	2
Bloc*(O x R)	4
V x O x R	4
Bloc*(V x O x R)	8
Heure (H)	6
Bloc*(H)	12
H x V	12
H x Bloc*(V)	24
H x O	6
H x Bloc*(O)	12
H x V x O	12
H x Bloc*(V x O)	24
H x R	12
H x Bloc*(R)	24

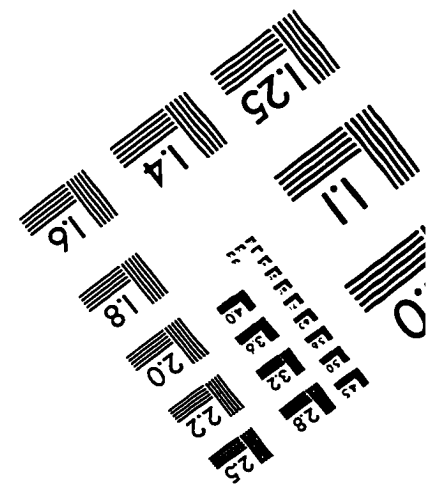
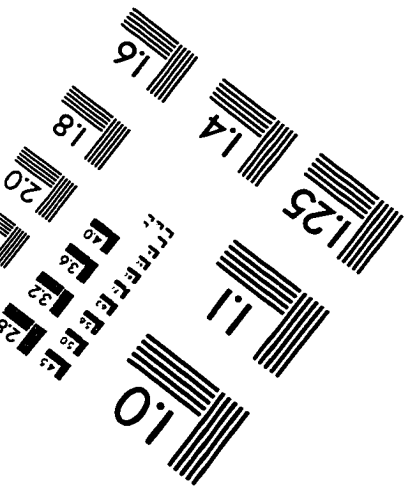
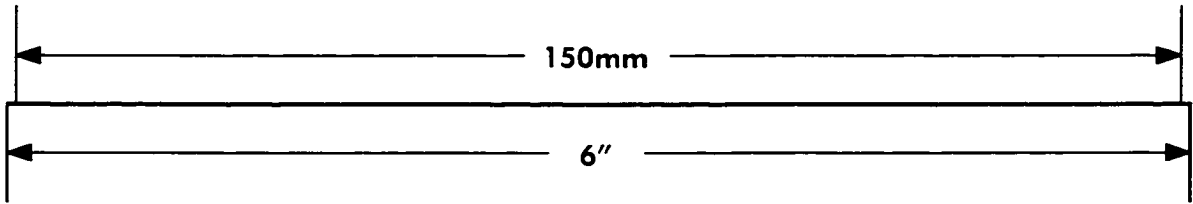
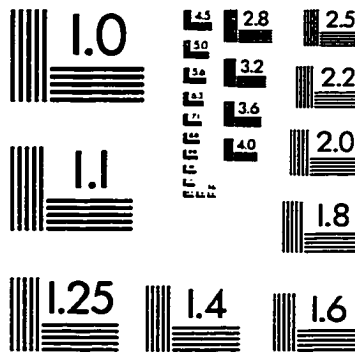
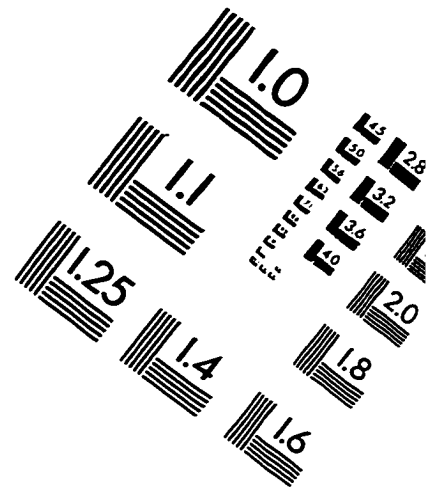
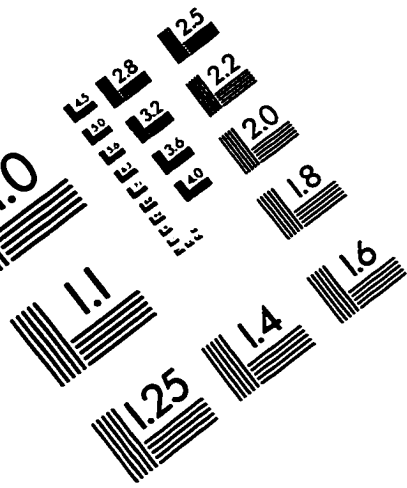
Sources de variation	Degrés de liberté
H x V x R	24
H x Bloc*(V x R)	48
H x O x R	12
H x Bloc*(O x R)	24
H x V x O x R	24
Erreur résiduelle	48
Total corrigé	377

Bloc*(facteur ou interaction) = terme d'erreur associé au facteur ou à l'interaction entre les facteurs.

Annexe 4. Décomposition de l'ANOVA effectuée sur le rendement des cultures.

Sources de variation	Degrés de liberté
Volume du houppier (V)	2
Élagage (E)	3
V x E	6
Erreur 1	36
Orientation (O)	1
Erreur 2	3
V x O	2
E x O	3
V x E x O	6
Erreur 3	33
Distance au tronc (R)	2
Erreur 4	6
V x R	4
E x R	6
O x R	2
V x E x R	12
V x O x R	4
E x O x R	6
V x E x O x R	12
Erreur résiduelle	137
Total corrigé	286

IMAGE EVALUATION TEST TARGET (QA-3)



APPLIED IMAGE . Inc
 1653 East Main Street
 Rochester, NY 14609 USA
 Phone: 716/482-0300
 Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied Image, Inc., All Rights Reserved