

MICHEL BOULAY

**ETUDE DE LA PHENOLOGIE DE DIFFERENTS HYBRIDES DE CACAOYER  
ASSOCIES A SIX ESPECES D'ARBRE D'OMBRE**

Mémoire  
présenté  
à la Faculté des études supérieures  
de l'Université Laval  
pour l'obtention  
du grade de maître ès sciences (M. Sc.)

Département des sciences du bois et de la forêt  
FACULTE DE FORESTERIE ET DE GEOMATIQUE  
UNIVERSITE LAVAL

DECEMBRE 1998



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.

0-612-38034-3

## Résumé

L'étude de la phénologie de différents hybrides de cacaoyer associés à 6 espèces d'arbre d'ombrage (*Erythrina poeppigiana*, *Gliricidia sepium*, *Inga edulis*, *Cordia alliodora*, *Terminalia ivorensis* et *Tabebuia rosea*) a été réalisée aux sites de Margarita, au Costa Rica, et d'Ojo de Agua, au Panama.

Les résultats indiquent que l'ombre projetée au sol varie significativement dans le temps selon les arbres d'ombrage. L'étude des patrons de la croissance des tiges et des feuilles, de la floraison, du nombre de gourmands ainsi que des rendements montre que les patrons sont similaires pour les différents hybrides de cacaoyers et pour les cacaoyers croissant sous différentes espèces d'arbre au site de Margarita. Par contre, au site d'Ojo de Agua, le patron des rendements des cacaoyers varie selon l'espèce d'arbre d'ombrage associée. Par ailleurs, on observe des différences significatives, dans le temps, entre les différents hybrides de cacaoyers et entre les cacaoyers croissant sous différentes espèces d'arbre pour l'intensité de la croissance des tiges et des feuilles et de la floraison, le nombre de gourmands et les rendements. Les résultats suggèrent que les variations de l'ombre projetée au sol par les arbres d'ombrage influencent la phénologie du cacaoyer.

## TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES MATIÈRES .....</b>	<b>I</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>VII</b>
<b>1 INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVUE DE LITTÉRATURE .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 LE CACAOYER.....</b>	<b>3</b>
2.1.1 LA RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE ET LA TAXONOMIE .....	3
2.1.2 LA MORPHOLOGIE ET LA BIOLOGIE .....	4
<i>a) Les racines .....</i>	<i>4</i>
<i>b) La tige.....</i>	<i>4</i>
<i>c) La feuille.....</i>	<i>5</i>
<i>d) La fleur.....</i>	<i>6</i>
<i>e) Le fruit.....</i>	<i>7</i>
2.1.3 L'ÉCOLOGIE .....	8
<i>a) La température.....</i>	<i>8</i>
<i>b) La pluviométrie et l'humidité.....</i>	<i>8</i>
<i>c) Les sols.....</i>	<i>8</i>
<i>d) La lumière.....</i>	<i>8</i>
2.1.4 LES MÉTHODES CULTURALES.....	9
<b>2.2 LA CULTURE DU CACAOYER SOUS OMBRAGE PERMANENT .....</b>	<b>10</b>
2.2.1 LA TAILLE ET LA COUPE SÉLECTIVE .....	11
2.2.2 LA GESTION DE L'OMBRAGE DE CHACUNE DES ESPÈCES D'ARBRE UTILISÉES.....	11
<i>a) L'Erythrina poeppigiana .....</i>	<i>11</i>

b) <i>Le Gliricidia sepium</i> .....	12
c) <i>L'Inga edulis</i> .....	13
d) <i>Le Cordia alliodora</i> .....	13
e) <i>Le Tabebuia rosea</i> .....	14
f) <i>Le Terminalia ivorensis</i> .....	14
<b>2.3 LA PHÉNOLOGIE DU CACAOYER.....</b>	<b>14</b>
2.3.1 LA CROISSANCE DES TIGES ET DES FEUILLES .....	15
a) <i>L'effet de la température</i> .....	15
b) <i>L'effet du bilan hydrique</i> .....	16
c) <i>L'effet de la lumière et de la teneur en hydrates de carbone</i> .....	17
d) <i>L'effet des régulateurs de croissance</i> .....	19
2.3.2 LA FLORAISON.....	19
a) <i>L'effet de la température</i> .....	20
b) <i>L'effet du bilan hydrique</i> .....	20
c) <i>L'effet de la lumière et de la teneur en hydrates de carbone</i> .....	21
2.3.3 LA PRODUCTION DE FRUITS.....	22
<b>3 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 LES HYPOTHÈSES DE RECHERCHE.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 LES OBJECTIFS DE LA RECHERCHE .....</b>	<b>24</b>
3.2.1 L'OBJECTIF GÉNÉRAL .....	24
3.2.2 LES OBJECTIFS SPÉCIFIQUES.....	24
<b>3.3 LA DESCRIPTION DES SITES.....</b>	<b>24</b>
3.3.1 LE SITE DE MARGARITA.....	25
a) <i>La localisation et les caractéristiques du site</i> .....	25
b) <i>Les travaux effectués sur le site</i> .....	27

3.3.2	LE SITE D'OJO DE AGUA.....	27
	<i>a) La localisation et les caractéristiques du site.....</i>	27
	<i>b) Les travaux effectués sur le site .....</i>	29
<b>3.4</b>	<b>LA DESCRIPTION DE L'EXPÉRIMENTATION .....</b>	<b>31</b>
3.4.1	LE PLAN D'EXPÉRIMENTATION.....	31
3.4.2	LES VARIABLES MESURÉES .....	32
3.4.3	L'ANALYSE DES DONNÉES .....	34
	<i>a) Considérations générales.....</i>	34
	<i>b) L'analyse de l'intensité de la croissance des tiges et des feuilles, de la floraison et du nombre de gourmands.....</i>	34
	<i>c) L'analyse des rendements et de l'ombrage.....</i>	34
<b>4</b>	<b>RÉSULTATS.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>LA CROISSANCE DES TIGES ET DES FEUILLES.....</b>	<b>36</b>
4.1.1	LE PATRON DE CROISSANCE DES TIGES ET DES FEUILLES DES DIFFÉRENTS HYBRIDES DE CACAOYERS.....	36
4.1.2	LE PATRON DE LA CROISSANCE DES TIGES ET DES FEUILLES DES CACAOYERS SOUS DIFFÉRENTES ESPÈCES D'ARBRE.....	39
<b>4.2</b>	<b>LA FLORAISON .....</b>	<b>41</b>
4.2.1	LE PATRON DE LA FLORAISON DES DIFFÉRENTS HYBRIDES DE CACAOYERS.....	41
4.2.2	LE PATRON DE LA FLORAISON DES CACAOYERS SOUS DIFFÉRENTES ESPÈCES D'ARBRE.....	43
<b>4.3</b>	<b>LE DÉVELOPPEMENT DES GOURMANDS .....</b>	<b>46</b>
4.3.1	LE PATRON DU DÉVELOPPEMENT DE NOUVEAUX GOURMANDS DES DIFFÉRENTS HYBRIDES DE CACAOYERS.....	46
4.3.2	LE PATRON DU DÉVELOPPEMENT DE NOUVEAUX GOURMANDS DES CACAOYERS SOUS 3 ESPÈCES D'ARBRES D'OMBRAGE .....	49
<b>4.4</b>	<b>LES RENDEMENTS.....</b>	<b>51</b>

4.4.1	LES RENDEMENTS DES CACAOYERS SOUS DIFFÉRENTES ESPÈCES D'ARBRE D'OMBRAGE À MARGARITA, AU COSTA RICA .....	51
4.4.2	LES RENDEMENTS DES CACAOYERS SOUS DIFFÉRENTES ESPÈCES D'ARBRES D'OMBRAGE À OJO DE AGUA, AU PANAMA.....	53
<b>4.5</b>	<b>L'OMBRAGE .....</b>	<b>56</b>
4.5.1	LE PATRON DE L'OMBRE PROJETÉE AU SOL À MARGARITA, AU COSTA RICA.....	56
4.5.2	LE PATRON DE L'OMBRE PROJETÉE AU SOL À OJO DE AGUA, AU PANAMA .....	58
<b>5</b>	<b>DISCUSSION .....</b>	<b>61</b>
<b>5.1</b>	<b>L'OMBRE PROJETÉE AU SOL.....</b>	<b>61</b>
<b>5.2</b>	<b>LA CROISSANCE DES TIGES ET DES FEUILLES.....</b>	<b>61</b>
<b>5.3</b>	<b>LA FLORAISON .....</b>	<b>64</b>
<b>5.4</b>	<b>LE DÉVELOPPEMENT DES GOURMANDS .....</b>	<b>65</b>
<b>5.5</b>	<b>LES RENDEMENTS.....</b>	<b>66</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>68</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>70</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Fonctions, avantages et inconvénients des arbres d’ombrage dans la culture du cacaoyer.....	10
Tableau 2 : Travaux effectués sur les arbres d’ombrage à Margarita, au Costa Rica .....	28
Tableau 3 : Travaux effectués sur les arbres d’ombrage à Ojo de Agua, au Panama .....	30
Tableau 4 : Arbres d’ombrage et hybrides de cacaoyers utilisés à Margarita, au Costa Rica et à Ojo de Agua, au Panama .....	31
Tableau 5 : Résultats de l’ANOVA pour la croissance des tiges et des feuilles à Margarita, au Costa Rica .....	36
Tableau 6 : Intensité moyenne de la croissance foliaire de 6 hybrides de cacaoyer à Margarita, au Costa Rica .....	38
Tableau 7 : Intensité maximale de la croissance des tiges et des feuilles, atteinte au cours des poussées de croissance des cacaoyers à Margarita, au Costa Rica .....	38
Tableau 8 : Intensité moyenne de la croissance foliaire des cacaoyers cultivés sous 3 espèces d’arbre d’ombrage à Margarita, au Costa Rica .....	40
Tableau 9 : Intensité maximale de la croissance des tiges et des feuilles atteinte par les cacaoyers au cours des poussées de croissance à Margarita au Costa Rica.....	40
Tableau 10 : Résultats de l’ANOVA pour la floraison des cacaoyers à Margarita, au Costa Rica .....	41
Tableau 11 : Intensité moyenne de la floraison de 6 hybrides de cacaoyer à Margarita, au Costa Rica .....	43
Tableau 12 : Intensité maximale de la floraison atteinte par 6 hybrides de cacaoyers au cours des poussées de floraison à Margarita, au Costa Rica.....	43
Tableau 13 : Intensité moyenne de la floraison de cacaoyers cultivés sous 3 espèces d’arbre d’ombrage à Margarita, au Costa Rica.....	45
Tableau 14 : Intensité maximale de la floraison atteinte au cours des poussées de floraison par des cacaoyers croissant sous 3 espèces d’arbre d’ombrage à Margarita, au Costa Rica.....	45
Tableau 15 : Résultats de l’ANOVA pour le nombre de gourmands des cacaoyers à Margarita, au Costa Rica .....	46

Tableau 16 : Nombre moyen de gourmands de 6 hybrides de cacaoyer à Margarita, au Costa Rica .....	47
Tableau 17 : Nombre moyen de gourmands produits par 6 hybrides de cacaoyers au cours des poussées de développement de nouveaux gourmands à Margarita, au Costa Rica.....	48
Tableau 18 : Nombre moyen de gourmands des cacaoyers cultivés sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica.....	50
Tableau 19 : Nombre moyen de gourmands produits au cours des poussées de développement de nouveaux gourmands par des cacaoyers associés à 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica .....	50
Tableau 20 : Résultats de l'ANOVA pour le rendement des cacaoyers à Margarita, au Costa Rica .....	51
Tableau 21 : Rendement en cacao sec de cacaoyers associés à 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica.....	52
Tableau 22 : Résultats de l'ANOVA pour le rendement des cacaoyers à Ojo de Agua, au Panama .....	54
Tableau 23 : Rendement en cacao sec de cacaoyers associés à 4 espèces d'arbres d'ombrage à Ojo de Agua, au Panama.....	54
Tableau 24 : Résultats de l'ANOVA pour le % d'ombre projetée par les arbres d'ombrage associés aux cacaoyers à Margarita, au Costa Rica.....	56
Tableau 25 : Pourcentage d'ombre moyen dans les parcelles des cacaoyers associés à 3 espèces d'arbres d'ombrage à Margarita, au Costa Rica.....	56
Tableau 26 : Résultats de l'ANOVA pour le % d'ombre projetée par les arbres d'ombrage associés aux cacaoyers à Ojo de Agua, au Panama.....	58
Tableau 27 : Pourcentage d'ombre moyen dans les parcelles de cacaoyers associés à 3 espèces d'arbres d'ombrage à Ojo de Agua, au Panama.....	59

## Liste des figures

Figure 1 : Pluviométrie à Margarita, au Costa Rica (de novembre 1991 à novembre 1992).....	26
Figure 2 : Pluviométrie à Margarita, au Costa Rica (de juin 1994 à mai 1997).....	26
Figure 3 : Patron de la croissance des tiges et des feuilles de 6 hybrides de cacaoyer à Margarita, au Costa Rica.....	37
Figure 4 : Patron de croissance des tiges et des feuilles des cacaoyers cultivés sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica.....	39
Figure 5 : Patron de la floraison de 6 hybrides de cacaoyer à Margarita, au Costa Rica.....	42
Figure 6 : Patron de floraison de cacaoyers cultivés sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica.....	44
Figure 7 : Patron de développement de nouveaux gourmands de 6 hybrides de cacaoyer à Margarita, au Costa Rica.....	47
Figure 8 : Patron de développement de nouveaux gourmands des cacaoyers cultivés sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica.....	49
Figure 9 : Patron des rendements des cacaoyers croissant sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica.....	53
Figure 10 : Patron des rendements des cacaoyers croissant sous 4 espèces d'arbre d'ombrage à Ojo de Agua, au Panama.....	55
Figure 11 : Patron de l'ombre projetée par 3 espèces d'arbre d'ombrage associés aux cacaoyers à Margarita, au Costa Rica.....	57
Figure 12 : Patron de l'ombre projetée au sol par 4 espèces d'arbre d'ombrage associés aux cacaoyers à Ojo de Agua, au Panama.....	59

## 1 INTRODUCTION

Le cacaoyer est une plante tropicale cultivée principalement pour ses fèves qui, après fermentation et séchage, procurent la poudre de cacao et ses dérivés qui sont utilisés principalement dans l'industrie du chocolat. Actuellement, la production mondiale de cacao se concentre en Afrique de l'Ouest (Côte d'Ivoire et Ghana) et en Amérique du Sud (Brésil). La majorité de la production de cacao est produite par de petits et moyens planteurs.

Le cacaoyer croît bien dans des milieux très chauds et humides et dans les sols où la teneur en matière organique est particulièrement élevée dans les 20 premiers centimètres. Traditionnellement, le cacaoyer est cultivé en association avec des arbres d'ombrage. Toutefois, afin d'augmenter les rendements, les arbres d'ombrage ont graduellement quitté les plantations pour faire place à des cultures pures. Par contre, sans les arbres d'ombrage, la culture des cacaoyers demande davantage d'intrants et le nombre d'années de production est réduit.

Chez le cacaoyer adulte, la croissance des tiges et des feuilles, la floraison, le développement de nouveaux gourmands et le développement des fruits surviennent de façon cyclique. C'est-à-dire que des périodes au cours desquelles la croissance des tiges et des feuilles, la floraison, le développement de nouveaux gourmands et le développement des fruits sont plus importants alternent avec des périodes où ils le sont moins.

La phénologie du cacaoyer, c'est-à-dire l'étude des cycles de développement, a été très étudiée entre les années 1960 et 1990 (Sale, 1970a ; Alvim, 1977 ; Owusu et coll., 1978 ; Taylor et Hadley, 1988b). L'objectif était de comprendre les mécanismes qui contrôlent ou qui influencent la phénologie du cacaoyer. Le but ultime est de fournir aux intervenants sur le terrain les informations nécessaires afin d'améliorer les techniques culturales et d'augmenter les rendements.

Il a été démontré qu'une température trop élevée ou trop basse, une saison sèche supérieure à 3 mois et un ombrage excessif ont un impact direct sur la phénologie du cacaoyer (Sale, 1969a ; Asomaning et coll., 1971 ; Alvim, 1977 ; Taylor et Hadley, 1988a). Les chercheurs ont tenté d'étudier notamment l'influence de la température, du bilan hydrique et de la lumière sur la phénologie du cacaoyer. D'autres chercheurs ont essayé de mettre en relation les liens qui existent entre la phénologie, les régulateurs de croissance (Taylor et Hadley, 1988b), les taux de sucres libres (Owusu et coll., 1978) et la lumière (Taylor et Hadley, 1988a ; Adomako et coll., 1990).

Les résultats qui sont présentés dans ce travail font suite à des recherches réalisées en milieu paysan par le Centro Agronómico Tropical de Investigación y de Enseñanza (CATIE), et portant sur l'étude de la phénologie de différents hybrides de cacaoyers associés à différentes espèces d'arbre d'ombrage. Les parcelles d'expérimentation ont été mises en place en 1988 sur 2 sites, l'un au Costa Rica et l'autre au Panama, et elles ont été financées par la coopération allemande.

La croissance des tiges et des feuilles, la floraison ainsi que le développement de nouveaux gourmands ont été étudiés, entre novembre 1991 et novembre 1992, sur le site de Margarita, au Costa Rica. Au total, 6 hybrides de cacaoyers provenant de la collection du CATIE, ont été associés avec l'*Erythrina poeppigiana*, le *Gliricidia sepium* et l'*Inga edulis*.

Le pourcentage d'ombrage projeté au sol et les rendements ont été évalués, entre juin 1994 et mai 1997, sur les sites de Margarita et d'Ojo de Agua, au Panama. Les cacaoyers ont été associés avec l'*Erythrina poeppigiana*, le *Gliricidia sepium* et l'*Inga edulis*, pour le site de Margarita, et avec le *Cordia alliodora*, l'*Inga edulis*, le *Terminalia ivorensis* et le *Tabebuia rosea* pour le site d'Ojo de Agua.

L'analyse des données recueillies au cours de ces différentes années par le personnel du CATIE a été réalisée lors d'un séjour sur le terrain que j'ai eu l'occasion d'effectuer en 1997.

Ce mémoire présente un bref survol des principales caractéristiques du cacaoyer, de la culture sous ombrage permanent et de la phénologie du cacaoyer. On retrouve en plus les hypothèses et les objectifs de recherche, la description des sites et le dispositif expérimental. Les résultats sont généralement présentés sous la forme de figures ou de tableaux et ils sont suivis d'une discussion.

## 2 REVUE DE LITTÉRATURE

### 2.1 Le cacaoyer

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) est originaire de l'Amérique du Sud et plus particulièrement du bassin amazonien. Il est cultivé principalement pour ses fèves qui, après fermentation et séchage, donnent la pâte de cacao et ses dérivés qui servent notamment à l'industrie du chocolat.

#### 2.1.1 La répartition géographique et la taxonomie

Le cacaoyer fait partie de l'ordre des Malvacées, de la famille des Sterculiacées, du genre *Theobroma* et de l'espèce *cacao*. Il possède 20 chromosomes et est hautement allogame (Braudeau, 1969).

On classe généralement les cacaoyers cultivés en trois grands groupes, soit les Criollo, les Forastero et les Trinitario. L'appellation Criollo fut à l'origine attribuée, par les Espagnols, aux cacaoyers cultivés au Venezuela. Comme principales caractéristiques, les Criollo sont de petite taille et produisent un chocolat fin et aromatisé. Par contre, ils sont très sensibles aux maladies et difficilement adaptables à d'autres sites de production (Enríquez, 1985). Les Criollo, malgré la très bonne qualité du cacao produit, ne sont presque plus cultivés actuellement.

Le groupe des Forastero, dont font partie tous les cacaoyers cultivés au Brésil et en Afrique de l'Ouest ainsi que de nombreux cultivars rencontrés dans les différents pays d'Amérique centrale et du Nord de l'Amérique du Sud, sont originaires de la Haute Amazonie. Bien que la qualité des fèves soit inférieure à celle des Criollo, les Forastero sont robustes et donnent une bonne production (Enríquez, 1985).

Le groupe des Trinitario constitue une population hybride des deux premiers groupes. Les caractéristiques botaniques de ce groupe sont difficiles à définir. La population est très polymorphe et les caractères observés sont très variables chez les descendances (Mossu, 1990). Ce groupe fournit actuellement de 10 à 15 % de la production mondiale de cacao (Enríquez, 1985).

Au Costa Rica, les cacaoyers cultivés près de la côte atlantique appartiennent au groupe des Trinitario. Comme ceux-ci sont très hétérogènes, ils offrent un matériel de choix pour les

sélectionneurs. La collection de cacaoyers du CATIE, située à Turrialba au Costa Rica, est considérée comme l'une des plus diversifiées et riches d'Amérique. La sélection des Trinitario a abouti à la création de clones dont certains sont aujourd'hui très répandus. Ces clones portent en général le nom des organismes ou centres de recherches où ils ont été sélectionnés. Par exemple, le clone UF a été sélectionné par la United Fruit au Costa Rica et le clone POUND porte le nom du chercheur F. J. Pound (Enríquez et Paredes, 1989).

### **2.1.2 La morphologie et la biologie**

Le cacaoyer est un arbre d'une hauteur de 5 à 7 mètres qui atteint son plein développement à l'âge de 10 ans. Bien que sa production débute vers l'âge de 5 ans (3 ans pour certains hybrides), on estime que le cacaoyer peut produire suffisamment, dans une plantation bien entretenue, jusqu'à l'âge de 25 à 30 ans. Après quoi, le cacaoyer continue à produire, mais la mortalité est plus élevée et la production est moindre (Ministère de la coopération, 1993).

#### **a) Les racines**

Les cacaoyers provenant de semences ont une racine principale (le pivot) qui peut atteindre, en fonction du type de sol, entre 0,80 m et 1,50 m vers l'âge de 10 ans. Il est un arbuste humicole, car il se nourrit dans l'horizon de surface. En effet, dans les 20 à 25 premiers centimètres du sol, on retrouve environ 85 % de toutes les racines latérales. Celles-ci peuvent se développer de façon irrégulière, jusqu'à un rayon de 5 ou 6 m autour du cacaoyer (Mossu, 1990).

Les cacaoyers produits à partir de bouture n'émettent que des racines latérales. Cependant, une ou plusieurs racines latérales peuvent se développer verticalement et former un ou plusieurs pivots (Mossu, 1990). L'absence de pivot, chez les jeunes cacaoyers provenant de boutures, a comme effet de ralentir leur développement végétatif et de les rendre moins résistants à la sécheresse (Braudeau, 1969).

#### **b) La tige**

Après l'apparition des premières feuilles sur le jeune plant, le bourgeon terminal poursuit son développement et la tige croît verticalement jusqu'à l'âge de 18 mois. L'extrémité de la tige présente alors l'aspect caractéristique d'un massif de 5 bourgeons axillaires disposés en verticille et dont le développement donne naissance à cinq branches qui formeront la couronne (Enríquez, 1985). La hauteur de la couronne est en moyenne de 1,5 m (Enríquez et Paredes, 1989).

D'autres couronnes peuvent se former, à partir de l'aisselle d'une feuille ou d'une cicatrice foliaire, lorsqu'un bourgeon axillaire se développe immédiatement en-dessous des branches de la couronne. Cette nouvelle tige va croître de la même façon que la tige principale et formera une seconde couronne. Lorsque cette dernière est bien développée, la première couronne disparaît. Un, deux, trois ou même quatre étages peuvent ainsi se superposer successivement à la tige initiale (Enríquez et Parades, 1989).

Lorsque les bourgeons axillaires du tronc se développent, ceux-ci donnent naissance à des rejets orthotropes (gourmands). Ces derniers se localisent le plus souvent soit à la base du tronc, soit à son sommet (Enríquez, 1985).

Le nombre de branches de la couronne est normalement de 5, mais peut varier de 2 à 5, rarement plus. Le port des branches et des ramifications secondaires auxquelles elles donnent naissance est sub-horizontale (plagiotropie). Leur croissance est indéfinie, mais discontinue. La croissance se fait par des poussées foliaires successives qui sont séparées par des périodes de repos pendant lesquelles les bourgeons terminaux reprennent leur dormance (Ministère de la coopération, 1993). Le rythme des poussées foliaires sera davantage explicité dans la section sur la phénologie du cacaoyer.

### c) La feuille

La feuille, dont le limbe est entier, lancéolé et penninervé, peut atteindre 50 cm de longueur et elle vit généralement 1 an. Les jeunes feuilles, pigmentées, sont de consistance molle et pendante. La couleur change en fonction des cultivars ou des clones, mais varie habituellement du vert pâle ou rosé au violet foncé (Enríquez, 1985). Les feuilles directement exposées à la lumière sont plus petites et plus épaisses que les feuilles fortement ombragées. Les stomates n'existent que sur la face inférieure des feuilles et le nombre de ceux-ci est plus faible pour des feuilles qui se développent sous un ombrage (Mossu, 1990).

La feuille, en vieillissant, va perdre sa pigmentation, prendre une couleur vert foncé et devenir plus rigide. Au fur et à mesure que le temps passe, la feuille perd de sa souplesse et devient cassante. Sur un axe orthotrope, la phyllotaxie est de 3/8 alors que sur un axe plagiotope elle est de \_ (Ministère de la coopération, 1993).

La longueur du pétiole varie en fonction des axes. Il est de 7 à 9 cm pour les axes orthotropes et de 2 à 3 cm pour les rameaux plagiotropes. Il est muni à ses extrémités de deux renflements formant des articulations qui permettent à la feuille de s'orienter vers la lumière (Braudeau, 1969).

#### d) La fleur

La floraison, bien que quelques fleurs soient présentes durant toute l'année, varie en intensité au cours de la saison (voir la section sur la phénologie du cacaoyer). Les premières fleurs apparaissent, en général, 3 ans après la germination. Celles qui sont situées sur le tronc ne sont pas présentes avant le développement de la couronne ; celles qui sont situées sur les branches apparaissent 1 à 2 ans après l'aoûtement (Enríquez et Parades, 1989). Par contre, certains hybrides ont une floraison beaucoup plus précoce, soit de 14 à 18 mois après la germination (Alvim, 1977).

La fleur, supportée par un pédicule de 1 à 3 cm de longueur, est de petite taille, régulière et elle est hermaphrodite. Elle comporte 5 pétales, soudées à leur base, de couleur blanche ou teintée de rose, qui alternent avec les sépales. L'ovaire est supère et comprend cinq loges qui peuvent contenir de 6 à 12 ovules chacune. Le style est tubulaire et est terminé par 5 stigmates. L'androcée est composé de 5 étamines qui alternent avec 5 staminodes stériles. Les étamines et les staminodes sont soudés à leur base pour former un tube très court. Les staminodes sont de couleur violacée et sont érigés autour du style tandis que les étamines, blanches, sont recourbées vers l'extérieur et cachent ainsi leurs anthères à l'intérieur des pétales. Chaque étamine est double et les anthères comportent 4 sacs polliniques (Braudeau, 1969).

La déhiscence des anthères, qui a lieu dès l'épanouissement de la fleur, libère un pollen immédiatement fonctionnel. Les grains de pollen sont sphéroïdes et de petite dimension (16 à 23 microns de diamètre). Leur viabilité est de courte durée et ne dépasse pas 48 heures dans les conditions naturelles. L'épanouissement du bouton floral débute l'après-midi, vers 17h00 et est complet aux petites heures de la matinée suivante (Braudeau, 1969). Lorsque le milieu ambiant est sec et bien éclairé, l'épanouissement des boutons floraux est plus rapide (Enríquez, 1985).

L'inflorescence est une cime bipare aux ramifications très courtes (1 à 2 mm). Elle prend naissance à la base des feuilles, soit autour de la cicatrice foliaire et du bourgeon axillaire (Enríquez et Parades, 1989). Les coussinets floraux forment de petits massifs renflés qui abritent, chaque année, les inflorescences. Un coussinet peut porter de très nombreuses fleurs en même temps et le nombre de fleurs est très variable (Mossu, 1990).

Le cacaoyer produit annuellement plusieurs milliers de fleurs. On estime qu'environ 60 % des fleurs produites ne sont pas pollinisées et tombent au bout de 48 heures. De plus, environ 5 % seulement des fleurs pollinisées reçoivent des grains de pollen en quantité suffisante pour féconder tous les ovules (Mossu, 1990).

On observe, chez le cacaoyer, de nombreux cas d'incompatibilité sporophytique qui se traduisent par une chute de la fleur pollinisée. L'incompatibilité chez le cacaoyer se différencie de celle que l'on retrouve généralement chez les autres espèces végétales par le fait que la germination du pollen n'est pas bloquée au niveau du style de la fleur. En effet, le pollen peut germer et le phénomène d'incompatibilité se manifeste tardivement au niveau de l'ovaire (Enríquez, 1985). Les cas d'incompatibilité sont plus fréquents chez les Trinitario. Toutefois, il ne semble pas que l'incompatibilité soit un facteur limitant pour la production (Enríquez et Parades, 1989).

#### e) Le fruit

Le fruit, appelé chérelle pendant la durée de sa croissance et cabosse lorsqu'il a atteint sa taille définitive, est indéhiscent et ressemble à une baie. Les chérelles présentent un ovaire de 5 loges dans chacune desquelles sont disposées les graines au nombre de 30 à 40 (Enríquez et Parades, 1989). À maturité, les parois des loges disparaissent et ne subsiste qu'une cavité dans laquelle les graines, entourées d'une pulpe mucilagineuse épaisse, sont disposées en 5 rangées. La cabosse a un péricarpe charnu composé de l'épicarpe, charnu et épais, du mésocarpe, mince et dur et de l'endocarpe, charnu et plus ou moins épais (Braudeau, 1969).

Le fruit est porté par un pédoncule ligneux qui provient de l'épaississement du pédicelle de la fleur. Il atteint sa maturité après 5 à 6 mois. La couleur, la forme et la taille des cabosses changent en fonction des différents groupes et clones existants. Les cabosses peuvent peser entre 200 g et 1,0 kg chacune (Enríquez, 1985).

La graine de cacao ou fève a la forme d'une amande recouverte d'une pulpe mucilagineuse de couleur blanche, de saveur sucrée et acidulée. La graine est constituée d'une coque mince, d'une fine pellicule et de 2 cotylédons. Les cotylédons sont de couleurs variées et parfois fortement plissés. Entre les cotylédons, réunis à leur base par une radicule de 6 à 7 mm, se trouve une gemmule rudimentaire (Mossu, 1990). Le poids des fèves fraîches (semence + mucilage) varie beaucoup (il est de 0,7 g pour le clone SCA-6 et de 3,7 g pour UF-667). On estime qu'une fève fraîche perd environ 40 % de son poids au cours du séchage (Enríquez, 1985).

La maturité physiologique de la graine est atteinte bien avant que le fruit soit mûr et, dans les conditions normales de récolte, la graine doit être semée dès son extraction de la cabosse, car le pouvoir germinatif décroît rapidement. Si les cabosses ne sont pas récoltées à maturité, les fèves peuvent germer à l'intérieur de celle-ci (Enríquez et Parades, 1989).

### **2.1.3 L'écologie**

Les cacaoyers demandent des conditions écologiques particulières. Ils doivent être cultivés dans des zones où la température, les précipitations et l'humidité sont relativement élevées. De plus, comme le cacaoyer est humifère, la teneur en matière organique des 20 premiers centimètres de sol doit être élevée.

#### **a) La température**

Le cacaoyer a une bonne croissance lorsque la température moyenne annuelle est comprise entre 25 et 26 °C (Enríquez, 1985). Elle ne doit pas dépasser 32 °C ni être inférieure à 21 °C (Mossu, 1990).

#### **b) La pluviométrie et l'humidité**

La pluviométrie doit être abondante, mais surtout bien répartie tout au long de l'année. On estime que des précipitations annuelles de l'ordre de 1500 mm à 2500 mm sont les plus favorables à cette culture. Le cacaoyer supporte mal une saison sèche supérieure à 3 mois (Mossu, 1990).

#### **c) Les sols**

Les sols des cacaoyères doivent être de préférence profonds (profondeur supérieure à 1,5 m), avoir une texture qui favorise la rétention en eau et l'aération, une teneur en matière organique supérieure à 3,5 % dans l'horizon de surface et un pH neutre (Mossu, 1990 ; Enríquez, 1985).

#### **d) La lumière**

La présence d'ombrage est essentielle au cours des 4 premières années. Le jeune plant a une vigueur optimale lorsque l'éclairement est de l'ordre de 25 à 50 % de la lumière totale. L'ombrage peut être supprimé pour les cacaoyers adultes car l'auto-ombrage est important. Toutefois, si le producteur décide d'utiliser un ombrage permanent, l'éclairement doit être supérieur à 50 % de la lumière totale afin de ne pas diminuer les rendements (Ministère de la coopération, 1993).

### 2.1.4 Les méthodes culturales

Le plus souvent, les jeunes plants de cacaoyers sont produits, en milieu paysan, à partir de graines fraîches (reproduction végétative) (Enríquez et Paredes, 1989). Celles-ci, dépourvues de leur mucilage, sont semées dans des sachets de polyéthylène perforés de 35 cm de hauteur. La fève doit être semée à une profondeur de 1,5 cm. Les jeunes plants sont mis en pépinière, sous ombrage, pendant environ 3 mois. Par la suite, les jeunes cacaoyers sont plantés au champ au cours de la saison des pluies, soit entre mai et juillet pour le Costa Rica. La densité de plantation peut varier entre 800 à 1600 plants/ha (Ministère de la coopération, 1993).

Au cours de l'établissement d'une nouvelle plantation, les arbres d'ombrage permanent sont plantés au début de la saison des pluies. Comme ceux-ci ne peuvent fournir un ombrage suffisant aux jeunes cacaoyers qu'après deux ou trois ans, il est nécessaire d'utiliser un ombrage temporaire. Plusieurs types de cultures peuvent servir d'ombrage temporaire. Parmi les plus utilisées au Costa Rica, on retrouve le pois d'Angole (*Cajanus cajan*), le bananier et quelques cultures à cycle court (manioc, maïs) (Sanchez et Dubon, 1994).

Après 3 ou 4 années, il n'est plus nécessaire d'utiliser un ombrage temporaire, car l'ombrage produit par les cacaoyers (auto-ombrage) est suffisant. La décision d'utiliser ou non un ombrage permanent revient au planteur qui, en fonction de ses moyens, de la superficie de sa plantation et du temps dont il dispose peut choisir entre un système agroforestier ou un système plus intensif (Enríquez, 1985).

En fait, la gestion de l'ombrage est un des facteurs les plus importants pour la réussite d'une plantation de cacao, car il modifie le microclimat. Un ombrage excessif crée un microclimat plus humide, ce qui favorise la prolifération de maladies et réduit la production (Mossu, 1990). Si la fertilité des sols est faible et que la région de culture comporte une saison sèche d'une durée supérieure à 2 mois, il est nécessaire d'augmenter la densité des arbres d'ombrage afin d'obtenir un microclimat plus humide, car les sols et la pluviométrie limitent la production. Par contre, si les sols sont fertiles et la saison sèche est d'une durée inférieure à 2 mois, la densité des arbres d'ombrage peut être diminuée, car le manque de lumière limite la production (Enríquez et Paredes, 1989, Ministère de la coopération, 1993). Toutefois, un ombrage plus léger favorise la prolifération de mauvaises herbes (Mossu, 1990).

La densité recommandée pour la plantation des arbres d'ombrage permanent peut donc varier en fonction des circonstances. Selon Geilfus (1994), il est recommandé d'utiliser des densités qui varient entre 100 et 150 arbres/ha. La densité des arbres d'ombrage permanent utilisés dans les

parcelles expérimentales du CATIE est de 278 arbres/ha (Somarriba et coll., 1996a ; Somarriba et coll., 1997).

## 2.2 La culture du cacaoyer sous ombrage permanent

La culture du cacaoyer sous ombrage permanent est une très vieille pratique culturale. Ce système agroforestier permet, entre autres, de limiter les risques en permettant, dans certains cas, de diversifier les sources de revenus et d'assurer des récoltes régulières. Le tableau 1 présente les différentes fonctions des arbres et les avantages et les inconvénients de ce système agroforestier.

**Tableau 1 : Fonctions, avantages et inconvénients des arbres d'ombrage dans la culture du cacaoyer**

Fonctions de l'arbre	Avantages	Inconvénients
Production d'ombre et protection des cultures	Augmente la durée de vie d'une plantation et permet des récoltes plus régulières	Diminution des superficies consacrées aux cultures
Fertilisation et conservation des sols	Améliore la fertilité et protège les sols contre l'érosion	Baisse des rendements agricoles
Production de bois d'œuvre et de bois de chauffage	Procure des produits supplémentaires	Augmentation du travail et des coûts en main-d'œuvre
Contrôle des mauvaises herbes	Réduit les maladies et le taux de mortalité des cacaoyers	

Adapté de : Geilfus, 1994

Le choix des arbres d'ombrage s'effectue en fonction des objectifs de production (bois d'œuvre, fruits, fertilisation, etc.) que désire atteindre le paysan. Toutefois, les arbres d'ombrage associés aux cultures pérennes doivent posséder certaines caractéristiques qui leur permettent de fournir un ombrage adéquat et de ne pas nuire aux cultures. Selon Geilfus (1994), les arbres d'ombrage devraient posséder les caractéristiques suivantes :

- . avoir un ombrage léger et diffus ;
- . avoir des racines profondes et peu répandues en surface ;
- . être fixateurs d'azote ;
- . être résistants aux vents ;
- . pouvoir se multiplier facilement ;
- . avoir une croissance rapide ;

- . être résistants à des tailles fréquentes et sévères ;
- . avoir une taille moyenne ;
- . avoir des feuilles petites, qui filtrent la lumière ;
- . ne pas être vecteurs de maladies ou d'insectes.

### **2.2.1 La taille et la coupe sélective**

La taille et la coupe sélective des arbres d'ombrage sont utilisées afin de maintenir l'ombrage au niveau désiré. Des tailles sévères et régulières sont effectuées sur certaines espèces d'arbre, généralement des légumineuses, qui supportent très bien les tailles fréquentes. Les émondes sont déposées sur le sol et servent à fertiliser les parcelles. On a recours à des coupes sélectives lorsque le niveau d'ombrage est trop important pour les espèces d'arbre qui ne supportent pas les tailles sévères ou que la taille diminue la qualité du bois.

La gestion des arbres d'ombrage se fait de manière à obtenir des arbres avec un seul tronc et à maintenir la couronne à une hauteur de 8,0 m afin de favoriser l'aération de la cacaoyère. Il est préférable de ne pas effectuer des tailles ou des coupes sélectives au cours des périodes où la floraison et la production de fruits des cacaoyers sont importantes. En ce qui concerne les espèces d'arbre qui supportent bien les tailles et qui sont utilisées principalement pour fertiliser les parcelles, il est recommandé de maintenir au moins 50 % de la couronne après chaque taille. Pour les espèces qui ne supportent pas les tailles et qui sont utilisées principalement pour la production de bois, on conseille habituellement de tailler seulement les branches basses ainsi que les branches à l'intérieur de la couronne (Somarriba et coll., 1996b).

### **2.2.2 La gestion de l'ombrage de chacune des espèces d'arbre utilisées**

#### **a) L'*Erythrina poeppigiana***

L'*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook fait partie de la famille des Légumineuses et est originaire de l'Amérique du Sud. C'est un arbre à croissance rapide et fixateur d'azote qui peut atteindre 35 m de hauteur et 2 m de diamètre. L'*E. poeppigiana* croît bien dans des milieux où la pluviométrie varie entre 1000 et 4000 mm par an et il peut tolérer une saison sèche de 5 à 6 mois. Cette espèce tolère les sols faiblement fertiles et acides. L'*E. poeppigiana* est un arbre à usages multiples qui est principalement utilisé comme arbre d'ombrage pour les cultures de caféier et de cacaoyer, comme haie vive et comme fourrage et mulch (Powell et Westley, 1995).

La gestion de l'ombrage se fait par des tailles successives dans le temps. Les premiers travaux consistent à éliminer les branches basses pendant les 3 premières années. Lorsque les arbres ont

atteint une hauteur de 12 mètres et un tronc d'environ 25 cm de diamètre, les arbres sont coupés à 7,5 mètres de hauteur et toutes les branches sont éliminées (Somarriba et coll., 1996b). Il est recommandé d'éliminer toutes les pousses verticales qui apparaissent à la tête de l'arbre et de garder seulement 4 à 5 pousses horizontales qui formeront la base de la couronne. Lorsque les pousses horizontales atteignent 1 m de longueur, on doit couper les extrémités de façon à favoriser l'émergence d'autres branches qui formeront une couronne (Powell et Westley, 1995).

On estime à environ 4 ans le temps nécessaire à *E. poeppigiana* pour former une couronne. L'*E. poeppigiana* a une croissance très vigoureuse et on estime qu'il est nécessaire d'effectuer au moins 3 tailles par année afin d'obtenir un ombrage adéquat. Dans la zone Est du Costa Rica, il est recommandé de faire les tailles en janvier, en juin et en octobre de chaque année (Somarriba et coll., 1996b).

#### b) Le *Gliricidia sepium*

Le *Gliricidia sepium* (Jacquin) Kunth ex Walp fait partie de la famille des Légumineuses et est originaire du Mexique. C'est un arbre à croissance rapide et fixateur d'azote qui peut atteindre entre 5 et 15 m de hauteur et 15 cm de diamètre. Le *G. sepium* croît bien dans des milieux où la pluviométrie varie 500 et 4000 mm par an et il peut supporter une saison sèche de 5 à 6 mois. Cette espèce tolère les sols faiblement fertiles et acides. Le *G. sepium* est un arbre à usages multiples qui, tout comme l'*E. poeppigiana*, est principalement utilisé comme arbre d'ombrage pour les cultures de caféier et de cacaoyer, comme haie vive et comme fourrage et mulch (Pancel, 1993).

La gestion de l'ombrage dans les parcelles de *G. sepium* se fait par des tailles successives dans le temps. Au cours de la première année, les jeunes arbres ont tendance à taller beaucoup et il est nécessaire de choisir la tige la plus robuste et d'éliminer les autres. Le *G. sepium* a un développement lent pendant les 4 premières années de sa croissance. Les tailles consistent à couper les branches basses et les branches qui touchent les cacaoyers (Somarriba et coll., 1996b).

Lorsque l'arbre présente une architecture convenable, soit lorsque les arbres sont âgés de 3 à 4 ans, les tailles consistent à couper le bout des très grosses branches et à éliminer les branches indésirables à l'intérieur de la couronne. Pour la région Est du Costa Rica, il est recommandé d'effectuer une seule taille au mois de juin de chaque année (Somarriba et coll., 1996b).

### c) *L'Inga edulis*

*L'Inga edulis* Mart. fait partie de la famille des Légumineuses et est originaire de l'Amérique du Sud. C'est un arbre à croissance rapide et fixateur d'azote qui peut atteindre 30 m de hauteur et 60 cm de diamètre. *L'I. edulis* croît bien dans des milieux où la pluviométrie est d'environ 1200 mm par an et il peut tolérer une courte saison sèche. Cette espèce tolère les sols faiblement fertiles et acides. *L'I. edulis* est un arbre à usages multiples qui est principalement utilisé comme arbre d'ombrage pour les cultures de caféier et de cacaoyer et on l'utilise souvent dans les jachères améliorées (Lawrence, 1993).

La gestion de l'ombrage chez *I. edulis* se fait par des tailles successives et par des coupes sélectives. Les jeunes *I. edulis* forment un tronc qui se ramifie en 2 ou 3 branches à une hauteur d'environ 1,0 à 2,0 m. Il est important de couper les branches et de ne conserver que le tronc jusqu'à une hauteur de 8,0 m. La couronne se forme au cours de la 2<sup>ème</sup> et de la 3<sup>ème</sup> année. Les tailles serviront à couper les branches qui poussent à l'intérieur de la couronne et quelques branches secondaires (Somarriba et coll., 1996b).

Pour la région Est du Costa Rica, il est suggéré d'effectuer 2 tailles par année soit, une en janvier et une autre en juin. Lorsque l'ombrage ne peut plus être contrôlé par les tailles, il est nécessaire d'effectuer des coupes sélectives afin de diminuer la densité des arbres (Somarriba et coll., 1996b).

### d) Le *Cordia alliodora*

Le *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken fait partie de la famille des Borraginacées et est originaire d'Amérique tropicale. C'est un arbre à croissance rapide qui peut atteindre une hauteur comprise entre 30 et 35 m et un diamètre de 70 à 80 cm (Greaves et McCarter, 1990). Le *C. alliodora* croît bien dans des milieux où la pluviométrie varie entre 1400 et 2500 mm par an et il peut supporter une saison sèche allant jusqu'à 4 mois. Cette espèce d'arbre préfère les sols bien drainés, relativement fertiles et il ne supporte pas les sols d'un pH inférieur à 4,5. Le *C. alliodora* est utilisé principalement pour la production de bois dans des systèmes agroforestiers tels que les taungyas et les arbres d'ombrage associés aux cultures pérennes (CATIE, 1994).

La gestion de l'ombrage chez le *C. alliodora* se fait les premières années par la coupe des branches basses. Lorsque l'arbre a atteint une hauteur de 8 m, il n'est plus possible de le tailler et l'ombrage est contrôlé par des coupes sélectives. La cime des différents arbres commencent à se toucher 5 à 6 ans après la plantation au champ (Somarriba et coll., 1996b).

### e) Le *Tabebuia rosea*

Le *Tabebuia rosea* (L) Hemsl. fait partie de la famille des Bignoniacées et est originaire du Mexique. C'est un arbre à croissance rapide qui peut atteindre entre 25 et 30 m de hauteur. Le *T. rosea* croît bien dans des milieux où la pluviométrie varie entre 1250 et 2500 mm par an et il peut tolérer une saison sèche de 3 mois. Cette espèce s'adapte à différents types de sols. Tout comme le *C. alliodora*, elle est utilisée principalement pour la production de bois dans des systèmes agroforestiers tels que les taungyas et les arbres d'ombrage associés aux cultures pérennes (Pancel, 1993).

La gestion de l'ombrage chez le *T. rosea* se fait, les premières années, par la coupe des branches basses. Lorsque l'arbre a atteint une hauteur de 8 m, il n'est plus possible de le tailler et l'ombrage est contrôlé par des coupes sélectives. Le *T. rosea* a tendance à se ramifier et à prendre plusieurs bifurcations au cours de sa croissance. Il n'est pas recommandé de couper les bifurcations, car cela nuit au développement de l'arbre. On estime que de 4 à 5 ans après la plantation au champ, la cime des différents arbres commencent à se toucher (Somarriba et coll., 1996b).

### f) Le *Terminalia ivorensis*

Le *Terminalia ivorensis* (L) Hemsl. fait partie de la famille des Combretacées et est originaire d'Afrique. C'est un arbre à croissance rapide qui peut atteindre entre 35 et 45 m de hauteur. Le *T. ivorensis* croît bien dans des milieux où la pluviométrie varie entre 1300 et 3000 mm par an et il peut tolérer une saison sèche de 2 mois. Cette espèce s'adapte à différents types de sols. Comme les deux espèces précédentes, elle est utilisée principalement pour la production de bois dans des systèmes agroforestiers tels que les taungyas et les arbres d'ombrage associés aux cultures pérennes (Pancel, 1993).

La gestion de l'ombrage chez le *T. ivorensis* se fait, les premières années, par la coupe des branches basses. Lorsque l'arbre a atteint une hauteur de 8 m, il n'est plus possible de le tailler et l'ombrage est contrôlé par des coupes sélectives. On estime que de 2 à 3 ans après la plantation au champs, la cime des différents arbres commencent à se toucher (Somarriba et coll., 1996b).

## 2.3 La phénologie du cacaoyer

Entre les années 1960 et 1990, plusieurs recherches ont porté sur l'étude des stades de développement du cacaoyer. Les chercheurs tentèrent d'élucider les mécanismes internes ou

externes qui contrôlent ou qui influencent sa phénologie, c'est-à-dire les cycles de la croissance des tiges et des feuilles, de la floraison et du développement des fruits. L'objectif général de ces recherches était de mieux connaître les mécanismes de développement du cacaoyer afin d'améliorer la production.

### **2.3.1 La croissance des tiges et des feuilles**

Chez les jeunes cacaoyers qui n'ont pas encore développé une hoquette, les poussées de croissance se produisent à environ tous les 2 mois et ne montrent aucun synchronisme entre elles. Les mécanismes qui contrôlent la croissance des tiges et des feuilles sont essentiellement endogènes (Sale, 1970 a ; Greathouse et coll., 1971).

La croissance des tiges et des feuilles, chez les cacaoyers avec une couronne développée, se fait par poussées successives, c'est-à-dire que des périodes de forte croissance alternent avec des périodes de faible croissance. Les périodes de la croissance des tiges et des feuilles des cacaoyers sont synchronisées à l'intérieur d'une même région (Greathouse et coll., 1971 ; Alvim, 1977). Généralement, pendant une année, les cacaoyers ont 4 à 5 poussées de croissance qui alternent avec 4 à 5 périodes de faible croissance (Mora et coll., 1987).

Les résultats d'une expérience ombrage/espacement/cultivar, réalisée par Ampofo et Bonaparte (1981) au Ghana, montrent que les différents cultivars utilisés tendent à avoir des poussées foliaires avec une périodicité analogue d'une année à l'autre. Toutefois, l'intensité des poussées foliaires ainsi que la date des pics de croissance diffèrent légèrement d'une année à l'autre. Les auteurs concluent que, bien que la périodicité des poussées foliaires puisse être déterminée par des facteurs endogènes, les paramètres du microclimat influencent et modifient l'intensité et les périodes des crêtes des poussées.

Les facteurs internes ou externes qui contrôlent ou qui influencent la croissance des tiges et des feuilles du cacaoyer sont multiples. Parmi ces facteurs, on retrouve la température, le bilan hydrique, la lumière et la teneur en hydrates de carbone et, finalement, les régulateurs de croissance.

#### **a) L'effet de la température**

En 1944, Humphries a suggéré que l'initiation de la croissance de nouvelles pousses et de nouvelles feuilles est en corrélation avec la température journalière maximale obtenue pour des cacaoyers sous ombrage et n'est pas influencée par d'autres facteurs environnementaux.

Les recherches effectuées au Ghana par Greenwood et Posnette (1950) indiquent que le nombre et l'intensité des poussées de croissance du cacaoyer sont plus importantes dans les parcelles sans ombrage que dans les parcelles avec ombrage. Les différences observées sont, par ailleurs, davantage marquées pour les périodes où les températures sont les plus faibles. Ainsi, on a observé un arrêt de la croissance des cacaoyers lorsque la moyenne des températures maximales journalière est inférieure à 28°C. Les auteurs affirment que la température est le seul facteur environnemental à avoir une influence directe sur le contrôle des rythmes de croissance du cacaoyer ; selon eux, aucun autre facteur mesuré (humidité du sol, pluviométrie, évaporation et luminosité) n'affecterait les poussées de croissances des tiges et des feuilles des cacaoyers. Par contre, les cacaoyers âgés de moins d'un an ont montré une croissance régulière, ce qui suggère qu'ils ne sont pas affectés par la température.

L'influence de la température sur la croissance des cacaoyers a été étudiée, à Trinidad, par Sale (1968). Des cacaoyers ont été placés dans des chambres à température contrôlée pendant 9 mois. La température est demeurée constante pour certains alors qu'elle a varié entre le jour et la nuit pour d'autres. Les résultats de cette étude indiquent qu'il n'y a pas de température spécifique requise pour initier les poussées foliaires. Par contre, les poussées de croissance ont été plus fortes à des températures plus élevées et plus particulièrement pendant le jour.

Par ailleurs, Sale (1969a) a étudié l'influence des variations de la température diurne et nocturne sur l'extension des tiges. Les résultats montrent que la croissance des tiges est plus importante lorsque la température diurne augmente, mais que le taux d'extension des tiges, pour un même traitement, a changé au cours de l'expérimentation. Les variations de la température nocturne ont, pour leur part, eu très peu d'effets sur l'extension des tiges. L'auteur conclut qu'il existe un lien direct entre la température et l'extension totale des tiges, mais que la température ne contrôle pas le cycle des poussées de croissance des tiges et des feuilles.

#### b) L'effet du bilan hydrique

Les relations entre les poussées de croissance et les variations de l'humidité atmosphérique et de l'humidité du sol ont été mises en évidence par McDonald en 1932 à Trinidad. Les résultats indiquent que les poussées de croissance des tiges et des feuilles sont en très étroite relation avec les conditions d'humidité du sol et de l'air.

Sale (1970a) a placé des cacaoyers dans des conditions où l'humidité du sol était contrôlée. Les résultats démontrent que les plants avec un traitement sec (15 % d'humidité dans le sol) n'ont jamais perdu leur dormance apicale et ont eu une poussée de croissance des tiges et des feuilles

10 jours après chaque irrigation. Les autres plants ont obtenu des poussées de croissance normales. L'auteur pense que l'humidité du sol joue un rôle dans le contrôle des cycles de croissance.

De plus, une expérience sous des conditions d'humidité atmosphérique contrôlées a permis de constater que les cacaoyers soumis à une faible humidité atmosphérique (50 % – 60 %) ont obtenu des poussées de croissance avant les autres. L'intervalle séparant les poussées de croissance a été un peu plus long pour les plants placés sous humidité atmosphérique basse et moyenne (70 % – 80 %) que pour ceux placés dans des conditions d'humidité atmosphérique élevée (90 % – 95 %) (Sale, 1970b).

Les nombreuses recherches effectuées à Bahia, au Brésil, ont amené Alvim (1977) à croire que l'hydro-périodicité est responsable du contrôle de la croissance des tiges et des feuilles. L'auteur pense que le rythme des poussées foliaires du cacaoyer se fait de la façon suivante : une diminution des pluies ou une augmentation d'un stress hydrique provoque la chute de la feuille ; la chute de cette dernière rompt la dormance du bourgeon axillaire en raison de la baisse de production d'un inhibiteur originaire de la feuille ; les poussées foliaires arrivent peu après la chute de la feuille ou, sous des conditions de stress sévère en eau, après le commencement des premières pluies.

Les résultats de recherches subséquentes d'Alvim (1977) ont démontré que les rythmes de poussées foliaires des cacaoyers matures sont le résultat d'un processus endogène où l'hydro-périodicité provoquerait des variations dans le potentiel hydrique à l'intérieur de la plante. Au cours d'un stress hydrique, l'acide abscissique (ABA) se concentre principalement dans les feuilles, où il favorise la formation de la couche d'abscission. La chute des feuilles provoque en retour une diminution de la teneur en acide abscissique et une augmentation de la teneur en cytokinine dans les bourgeons ce qui favorise le bourgeonnement. Les variations dans le rapport acide ABA/cytokinine, causées par les effets de l'hydro-périodicité, sont donc responsables des poussées de croissance.

### c) L'effet de la lumière et de la teneur en hydrates de carbone

L'étude des poussées foliaires du cacaoyer a été effectuée par Majer (1974) sur des parcelles avec et sans ombrage. Les résultats indiquent que tous les cacaoyers ont obtenu des poussées de croissance à des périodes régulières. Les poussées de croissance, dans les parcelles sans ombrage, ont commencé plus tôt et ont été moins longues que dans celles avec ombrage. L'intensité des poussées foliaires a été plus importante pour les cacaoyers situés au bord de la parcelle que pour

ceux situés au centre de la parcelle. L'auteur conclut que l'intensité lumineuse influence les poussées foliaires et que les rythmes de croissance sont probablement contrôlés par des processus endogènes.

Au Ghana, des recherches portant sur l'étude des cacaoyers avec et sans ombrage ont démontré une corrélation très significative entre la durée d'ensoleillement et les poussées de croissance (Adomako et coll., 1990).

L'étude du taux de sucre libre dans des cacaoyers sous ombrage (*G. sepium*), montre que les poussées foliaires coïncident avec les périodes où la durée d'ensoleillement est la plus grande et où l'on retrouve un niveau de sucre plus élevé dans les cacaoyers. Les auteurs estiment que la lumière est un facteur limitant pour la photosynthèse des cacaoyers cultivés sous ombrage (Owusu et coll., 1978). De plus, ces mêmes auteurs estiment que la taille des arbres d'ombrage favorise une augmentation de la photosynthèse, et par conséquent une augmentation du taux de sucre, ce qui a pour conséquence de provoquer une poussée de croissance. Les chercheurs croient que les rythmes des poussées foliaires sont contrôlés par les hydrates de carbone présents dans l'arbre. La quantité d'hydrates de carbone varie en fonction de la quantité de lumière disponible à l'arbre et est par conséquent reliée à l'activité photosynthétique. La relation entre les hydrates de carbone et les poussées de croissance a aussi été démontrée chez l'avocatier (Sholefield et coll., 1985).

Des recherches effectuées en Malaisie sur des parcelles avec et sans ombrage montrent un rapport très clair entre le niveau d'ombrage et les poussées de croissance des tiges et des racines. L'ombrage a diminué le taux de croissance des racines et les poussées de croissance des tiges et des racines ont été moins fréquentes. Les périodes d'expansion foliaire ont aussi coïncidé avec des périodes de faible croissance des racines (Taylor et Hadley, 1988a).

Au cours de la même expérience, les chercheurs ont évalué la teneur en hydrates de carbone solubles (sucrose + sucres réducteurs) dans les feuilles, les tiges et les racines. Les résultats indiquent que pendant les périodes de croissance des tiges, la teneur en sucre a augmenté dans les jeunes feuilles et a diminué dans les feuilles adultes. Pendant la période de production et de développement foliaire, la teneur en sucre a, au contraire, augmenté dans les racine et les tiges. Finalement, avant la croissance des racines, le taux de sucre a diminué dans les tiges et dans la racine pivotante. Les auteurs concluent que le fait d'augmenter l'ombrage diminue les réserves individuelles en hydrates de carbone (Taylor et Hadley, 1988a).

#### d) L'effet des régulateurs de croissance

L'effet des auxines sur la périodicité de la croissance des tiges et des feuilles et sa régulation a été étudié par les chercheurs Taylor et Hadley (1988b). Les résultats indiquent une quantité plus importante d'auxines (Indole-3-acetyl-K-alanine (IAA)) libres dans le bout des tiges et dans les feuilles en émergence au commencement des poussées foliaires. Les auteurs estiment que la régulation des poussées foliaires est sous un contrôle hormonal multiple et que les auxines font partie de ce système hormonal très complexe.

Meir et coll. (1989), ont récemment montré, sur des feuilles de tabac, que le niveau de IAA libre augmente avec la présence de sucres libres (plus spécialement le glucose, le sucrose et le galactose). Ceux-ci stimulent des enzymes qui hydrolysent certains IAA.

En résumé, les poussées de croissance des tiges et des feuilles seraient d'abord et avant tout contrôlées par des régulateurs de croissance et notamment les auxines. Toutefois, l'intensité des poussées foliaires ainsi que les dates des pics de croissance seraient influencées par des facteurs externes tels que la lumière, la teneur en hydrates de carbone et le bilan hydrique.

### **2.3.2 La floraison**

Le cacaoyer peut fleurir toute l'année s'il n'y a pas d'écarts saisonniers très marqués dans la température ou les précipitations. Chez les cacaoyers d'âge mûr, la floraison est cyclique, c'est-à-dire que des périodes de forte floraison alternent avec d'autres de plus faibles floraison (Sale, 1969a). Les poussées de floraison arrivent généralement en même temps que les poussées de croissance (Owusu et coll., 1978).

Le nombre de fleurs varie en fonction de l'âge du plant durant les période de floraison. Par exemple, les cacaoyers âgés de 23 ans produisent environ 10 fois plus de fleurs que des cacaoyers âgés de 5 ans durant les périodes de forte floraison, mais environ 10 fois moins pendant les périodes de faible floraison. Par contre, le microclimat plus que l'âge de l'arbre serait responsable des différences entre les patrons de floraison (Alvim, 1977 ; De O. Leite et coll., 1987).

L'intensité de la floraison varie aussi en fonction de l'hybride. Certains hybrides produisent davantage de fleurs, au cours d'une période de poussée de floraison, que d'autres (Ampofo et Bonaparte, 1981 ; Young, 1984).

Les facteurs internes ou externes qui contrôlent ou qui influencent la floraison sont multiples. Parmi ces facteurs, on retrouve la température, le bilan hydrique et, finalement, la lumière et la teneur en hydrates de carbone.

#### a) L'effet de la température

La relation entre la floraison et la température de jour et de nuit a été étudiée dans un environnement contrôlé. La floraison a été meilleure pour des températures diurnes comprises entre 26 °C et 30 °C et pour une température nocturne de 26 °C. La température a eu une incidence directe sur le nombre de coussins floraux et sur le nombre de fleurs par coussin floral. On n'a pas observé de relation entre la quantité de fleurs et les poussées foliaires (Sale, 1969b).

#### b) L'effet du bilan hydrique

En 1932, McDonald a étudié la relation entre l'humidité des sols et les cycles de floraison. Les résultats montrent que la floraison est fortement réduite durant les périodes de faible pluviométrie. Ce chercheur estime qu'il existe un lien certain entre l'humidité des sols et le contrôle des cycles de la floraison.

Des expérimentations visant à vérifier la nature de cette relation entre l'humidité du sol et la floraison ont été effectuées en milieu contrôlé par Sale (1970a). Les résultats indiquent que la production de fleurs a varié très peu entre les traitements (15 %, 50 % et 85 % d'humidité du sol). Par contre, la floraison est stimulée par le passage d'un traitement de 15 % d'humidité à un traitement de 50 ou 85 % d'humidité. En ce qui concerne l'humidité atmosphérique, Sale (1970b) indique que la floraison a été bonne pour tous les traitements (50 à 60 %, 70 à 80 % et 90 à 95 % d'humidité de l'air), mais qu'elle a été plus abondante lorsqu'on a transféré les plants d'une atmosphère sèche ou moyennement sèche à une atmosphère humide.

À partir des résultats de recherches effectuées à Bahia, Alvim (1977) croit que les mécanismes qui contrôlent les rythmes de la floraison seraient également liés à des processus internes, telle la compétition fruits – fleurs. Lorsqu'il y a de nombreux fruits sur les cacaoyers, le niveau de floraison est à son plus bas. De plus, les périodes qui correspondent à un maximum de floraison correspondent aussi à un minimum de fruits sur les cacaoyers.

Par ailleurs, certains stimuli chimiques seraient produits au niveau de la feuille (produits de la photosynthèse ou hormones de floraison) et seraient distribués, via le phloème, à toute la plante, provoquant l'initiation florale (Alvim, 1977). Toutefois, selon Alvim (1977), bien qu'il existe des

mécanismes internes qui peuvent influencer la floraison, il n'en demeure pas moins que celle-ci est davantage influencée par l'alternance des saisons sèches et des saisons humides que par tout autre facteur. En bref, se serait l'hydro-périodicité qui contrôlerait le plus les rythmes de la floraison.

### c) L'effet de la lumière et de la teneur en hydrates de carbone

Les cacaoyers sans ombrage présentent une floraison considérablement plus intense et plus fréquente que les cacaoyers ombragés. (Asomaning et coll., 1971 ; Young, 1984 ; De O. Leite et coll., 1987). Par ailleurs, l'espacement entre les cacaoyers a aussi une influence sur le nombre de fleurs. On a observé qu'à des écartements de 1,7 x 1,7 m, la floraison des cacaoyers avait significativement diminué par rapport à des écartements de 3,0 x 3,0 m (Ampofo et Bonaparte, 1981). L'application d'engrais composé augmente, pour sa part, le nombre de fleurs (Asomaning et coll., 1971).

Young (1984) a observé que lorsqu'il y avait une diminution de l'ombrage suite à la chute des feuilles au cours de la saison sèche, la production de fleurs augmentait au cours des premières poussées de floraison qui suivent. L'auteur estime que les types d'arbres d'ombrage sont le second facteur qui influence la floraison, le premier étant la pluviométrie. Un arbre comme l'*E. poeppigiana* peut provoquer des réponses non synchronisées en conditions sèches, car il peut montrer de grandes variations dans l'ombrage projeté.

Les études effectuées sur le niveau de sucre dans les cacaoyers montrent que les périodes de floraison intense coïncident avec celles où le taux de sucre et le nombre d'heures d'ensoleillement sont maximaux (Owusu, et coll., 1978). Les auteurs croient qu'une augmentation des heures d'ensoleillement a pour effet d'augmenter la photosynthèse et d'augmenter la teneur en sucre dans les tissus, provoquant ainsi la floraison.

Au cours de la 7<sup>ème</sup> conférence internationale sur la recherche cacaoyère, Alvim (1981) a mentionné que les arbres d'ombrage jouent un rôle plus important en réduisant les dégâts éoliens qu'en atténuant l'intensité de la lumière ou en fournissant de l'ombre proprement dite. La turbulence de l'air provoque des ruptures du pulvinus des feuilles et est la cause principale de la défoliation des plantules.

En conclusion, les mécanismes qui contrôlent les poussées de floraison ne sont pas encore bien définis. Toutefois il semble que ces mécanismes seraient liés à des processus internes telle la compétition entre les fleurs et les fruits ou à des hormones de floraison. Par contre, la floraison

est fortement influencée par des facteurs externes tels que la lumière, la teneur en hydrates de carbone, le bilan hydrique et la température.

### **2.3.3 La production de fruits**

Les rendements des cacaoyers varient en fonction des différents hybrides utilisés, de la fertilité des sols et de la disponibilité en eau et en lumière. Généralement, les rendements augmentent avec un apport en engrais organiques ou chimiques (Asomaning et coll., 1971). De plus, l'irrigation permet d'apporter à la plante l'eau nécessaire à son développement, ce qui permet d'augmenter les rendements, là où la saison sèche est assez marquée (Sale, 1970a ; Hutcheon et coll., 1973).

La maturation des fruits peut être affectée par la température. On a remarqué que durant les mois les plus chauds, les cabosses prennent de 140 à 175 jours pour atteindre leur plein développement alors que durant les mois les plus frais, la maturation prend de 167 à 205 jours (Enríquez, 1985).

Bien que le cacaoyer produise annuellement plusieurs milliers de fleurs, quelques dizaines de fruits seulement seront formés. Le phénomène du dessèchement des jeunes fruits (wilt), qui survient 50 à 60 jours après la pollinisation, est un facteur important qui influence directement la production, car il peut affecter de 20 à 90 % des chérelles formées (Ministère de la coopération, 1993).

Les résultats de recherches effectuées au Ghana par Asomaning et coll. (1971) montrent qu'un plus grand nombre de bourgeons à fruits est apparu sur les cacaoyers ayant reçu des engrais et étant soumis à une ombre légère. L'abondance des jeunes chérelles ne s'est pas traduite par une production proportionnelle de cabosses mûres, car le nombre de fruits arrivés à maturité a été sérieusement réduit par le dessèchement des jeunes fruits. La récolte finale n'est donc pas en relation directe avec l'abondance de la floraison ou de l'apparition de bourgeons à fruits.

Les mécanismes qui contrôlent le dessèchement des jeunes fruits ne sont très complexes et ne sont pas encore bien élucidés. Les auteurs Asomaning et coll. (1971) suggèrent que le dessèchement des chérelles puisse être occasionné par une carence en hydrates de carbone ou en substances minérales. Par contre, d'autres auteurs croient que le phénomène de dessèchement des chérelles peut s'expliquer par une compétition interne pour les produits de la photosynthèse entre les jeunes cabosses en croissance et les nouvelles feuilles, de même qu'entre les jeunes fruits (Nichols, 1965 ; Alvim, 1977).

Par ailleurs, les rendements des cacaoyers sous ombrage permanent sont inférieurs à ceux des cacaoyers sans ombrage (Bonaparte, 1967 ; Asomaning et coll., 1971 ; Ahenkorah et coll., 1974 ; Alvim, 1977). Les rendements pour des cacaoyers sous ombrage ont été évalués à différentes distances de *Terminalia ivorensis*. Il en ressort que les cacaoyers les plus proches des arbres d'ombrage ont obtenu des rendements inférieurs. Les rendements ont augmenté linéairement au fur et à mesure qu'on s'éloignait de l'arbre d'ombrage. Bonaparte (1967) croit que la compétition entre les arbres d'ombrage et les cacaoyers, pour l'eau et les nutriments, n'est pas importante. Il attribue plutôt la baisse des rendements à une compétition pour la lumière.

Certains chercheurs ont remarqué que le taux de sucre libre dans le cacaoyer était à son niveau le plus bas au cours de la période de forte production. Les chercheurs croient que la forte demande en sucre occasionne une baisse du niveau total de sucre dans la plante, ce qui réduit la floraison et les poussées de croissance (Owusu et coll., 1978).

Par contre, selon Young (1984), les cycles de la production seraient directement liés à la distribution et à l'abondance de certains insectes pollinisateurs. Ceux-ci sont plus présents au cours de la saison des pluies.

En conclusion, le développement des fruits du cacaoyer est influencé par des facteurs externes comme la fertilité des sols, la température, la pluviométrie et l'éclairement. Le phénomène de dessèchement des jeunes fruits est un facteur qui a une influence considérable sur les rendements.

### **3 MATERIEL ET METHODES**

#### **3.1 Les hypothèses de recherche**

Les hypothèses de recherche de notre étude sont les suivantes :

- . L'ombrage projeté au sol varie significativement, dans le temps, entre les différentes espèces d'arbre utilisées en association avec le cacaoyer.
- . L'ombrage projeté au sol par différentes espèces d'arbre affecte significativement, dans le temps, la croissance des tiges et des feuilles, la floraison, le nombre de gourmands et les rendements des différents hybrides de cacaoyer utilisés.

#### **3.2 Les objectifs de la recherche**

##### **3.2.1 L'objectif général**

- . Étudier le comportement de la phénologie de différents hybrides de cacaoyer sous différentes espèces d'arbres d'ombrage.

##### **3.2.2 Les objectifs spécifiques**

- . Évaluer et comparer, dans le temps, l'ombrage produit par différentes espèces d'arbre d'ombrage.
- . Évaluer et comparer, dans le temps, la croissance des tiges et des feuilles, la floraison, le nombre de gourmands et les rendements de différents hybrides de cacaoyers cultivés sous différentes espèces d'arbre d'ombrage.

#### **3.3 La description des sites**

Les résultats des recherches qui sont présentés dans ce mémoire font suite à des recherches effectuées sur deux sites d'expérimentation, soit celui de Margarita, au Costa Rica et celui d'Ojo de Agua, au Panama.

### 3.3.1 Le site de Margarita

#### a) La localisation et les caractéristiques du site

Le site de Margarita est situé dans la communauté de Margarita du canton de Talamanca et de la province de Limón, au Costa Rica. Géographiquement, il est localisé à 9°36'52'' de latitude nord et à 82°45'44'' de longitude ouest.

Le terrain, qui appartient à Monsieur Onias Rodriguez, a une superficie totale de 8,5 ha, dont 5 ha en culture de bananiers, 2 ha en jachère et 1,5 ha utilisé pour les parcelles expérimentales. Le site est une terrasse haute de la rivière Sixaola et la topographie se définit comme une aire presque plane avec une pente inférieure à 2 %. Il n'y a pas apparence d'érosion et l'altitude du site est de 20 m (Nieuwenhuyse, 1994).

Selon le système de classification de Holdridge utilisé par Tosi (1969), le site de Margarita fait partie de la zone des forêts humides. La température varie de 24 à 27 °C tout au long de l'année (Herrera, 1985). La pluviométrie annuelle, au cours des 10 dernières années, est en moyenne de 2306 mm (Somarriba et coll., 1997). La figure 1 présente la pluviométrie, enregistrée toutes les 2 semaines au site de Margarita, entre novembre 1991 et novembre 1992, alors que la figure 2 présente les précipitations mensuelles entre juin 1994 et avril 1997.

Les sols du site de Margarita sont des Fluvaquentic Eutropept qui ont été formés à partir des sédiments de la rivière Sixaola. Ils sont homogènes, bien qu'ils présentent quelques variations dans le drainage et que la texture des sols varie d'argilo-limoneuse à argileuse. Le drainage naturel est moyen et la nappe phréatique se rencontre à une profondeur supérieure à 1,40 m. Le site est sujet aux inondations causées par le débordement de la rivière Sixaola (Nieuwenhuyse, 1994).

La fertilité des sols est de moyenne à élevée dans les 20 premiers centimètres. Le contenu en potassium y varie de faible à moyen et la teneur en phosphore y est élevée. Par contre, la teneur en potassium et en phosphore des horizons inférieurs est faible. Le pH (à l'eau) varie de 5,7 à 5,9 et le contenu en matière organique varie entre 2,6 et 4,0 % dans les 20 premiers centimètres. Les caractéristiques physiques des sols sont très bonnes, ce qui favorise un bon développement des racines des arbres et des cultures. Les sols sont profonds, bien aérés et ils ont une bonne capacité de rétention en eau (Nieuwenhuyse, 1994).

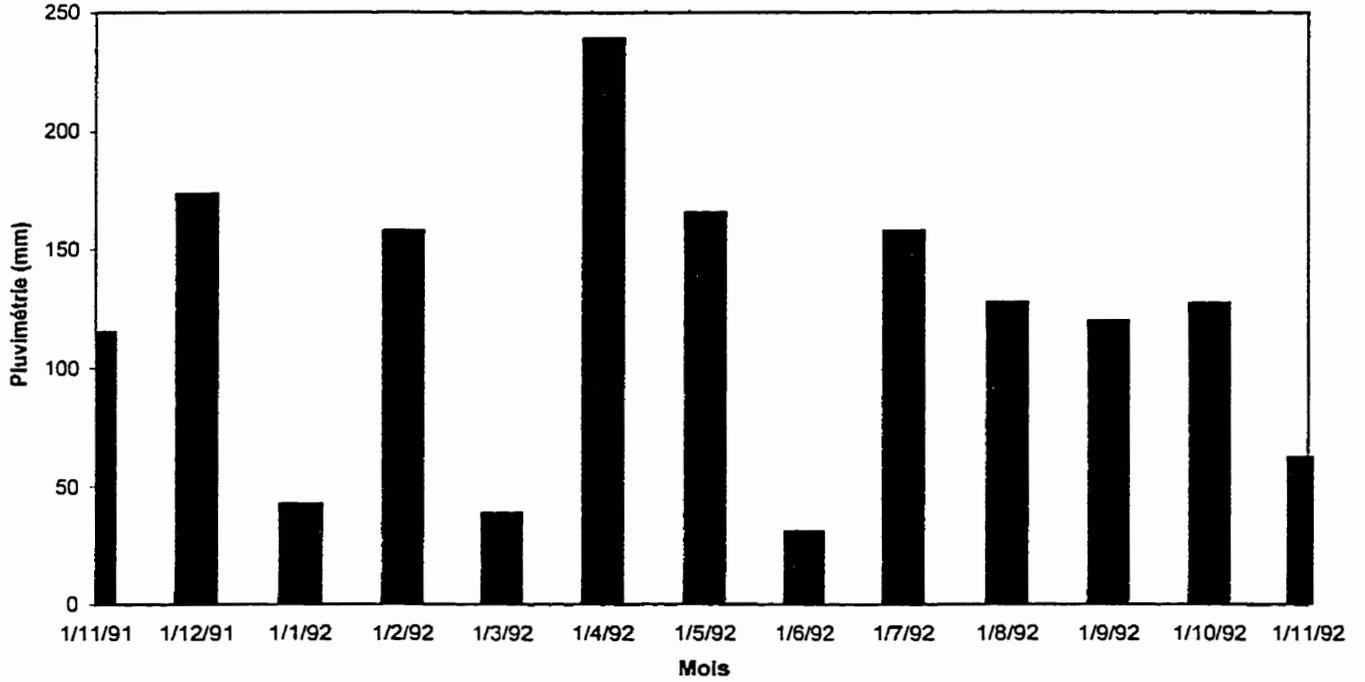


Figure 1 : Pluviométrie à Margarita, au Costa Rica (de novembre 1991 à novembre 1992)

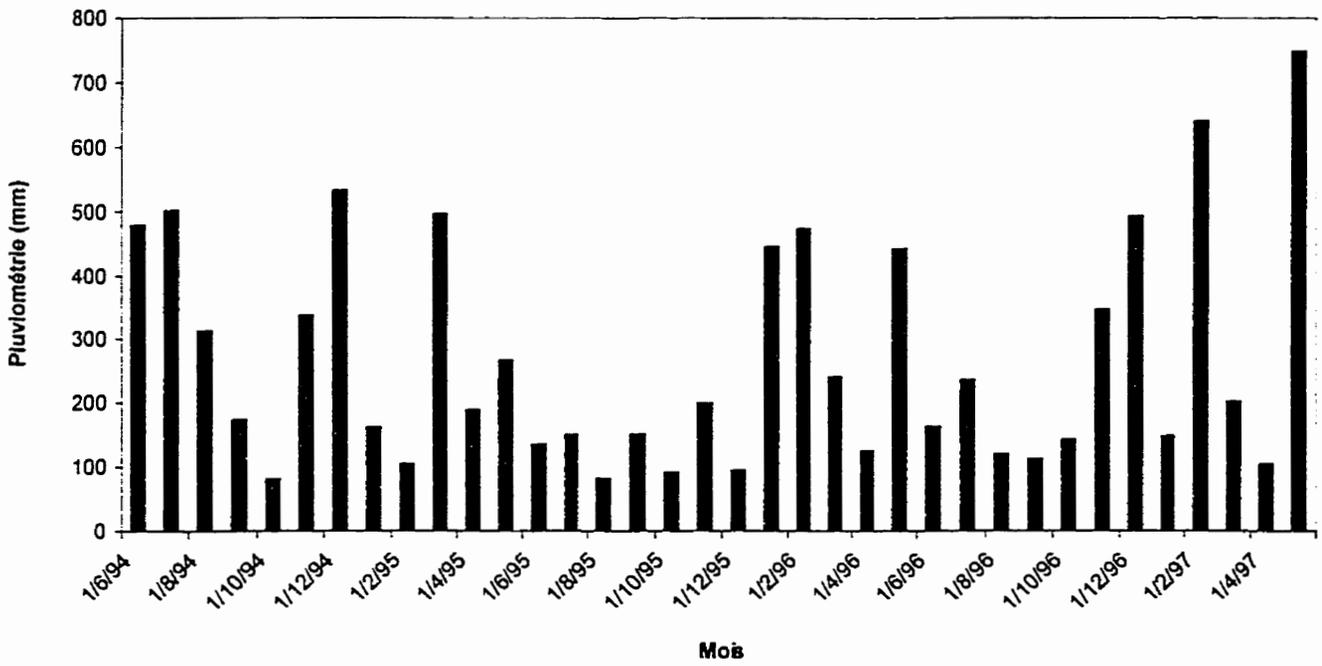


Figure 2 : Pluviométrie à Margarita, au Costa Rica (de juin 1994 à mai 1997)

## b) Les travaux effectués sur le site

Les activités d'établissement du site ont débuté en avril 1988. Le terrain a été nettoyé et, en juin 1988, du manioc a été planté afin de servir comme ombrage temporaire. Les arbres d'ombrage permanent ont été plantés en septembre 1988 et les cacaoyers en octobre 1988. Au mois de juin 1989, le pois d'Angole (*Cajanus cajan*) a été semé afin de remplacer le manioc comme ombrage temporaire (Somarriba et coll., 1997).

Les cacaoyers ont reçu deux tailles de maintien par année, soit en décembre ou janvier et en juin ou juillet. De plus, lorsque le besoin s'en est fait sentir, une ou plusieurs tailles sanitaires ont été effectuées. Ces tailles ne sont généralement pas très sévères. Le tableau 2 présente les travaux effectués sur les arbres d'ombrage de 1988 à mai 1997.

### 3.3.2 Le site d'Ojo de Agua

#### a) La localisation et les caractéristiques du site

Le site d'expérimentation d'Ojo de Agua, dont le terrain appartient à Monsieur Fermin Guerra, est localisé dans la communauté de Ojo de Agua, de la province de Changuinola au Panama. Les coordonnées géographiques sont 9°17'59'' de latitude nord et 82°27'54'' de longitude ouest.

Les parcelles expérimentales sont situées au sommet d'une colline dont l'altitude est de 280 m (Somarriba et coll., 1996b). Le terrain est légèrement ondulé, avec une pente de 3%, et présente des roches d'origine volcanique en surface. Aucun signe évident d'érosion n'a été observé (Nieuwenhuyse, 1994).

Le site de Ojo de Agua fait partie des forêts tropicales humides (Tosi, 1971). La température annuelle moyenne est de 27 °C et les précipitations sont semblables à celles observées pour le site de Margarita (les 2 sites n'étant séparés que d'environ 30 Km).

Tableau 2 : Travaux effectués sur les arbres d'ombrage à Margarita, au Costa Rica

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
<b><i>E. poeppigiana</i></b>										
Plantation	S									
Regarnissage	D	Mr Jn								
Taille des branches basses		N	Jn O	Jn O	Ma					
Étêtage				Ao						
Taille de formation					Jl	Mr	Ma S D	Ma D	Ma D	
Taille régulière						Jn N	Ma			
Coupe sélective						N				
<b><i>G. sepium</i></b>										
Plantation	S									
Regarnissage	D	Mr Jn			Ja Jn	Ma				
Élimination des rejets		N								
Taille des branches basses			Jn O	Jn O D	Ma D					
Taille de formation					Jl	Jn				
Taille régulière							Ma S D	Ma D	Ma D	Av
<b><i>I. edulis</i></b>										
Plantation	S									
Regarnissage	D			Ao		F				
Taille des branches basses		N								
Taille de formation			Jn O							
Taille régulière				Jn O D	Mr Ao D	Jn	Jl			
Coupe sélective							Ja Ma	Jn Jl Ao		
Ja = janvier, F = février, Mr = mars., Av = avril, Ma = mai, Jn = juin, Jl = juillet, Ao = août, S = septembre, O = octobre, N = novembre, D = décembre										

Les sols du site d'Ojo de Agua appartiennent au groupe des Aeric Tropaquept et tirent leur origine de roches volcaniques qui ont été déposées sur des roches sédimentaires tertiaires. De 60 à 90 cm de profondeur, ils sont homogènes, bien qu'il existe des variations dans la pente, dans la proportion d'éléments grossiers et dans l'épaisseur de l'horizon A. Le drainage naturel est pauvre et la nappe phréatique se retrouve à une profondeur supérieure à 80 cm (Nieuwenhuys, 1994).

La texture des sols se présente comme argileuse-limoneuse dans les 30 à 40 premiers centimètres et devient argileuse à des profondeurs plus grandes, ce qui peut nuire au développement des racines des arbres et des cultures (Somarriva et coll., 1996b).

L'analyse physico-chimique montre que les sols du site de Ojo de Agua sont assez homogènes. Par contre, ils sont plus vieux et davantage lessivés que ceux de Margarita, ce qui leur confère une saturation en base et une fertilité plus faible. Toutefois, la fertilité générale varie de moyenne à haute. Le pH (à l'eau) est de 5.1 et le contenu en matière organique est de 6,2 % dans les 20 premiers centimètres (Nieuwenhuys, 1994).

#### b) Les travaux effectués sur le site

Les activités d'établissement du site ont débuté en avril 1989. Le terrain a été nettoyé, et en mai 1989, le maïs, qui a servi comme ombrage temporaire, a été semé. Les arbres d'ombrage permanent ont été plantés en mai 1989 et les cacaoyers en décembre 1989. Au mois de mai 1990, le pois d'Angole a été semé afin de remplacer le maïs comme ombrage temporaire (Somarriva et coll., 1996b).

Les cacaoyers ont reçu deux tailles de maintien par année, soit en décembre ou janvier et en juin ou juillet. De plus, lorsque le besoin s'en est fait sentir, une ou plusieurs tailles sanitaires ont été effectuées. Ces tailles ne sont généralement pas très sévères. Le tableau 3 présente les travaux effectués sur les arbres d'ombrage de 1989 à mai 1997.

Tableau 3 : Travaux effectués sur les arbres d'ombrage à Ojo de Agua, au Panama

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
<b><i>C. alliodora</i></b>									
Plantation	Ma Jn								
Regarnissage	N	Jl							
Taille des branches basses		Jl	Ja Jn						
Coupe sélective							F		
<b><i>I. edulis</i></b>									
Plantation	Ma Jn								
Regarnissage	N								
Taille des branches basses		O							
Taille de formation			Ja						
Taille régulière			Jn O	Av N		Jl			
Coupe sélective						F Jl	Jl		Mr
<b><i>T. rosea</i></b>									
Plantation	Ma Jn								
Taille de formation	D	N	Ma Jn	Ao	Mr				
Coupe sélective							F		
<b><i>T. ivorensis</i></b>									
Plantation	Ma Jn								
Regarnissage	Jn Jl N	Jl							
Taille des branches basses		Jl N	Ma Jn		Ma				
Coupe sélective							F		
Ja = janvier, F = février, Mr = mars, Av = avril, Ma = mai, Jn = juin, Jl = juillet, Ao = août, S = septembre, O = octobre, N = novembre, D = décembre									

### 3.4 La description de l'expérimentation

#### 3.4.1 Le plan d'expérimentation

Les unités expérimentales sont disposées selon un plan en tiroirs. Le site de Margarita comporte trois espèces d'arbres en parcelles principales et 6 hybrides de cacaoyers en sous-parcelles alors que le site d'Ojo de Agua est composé de 4 espèces d'arbres en parcelles principales et de 6 hybrides de cacaoyers en sous-parcelles. Les parcelles principales sont disposées selon un plan en bloc complet colléatoire avec trois répétitions pour le site de Margarita et quatre répétitions pour le site d'Ojo de Agua. La structure des traitements se présente comme étant une expérience factorielle à deux facteurs :

1. espèces d'arbres (3 niveaux pour Margarita et 4 niveaux pour Ojo de Agua);
2. hybrides de cacaoyers (6 niveaux).

Le tableau 4 présente les d'essences d'arbres d'ombrage et les hybrides de cacaoyers utilisés pour les différents sites. La randomisation s'est effectuée en deux temps. On a d'abord randomisé les parcelles principales à l'intérieur de chaque bloc, puis on a randomisé les sous-parcelles à l'intérieur de chacune des parcelles principales.

**Tableau 4 : Arbres d'ombrage et hybrides de cacaoyers utilisés à Margarita, au Costa Rica et à Ojo de Agua, au Panama**

Site	Arbres d'ombrage	Hybrides de cacaoyers
<b>Margarita</b>	<i>Erythrina poeppigiana</i>	UF676 x IMC67
	<i>Gliricidia sepium</i>	UF613 x UF29
	<i>Inga edulis</i>	UF613 x IMC67
		UF668 x Pound7
		UF613 x Pound12
		Catongo x Pound12
<b>Ojo de Agua</b>	<i>Cordia alliodora</i>	UF676 x IMC67
	<i>Tabebuia rosea</i>	UF613 x UF29
	<i>Terminalia ivorensis</i>	UF12 x Pound7
	<i>Inga edulis</i>	UF668 x Pound7
		UF296 x CC18
		Catongo x Pound12

Les arbres ont été plantés par semis direct à des écartements de 6,0 m x 6,0 m, soit une densité de 278 arbres/ha. Au total, 36 arbres ont été plantés pour chacune des parcelles. Les parcelles principales ont une superficie totale de 1 296 m<sup>2</sup> (36 m x 36 m). Afin de contrer les effets de bordure, seule une superficie utile de 324 m<sup>2</sup> (18,0 m x 18,0 m) a été utilisée pour la prise des résultats. On compte 20 arbres qui occupent la bordure et 16 arbres dans la partie utile de la parcelle.

Les cacaoyers ont été plantés suivant des écartements de 3,0 m x 3,0 m, soit 100 cacaoyers par parcelle (densité de 1111 plants par hectare). Les cacaoyers utilisés pour la bordure sont au nombre de 64 et proviennent d'un seul hybride de cacaoyers, soit le Eet 400 x Sca 12. Dans la parcelle utile, on a procédé à une distribution aléatoire des 6 hybrides de cacaoyers. Au total, 36 cacaoyers ont été plantés dans la parcelle utile, soit 6 plants pour chacun des hybrides de cacaoyers.

### **3.4.2 Les variables mesurées**

Les variables dépendantes mesurées au cours de cette expérience et analysées dans ce travail sont :

- . l'intensité de la croissance des tiges et des feuilles ;
- . l'intensité de la floraison ;
- . le nombre de gourmands ;
- . l'ombrage projeté au sol ;
- . les rendements.

L'évaluation de l'intensité de la croissance des tiges et des feuilles a été effectuée de façon visuelle avec une échelle de 5 classes :

0. sans nouvelle pousse
1. 24% ou moins de la superficie de la couronne en croissance
2. entre 25% et 49% de la superficie de la couronne en croissance
3. entre 50% et 74% de la superficie de la couronne en croissance
4. 75% ou plus de la superficie de la couronne en croissance

L'évaluation de l'intensité de la floraison des cacaoyers a elle aussi été effectuée en utilisant une échelle visuelle de 5 classes :

0. sans floraison
1. floraison faible
2. floraison moyennement faible
3. floraison moyennement élevée
4. floraison élevée

L'échelle visuelle de la floraison a été testée, au cours des 8 premières prises de données, par deux personnes. La première a utilisé uniquement l'échelle visuelle alors que la deuxième a compté le nombre de fleurs présentes sur les premiers 75 cm de la branche principale et du tronc (longueur totale de 1,5 m). Par la suite, en effectuant une corrélation linéaire, l'échelle visuelle a été comparée au nombre de fleurs trouvées. Les résultats ont indiqué une très bonne corrélation entre l'échelle visuelle et le nombre de fleurs ( $r = 0,82$ ) ce qui a permis de continuer les évaluations en utilisant uniquement l'échelle visuelle (Lujan, 1992).

Les données de l'intensité de la croissance des tiges et des feuilles, de la floraison et du nombre de gourmands ont été recueillies, pour chaque cacaoyer des parcelles utiles du site de Margarita, toutes les deux semaines entre novembre 1991 et novembre 1992.

Les rendements des parcelles du site de Margarita et d'Ojo de Agua ont été évalués et analysés pour une période antérieure à nos propres mesures, soit entre 1991 et 1994. Les résultats sont présentés par Somarriba et coll. (1997) pour le site de Margarita et par Somarriba et coll. (1996b) pour le site d'Ojo de Agua. L'analyse des résultats a permis de constater que les rendements ont varié significativement entre les cacaoyers croissant sous différentes espèces d'arbre d'ombrage. À partir de ces résultats, les responsables des essais ont décidé d'estimer l'ombrage afin de voir si les variations de l'ombre projetée au sol par les différentes espèces d'arbre d'ombrage sont importantes.

Pour les sites de Margarita et d'Ojo de Agua, l'ombrage a été évalué entre juin 1994 et mai 1997. L'ombrage varie en fonction du type d'arbre, mais aussi en fonction des travaux spécifiques à chaque type d'arbre, qui sont effectués afin de contrôler l'ombrage excessif. La gestion de l'ombrage a été réalisée à l'aide de tailles successives pour les essences qui supportent bien les tailles régulières et sévères comme le *G. sepium* et l'*E. poeppigiana*, et à l'aide de coupes sélectives pour les essences qui ne supportent pas bien les tailles, soit l'*I. edulis*, le *C. alliodora*, le *T. rosea* et le *T. ivorensis*.

Les données de la production de fruits ont été recueillies, au niveau de la parcelle, à toutes les deux semaines entre juin 1994 et mai 1997 pour les sites de Margarita et d'Ojo de Agua. Toutefois, au cours des périodes de haute production ou lorsque l'incidence des maladies était très élevée, les données de la production ont été recueillies toutes les semaines ; lorsque la production était très faible, elles ont été recueillies aux 3 semaines (Somarriba et coll., 1997).

### **3.4.3 L'analyse des données**

#### **a) Considérations générales**

Les variables dépendantes ont été analysées séparément les unes des autres. Toutefois, lorsque jugé nécessaire, deux variables dépendantes ont pu être comparées entre elles à l'aide de la corrélation linéaire. Deux traitements ont été considérés significativement différents lorsque la probabilité d'erreur était inférieure à 0,05 (Somarriba et coll., 1997). La comparaison des moyennes a été effectuée en utilisant un test de Tukey. En présence d'interactions significatives, nous avons appliqué le test LSMEANS. La transformation racine carrée a été utilisée afin de normaliser les données de la croissance, de la floraison et de l'ombrage.

#### **b) L'analyse de l'intensité de la croissance des tiges et des feuilles, de la floraison et du nombre de gourmands**

L'analyse des résultats de l'intensité de la croissance des tiges et des feuilles, de la floraison et du nombre de gourmands a été réalisée, pour le site de Margarita, en utilisant un dispositif de parcelles subdivisées : les parcelles principales sont les essences d'arbre, les sous-parcelles sont les hybrides de cacaoyers et les sous sous-parcelles sont les dates de mesure (Somarriba et coll., 1997).

#### **c) L'analyse des rendements et de l'ombrage**

Au début de l'expérimentation, les données de la production de fruits, pour les sites de Margarita et d'Ojo de Agua, étaient enregistrées pour chaque hybride de cacaoyer et pour chaque parcelle. À partir de 1995, les résultats de la production ont été relevés seulement au niveau de la parcelle, car les données de la récolte, pour les différents hybrides, ont été analysées dans une autre étude (Somarriba et coll., 1997).

L'analyse de la production et de l'ombrage a été effectuée en utilisant un dispositif de parcelles divisées : les parcelles principales sont les essences d'arbre, les sous-parcelles sont les dates de mesure. Les données des 2 sites ont été analysées séparément car les espèces d'arbre ainsi que les hybrides sont, pour la plupart, différents dans les 2 sites.

## 4 RESULTATS

### 4.1 La croissance des tiges et des feuilles

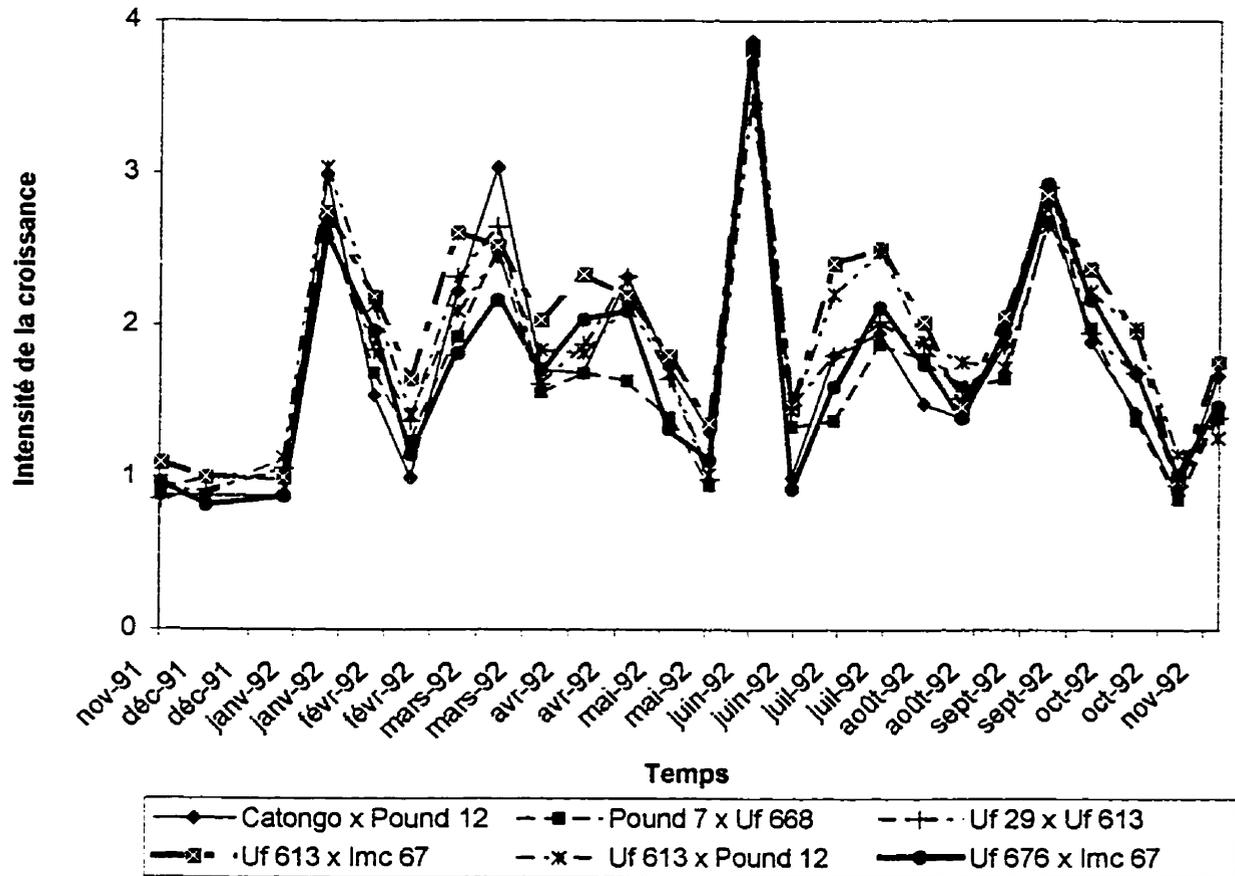
Les données de la croissance des tiges et des feuilles, pour chaque hybride de cacaoyer, ont été analysées pour la période du 27 novembre 1991 au 10 novembre 1992. Les résultats de l'analyse statistique sont présentés au tableau 5. L'ANOVA indique une interaction significative ( $P=0,0381$ ) entre les dates de mesure et les hybrides ainsi qu'une interaction très significative ( $P<0,0001$ ) entre les dates de mesures et les arbres d'ombrage. Par ailleurs, aucune corrélation significative n'a été observée entre la pluviométrie et la croissance des tiges et des feuilles.

**Tableau 5 : Résultats de l'ANOVA pour la croissance des tiges et des feuilles des cacaoyers à Margarita, au Costa Rica**

Source	d.l.	SS	MS	F cal	P>F
Blocs	2	0,06	0,03	0,0336	0,9673
Arbres	2	2,69	1,34	1,4048	0.3450
Erreur A	4	3,83	0,95		
Hybrides	5	16,00	3,20	16,7640	0.0002
Hybrides x arbres	10	2,04	0,20	00,4314	0.9194
Erreur B	30	14,19	0,47		
Dates	24	588,53	24,52	109,0744	0.0001
Dates x arbres	48	218,38	4,55	20,2363	0.0001
Dates x hybrides	120	34,05	0,28	1,2621	0.0381
Erreur C	240	58,52	0,24		

#### 4.1.1 Le patron de croissance des tiges et des feuilles des différents hybrides de cacaoyers

La figure 3 présente le patron de la croissance des tiges et des feuilles de chaque hybride. Le patron de la croissance des tiges et des feuilles, qui se fait par poussées successives dans le temps, est similaire pour tous les hybrides. Les poussées foliaires, au nombre de 6, se succèdent les unes aux autres et forment des crêtes ou pics de croissance toutes les 6 à 8 semaines. Par contre, à quelques occasions, les pics de croissance de certains hybrides arrivent peu avant ou peu après ceux des autres hybrides. Il n'y a pas eu d'arrêt de croissance au cours de l'expérimentation et la poussée de croissance la plus importante est celle qui a eu lieu entre le 26 mai le 23 juin 1992.



**Figure 3 : Patron de la croissance des tiges et des feuilles de 6 hybrides de cacaoyer à Margarita, au Costa Rica**

L'intensité moyenne de la croissance des tiges et des feuilles de tous les cacaoyers, au cours de la période étudiée, est de 1,8 selon l'échelle visuelle utilisée, soit entre 25 et 49 % de la couronne en croissance (Tableau 6). La croissance moyenne a été la plus importante chez l'hybride Uf 613 x Imc 67. On ne peut toutefois pas dire si les différences pour la croissance moyenne entre les différents hybrides sont statistiquement significatives car l'analyse statistique a été faite en prenant en compte le facteur temps.

**Tableau 6 : Intensité moyenne de la croissance foliaire de 6 hybrides de cacaoyer à Margarita, au Costa Rica**

Hybride	Intensité moyenne
Catongo x Pound 12	1,8
Pound 7 x Uf 668	1,7
Uf 29 x Uf 613	1,8
Uf 613 x Imc 67	2,0
Uf 613 x Pound 12	1,9
Uf 676 x Imc 67	1,7
Moyenne	1,8 ± 1,3

Le tableau 7 présente l'intensité maximale atteinte, par chaque hybride, au cours des poussées de croissance. Les valeurs d'une même colonne accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes selon le test LS Means au niveau de probabilité de 0,05.

**Tableau 7 : Intensité maximale de la croissance des tiges et des feuilles atteinte au cours des poussées de croissance des cacaoyers à Margarita, au Costa Rica**

Hybride	Intensité maximale des poussées de croissance des tiges et des feuilles					
	1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	4 <sup>ème</sup>	5 <sup>ème</sup>	6 <sup>ème</sup>
Catongo x Pound 12	3,0 a	3,0 a	2,3 a	3,9 a	1,9 a	2,8 a
Pound 7 x Uf 668	2,7 a	2,5 b	1,7 b	3,7 a	1,9 a	2,7 a
Uf 29 x Uf 613	2,6 a	2,6 ab	2,3 a	3,5 a	2,0 a	2,9 a
Uf 613 x Imc 67	2,7 a	2,6 ab	2,3 a	3,8 a	2,5 b	2,9 a
Uf 613 x Pound 12	3,0 a	2,4 b	2,1 ab	3,8 a	2,5 b	2,6 a
Uf 676 x Imc 67	2,6 a	2,2 b	2,1 ab	3,8 a	2,1 ab	2,9 a
Moyenne	2,8 ± 1,2	2,5 ± 1,3	2,1 ± 1,1	3,8 ± 0,6	2,1 ± 1,3	2,8 ± 1,2

On observe des différences significatives, dans l'intensité maximale de la croissance des tiges et des feuilles, entre les différents hybrides de cacaoyer, au cours de la 2<sup>ème</sup>, de la 3<sup>ème</sup> et de la 5<sup>ème</sup> poussée de croissance.

En conclusion, l'analyse de la croissance des tiges et des feuilles, pour chaque hybride, montre qu'il n'y a pas de variation significative dans les patrons de croissance dans le temps. Toutefois, il existe des différences significatives, dans le temps, dans l'intensité de la croissance des différents hybrides.

#### 4.1.2 Le patron de la croissance des tiges et des feuilles des cacaoyers sous différentes espèces d'arbre

La figure 4 présente le patron de la croissance des tiges et des feuilles, des cacaoyers cultivés sous différentes espèces d'arbre. Le patron de la croissance des tiges et des feuilles, qui se fait par poussées successives dans le temps, est relativement similaire pour toutes les espèces d'arbre. Les poussées, au nombre de 6, forment des crêtes ou pics de croissance qui surviennent généralement au même moment, soit toutes les 6 à 8 semaines, pour tous les cacaoyers. Par contre, à quelques occasions, les pics de croissance des cacaoyers cultivés sous certaines espèces d'arbre arrivent peu avant ou peu après ceux des cacaoyers cultivés sous d'autres espèces d'arbre. Il n'y a pas eu d'arrêt de croissance au cours de l'expérimentation et la poussée de croissance la plus importante a eu lieu entre le 26 mai et le 23 juin.

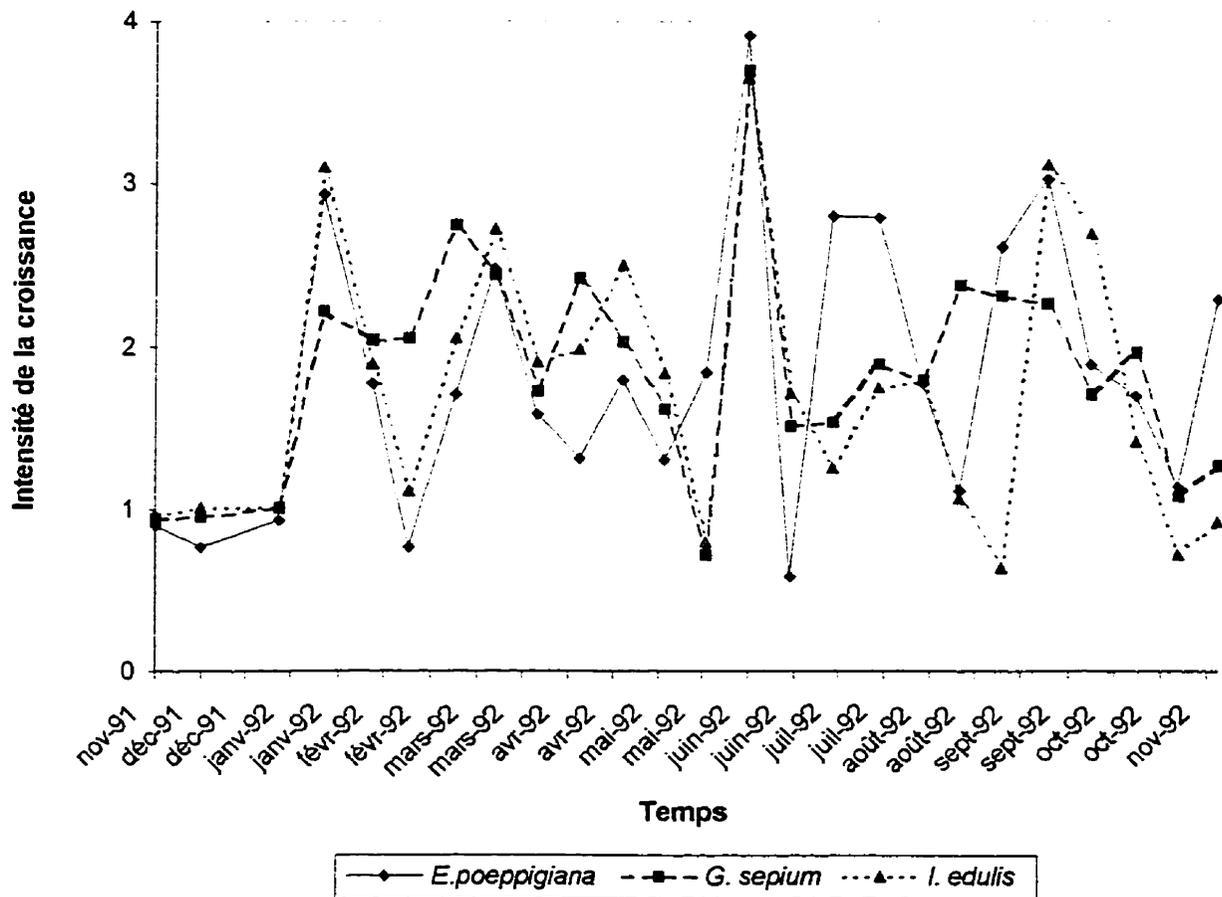


Figure 4 : Patron de croissance des tiges et des feuilles des cacaoyers cultivés sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica

La croissance des tiges et des feuilles s'est maintenue à une intensité moyenne de 1,8 selon l'échelle visuelle utilisée, soit près de 49 % de la couronne en croissance, et ce pour tous les

cacaoyers (Tableau 8). La croissance a été plus intense pour les cacaoyers des parcelles de *G. sepium* et moindre pour ceux des parcelles de *E. poeppigiana* et de *I. edulis*. Toutefois, on en peut pas dire si ces différences sont statistiquement significatives, car l'analyse a été faite en prenant en compte le facteur temps.

**Tableau 8 : Intensité moyenne de la croissance foliaire des cacaoyers cultivés sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica**

Espèce d'arbre	Intensité moyenne
<i>E. poeppigiana</i>	1,8
<i>G. sepium</i>	1,9
<i>I. edulis</i>	1,7
Moyenne	1,8 ± 1,3

Le tableau 9 présente l'intensité maximale atteinte, pour les cacaoyers des parcelles de chaque espèce d'arbre, au cours des poussées de croissance. Les valeurs d'une même colonne accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes selon le test LS Means au niveau de probabilité de 0,05.

**Tableau 9 : Intensité maximale de la croissance des tiges et des feuilles atteinte par les cacaoyers au cours des poussées de croissance à Margarita, au Costa Rica**

Espèce d'arbre	Intensité maximale des poussées de croissance des tiges et des feuilles					
	1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	4 <sup>ème</sup>	5 <sup>ème</sup>	6 <sup>ème</sup>
<i>E. poeppigiana</i>	2,9 a	2,5 a	1,8 a	3,9 a	2,8 a	3,0 a
<i>G. sepium</i>	2,2 b	2,6 a	2,1 ab	3,7 a	1,8 b	2,3 b
<i>I. edulis</i>	3,1 a	2,7 a	2,5 b	3,7 a	1,8 b	3,1 a
Moyenne	2,8 ± 1,2	2,5 ± 1,3	2,1 ± 1,1	3,8 ± 0,6	2,1 ± 1,3	2,8 ± 1,2

On remarque des différences significatives, dans l'intensité maximale de la croissance des tiges et des feuilles, entre les cacaoyers croissant sous différentes espèces d'arbre, au cours de la 1<sup>ère</sup>, de la 3<sup>ème</sup>, de la 5<sup>ème</sup> et de la 6<sup>ème</sup> poussée de croissance.

En conclusion, l'analyse de la croissance des tiges et des feuilles, pour les cacaoyers de chaque parcelle d'arbre d'ombrage, montre que le patron de croissance est similaire pour tous, bien qu'il existe quelques petites variations dans les dates où l'on observe les pics de croissance. De plus, l'intensité de la croissance des tiges et des feuilles varie significativement, dans le temps, entre les cacaoyers cultivés sous différentes espèces d'arbre.

## 4.2 La floraison

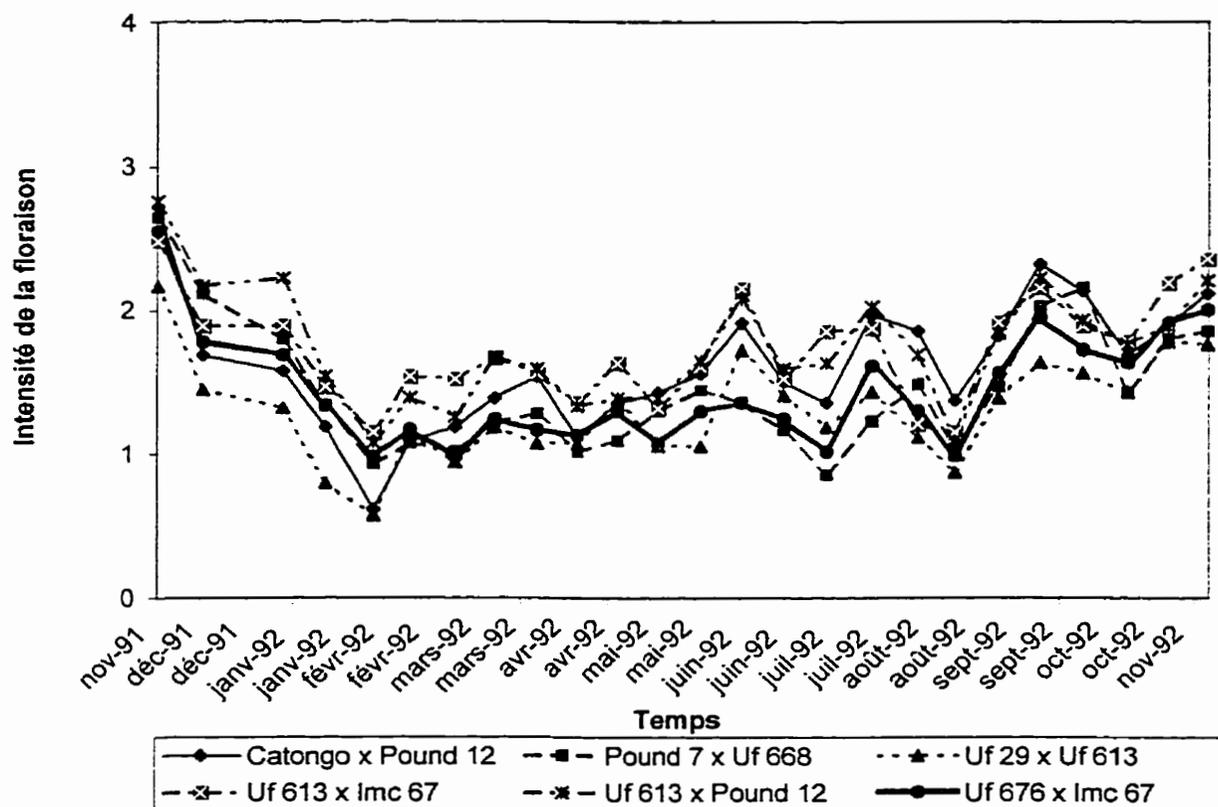
Les données de la floraison, pour chaque hybride de cacaoyer, ont été analysées pour la période du 27 novembre 1991 au 10 novembre 1992. Les résultats de l'analyse statistique sont présentés au tableau 10. À partir des résultats de l'ANOVA, on constate une interaction très significative entre les dates de mesure et les hybrides ( $P < 0,0001$ ) et entre les dates de mesure et les arbres d'ombrage ( $P < 0,0001$ ). Par ailleurs, aucune corrélation significative n'a été observée entre la floraison et la croissance des tiges et des feuilles, ni entre la floraison et la pluviométrie.

**Tableau 10 : Résultats de l'ANOVA pour la floraison des cacaoyers à Margarita, au Costa Rica**

Source	d.l.	SS	MS	F cal	P>F
Blocs	2	25,65	12,82	5.2841	0.0754
Arbres	2	64,93	32,47	13.795	0.0169
Erreur A	4	9,70	2,43		
Hybrides	5	36,56	7,25	1.9334	0.1181
Hybrides x arbres	10	8,46	0,84	0.2257	0.9915
Erreur B	30	112,54	3,75		
Dates	24	182,64	7,61	67.3619	0.0001
Dates x arbres	48	82,23	1,71	15.1649	0.0001
Dates x hybrides	120	29,03	0,24	2.1412	0.0001
Erreur C	240	24,09	0,10		

### 4.2.1 Le patron de la floraison des différents hybrides de cacaoyers

Le patron de la floraison des différents hybrides de cacaoyers utilisés est présenté à la figure 5. Le patron de la floraison, bien que présentant quelques variations, est similaire pour tous les hybrides. Le patron de la floraison peut se diviser en 3 périodes. La première période, entre novembre 1991 et février 1992, se caractérise par une baisse de l'intensité de la floraison pour tous les hybrides. Au cours de la deuxième période, soit entre février et mai 1992, l'intensité de la floraison ne varie pas beaucoup et se situe entre 1,0 et 1,8 selon l'échelle visuelle utilisée. Finalement, les poussées de floraison des différents hybrides, au nombre de 4, ne sont réellement perceptibles que dans la troisième période, soit entre mai et novembre 1992. Il n'y a pas eu d'arrêt de floraison au cours de l'expérimentation.



**Figure 5 : Patron de la floraison de 6 hybrides de cacaoyer à Margarita, au Costa Rica**

L'intensité moyenne de floraison obtenue pour tous les cacaoyers au cours de la période étudiée a été de 1,5 selon l'échelle visuelle utilisée, c'est-à-dire faible à moyennement faible (Tableau 11). L'écart entre l'intensité moyenne des différents hybrides n'est pas très important, mais il apparaît que certains hybrides tels Catongo x Pound 12, Uf 613 x Imc 67 et Uf 613 x Pound 12 ont obtenu une floraison moyenne plus élevée que les autres. Toutefois, on ne peut pas dire si ces différences sont statistiquement significatives, car l'analyse a été faite en prenant en compte le facteur temps.

**Tableau 11 : Intensité moyenne de la floraison de 6 hybrides de cacaoyer à Margarita, au Costa Rica**

Hybride	Intensité moyenne
Catongo x Pound 12	1,6
Pound 7 x Uf 668	1,4
Uf 29 x Uf 613	1,3
Uf 613 x Imc 67	1,7
Uf 613 x Pound 12	1,7
Uf 676 x Imc 67	1,4
Moyenne	1,5 ± 1,0

Le tableau 12 présente l'intensité maximale de la floraison atteinte, par chaque hybride, au cours des poussées de floraison. Les valeurs d'une même colonne accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes selon le test LS Means au niveau de probabilité de 0,05. L'intensité de la floraison des différents hybrides de cacaoyer a varié significativement au cours des poussées de floraison.

**Tableau 12 : Intensité maximale de la floraison atteinte par 6 hybrides de cacaoyers au cours des poussées de floraison à Margarita, au Costa Rica**

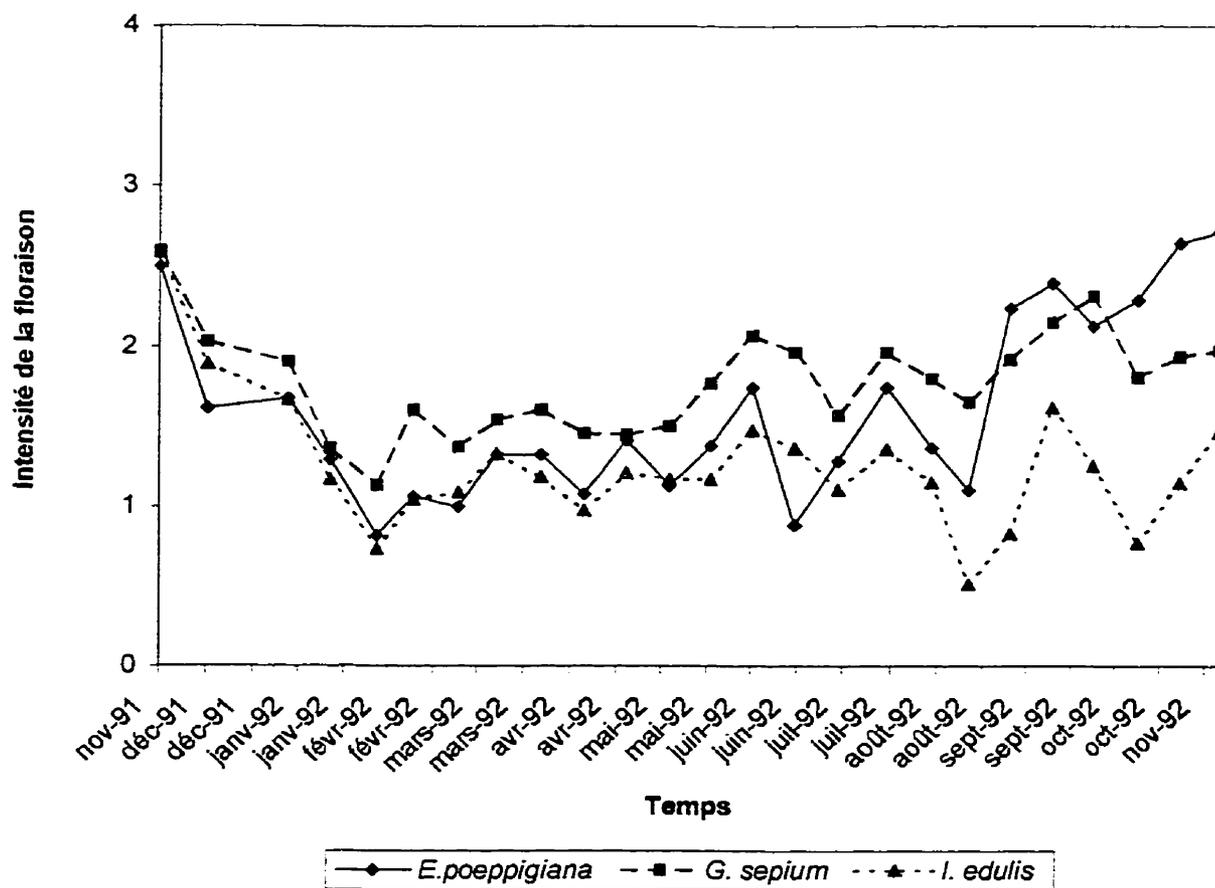
Hybride	Poussée de floraison			
	1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	4 <sup>ème</sup>
Catongo x Pound 12	1,9 a	2,0 a	2,3 a	2,1 ab
Pound 7 x Uf 668	1,4 b	1,2 bc	2,0 ab	1,9 b
Uf 29 x Uf 613	1,7 ab	1,4 b	1,6 b	1,8 b
Uf 613 x Imc 67	2,1 a	1,8 abc	2,1 a	2,4 a
Uf 613 x Pound 12	2,1 a	2,0 a	2,2 a	2,2 ab
Uf 676 x Imc 67	1,4 b	1,6 ab	1,9 ab	2,0 ab
Moyenne	1,8 ± 1,0	1,7 ± 1,0	2,0 ± 1,1	2,1 ± 1,3

En conclusion, l'analyse de la floraison, pour chaque hybride, a permis de constater qu'il n'y a pas de différences importantes entre les hybrides pour leur patron de la floraison. Il existe cependant des différences significatives entre les hybrides pour l'intensité de leur floraison à des périodes de temps déterminées.

#### **4.2.2 Le patron de la floraison des cacaoyers sous différentes espèces d'arbre**

La figure 6 présente le patron de la floraison des cacaoyers sous les différentes espèces d'arbre d'ombrage. Le patron de la floraison est similaire pour tous les cacaoyers, même si à quelques occasions, les pics de floraison des cacaoyers de certaines parcelles sont décalés de plus ou moins 2 semaines par rapport à ceux des cacaoyers poussant sous d'autres arbres. Le patron de la floraison, pour les cacaoyers des différentes parcelles d'arbres, présente des caractéristiques

similaires à celui qu'on a pu tracer pour les différents hybrides à la figure 5, avec les même 3 périodes distinctes. Les poussées de floraison, au nombre de 4, sont particulièrement distinctes à partir de mai 1992.



**Figure 6 : Patron de floraison de cacaoyers cultivés sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica**

La floraison s'est maintenue à une intensité moyenne de 1,5 selon l'échelle visuelle utilisée, soit entre une floraison faible et une floraison moyennement faible (Tableau 13).

**Tableau 13 : Intensité moyenne de la floraison de cacaoyers cultivés sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica**

Espèce d'arbre	Intensité moyenne
<i>E. poeppigiana</i>	1,6
<i>G. sepium</i>	1,8
<i>I. edulis</i>	1,2
Moyenne	1,5 ± 1,0

Le tableau 14 présente l'intensité maximale de la floraison atteinte, par chaque hybride au cours des poussées de floraison de la 3<sup>ème</sup> période. Les valeurs d'une même colonne accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes selon le test LS Means au niveau de probabilité de 0,05.

**Tableau 14 : Intensité maximale de la floraison atteinte au cours des poussées de floraison par des cacaoyers croissant sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica**

Espèce d'arbre	Poussées de floraison			
	1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	4 <sup>ème</sup>
<i>E. poeppigiana</i>	1,7 a	1,7 ab	2,4 a	2,7 a
<i>G. sepium</i>	2,1 b	2,0 a	2,3 a	2,0 b
<i>I. edulis</i>	1,5 a	1,4 b	1,6 b	1,5 c
Moyenne	1,8 ± 1,0	1,9 ± 1,0	2,0 ± 1,1	2,1 ± 1,3

On remarque des différences significatives, dans l'intensité maximale de la floraison atteinte au cours des 4 poussées de floraison, entre les cacaoyers croissant sous les différentes les espèces d'arbre d'ombrage.

En conclusion, l'analyse des données de la floraison pour des cacaoyers sous différentes espèces d'arbre montre que les patrons de floraison sont similaires, peu importe l'espèce d'arbre d'ombrage utilisée. Cependant, l'intensité de la floraison varie, dans le temps, en fonction des différentes espèces d'arbre utilisées.

### 4.3 Le développement des gourmands

Les données concernant le développement des gourmands ont été analysées pour la période comprise entre le 27 novembre 1991 et le 10 novembre 1992. Le tableau 15 présente les résultats de cette analyse statistique. On constate une interaction très significative entre les dates de mesure et les hybrides ( $P < 0,0001$ ). Par contre, l'interaction entre les dates de mesure et les arbres d'ombrage n'est pas significative ( $P = 0,5935$ ).

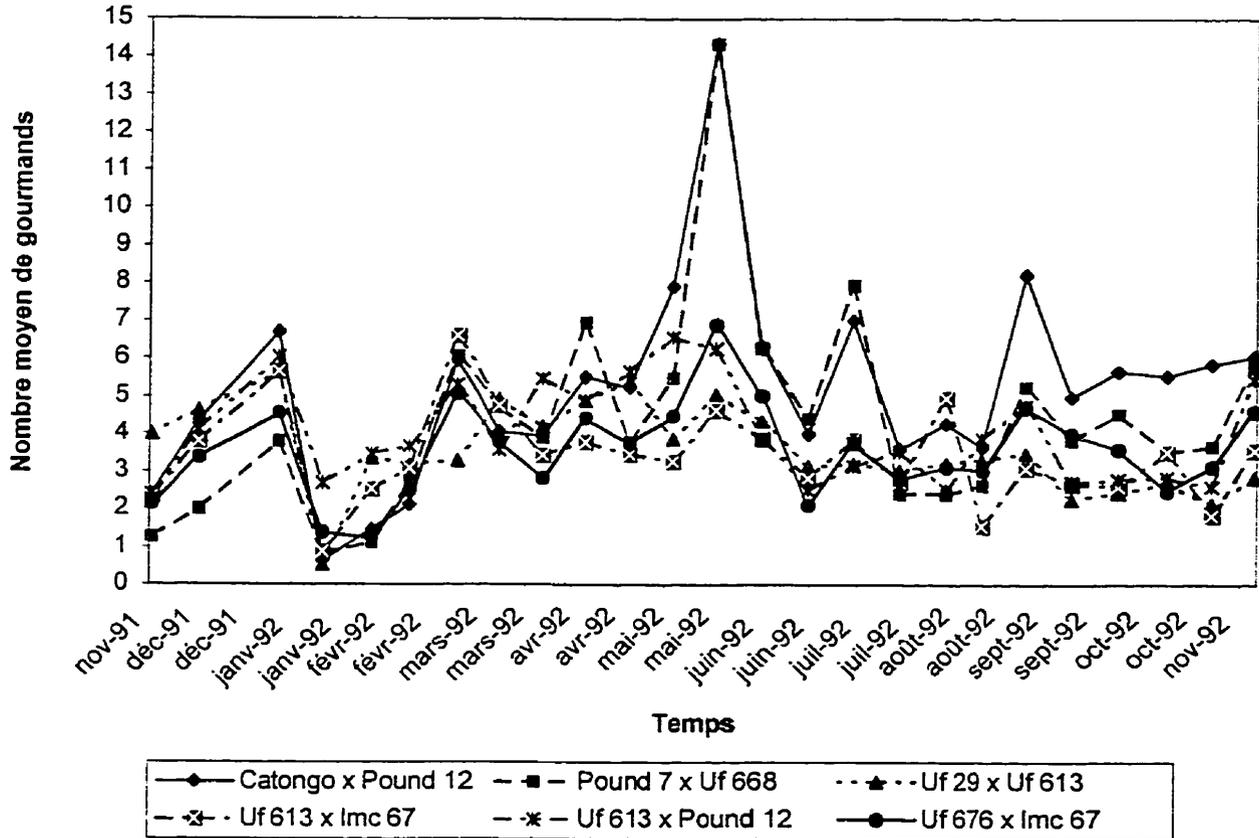
Par ailleurs, on n'a observé aucune corrélation entre le développement de nouveaux gourmands et la croissance des tiges et des feuilles, entre le développement de gourmands et la floraison ou entre le développement de gourmands et la pluviométrie. Toutefois, on remarque que les poussées de développement de nouveaux gourmands arrivent généralement 2 semaines avant les poussées de croissance des tiges et des feuilles.

**Tableau 15 : Résultats de l'ANOVA pour le nombre de gourmands des cacaoyers à Margarita, au Costa Rica**

Source	d.l.	SS	MS	F cal	P>F
Blocs	2	26,00	13,00	1,7895	0,2785
Arbres	2	14,96	7,48	1,0297	0,4358
Erreur A	4	29,06	7,26		
Hybrides	5	24,80	4,96	0,5442	0,7413
Hybrides x arbres	10	51,40	5,14	0,5640	0,8296
Erreur B	30	273,42	9,11		
Dates	24	157,52	6,56	26,0966	0,0001
Dates x arbres	48	11,33	0,23	0,9386	0,5935
Dates x hybrides	120	98,11	0,81	3,2506	0,0001
Erreur C	240	68,28	0,28		

#### 4.3.1 Le patron du développement de nouveaux gourmands des différents hybrides de cacaoyers

La figure 7 présente le patron du développement de nouveaux gourmands de chaque hybride. Le patron du développement de nouveaux gourmands, qui se fait par poussées successives dans le temps, est similaire pour tous les hybrides. Les poussées de développement de gourmands, au nombre de 6, se succèdent les unes aux autres et forment des pics toutes les 6 à 8 semaines. Bien qu'il y ait toujours présence de nouveaux gourmands au cours de l'expérimentation, il arrive que les pics de développement de certains hybrides arrivent peu avant ou peu après ceux des autres hybrides.



**Figure 7 : Patron du développement de nouveaux gourmands de 6 hybrides de cacaoyer à Margarita, au Costa Rica**

Le nombre de gourmands a par ailleurs varié selon l'hybride pour toute la période étudiée. Le nombre moyen de gourmands pour tous les cacaoyers est de 4,0 (Tableau 16). Les hybrides Catongo x Pound 12 et Pound 7 x Uf 668 ont un nombre moyen de gourmands plus élevé que les autres hybrides, en particulier Uf 613 x Imc 67 et Uf 676 x Imc 67. Par contre, on ne peut pas dire si ces différences sont statistiquement significatives, car l'analyse a été faite en prenant en compte le facteur temps.

**Tableau 16 : Nombre moyen de gourmands de 6 hybrides de cacaoyer à Margarita, au Costa Rica**

Hybride	Nombre de gourmands
Catongo x Pound 12	5,2
Pound 7 x Uf 668	4,4
Uf 29 x Uf 613	3,6
Uf 613 x Imc 67	3,4
Uf 613 x Pound 12	4,0
Uf 676 x Imc 67	3,4
Moyenne	4,0 ± 1,5

Le tableau 17 présente le nombre moyen de gourmands produits par chaque hybride au cours des poussées de développement de nouveaux gourmands. Les valeurs d'une même colonne accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes selon le test LS Means au niveau de probabilité de 0,05.

On observe des différences significatives, dans le nombre moyen de gourmands, entre les différents hybrides de cacaoyer au cours de toutes les poussées de développement de nouveaux gourmands.

**Tableau 17 : Nombre moyen de gourmands produits par 6 hybrides de cacaoyers au cours des poussées de développement de nouveaux gourmands à Margarita, au Costa Rica**

Hybride	Nombre moyen de gourmands au cours des poussées de développement de nouveaux gourmands					
	1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	4 <sup>ème</sup>	5 <sup>ème</sup>	6 <sup>ème</sup>
Catongo x Pound 12	6,7 a	6,0 a	5,5 a	14,4 a	7,0 a	8,2 a
Pound 7 x Uf 668	3,8 b	6,1 a	7,0 b	14,3 a	7,9 a	5,3 b
Uf 29 x Uf 613	5,6 a	3,3 b	4,9 a	5,1 b	3,2 b	3,2 c
Uf 613 x Imc 67	5,7 a	6,6 a	3,6 c	4,6 cb	3,9 b	2,8 c
Uf 613 x Pound 12	6,1 a	5,3 a	4,9 a	6,3 b	3,1 b	4,8 b
Uf 676 x Imc 67	4,6 b	5,1 a	4,4 ac	3,9 c	3,8 b	4,7 b
Moyenne	5,6 ± 2,6	5,7 ± 2,7	8,6 ± 1,2	5,5 ± 1,3	5,7 ± 1,3	6,0 ± 1,1

En conclusion, l'analyse des données du nombre de gourmands pour les différents hybrides montre qu'il n'y a pas de variation significative dans les patrons du développement de nouveaux gourmands dans le temps. Toutefois, il existe des différences significatives, à des dates de mesure données, dans le nombre moyen de nouveaux gourmands des différents hybrides.

### 4.3.2 Le patron du développement de nouveaux gourmands des cacaoyers sous 3 espèces d'arbres d'ombrage

La figure 8 présente le patron du développement de nouveaux gourmands des cacaoyers cultivés sous différentes espèces d'arbre. Le patron du développement de nouveaux gourmands, qui se fait par poussées successives dans le temps, est relativement similaire pour toutes les espèces d'arbre. Les poussées, au nombre de 6, forment des pics de développement de nouveaux gourmands toutes les 4 à 8 semaines et surviennent au même moment pour tous les cacaoyers.

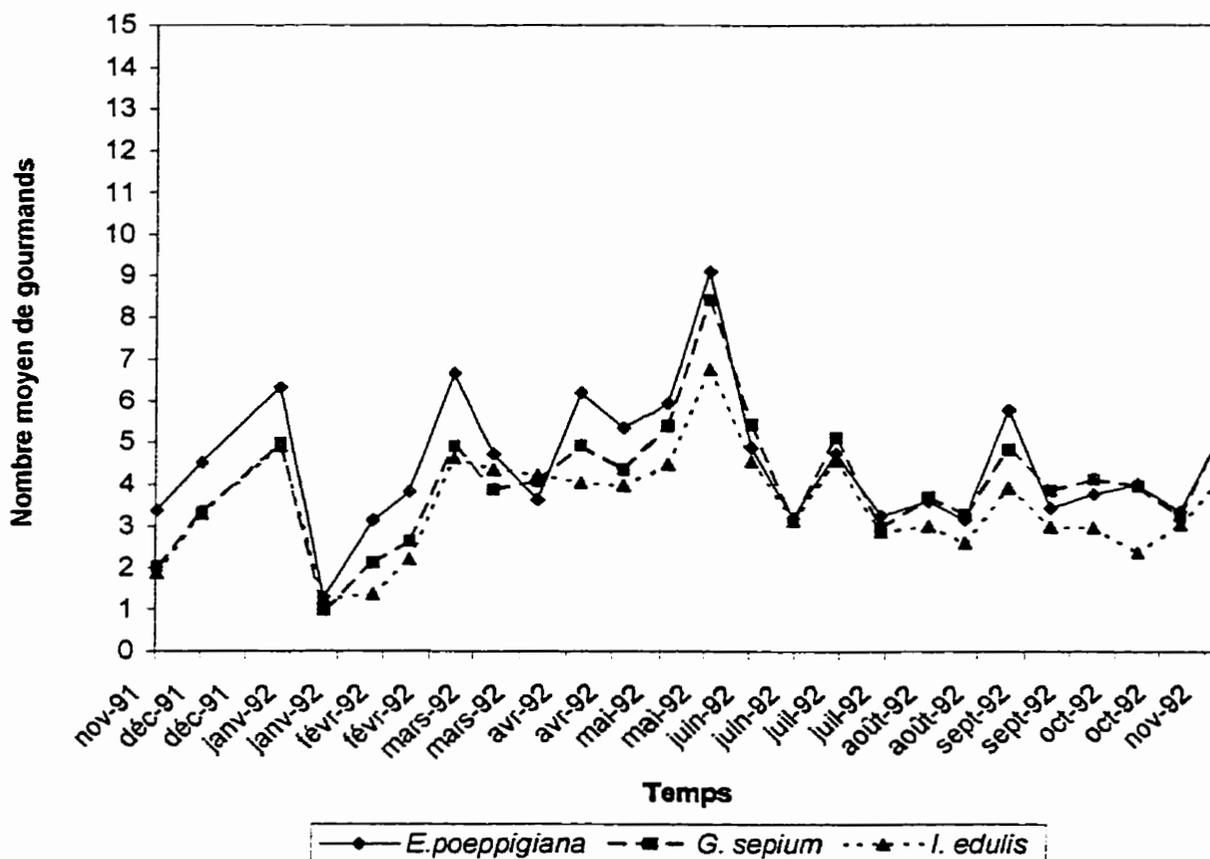


Figure 8 : Patron du développement de nouveaux gourmands des cacaoyers cultivés sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica

Le nombre moyen de gourmands pour tous les cacaoyers est de 7,0 (Tableau 18). Le nombre moyen de gourmands est plus élevé pour les cacaoyers sous *E. poeppigiana*. Par contre, on ne peut pas dire si ces différences sont statistiquement significatives, car l'analyse a été faite en prenant en compte le facteur temps.

**Tableau 18 : Nombre moyen de gourmands des cacaoyers cultivés sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica**

Espèce d'arbre	Nombre moyen de gourmands
<i>E. poeppigiana</i>	4,5
<i>G. sepium</i>	4,0
<i>I. edulis</i>	3,5
Moyenne	4,0 ± 1,5

Le tableau 19 présente le nombre moyen de gourmands, pour les cacaoyers des parcelles de chaque espèce d'arbre, produits au cours des poussées de développement de nouveaux gourmands. Les valeurs d'une même colonne accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes selon le test LS Means au niveau de probabilité de 0,05.

On remarque que le nombre moyen de gourmands produits par les cacaoyers croissant sous différentes espèces d'arbre ne varie pas significativement au cours des poussées de développement de nouveaux gourmands.

**Tableau 19 : : Nombre moyen de gourmands produits au cours des poussées de développement de nouveaux gourmands par des cacaoyers associés à 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica**

Espèce d'arbre	Nombre moyen de gourmands au cours des poussées de développement de nouveaux gourmands					
	1 <sup>ère</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	4 <sup>ème</sup>	5 <sup>ème</sup>	6 <sup>ème</sup>
<i>E. poeppigiana</i>	6,3 a	6,6 a	6,2 a	9,1 a	4,8 a	5,8 a
<i>G. sepium</i>	5,0 a	4,9 a	4,9 a	8,4 a	5,1 a	4,8 a
<i>I. edulis</i>	4,9 a	4,6 a	4,0 a	6,8 a	4,6 a	3,9 a
Moyenne	5,4 ± 0,8	5,3 ± 1,1	5,0 ± 0,8	8,1 ± 1,1	4,8 ± 0,3	4,8 ± 0,9

En conclusion, l'analyse des données du nombre de gourmands pour les cacaoyers sous différentes espèces d'arbre montre que les patrons du développement de nouveaux gourmands sont similaires, peu importe l'espèce d'arbre d'ombrage utilisée, et que le nombre moyen de nouveaux gourmands ne varie pas significativement entre les cacaoyers croissant sous différentes espèces d'arbre.

## 4.4 Les rendements

Entre 1991 et 1994, les rendements des parcelles du site de Margarita ont été évalués pour chaque hybride et les résultats sont présentés dans Somarriba et coll. (1997). Il en ressort que les rendements varient significativement entre les différents hybrides et que les hybrides Pound 7 x Uf 668 et Uf 613 x Pound 12 ont obtenu les meilleurs résultats. Pour le site d'Ojo de Agua, l'analyse des rendements pour chaque hybride entre 1991 et 1994 montre que les rendements de l'hybride Uf 12 x Pound 7 ont été nettement supérieurs à ceux des autres hybrides (Somarriba et coll., 1996b).

À la suite de l'analyse de ces résultats, les responsables de l'expérimentation ont décidé qu'il n'était plus nécessaire de calculer les rendements pour chaque hybride. Le calcul des rendements est maintenant effectué au niveau de chaque parcelle. Pour la présente étude, les rendements de chaque parcelle ont été analysés entre juin 1994 et mai 1997 pour les sites de Margarita et d'Ojo de Agua. Au début de la période étudiée, les cacaoyers étaient âgés de 5 ans et les arbres d'ombrage étaient âgés de 5,5 ans.

### 4.4.1 Les rendements des cacaoyers sous différentes espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica

L'analyse statistique des données est présentée au tableau 20. Les résultats de l'ANOVA nous indiquent une interaction significative entre les dates de mesure et les arbres d'ombrage ( $P=0,0043$ ).

**Tableau 20 : Résultats de l'ANOVA pour le rendement des cacaoyers à Margarita, au Costa Rica**

Source	d.l.	SS	MS	F cal	P>F
Blocs	2	0,607	0,303	1,492	0,328
Arbres	2	0,200	0,100	0,492	0,644
Erreur A	4	0,813	0,203		
Dates	34	19,859	0,584	18,392	0,0001
Dates x arbres	68	3,547	0,052	1,642	0,0043
Erreur B	204	6,478	0,031		

Les rendements moyens des cacaoyers dans les parcelles de chaque espèce d'arbre sont présentés au tableau 21. Le rendement moyen, pour l'ensemble du site et pour toute la période étudiée, a été de 928 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>. Les rendements des cacaoyers sous *G. sepium* ont été

légèrement inférieurs à ceux des cacaoyers sous *E. poeppigiana* et sous *I. edulis*. Ils ont par ailleurs été plus importants au cours de l'année 1995-1996. On ne peut toutefois pas dire si ces différences sont significatives, car l'analyse a été faite en prenant en compte le facteur temps.

**Tableau 21 : Rendement en cacao sec de cacaoyers associés à 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica**

Espèce d'arbre	Rendement en cacao sec (kg ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> )			Moyenne
	94-95	95-96	96-97	
<i>E. poeppigiana</i>	804	1284	733	940 ± 28
<i>G. sepium</i>	864	1227	621	904 ± 22
<i>I. edulis</i>	780	1311	730	940 ± 34
Moyenne	816 ± 37	1274 ± 40	695 ± 39	928 ± 43

Le patron des rendements des cacaoyers croissant sous les différentes espèces d'arbres d'ombrage est présenté à la figure 9. Le patron des rendements est similaire sous chaque espèce d'arbre, bien que les pics de production de certaines parcelles soient décalés de plus ou moins 2 semaines par rapport à ceux des autres. La production se fait par poussées, c'est-à-dire que des périodes de forte production alternent avec des périodes où la production est plus faible. Généralement, les rendements sont plus importants durant les mois d'octobre, de novembre et de décembre, ainsi que durant les mois de mai et de juin de chaque année.

Plusieurs pics de production montrent l'existence de différences significatives dans le rendement des cacaoyers selon l'espèce d'arbre d'ombrage sous lequel il croissent. Ainsi, au cours du pic de production d'octobre 1994, le rendement, dans les parcelles de *G. sepium* a été statistiquement supérieur à celui observé dans les autres parcelles.

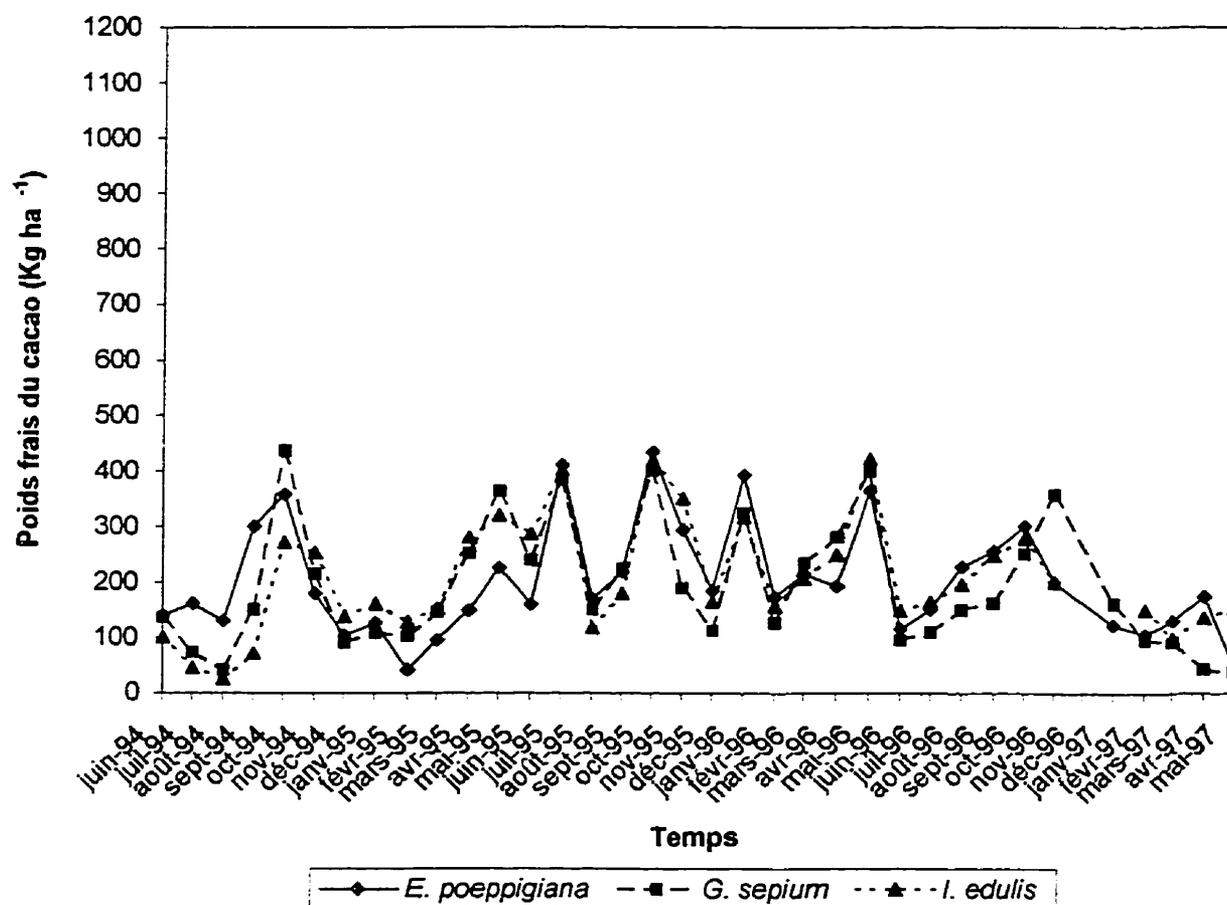


Figure 9 : Patron des rendements des cacaoyers croissant sous 3 espèces d'arbre d'ombrage à Margarita, au Costa Rica

En conclusion, l'analyse des rendements pour le site de Margarita montre qu'il n'y a pas de différences significatives dans les patrons des rendements des cacaoyers sous chaque espèce d'arbre, mais qu'il existe des différences très significatives, dans le temps, dans l'intensité des pics de rendement des cacaoyers croissant sous différentes espèces d'arbres.

#### 4.4.2 Les rendements des cacaoyers sous différentes espèces d'arbres d'ombrage à Ojo de Agua, au Panama

Les rendements ont été mesurés, au niveau de chaque parcelle, entre les mois de juin 1994 et mai 1997. Les résultats de l'analyse statistique sont présentés au Tableau 22. On remarque qu'il existe une interaction significative entre les dates de mesure et les arbres d'ombrage ( $P=0,0170$ ).

**Tableau 22 : Résultats de l'ANOVA pour le rendement des cacaoyers à Ojo de Agua, au Panama**

Source	d.l.	SS	MS	F cal	P>F
Blocs	3	2,109	0,703	1,481	0,2842
Arbres	3	1,807	0,602	1,295	0,3340
Erreur A	9	4,273	0,475		
Dates	30	65,939	2,197	29,833	0,0001
Dates x arbres	90	9,306	0,103	1,403	0,0170
Erreur B	344	25,344	0,074		

Les rendements moyens des cacaoyers dans les parcelles de chaque espèce d'arbre sont présentés au tableau 23. Le rendement moyen, pour l'ensemble du site et pour toute la période étudiée, a été de 674 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>. Le rendement moyen des cacaoyers dans les parcelles d'*I. edulis* a été supérieur à celui observé dans les parcelles des autres espèces d'arbre. Ils ont par ailleurs été plus importants au cours de l'année 1995-1996. On ne peut toutefois pas dire si ces différences sont significatives, car l'analyse a été faite en prenant en compte le facteur temps.

**Tableau 23 : Rendement en cacao sec de cacaoyers associés à 4 espèces d'arbres d'ombrage à Ojo de Agua, au Panama**

Espèce d'arbre	Rendement en cacao sec (Kg ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> )			Moyenne
	94-95	95-96	96-97	
<i>C. alliodora</i>	449	1012	388	616 ± 27
<i>I. edulis</i>	583	1202	651	812 ± 41
<i>T. rosea</i>	349	1113	458	640 ± 32
<i>T. ivorensis</i>	711	804	363	626 ± 23
Moyenne	523 ± 34	1033 ± 59	465 ± 21	674 ± 52

Le patron des rendements des cacaoyers croissant sous les différentes espèces d'arbres d'ombrage est présenté à la figure 10. On constate que la production a été présente tout au long de l'expérimentation, mais qu'elle est très variable dans le temps.

Les patrons des rendements des cacaoyers sont, dans leur ensemble, similaires sous les différentes espèces d'arbre d'ombrage. Toutefois, il existe des différences significatives, dans le temps, dans le rendement des cacaoyers croissant sous ces différentes espèces d'arbre. Par exemple, durant les mois de mai 1995 et 1996, les rendements des parcelles sous *I. edulis* ont atteint un pic de production alors qu'ils sont restés constants dans les autres parcelles. Il en est de

même pour les rendements des parcelles sous *T. ivorensis* au mois d'avril 1995. Les rendements sont généralement supérieurs au cours des mois d'octobre, de novembre et de décembre, mais parfois aussi durant les mois d'avril, de mai et de juin.

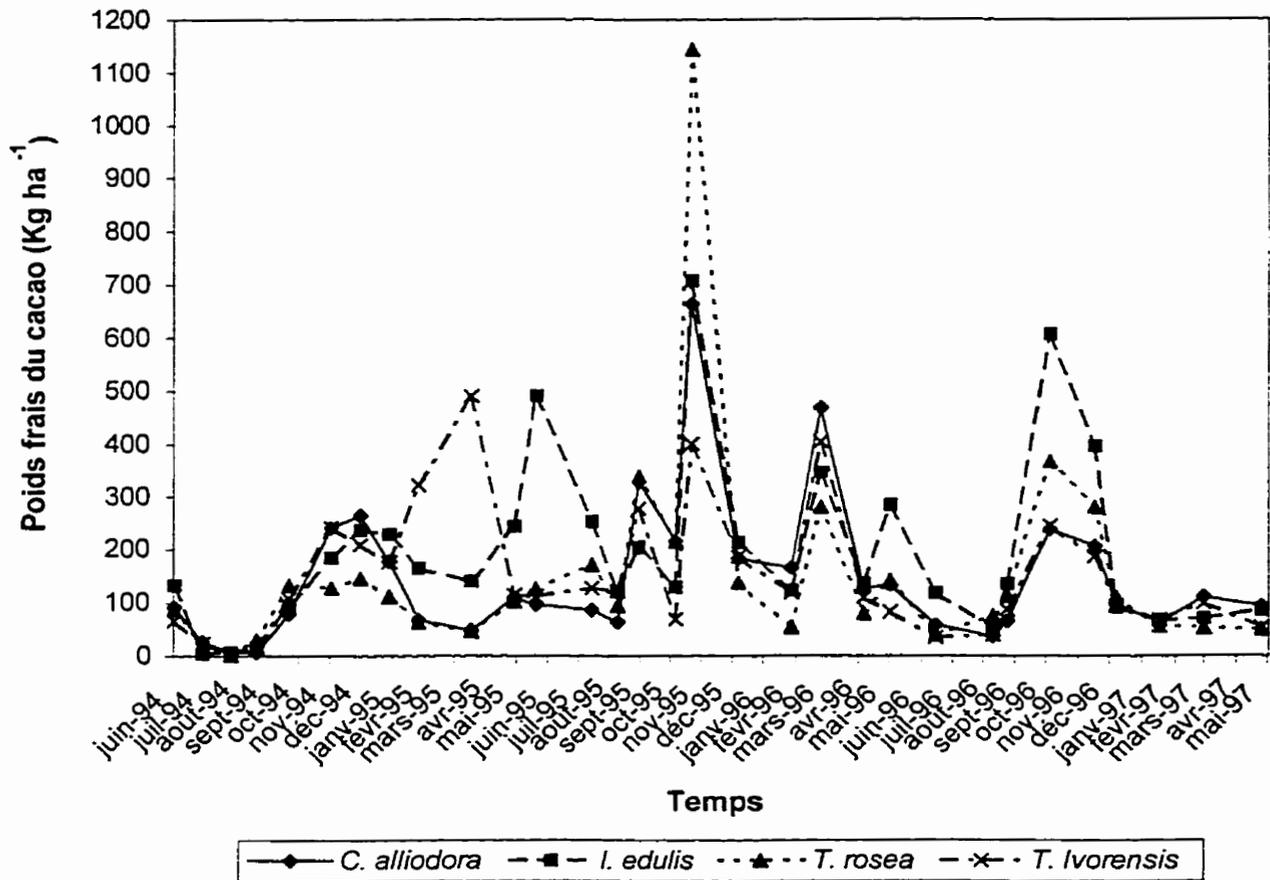


Figure 10 : Patron des rendements des cacaoyers croissant sous 4 espèces d'arbre d'ombrage à Ojo de Agua, au Panama

En conclusion, l'analyse des rendements pour le site d'Ojo de Agua montre que les patrons de rendement des cacaoyers croissant sous différentes espèces d'arbre d'ombrage sont relativement similaires. Cependant, l'ampleur des pics de rendement des cacaoyers varie selon l'arbre d'ombrage utilisé.

## 4.5 L'ombrage

### 4.5.1 Le patron de l'ombre projetée au sol à Margarita, au Costa Rica

Les résultats de l'analyse de variance pour le pourcentage d'ombre projetée par les arbres d'ombrage au cours de la période étudiée sont présentés au tableau 24. On constate qu'il y a une interaction significative entre les dates de mesure et les arbres d'ombrage ( $P < 0,0001$ ). Par ailleurs, aucune corrélation significative n'a été observée entre l'ombre projetée au sol et les rendements.

**Tableau 24 : Résultats de l'ANOVA pour le % d'ombre projetée par les arbres d'ombrage associés aux cacaoyers à Margarita, au Costa Rica**

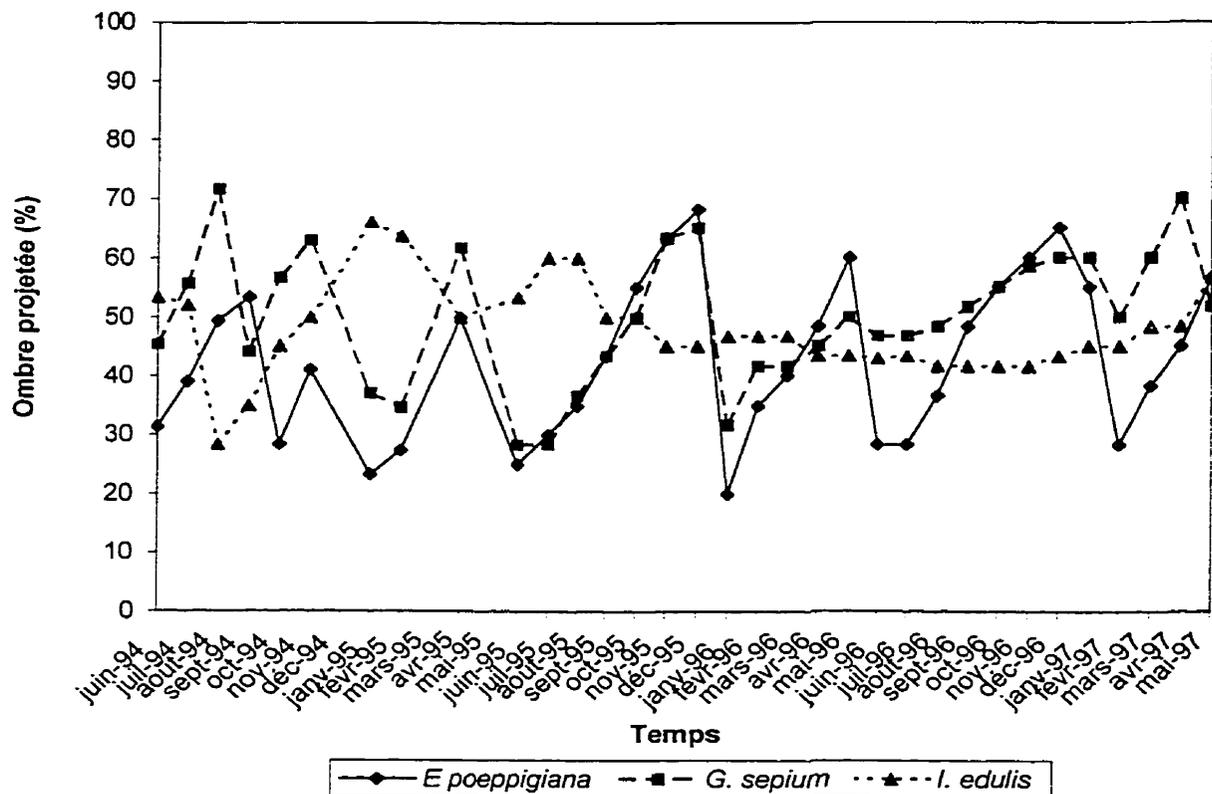
Source	d.l.	SS	MS	F cal	P>F
Blocs	2	166,25	83,12	1,0001	0,4444
Arbres	2	3618,45	1809,23	21,7664	0,0071
Erreur A	4	322,49	83,12		
Dates	43	24188,16	562,51	15,4875	0,0001
Dates x arbres	86	30734,19	327,37	9,8394	0,0001
Erreur B	258	9370,72	36,32		

Le pourcentage d'ombre projetée au sol a été, en moyenne pour la période étudiée et pour toutes les parcelles, de 47 % (Tableau 25). L'ombrage moyen a été plus faible pour les parcelles sous *E. poeppigiana* (42 %), et plus important pour les parcelles sous *G. sepium* (50 %) et sous *I. edulis* (48 %). Par contre, on ne peut affirmer que ces différences soient statistiquement significatives, car l'analyse a été effectuée en prenant en compte le facteur temps.

**Tableau 25 : Pourcentage d'ombre moyen dans les parcelles des cacaoyers associés à 3 espèces d'arbres d'ombrage à Margarita, au Costa Rica**

Espèce d'arbre	Ombre projetée (%)			Moyenne
	94-95	95-96	96-97	
<i>E. poeppigiana</i>	38	44	45	42 ± 11
<i>G. sepium</i>	52	44	55	50 ± 13
<i>I. edulis</i>	49	49	45	48 ± 9
Moyenne	46 ± 9	46 ± 8	48 ± 10	47 ± 11

Le patron de l'ombre projetée au sol par les différentes espèces d'arbre d'ombrage utilisées est présenté à la figure 11. L'ombrage projeté au sol varie considérablement, dans le temps, d'une espèce d'arbre à une autre. L'ombrage des parcelles d'*E. poeppigiana* et de *G. sepium* semble suivre un patron assez similaire, bien que l'amplitude des courbes soit différente. Toutefois, à partir de mai 1996, les courbes des parcelles d'*E. poeppigiana* et de *G. sepium* ne se suivent plus. L'ombrage projeté par les *I. edulis* présente un patron nettement différent des autres.



**Figure 11 : Patron de l'ombre projetée par 3 espèces d'arbre d'ombrage associées aux cacaoyers à Margarita, au Costa Rica**

La courbe d'ombrage des parcelles d'*E. poeppigiana* décrit des pics très prononcés qui sont consécutifs à des tailles très sévères. Ces dernières, au total de 6, ont été réalisées en décembre et en mai de chaque année. Il en est de même pour les parcelles de *G. sepium*. Par contre entre février 1996 et février 1997, les parcelles de *G. sepium* n'ont pas subi de taille, car le pourcentage d'ombrage était à un niveau acceptable.

La courbe d'ombrage de parcelles de *I. edulis* varie beaucoup en amplitude entre juin 1994 et novembre 1995. Ces variations ont été occasionnées par la coupe sélective de près de 70 % des

arbres présents sur la parcelle. De novembre 1995 à avril 1997, l'ombrage est resté assez constant.

En conclusion, le patron de l'ombre projetée au sol varie significativement, dans le temps, entre les différentes espèces d'arbres d'ombrage. On observe également que l'ampleur des pics d'ombre varie selon le type d'arbre d'ombrage utilisé.

#### 4.5.2 Le patron de l'ombre projetée au sol à Ojo de Agua, au Panama

Les résultats de l'analyse de variance du pourcentage d'ombre projetée par les arbres d'ombrage au cours de la période étudiée sont présentés au tableau 26. On constate qu'il y a une interaction significative entre les dates de mesure et les arbres d'ombrage ( $P < 0,0001$ ).

**Tableau 26 : Résultats de l'ANOVA pour le % d'ombre projetée par les arbres d'ombrage associés aux cacaoyers à Ojo de Agua, au Panama**

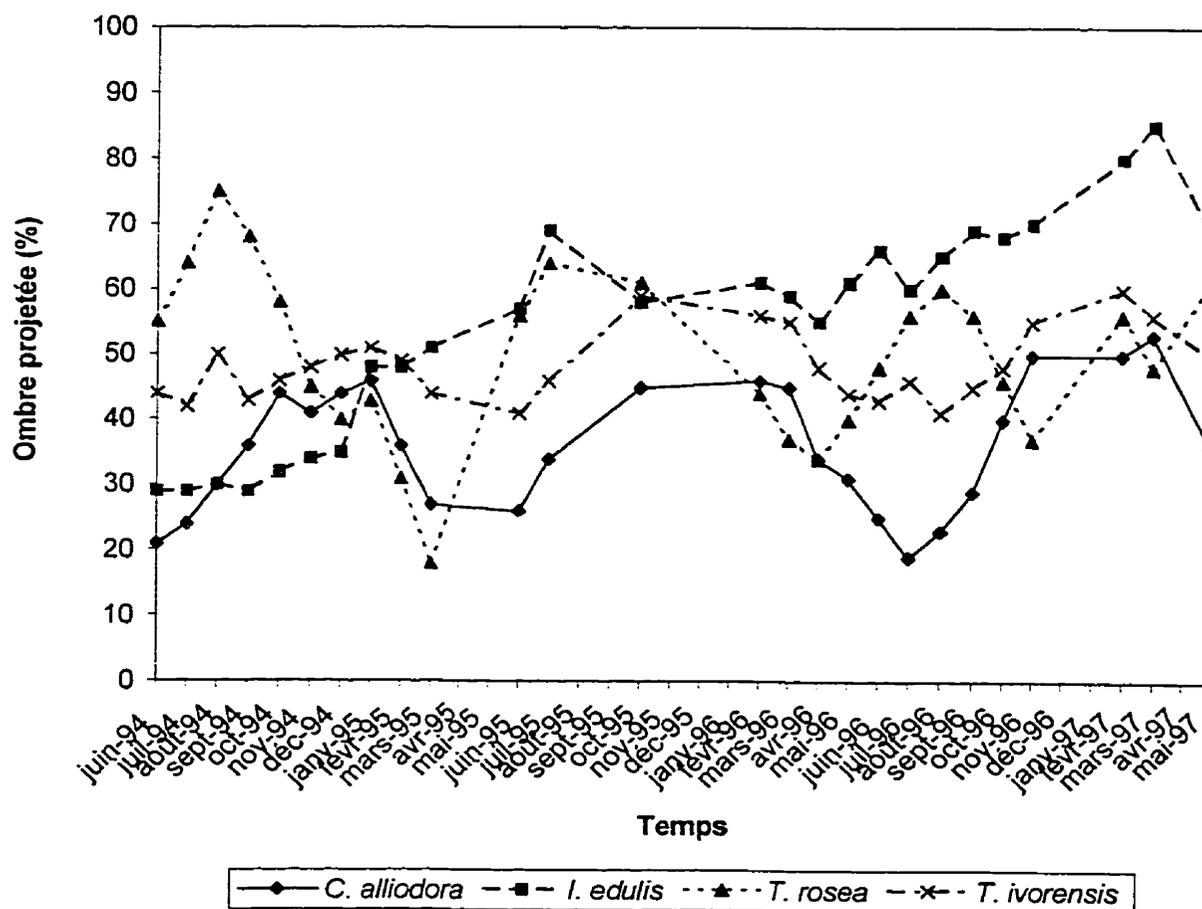
Source	d.l.	SS	MS	F cal	P>F
Blocs	3	169,35	56,45	0,5343	0,6702
Arbres	3	33024,62	11008,20	104,5131	0,0001
Erreur A	9	951,03	105,67		
Dates	38	28926,22	761,21	13,7635	0,0001
Dates x arbres	113	56308,27	498,30	9,0098	0,0001
Erreur B	449	24832,76	55,31		

Le pourcentage d'ombre projetée au sol a été, en moyenne, pour la période étudiée et pour toutes les parcelles, de 48 % (Tableau 27). L'ombrage moyen a varié entre les différentes espèces d'arbre et entre les années. Il a été très faible pour les parcelles de *C. alliodora* (36 %) et très élevé pour les parcelles d'*I. edulis* (56 %). De même, le pourcentage moyen d'ombre projetée au sol a varié de 42 % en 1994-1995 à 52 % en 1996-1997. Toutefois, on ne peut affirmer que ces différences soient statistiquement différentes, car l'analyse a été effectuée en prenant en compte le facteur temps.

**Tableau 27 : Pourcentage d'ombre moyen dans les parcelles de cacaoyers associés à 3 espèces d'arbres d'ombrage à Ojo de Agua, au Panama**

Espèce d'arbre	Ombre projetée (%)			Moyenne
	94-95	95-96	96-97	
<i>C. alliodora</i>	35	37	36	36 ± 11
<i>I. edulis</i>	37	60	70	56 ± 15
<i>T. rosea</i>	50	48	52	50 ± 13
<i>T. ivorensis</i>	47	50	49	47 ± 14
Moyenne	42 ± 11	49 ± 16	52 ± 12	48 ± 14

Le patron de l'ombrage des différentes espèces d'arbre d'ombrage est présenté à la figure 12. On remarque qu'il y a beaucoup de variations entre les patrons de chacune des espèces d'arbre utilisées. Les variations importantes sont provoquées par des coupes sélectives des arbres d'ombrage.



**Figure 12 : Patron de l'ombre projetée au sol par 4 espèces d'arbre d'ombrage associées aux cacaoyers à Ojo de Agua, au Panama**

Le pourcentage d'ombrage pour les parcelles de *C. alliodora* est plus important entre les mois de novembre et mars de chaque année. Le patron de l'ombrage dans les parcelles de *T. ivorensis* ressemble assez à celui des parcelles de *C. alliodora*. L'ombrage le plus important est enregistré au cours des mois de novembre à mars. L'ombrage, dans les parcelles d'*I. edulis*, augmente constamment, jusqu'en mars 1997, pour atteindre un taux de près de 80 %. Le patron de l'ombrage des parcelles de *T. rosea* présente des oscillations importantes dans le temps, l'ombrage variant entre 18 et 77 %.

En conclusion, le patron de l'ombre projetée au sol varie significativement, dans le temps, entre les différentes espèces d'arbres d'ombrage. On observe également que l'ampleur des pics d'ombre varie selon le type d'arbre d'ombrage utilisé.

## 5 DISCUSSION

### 5.1 L'ombre projetée au sol

L'ombrage a un effet direct sur la phénologie du cacaoyer. L'ombre projetée au sol par les arbres d'ombrage affecte l'intensité de la croissance des tiges et des feuilles ainsi que l'intensité de la floraison (Asomaning et coll., 1971 ; Ampofo et Bonaparte, 1981 ; Majer, 1974). Plusieurs chercheurs ont également observé que les rendements sont plus faibles lorsque les cacaoyers sont cultivés sous ombrage (Asomaning et coll., 1971 ; Ahenkorah et coll., 1977 ; Alvim, 1977).

Dans notre expérience, nous avons constaté que l'ombre projetée au sol varie en fonction des différentes espèces d'arbre utilisées. L'objectif poursuivi dans le cadre des essais était de maintenir un niveau d'ombrage compris entre 30 et 50 % afin de ne pas nuire à la production des cacaoyers. Toutefois, nous avons observé des différences significatives de l'ombrage, dans le temps, entre les différents arbres d'ombrage utilisés sur les deux sites. Les variations de l'ombrage sont occasionnées par les caractéristiques propres à chaque espèce et par les travaux de gestion de l'ombrage spécifique à chaque type d'arbre.

Les espèces d'arbre comme le *G. sepium* et l'*E. poeppigiana* sont des légumineuses servant à la fertilisation des parcelles. Elles supportent très bien des tailles successives et sévères. La gestion de l'ombrage est effectuée par les tailles régulières. Généralement, elles ont lieu tous les 6 mois. Après la taille, l'ombrage diminue considérablement. Le développement de nouvelles branches et de nouvelles feuilles fait augmenter progressivement l'ombrage au cours de la période qui suit la taille.

L'ombrage projeté par le *C. alliodora*, l'*I. edulis*, le *T. rosea* et le *T. ivorensis* varie considérablement dans le temps ainsi qu'en fonction de l'espèce d'arbre. Ces espèces ne supportent pas des tailles sévères et régulières et la taille nuit à la qualité du bois. La gestion de l'ombrage est donc réalisée par des coupes sélectives. Généralement, après l'élimination de certains arbres, l'ombrage se maintient un moment et augmente à nouveau lorsque la couronne se développe et projette davantage d'ombrage. Il est alors nécessaire d'effectuer d'autres coupes sélectives.

### 5.2 La croissance des tiges et des feuilles

Bien qu'il n'y ait pas eu d'arrêt de croissance au cours de l'expérimentation, les résultats obtenus au site de Margarita, entre novembre 1991 et novembre 1992, montrent que la croissance

des tiges et des feuilles des cacaoyers adultes, peu importe le type d'ombrage, se fait par poussées successives dans le temps, c'est-à-dire que des périodes de croissance intense alternent avec des périodes de faible croissance. Plusieurs chercheurs ont tenté d'expliquer les mécanismes qui contrôlent ou qui influencent les poussées foliaires. La première hypothèse, émise par Humphries, en 1944, et reprise par Greenwood et Posnette, en 1950, prétend que l'initiation des poussées foliaires est provoquée par une augmentation de la température.

Les résultats de recherches effectuées par Sale (1968a) indiquent que les poussées foliaires sont plus intenses lorsque la température est plus élevée, particulièrement durant le jour, mais qu'il n'y a pas de température spécifique requise pour initier les poussées foliaires. L'auteur en conclut que la température a un rôle secondaire dans l'initiation des poussées foliaires. Par contre, lorsque la température est très basse ou très élevée, la croissance des cacaoyers est réduite.

L'hypothèse qui stipule que les variations dans la teneur en eau de la plante initieraient les poussées de croissance des tiges et des feuilles a été développée suite aux résultats de recherches effectuées par McDonald (1933), Sale (1970a) et Alvim (1977). Globalement, ces auteurs pensent que le passage d'une période sèche à une période humide provoque des variations dans la teneur en eau de la plante ce qui initierait les poussées de croissance des tiges et des feuilles. Le bilan hydrique serait donc le principal facteur qui contrôle les rythmes de croissance.

Dans notre expérience, on ne dénote aucune corrélation linéaire entre la pluviométrie et la croissance des tiges et des feuilles, ni entre le nombre de gourmands et la croissance des tiges et des feuilles. Par contre, il est intéressant de noter que les 3 pics maximaux de croissance alternent avec des pics pluviométriques. On ne peut toutefois pas dire quelle était la situation des cacaoyers quant à leur approvisionnement en eau, car aucune mesure expérimentale n'a été prise à ce sujet au cours de cette expérience.

Il a été observé à plusieurs reprises que les poussées foliaires arrivent au même moment, peu importe que les cacaoyers poussent avec ou sans ombrage. Toutefois, selon la présence ou non d'ombrage, il existe des variations importantes dans l'intensité de la croissance (Cunningham et Burrige, 1960 ; Majer, 1974 ; Ampofo et Bonaparte, 1981). Les poussées de croissance pour les cacaoyers sans ombrage commencent plus tôt et sont moins longues que celles des cacaoyers sous ombrage (Majer, 1974).

L'expérience réalisée à Margarita semble confirmer ces résultats. Malgré l'existence d'interactions significatives entre les dates de mesure et les arbres d'ombrage ainsi qu'entre les dates de mesure et les hybrides, le patron de la croissance des tiges et des feuilles est similaire

sous chacune des espèces d'arbres d'ombrage, même s'il existe quelques variations dans les dates où apparaissent les pics de croissance. Toutefois, l'intensité des poussées foliaires varie, dans le temps en fonction des espèces d'arbre. Des résultats similaires sont observés lorsqu'on compare les différents hybrides. Le patron de la croissance est similaire pour tous les hybrides. Toutefois, l'intensité de la croissance a varié significativement, dans le temps, entre les différents hybrides, même si l'intensité moyenne de la croissance des tiges et des feuilles varie très peu entre les différents hybrides.

L'ombrage varie en fonction du type d'arbre, mais aussi en fonction de la gestion de l'ombrage. Pour des espèces telles le *G. sepium* et l'*E. poeppigiana*, il est facile d'effectuer des tailles sévères et régulières qui permettent d'obtenir un niveau d'ombrage d'environ 50 %. Par contre, l'*I. edulis* ne supporte pas des tailles sévères, ce qui rend plus difficile la gestion de l'ombrage.

Au cours de notre expérience, la taille, pour les parcelles d'*E. poeppigiana* et de *G. sepium*, a consisté à couper les branches basses, en décembre et en mai, et à effectuer la formation de la couronne en juillet. L'ombrage produit par le *G. sepium* est diffus et léger, car ses feuilles sont petites et son développement relativement lent. Par contre, l'ombrage produit par l'*E. poeppigiana* est plus dense et, après la taille, la croissance est très rapide.

En ce qui concerne l'*I. edulis*, il a été nécessaire de faire des tailles régulières, soit la coupe des branches à l'intérieur de la couronne, à tous les 3 à 4 mois afin de maintenir un ombrage adéquat. La taille est difficile, car la hauteur des branches à couper est de plus en plus élevée à chaque nouvelle taille.

Il a été démontré par Owusu et coll. (1978) que la taille des arbres d'ombrage favorise une augmentation de l'activité photosynthétique et une augmentation du taux de sucre dans le cacaoyer. Or les poussées de croissance du cacaoyer coïncident avec des périodes où la durée d'ensoleillement est maximale et où les taux de sucre sont élevés. Par ailleurs, Meir et coll. (1989) ont démontré que l'augmentation des sucres libres augmente le niveau d'auxine (IAA) chez les feuilles de tabac. Or, Taylor et Hadley (1988a) ont observé que le niveau d'auxines est plus élevé dans le bout des tiges et dans les feuilles en émergence au début de chaque poussée foliaire.

Nous croyons donc que les différences observées, dans le temps, concernant l'intensité de la croissance des tiges et des feuilles des cacaoyers sous différentes espèces d'arbre, pourraient être occasionnées par des niveaux différents d'ombrage projeté au sol. Un ombrage plus important provoquerait une baisse de la photosynthèse ainsi que du niveau de sucre dans les cacaoyers.

Toutefois, l'ombrage n'a pas d'influence sur le patron de la croissance des tiges et des feuilles qui serait probablement sous un contrôle endogène.

### 5.3 La floraison

Les résultats de notre expérience montrent que la floraison, chez les cacaoyers, est toujours présente, mais se fait par poussées, c'est-à-dire que des périodes de forte floraison alternent avec des périodes de floraison plus faible. On sait que le nombre de fleurs est plus important pour des cacaoyers âgés que pour des jeunes cacaoyers (Alvim, 1977 ; De O. Leite et coll., 1987). Le nombre de fleurs varie aussi en fonction des différents hybrides utilisés (Ampofo et Bonaparte, 1981 ; Young, 1984). Par contre, les patrons de floraison sont similaires pour tous les hybrides, comme le démontre notre expérience, ainsi que pour des cacaoyers d'âge différent (Alvim, 1997).

Tout comme pour le patron des poussées foliaires, différents chercheurs ont tenté d'expliquer les mécanismes de contrôle des rythmes de floraison du cacaoyer. Les résultats de recherche de Sale (1969b) montrent une augmentation du nombre de fleurs et du nombre de coussins floraux pour des températures plus élevées. Par contre, la température n'influence pas le patron de la floraison.

La floraison diminue au cours de périodes de faible pluviométrie et devient plus abondante pendant les périodes plus humides (McDonald, 1932 ; Sale, 1970a ; Alvim, 1977 ; Young, 1984 ; De O. Leite et coll., 1987). Des auteurs tels Sale (1970a) et Alvim (1977) croient que c'est le passage d'une période sèche à une période humide (hydro-périodicité) qui contrôle le patron de la floraison. Dans notre expérience, cependant, on ne dénote aucune corrélation entre la floraison et la pluviométrie, ni de corrélation entre la floraison et la croissance des tiges et des feuilles. Par contre, les poussées de floraison ont généralement lieu peu avant ou peu après les poussées de croissance. On ne peut toutefois pas dire si les cacaoyers ont souffert d'un stress hydrique, car aucune mesure expérimentale n'a été prise à ce sujet au cours de cette expérience.

Plusieurs auteurs ont, par ailleurs, observé que la floraison est plus intense et plus fréquente pour des cacaoyers sans ombrage que pour des cacaoyers sous ombrage (Asomaning et coll., 1971 ; Young, 1984 ; De O. Leite et coll., 1987). Dans notre expérience, malgré l'existence d'une interaction significative entre les dates de mesure et les arbres d'ombrage ainsi qu'entre les dates de mesure et les hybrides, nous avons pu observer que le patron de la floraison des cacaoyers est similaire, quelle que soit l'espèce d'arbre d'ombrage utilisée.

Toutefois, l'intensité de la floraison varie, dans le temps, selon les différentes espèces d'arbre auxquelles sont associés les cacaoyers. Par ailleurs, bien que le patron de la floraison soit identique pour tous les hybrides, il existe des différences significatives, dans le temps, pour l'intensité de la floraison des différents hybrides utilisés. Par contre, l'intensité moyenne de la floraison varie très peu entre les différents hybrides.

Selon Alvim (1977), la floraison est influencée par des mécanismes internes, comme l'action des phytohormones et la compétition, entre les fruits et les fleurs, pour les produits de la photosynthèse. Les recherches effectuées par Owusu et coll. (1978) montrent par ailleurs un rapport direct entre les poussées de floraison et le nombre d'heures d'ensoleillement ainsi que le taux de sucre dans les cacaoyers. Ces auteurs croient que l'augmentation de la photosynthèse augmente le taux de sucre dans les cacaoyers et provoque les poussées de floraison.

Les résultats semblent indiquer que l'ombrage projeté par les différentes espèces d'arbre affecte l'intensité de la floraison. Il n'aurait cependant que peu d'effet sur le contrôle des patrons de poussées de floraison. L'ombrage projeté au sol diffère en fonction de l'espèce d'arbre et en fonction des travaux spécifiques qui sont effectués sur les arbres afin de maintenir un niveau d'ombrage inférieur à 50 %.

Les résultats obtenus au cours de cette expérimentation nous incitent à croire que les mécanismes de contrôle de la floraison sont probablement endogènes (phytohormones). Toutefois, nous croyons que les différences observées dans le temps, concernant l'intensité de la floraison des cacaoyers sous différentes espèces d'arbre, sont occasionnées par des niveaux différents d'ombrage.

## **5.4 Le développement des gourmands**

Le nombre de gourmands a été calculé, entre novembre 1991 et novembre 1992, sur le site de Margarita. Les résultats indiquent qu'il existe des interactions significatives entre les hybrides et les dates de mesure, mais qu'il n'y a pas d'interaction significative entre les arbres d'ombrage et les dates de mesure ni de différence significative entre les cacaoyers cultivés sous différentes espèces d'arbre.

De nouveaux gourmands se sont développés tout au cours de l'expérimentation, mais on remarque que l'apparition de nouveaux gourmands s'est faite par poussées, c'est-à-dire que des périodes où l'on retrouve un plus grand nombre de gourmands alternent avec d'autres où le nombre de gourmands est plus faible.

En résumé, le nombre moyen de gourmands varie en fonction des différents hybrides utilisés et n'est pas influencé par l'ombre produite par les arbres d'ombrage. Le contrôle du développement de nouveaux gourmands serait probablement d'origine endogène.

## 5.5 Les rendements

Les rendements des cacaoyers varient en fonction des différents hybrides utilisés, de la fertilité des sols, de la température et de la disponibilité en eau et en lumière. Ainsi, l'analyse de la production de différents hybrides de cacaoyer, au Costa Rica, a permis de démontrer clairement que certains hybrides produisent plus que d'autres (Somarriba et coll., 1997). Il a aussi été démontré que les rendements augmentent avec un apport en engrais organiques ou chimiques (Asomaning et coll., 1971).

Par ailleurs, on a remarqué qu'une température plus élevée augmente la vitesse de maturation des fruits (Enríquez, 1985). Là où la saison sèche est assez marquée, l'irrigation permet pour sa part d'apporter à la plante l'eau nécessaire à son développement et permet une augmentation des rendements (Sale, 1970a ; Hutcheon et coll., 1973).

Plusieurs chercheurs s'entendent pour dire que l'utilisation d'arbres d'ombrage diminue les rendements des cacaoyers (Bonaparte, 1967 ; Asomaning et coll., 1971 ; Ahenkorah et coll., 1974 ; Alvim, 1977). Dans notre expérience, nous avons observé, entre juin 1994 et mai 1997, des rendements moyens de 928 et 674 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> de cacao sec aux sites de Margarita et d'Ojo de Agua, respectivement. Les rendements obtenus sont excellents si on les compare aux rendements moyens obtenus pour des cacaoyers avec ombrage en milieu paysan (300 à 400 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>) (Enríquez, 1985). Toutefois, si on les compare aux rendements moyens obtenus dans des plantations plus commerciales (1500 à 2000 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>) où la culture du cacaoyer se fait sans ombrage et avec des niveaux d'intrants comparables à ceux utilisés au cours de cette expérience, on constate que les rendements obtenus sur les parcelles des deux sites sont plutôt faibles. Cela est peut-être dû en partie au fait que la densité de plantation des cacaoyers est plus faible que dans les plantations commerciales.

L'analyse statistique des rendements, dans le temps, montre une interaction très significative entre les arbres d'ombrage et les dates de mesure pour les deux sites étudiés. Le patron des rendements nous permet de constater que les cacaoyers des différentes parcelles ont des pics de rendement à des moments similaires, bien qu'à certaines occasions, ceux-ci puissent être décalés. Il existe par ailleurs des différences significatives, dans le temps, entre les cacaoyers croissant sous différentes espèces d'arbre d'ombrage. De façon générale, à Margarita, le rendement des

cacaoyers croissant sous *E. poeppigiana* et sous *I. edulis* a été supérieur à celui des cacaoyers croissant sous *G. sepium*. À Ojo de Agua cependant, les parcelles sous *I. edulis* ont enregistré des rendements plus importants que ceux des autres parcelles. On ne peut cependant dire si ces différences sont significatives.

Ces résultats sont quand même intéressants, sachant que l'ombre projetée varie en fonction du type d'arbre d'ombrage. Ils suggèrent que l'ombrage projeté au sol affecterait, dans certains cas, le patron des rendements, et aurait une influence directe sur l'intensité des rendements. Néanmoins, lorsque l'on compare l'ombrage projeté au sol et les pics de production, on constate qu'une augmentation de l'ombrage, au cours des 6 mois précédant la récolte, ne provoque pas nécessairement une baisse des rendements. De la même façon, une baisse de l'ombrage n'occasionne pas à tout coup une augmentation des rendements.

Les résultats obtenus au cours de notre expérience montrent que les rendements ont été plus importants au cours des mois d'octobre, de novembre et de décembre de chaque année. La croissance des tiges et des feuilles n'a pas été évaluée en même temps que les rendements. Toutefois, si l'on regarde la croissance des tiges et des feuilles entre novembre 1991 et novembre 1992, on constate que la croissance a été plutôt faible pendant les mois de novembre et de décembre 1991. Ces résultats nous incitent à penser que les rendements sont plus importants pendant les périodes de faible croissance. Les recherches d'Owusu et coll. (1978) indiquent que les périodes de forte production coïncident avec des périodes où le taux de sucre dans les cacaoyers est le plus bas. Les auteurs croient que la baisse du niveau de sucre serait responsable de la diminution de la croissance des tiges et des feuilles ainsi que de la diminution de la floraison au cours des périodes de production.

Il serait intéressant de vérifier, à l'aide d'une expérimentation plus précise, si des variations dans l'ombrage moyen ou dans l'ombrage obtenu durant les deux premiers mois de la croissance des chérelles provoqueraient des différences significatives dans l'intensité des rendements. Selon Alvim (1977), la diminution des rendements des cacaoyers sous ombrage s'explique par une augmentation du taux de dessèchement des chérelles. Ce dernier serait influencé par une compétition interne entre les jeunes fruits ainsi qu'entre les jeunes fruits et les nouvelles tiges.

Le taux de dessèchement des chérelles n'a pas été évalué au cours de notre expérience. Il serait intéressant de voir si la baisse de production, lorsque l'ombrage est élevé, résulte d'une diminution du taux de sucre dans les cacaoyers et d'une augmentation du taux de dessèchement des chérelles. De plus, il serait intéressant de vérifier les relations qui pourraient exister entre le niveau de pollinisation, l'action auxinique et le dessèchement des chérelles.

## 6 CONCLUSION

Les résultats présentés dans cette étude montrent que l'ombre projetée sur les cacaoyers par les différents arbres d'ombrage varie significativement dans le temps. De fait, l'ombre projetée au sol par des espèces comme le *G. sepium* et l'*E. poeppigiana* peut varier entre 30 et 60 % au cours d'une période de six mois. Les tailles successives, généralement au nombre de 2 par année, permettent d'abaisser rapidement le niveau d'ombrage. Toutefois, la croissance qui suit la taille est très vive et l'ombre projetée au sol augmente très rapidement. Pour des espèces comme l'*I. edulis*, le *C. alliodora*, le *T. rosea* et le *T. ivorensis*, la gestion de l'ombrage se fait par des coupes sélectives. L'ombre projetée au sol revient alors moins rapidement au niveau initial, car la cime des arbres se développe lentement.

La croissance des tiges et des feuilles, la floraison, le développement de nouveaux gourmands et les rendements varient en fonction de l'hybride utilisé. De fait, notre expérience a permis de voir des différences importantes, dans le temps, dans l'intensité de la croissance des tiges et des feuilles, dans l'intensité de la floraison, ainsi que dans le nombre moyen de gourmands des différents hybrides utilisés. Certains hybrides comme Pound 7 x UF 668 produisent davantage que d'autres et présentent un potentiel très intéressant (Somarriba et coll., 1997).

Les patrons de la croissance des tiges et des feuilles, ainsi que ceux de la floraison, sont similaires pour tous les cacaoyers et ce, quelque soit le type d'arbre sous lesquels ils sont cultivés. Le contrôle des patrons de la croissance et de la floraison est probablement endogène, comme l'ont démontré Taylor et Hadley (1988b). Par contre, les résultats de notre expérience suggèrent que les variations de l'ombre projetée au sol influenceraient l'intensité des poussées foliaires ainsi que l'intensité de la floraison. Nous pensons que la diminution de l'ombrage augmente l'activité photosynthétique et le taux de sucre libre dans les cacaoyers comme l'ont suggéré Owusu et coll. (1978) ainsi que Taylor et Hadley (1988a). Cela pourrait augmenter le niveau de IAA libre, comme cela a été démontré dans des feuilles de tabac (Meir et coll., 1989), ce qui aurait un impact sur la croissance des tiges et des feuilles (Taylor et Hadley, 1988b), ainsi que sur la floraison. Par ailleurs, Meir et coll. (1989) ont démontré, sur des feuilles de tabac, que le niveau de IAA libre augmente avec la présence de sucres libres. Comme Taylor et Hadley (1988b) ont remarqué une plus grande quantité d'auxines (IAA) dans le bout des tiges et dans les feuilles en émergence au commencement des poussées foliaires.

Les résultats de notre expérience suggèrent également que l'ombre projetée au sol n'affecterait pas le patron général des rendements, mais aurait une influence directe sur l'ampleur des pics de rendement. Il serait très intéressant, dans de futures expérimentations, de vérifier si

l'ombrage augmente le taux de dessèchement des chérelles, car il semble que ce dessèchement soit occasionné d'une part par une compétition entre les chérelles pour les produits photosynthétiques, et d'autre part par une compétition entre les chérelles et la croissance des tiges et des feuilles pour les mêmes produits (Alvim, 1977). Owusu et coll. (1978) ont démontré que les périodes de forte production ont coïncidé avec des périodes où le taux de sucre a été le plus bas. Il serait intéressant de voir si le fait de tailler les arbres au moment de l'apparition des jeunes chérelles pourrait augmenter l'activité photosynthétique. Owusu et coll. (1978) ont démontré que la taille des arbres d'ombrage a augmenté l'activité photosynthétique et le taux de sucre libre dans les arbres. L'augmentation des produits photosynthétiques pourrait diminuer la compétition entre les chérelles et réduire le taux de dessèchement des jeunes chérelles.

Bien que les résultats de notre expérimentation suggèrent que les arbres d'ombrage influenceraient la phénologie du cacaoyer, on ne peut toutefois pas affirmer avec certitude que les différences dans l'intensité de la croissance et de la floraison ainsi que dans les rendements des cacaoyers croissant sous différentes espèces d'arbre d'ombrage sont uniquement dues à des variations de l'ombre projetée au sol. De fait, il est possible qu'il existe une compétition entre les arbres d'ombrage et les cacaoyers pour certains nutriments ou pour l'eau. Par contre, nous pensons que la compétition pour les nutriments et l'eau n'est pas très importante, car les cacaoyers des parcelles du site de Margarita ont été très bien fertilisés et la pluviométrie est assez importante aux deux sites d'expérimentation.

## BIBLIOGRAPHIE

- Adomako, D., Frimpong, E. B., Ampofo, S. T. et Brew, K. M., 1990. *Observations on Cocoa Flushing in Ghana under Different Shade Regimes, with Particular Reference to the Distribution of Natural Light*. The Planter, Kuala Lumpur, 66 : 565 – 579.
- Ahenkorah, Y., Akrofi, G. S., Adri, A. K., 1974. *The end of the first cocoa shade and manurial experiment at the Cocoa Research Institute of Ghana*. The Journal of Horticultural Science, 49 : 43 – 51.
- Alvim, P. de T., 1977. *Environmental effects on growth and flowering*. In : Alvim, P. de T. et Kozłowski, T. T. (éd.), *Ecophysiology of Tropical Crops*. Academic Press, London, p. 299 – 313.
- Alvim, P. de T., 1981. *Recent studies on environmental physiology of cacao*. In : Alliance des pays producteurs de cacao (éd.), *7<sup>ème</sup> conférence internationale sur la recherche cacaoyère*, Douala, Cameroun, 1977, p. 85 – 89.
- Ampofo, S. T., Bonaparte, E. N. A., 1981. *Flushing, Flowering and Pod-Setting of Hybrid Cocoa in a Cocoa Shade/Spacing/Cultivar Experiment*. In : Alliance des pays producteurs de cacao (éd.), *7<sup>ème</sup> conférence internationale sur la recherche cacaoyère*, Douala, Cameroun, 1977, p. 103 – 108.
- Asomaning, E. J. A., Kwakwa, R. S., Hutcheon, W. V., 1971. *Physiological Studies on an Amazon Shade and Fertilizer Trial at the Cocoa Research Institute, Ghana*. Ghana Journal of Agricultural Science, 4 : 47 – 64.
- Bonaparte, E. E. N. A., 1967. *Interspecific Competition in a Cocoa Shade and Fertilizer Experiment*. Tropical Agriculture, 44 (1) : 13 – 19.
- Braudeau, J., 1969. *Le cacaoyer*. Techniques agricoles et productions tropicales, Maisonneuve et Larose, Paris, France.
- CATIE, 1994. *Laurel (Cordia alliodora). Espèce de arbol de uso multiple en America Central*. Colección de Guías Silviculturales, Seria Técnica, Informe Técnico No 239, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Cunningham, R. K., Burridge, J. C., 1960. *The Growth of Cacao (Theobroma cacao) With and Without Shade*. Annals of Botany, 24 (96) : 459 – 462.

- De O. Leite, R. M., Muller, R., Mandred, W., 1987. *Influencia de la remocion foliar sobre la fenologia de los arboles de cacao expuestos al sol y a la sombra*. El Cacaotero Colombiano, Compania Nacional de Chocolates, Publicacion del Departamento de Fomento, volumen 10, no 35, Colombia.
- Enríquez, G. A., 1985. *Curso sobre el cultivo del cacao*. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Enríquez, G. A., Parades, A., 1989. *El cultivo del cacao*. Seria Cultivos mayores no 4, Universidad estatal a distancia, San José, Costa Rica.
- Geilfus, F., 1994. *El arbol al servicio del agricultor. Manuel de agroforesteria para el desarrollo rural*. Volumen 1 : Principios y tecnicas. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Greathouse, D. C., Laetsch, W. M., Phinney, B. O., 1971. *The Shoot – Growth Rhythm of a Tropical Tree*, *Theobroma cacao*. *American Journal of Botany*, 58 (4) : 281 – 286.
- Greaves, A., McCarter, P. S., 1990. *Cordia alliodora. A Promising Tree for Tropical Agroforestry*. *Tropical Forestry Papers*, no 22, Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford, Oxford, Grande-Bretagne.
- Greenwood, M., Posnette, A.F., 1950. *The Growth Flushes of Cocoa*. *Journal of Horticultural Science*, 25 : 164 – 174.
- Herrera, W., 1985. *Vegetación y clima de Costa Rica*. EUNED, San José, Costa Rica.
- Humphries, E. C., 1944. *A Consideration of The Factors Controlling The Opening of Buds in The Cacao Tree (Theobroma cacao)*. *Annals of Botany*, 8 : 259 – 267.
- Hutcheon, W. V., Smith, R. W., Asomaning, E. J. A., 1973. *Effect of Irrigation on the Yield and Physiological Behaviour of Mature Amelonado Cocoa in Ghana*. *Tropical Agriculture*, University of the West Indies, 50 (1) : 261 – 272.
- Lawrence, A., 1993. *Inga edulis : a Tree for Acid Soils in the Humid Tropics*. The Forest, Farm and Community Tree Network, Nitrogen Fixing Tree Association, Hawaii, USA.
- Lujan, R., 1992. *Dinamica de dodeles de tres especies de leguminosas de sombra y efectos sobre la fenologia de seis cruces interclonales de cacao*. Mémoire de maîtrise, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

- Majer, J. D., 1974. *Studies of the Flushing of Cocoa in Ghana*. In : Alliance des producteurs de cacao (éd.), *4<sup>ème</sup> Conférence internationale sur les recherches cacaoyères*, St-Augustine, Trinidad, 1972, p. 287 – 295.
- McDonald, J. A., 1932. *An Environmental Study of the Cacao Tree*. In : *Cocoa Research, First Annual Report*, Imperial Collection of Tropical Agriculture, Trinidad, p. 28 – 29.
- Meir, S., Riov, J., Philosoph – Hadas, S., Ahoroni, N., 1989. *Carbohydrates Stimulate Ethylene Production in Tobacco Leaf Discs*. *Plant Physiology*, 90 : 1246 – 1248.
- Ministère de la coopération, 1993. *Mémento de l'agronome*. Quatrième édition. Collection Techniques rurales en Afrique, Ministère de la coopération, Paris, République Française.
- Mora, A., Brenes, O. E., Romero, A., Enríquez, G. A., 1987. *Estudio del desarrollo fenológico del cacao en Playa Blanca, Peninsula de Osa*. Memoria, Primeras jornadas agronomicas, Colegio ingenieros agronomos, Filial region brunca, San José, Costa Rica.
- Mossu, G., 1990. *Le cacaoyer*. Le technicien d'agriculture tropicale, Maisonneuve et Larose, Paris, France.
- Nichols, R., 1965. *Studies of Fruit Development of Cacao (Theobroma cacao) in Relation to Cherelle wilt. Effets of Fruit – Thinning*. *Annals of Botany*, 29 (114) : 197 – 203.
- Nieuwenhuys, A., 1994. *Los suelos de los sitios experimentales del proyecto agroforestal CATIE-GTZ*. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Owusu, J. K., Adomako, D., Hutcheon, W. V., 1978. *Seasonal Changes in Total Free Sugar Content of Field Cocoa Plants*. *Physiologia Plantarum*, 44 : 43 – 47.
- Pancel, L., 1993. *Tropical Forestry Handbook*. Volume 1, Édition Laslo Pancel, Springer-Verlag, New York, USA.
- Powell, M. H., Westley, S. B., 1995. *Produccion y Uso de Erythrina. Manuel de Campo*. Asociacion de Arboles Fijadores de Nitrogeno (NFTA), Morrilton, USA.
- Sale, P. J. M., 1968. *Flushing and Leaf Growth of Cacao Under Controlled Temperature Conditions*. *Journal of Horticultural Science*, 43 : 475 – 489.
- Sale, P. J. M., 1969a. *Extension Growth of Cacao Under Controlled Temperature Conditions*. *Journal of Horticultural Science*, 44 : 189 – 193.

- Sale, P. J. M., 1969b. *Flowering of Cacao Under Controlled Temperature Conditions*. Journal of Horticultural Science, 44 : 163 – 173.
- Sale, P. J. M., 1970a. *Growth, Flowering and Fruiting of Cacao Under Controlled Soil Moisture Conditions*. Journal of Horticultural Science, 45 : 99 – 118.
- Sale, P. J. M., 1970b. *Growth, Flowering and Fruiting of Cacao Under Controlled Atmospheric Relative Humidities*. Journal of Horticultural Science, 45 : 119 – 132.
- Sanchez, J. A., Dubon, A., 1994. *Establecimiento y manejo de cacao con sombra*. Guia técnica para el extensionista forestal, Coleccion materiales de extension, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Sholefield, P.B., Sedgley, M., Alexander, D., 1985. *Carbohydrate Cycling in Relation to Shoot Growth, Floral Initiation and Development and Yield in the Avocado*. Science Horticultural, 25 : 99 – 110.
- Somarriba, E., Dominguez, L., Lucas, C., 1996a. *Cacao bajo sombra de maderables en Ojo de Agua, Changuinola, Panama : Manejo, crecimiento y produccion de cacao y madera*. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, Séria Generacion y Transferencias de tecnologia, no 17, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Somarriba, E., Beer, J., Bonnemann, A., 1996b. *Arboles leguminosos y maderables como sombra para cacao. El concepto*. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, Séria Generacion y Transferencias de tecnologia, no 18, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Somarriba, E., Meléndez, L., Campos, W., Lucas, C., Lujan, R., 1997. *Cacao bajo sombra de leguminosas en Talamanca, Costa Rica : Manejo, fenologia, sombra y produccion de cacao*. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, Séria Generacion y transferencias de tecnologia, no 20, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Taylor, S. J., Hadley, P., 1988a. *Relationships Between Root and Shoot Growth in Cocoa (Theobroma cacao L.) Grown Under Different Shade Regimes*. In: Alliance des producteurs de cacao (éd.), *10<sup>ème</sup> conférence internationale sur la recherche cacaoyère*, Santo Domingo, République Dominicaine, 1987, p. 177 – 183.

- Taylor, S. J., Hadley, P., 1988b. *Studies on Growth Periodicity and its Control in Mature Cocoa (Theobroma cacao L.) Grown in Controlled Environmental Conditions : The Physiological Rôle of Auxins*. In : Alliance des producteurs de cacao (éd.), *10<sup>ème</sup> conférence internationale sur la recherche cacaoyère*, Santo Domingo, République Dominicaine, 1987, p. 169 – 175.
- Tosi, J. A., 1969. *República de Costa Rica, Mapa ecológico según la clasificación de Zonas de vida del Mondo de L.R. Holdridge*. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Tosi, J. A., 1971. *Zonas de vida de Panama*. Informe no 2, FAO, Rome, Italie.
- Young, A. M., 1984. *Flowering and Fruit – Setting Patterns of Cocoa Trees (Theobroma cacao L.) (Sterculiaceae) at Three Localities in Costa Rica*. Turrialba, 34 (2) : 129 – 142.