

UNIVERSITE PARIS VAL DE MARNE

U.F.R. de Sciences et Technologies

THESE

PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION

DU TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS XII

Spécialité : SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'ENVIRONNEMENT

par

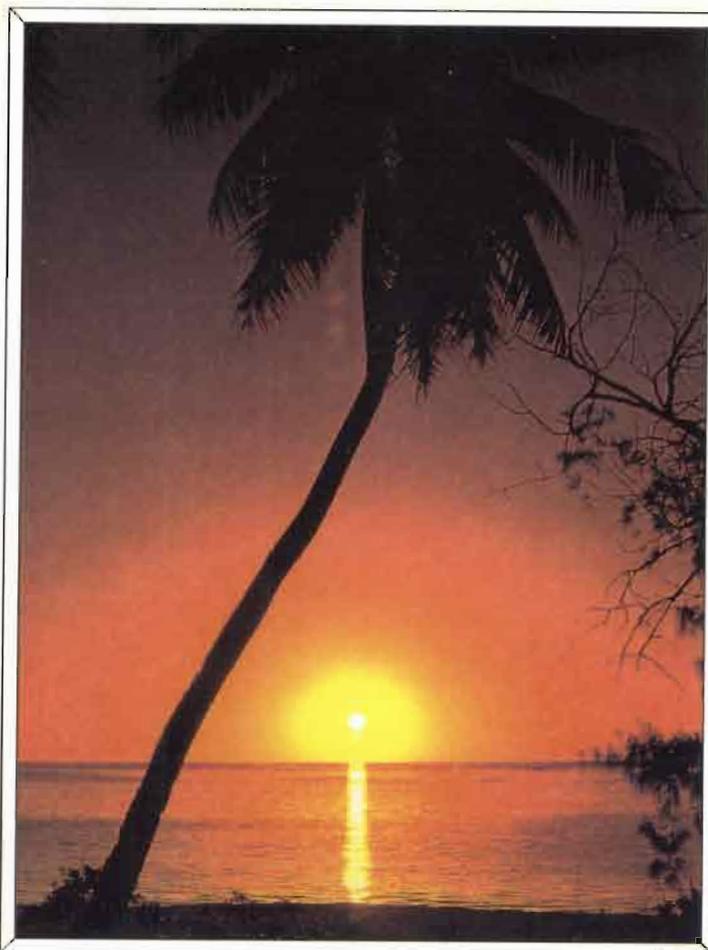
DIEP THI MY HANH

**INFLUENCE DES CONTRAINTES EDAPHIQUES SUR LA NUTRITION
MINERALE, LE DEVELOPPEMENT ET LA PRODUCTION DU
COCOTIER (*Cocos nucifera. L.*) DANS DES SOLS SULFATES
ACIDES SALES OU NON SALES DU DELTA DU MEKONG: EFFET
AMELIORANT D'UN APPORT DE PHOSPHATE NATUREL**

Soutenu le 1 Décembre 1994 devant la commission d'examen

Président	M. LOUGUET	Professeur
Rapporteurs	M. DE NUCE DE LAMOTHE	Directeur Général du CIRAD
	M.SAFRAN	Docteur ès Sciences
	M. PHUNG TRUNG NGAN	Professeur
Directeur de thèse	Mme GARNIER- ZARLI	Professeur
Examineurs	M. TRUONG BINH	Docteur ès Sciences
	M. MARIUS	Directeur de Recherches

Depuis toujours le soleil et la mer se réunissent pour créer la vie sur la terre (J3 & JQJ, 1990).



Coucher De Soleil

A mes Parents

A mes Enfants

A mes Professeurs Vietnamiens et Français.

En espérant que mes enfants pourront faire leurs études en France pour qu'ils apprennent la civilisation de ce pays magnifique afin qu'ils participent à l'avenir du VietNam.

AVANT- PROPOS

J'adresse en premier ma reconnaissance aux personnes qui, chacune dans leur domaine m'ont aidée à aplanir toutes les difficultés pour entreprendre cette thèse: Mme le Professeur GARNIER ZARLI, MM. GURGAND, MARIUS et DE NUCE DE LAMOTHE.

Je remercie Mme le Professeur E.GARNIER-ZARLI, mon Directeur de thèse, qui a accepté de m'accueillir dans son laboratoire de Biologie des Sols et des Eaux à l'Université de Paris XII et auprès de qui j'ai beaucoup appris pendant ces trois années.

Je tiens à remercier également M. le Professeur LOUGUET, Directeur du laboratoire de Physiologie Végétale à l'Université Paris XII. Grâce à sa grande expérience et à ses connaissances scientifiques en physiologie, j'ai beaucoup appris pour mon travail de thèse et pour l'avenir. Il a sacrifié beaucoup de son temps pour discuter de mes résultats et m'a donné de précieux conseils pour la rédaction de ma thèse.

J'adresse mes remerciements à M. MARIUS, grand expert des mangroves. C'est lui qui a entrepris les premières démarches qui ont permis cette thèse. Avec lui, j'ai beaucoup appris sur les sols sulfatés acides et/ou salés qui représentent une partie importante de mon travail.

Mes remerciements et ma respectueuse reconnaissance à M. le Professeur PHUNG TRUNG NGAN, qui est pour moi un modèle et auprès de qui j'ai tout appris il y a 20 ans lorsque j'étais étudiante à la Faculté des Sciences, à l'Université de Saïgon; il m'a transmis une partie de ses connaissances scientifiques et son goût de la recherche et, à présent, je suis heureuse qu'il accepte de venir des Etats Unis pour être rapporteur de ce travail.

Je tiens à remercier M. DE NUCE DE LAMOTHE, Directeur général du CIRAD. C'est auprès de lui, lorsqu'il était Directeur de l'IRHO, que j'ai pu profiter de sa grande expérience et de sa connaissance du cocotier. C'est à partir de la méthodologie expérimentée à l'IRHO que j'ai commencé à mener un programme de recherches sur le cocotier au Viet Nam. Je suis très honorée que M. DE NUCE DE LAMOTHE ait accepté d'être rapporteur de mon mémoire.

Je remercie également M. SAFRAN pour sa grande connaissance et ses précieux conseils pour la rédaction de ma thèse et je suis très honorée que M. SAFRAN ait accepté d'être rapporteur de mon travail.

Je remercie également M. TRUONG BINH qui, par sa grande connaissance de l'impact sur les sols de l'apport d'engrais phosphaté, a toujours répondu à mes questions sur ce sujet.

Mes remerciements vont également à M. LAFFRAY; j'ai pu bénéficier de sa grande expérience pour réaliser toutes les mesures physiologiques de laboratoire.

A Bondy, au centre de l'ORSTOM, je remercie particulièrement Mme DELAUNE, qui m'a aidée pour mon installation et m'a accordé tous les moyens de travail dans son laboratoire, ainsi que ses conseils précieux pour la rédaction de ma thèse. Je remercie aussi

M. SONDAG, la direction de l'ORSTOM et les différents services pour m'avoir facilité mes stages dans cet Institut.

Mes remerciements vont également à MM. OCHS et OLIVIN; ils m'ont initiée à la méthodologie des recherches sur le cocotier ainsi que M. BENARD, qui a effectué plusieurs missions au Viet Nam, et avec qui j'ai beaucoup discuté de la culture du cocotier sur sols sulfatés acides. Je n'oublie pas non plus de remercier MM. VAN, ROGNON, DANIEL, CALIMAN pour les conseils précieux qu'ils m'ont prodigués lors de mes stages au CIRAD de Montpellier, et M^{lle} G. CHARBONNIER, pour ses informations et sa documentation. Mes remerciements vont également à MM. FALLAVIER, SZWARC, AVENTURIER qui ont réalisé plusieurs analyses nécessaires à mes recherches ainsi qu'à Mme GISELLE pour toutes les analyses de feuilles et de racines et à MM. BONNOT, FLORY et Mme GEOFFROY pour les analyses statistiques. Je remercie M. De TAFFIN, qui pendant mon stage en Côte d'Ivoire dans la station Marc Delorme, m'a fait partager ses connaissances et m'a appris à gérer les travaux dans une station de recherches ce qui m'a beaucoup aidée pour ma station au Viet Nam. Je remercie M. ROECHS pour sa philosophie qui m'a permis de garder le moral pendant mes stages au CIRAD et M. BOURGOING qui a participé au programme de recherches pour le développement du cocotier au Viet Nam.

Je tiens à remercier M. BONNEAU, avec lequel, depuis 1986, j'ai réalisé des essais d'arrosage à l'eau salée sur sols sableux en Côte d'Ivoire et sur les sols argileux au Viet Nam pour une partie de ma thèse.

Je n'oublie pas de remercier M. GODON, représentant du CIRAD au Viet Nam, qui m'a accordé beaucoup de son temps et de sa gentillesse dans le cadre de la coopération franco- vietnamienne.

J'adresse mes remerciements à M. le Consul général de France à Ho Chi Minh ville, ainsi qu'à M. PRUNIERES, Attaché culturel, et à Mmes ROSA, PHUONG et THY, au Consulat, pour m'avoir facilité les démarches administratives pour mes séjours en France.

Je remercie la direction du Ministère de l'Agriculture du Viet Nam, surtout MM. KINH et BAO, au service scientifique et technique pour avoir appuyé mes recherches pour le développement du cocotier dans le delta du Mékong. Au Ministère de l'Industrie légère, je tiens à remercier MM. le ministre et le vice ministre TRAN QUANG SUNG, et MM BANG, XUONG et MAO aux services scientifique technique et financier pour leur aide dans la poursuite des recherches agronomiques à la suite du Ministère de l'Agriculture. Au Ministère de l'Environnement et de la Biotechnologie, je tiens à remercier M. VU MANH HAI, pour son appui au projet de recherche appliquée concernant le développement du cocotier sur sols sulfaté acides et/ou salés.

Je remercie également la Direction de l'IRHO Viet Nam, car, grâce à sa permission, j'ai pu utiliser une partie de mon temps de travail pour préparer ma thèse parallèlement aux autres travaux que j'ai du gérer. Mes remerciements vont surtout à M. DUONG TAN PHUOC, lorsqu'il était le Directeur de l'IRHO VN, qui a beaucoup appuyé ma recherche.

C'est avec lui que j'ai commencé à travailler sur le cocotier en 1979. Mes remerciements vont à Mmes Trâm, Nga, M. Thanh Phuong et les autres divisions de l'IRHO-VN. Mes remerciements vont à la direction de la compagnie des huiles végétales du Viet Nam qui m'a aidé pour le projet de développement du cocotier, surtout à M^{lle} My Ly, pour ses informations et sa documentation.

J'adresse mes grands remerciements à mes collègues, qui sont également mes grandes amies, pour toute l'aide qu'elles m'ont apportée pour effectuer les observations et faire les mesures de terrain. Je n'oublierai jamais les jours de mesure de potentiels hydriques avec mes amies VU THI THANH LOAN et PHAM THI LAN dans la mangrove à 4h du matin, où nous avons bien offert notre sang aux moustiques. Je n'oublierai jamais non plus le nombre de fois où je suis montée dans les cocotiers avec Thanh Loan pour compter les fleurs et où nous avons supporté les terribles morsures des fourmis. Je remercie mon équipe de la division Agronomie (NHAN, HONG, NGUYET, THU, LINH, THANH, ROT, DUAN) qui a participé de près ou de loin à mes travaux de terrain.

Mes remerciements vont également à la direction de la plantation de Do Hoa et de la station de recherche de Nuoc Muc Long An pour m'avoir aidée à réaliser mes essais.

J'adresse mes remerciements à la famille de BAC TAM à Long An pour avoir eu la gentillesse de conserver les noix pour les décompter et m'avoir donné tous les moyens de réaliser les observations tous les deux mois pendant deux ans. Je n'oublie pas de remercier ANH CAY, notre technicien acrobate, toujours prêt à monter dans les cocotiers les plus hauts pour faire les observations.

Mes remerciements vont à Mmes CONTOUR ANSEL, VAUTRIN, à M^{lle} GIGON et à mes amies Delphine, Ilham, Sophie au laboratoire de Physiologie Végétale, à Line et mes amis du laboratoire de Biologie des Sols et des Eaux à Paris XII, auprès de qui j'ai trouvé une grande sympathie. Je n'oublie pas de remercier mes amis de l'ORSTOM, pour toute leur gentillesse: M.J BERTAUX, Mmes THI DIEU, Danièle RAILLOT, Alice , Huguette, Florence, Isabelle, Monique, Thérèse, Dédé et aussi M^{lles} Caroline Nhu Phuong et Claudia, ainsi que celles de Montpellier Mmes BEAUDON et OLIVIER pour toute leur gentillesse pendant mes stages au CIRAD.

A côté de ceux qui m'ont aidée pour mes travaux, je n'oublie pas non plus ceux qui m'ont apporté leur appui moral pendant les jours où j'ai vécu loin de ma patrie. Mes grands sentiments vont à KIM OANH et RENE SEYER pour leur amitié adorable, à Mme LOUGUET pour sa grande sympathie et aux familles BAUDEL, GURGAND, TUYNMAN qui ont été pour moi une deuxième grande famille.

Ma reconnaissance va à ma famille qui s'est sacrifiée pour que je réalise mes travaux de recherche sur le terrain au Viet Nam et que je fasse des stages à l'étranger. Je les prie de pardonner ma trop longue absence.

Mes grands remerciements à tous et toutes mes excuses à ceux que je n'ai pas cités.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....p.1

PREMIÈRE PARTIE: LES CONDITIONS NATURELLES DANS LE DELTA DU MEKONG - RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA CULTURE DU COCOTIER

1. FORMATION DU DELTA DU MÉKONG.....p.3

2. CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DANS LE DELTA DU MÉKONG.....p.6

- Climats

- Sols

- Nappes

3. LE COCOTIER: RÉPARTITION , USAGES ET CONDITIONS CULTURALES

- Le cocotier dans le monde.....p.13

- Le cocotier au Viet Nam.....p.27

- Techniques culturelles du cocotier et nutrition minérale.....p.32

4. EFFET DE LA SALINITÉ ET DE LA CONTRAINTE HYDRIQUE SUR LE COCOTIER.....p. 44

5. UTILISATION DU PHOSPHATE NATUREL.....p. 48

DEUXIÈME PARTIE: MATÉRIEL D'ÉTUDE ET PROTOCOLES EXPÉRIMENTAUX

1. CHOIX DES CULTIVARS DE COCOTIER.....p.51

2. LES SITES D'ÉTUDE.....p.51

2.1. Sites classiques pour la culture de cocotier au Viet Nam

2.2. Sols sulfatés acides: Long An 1 (An Thanh 1)

Long An 2 (An Thanh 2)

Long An 3 (Luong Hoa)

2.3.Sols sulfatés acides et salés : Do Hoa

3. DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES DES SOLS ÉTUDIÉS.....p.56

3.1.Physiques: granulométrie

3.2.Chimiques:

Capacité d'échange

pH, Conductivité électrique

Bases échangeables

Ions solubles

Al, Fe, Si , S total

4. DIAGNOSTIC FOLIAIRE ET RACINAIRE.....p.60

Analyse des éléments N P K Ca Mg Cl Na Cu Al Fe B Mn

5. SPÉCIATION DU PHOSPHORE.....	p.61
Analyse des formes du phosphore par la méthode CHANG et JACKSON	
6. MESURES PHYSIOLOGIQUES.....	p.62
6.1. Paramètres hydriques	
6.2. Conductance stomatique	
6.3. Assimilation photosynthétique	
7.ETUDE DU DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME RACINAIRE DANS LA STRUCTURE DU SOL ET CYTOLOGIE DES RACINES.....	p.65

TROISIÈME PARTIE: RÉSULTATS

CHAPITRE 1: LES CONTRAINTES ÉDAPHIQUES ET LEURS EFFETS SUR LA PHYSIOLOGIE DU COCOTIER DANS LES CONDITIONS NATURELLES

1.VARIATIONS DES FACTEURS ÉDAPHIQUES EN FONCTION DES SITES ET DE LA SAISON.....	p.67
1.1.Contrainte acidité et salinité : site de Do Hoa.....	p.70
Propriétés physico- chimiques	
- Sols	
- Nappes	
- Eaux interstitielles	
1.2. Contrainte acidité: site de Long An.....	p.95
Propriétés physico- chimiques	
- Sols	
- Nappes	
- Eaux interstitielles.	

2. BIOLOGIE DU COCOTIER EN CONDITIONS NATURELLES:

COMPARAISON ENTRE LES DIVERS SITES D'ETUDE.....	p.124
2.1. Etude de la croissance.....	p.124
2.2. Etude du développement floral et de la fructification.....	p.131
2.3. Etude de la nutrition minérale foliaire et racinaire.....	p.138
2.4. Etude cytologique de la racine.....	p.149
2.5. Evolution de quelques paramètres hydriques.....	p.154
Discussion.....	p.160

**CHAPITRE 2: ETUDE EXPERIMENTALE DES EFFETS DE LA SALINITE ET D' UN
AMENDEMENT PHOSPHATE SUR LA PHYSIOLOGIE DU COCOTIER SUR SOLS
SULFATES ACIDES ET SOLS SULFATES ACIDES SALÉS**

3 EFFET DE L'ARROSAGE PAR L' EAU SALÉE.....	p.164
3.1. Etude sur le site de Binh Thanh.....	p.164
3.2. Etude en conditions contrôlées.....	p.185
Discussion.....	p.191
4. EFFET D'ENGRAIS PHOSPHATE NATUREL.....	p.193
4.1. Matériels et méthodes.....	p.194
4.2. Résultats.....	p.196
Discussion.....	p.215
5.ESSAI D'INCUBATION.....	p.216
5.1. Matériels et méthodes.....	p.216
5.2. Résultats.....	p.218
Discussion.....	p.226
6. ESSAI DE PERCOLATION.....	p.234
6.1. Conditions de réalisation.....	p.234
6.2. Résultats.....	p.237
DISCUSSION GENERALE.....	p.261
CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHES.....	p.275
BIBLIOGRAPHIE.....	p.279
LISTE DES FIGURES.....	p.294
LISTE DES TABLEAUX.....	p.298
ANNEXES	

Liste des abréviations

A	assimilation photosynthétique ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
BT	site de Binh Thanh
CEC	capacité échange ($\text{meq}/100 \text{ g}$)
CIRAD	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
CIRAD- CA	CIRAD- Cultures annuelles
CIRAD- CP	CIRAD- Cultures Pérennes
CRE	contenu relatif en eau (%)
CMR	capacité maximum de rétention du sol (%)
D	direction
d	distance (m)
DH	site de Do Hoa
DF	diagnostic foliaire
DR	diagnostic racinaire
ϵ	module d'élasticité membranaire (MPa)
E	transpiration foliaire ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
EC	conductivité électrique (mS/cm)
Eh	potentiel rédox (mV)
Gs et Rs	conductance et résistance stomatique ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
INA-PARIS-PG	Institut National Agronomique- Paris Grignon.
IRHO VN	Institut de Recherches pour les Huiles et Oléagineux du Viet Nam
LA	site de Long An
LA 1	site de Long An 1 (An Thanh 1)
LA2	site de Long An 2 (An Thanh 2)
LA3	site de Long An 3 (Luong Hoa)
LaFo	largeur de la foliole (cm)
Lg F	longueur de la feuille (cm)
Lg Fo	longueur de la foliole (cm)
MPa	MégaPascals
MF	matière fraîche
MS	matière sèche
NF	nombre de feuilles
NFE	nombre de feuilles émises
NFleurs	nombre de fleurs femelles

NN	nombre de noix
NR	nombre de régimes
ORSTOM	Institut Français de recherche scientifique pour le développement en coopération
p	profondeur (cm)
PN	poids de la noix (g)
PND	poids de la noix débourrée (g)
PCq	poids de la coque (g)
PAF	poids d'albumen frais (g)
PAS	poids d'albumen sec (g)
PCoprah	poids du coprah (g)
Courbe PV	courbe pression - volume
R	répétition
Rac 1	racines grosses
rac 2	racines fines
Ψ_H , Ψ_0 et Ψ_P	potentiel hydrique, osmotique et de turgescence
Ψ_0^0 et Ψ_0^{100}	potentiel osmotique à turgescence nulle et potentiel osmotique à turgescence maximum
Ψ_P^{100}	potentiel de turgescence maximum

INTRODUCTION GENERALE

Les conditions climatiques du delta du Mékong (pluviométrie - hygrométrie - température - ensoleillement) sont favorables à la culture du cocotier qui est le principal oléagineux cultivé au Vietnam. Afin de réduire le déficit lipidique nutritionnel de la population (2kg disponible par personne et par an alors que le FAO recommande 20kg) le gouvernement vietnamien a encouragé, à la fin des années 1970, la plantation de cocoteraies pour occuper 700.000ha du delta qui se trouvent dans les zones sulfatées acides (1.800.000ha) et salées (730.000ha).

Les premières plantations sont entrées dans une phase de production stabilisée à la fin des années 1980 et il est apparu des différences de développement entre les cocotiers et sur un même sujet, des anomalies: noix normales, noix parthénocarpiques, petites noix. Les variations de rendement vont de 1 sur les sols salés acides à 3,3 sur les sols alluviaux, et 2,9 sur les sols sulfatés acides.

Les trois principales contraintes édaphiques pour la culture dans le delta sont :

- l'asphyxie des racines liée à l'engorgement des terres inondées.
- l'acidité provoquée par l'oxydation d'une couche de pyrite qui existe sur l'ensemble du delta, comme dans toutes les zones de mangroves, à plus ou moins grande profondeur.

- la salinité dont le taux varie en fonction des saisons, de la proximité de la mer, et des possibilités de pénétration de la marée dans le réseau de cours d'eau qui sillonnent le delta.

Pour éviter l'asphyxie, particulièrement contraignante, des aménagements drainants ont été réalisés; ils ont été parfois catastrophiques en facilitant l'oxydation de la couche de pyrite et en provoquant une acidification stérilisante des sols: si des recommandations pratiques peuvent être données pour éviter de tels échecs à l'occasion de nouvelles plantations, il faut s'efforcer d'améliorer les conditions de production des cocoteraies existantes.

Les études sur la nutrition minérale du cocotier conduites à travers le monde ont permis, en fonction du diagnostic foliaire établi à partir de l'analyse des principaux éléments minéraux existant dans les feuilles, de déterminer les niveaux critiques, teneurs en dessous desquelles l'apport de l'élément correspondant augmente économiquement la production.

Les analyses faites au Vietnam montrent un déficit en calcium et en phosphore, et pour remédier à cette situation, l'utilisation du minerai de phosphate de la région de LAO CAI a été proposée et des essais d'amendement ont été conduits avec le minerai brut et avec d'autres engrais phosphatés. Avec ces apports, on espère en outre remonter le pH du sol et, de ce fait, limiter l'activité des ions Al^{3+} favorisés par l'acidité des sols sulfatés acides et connus pour leur toxicité chez les végétaux.

Bien que les niveaux critiques n'aient pas été déterminés en matière de diagnostic racinaire, il semble intéressant d'étudier les teneurs des éléments minéraux des racines, en particulier celles de racines fines, le cocotier ne disposant pas de poils absorbants.

De plus, l'exploitation inconsidérée de la mangrove, pour produire du charbon de bois ou aménager les élevages de crevettes, a mobilisé d'importantes superficies qu'il convient de reboiser: le cocotier est connu pour sa tolérance à la salinité mais il faut déterminer les limites de cette tolérance dans les conditions particulières du delta du Mékong (sols argilo-limoneux).

Des essais d'arrosage à l'eau salée de jeunes plantules ont été complétés par des mesures d'ouvertures stomatiques *in situ* et de photosynthèse en laboratoire.

Si la littérature est abondante sur le cocotier en matière de nutrition minérale, les mécanismes physiologiques ont été étudiés le plus souvent sur d'autres végétaux ; nous avons repris, dans la bibliographie, les conclusions qui peuvent aider à interpréter les observations sur les relations sol-plante et les échanges de cations essentiels.

La présente étude, réalisée sur les relations entre le cocotier et le sol , en particulier pour les sols sulfatés acides et /ou salés, est originale au Viet Nam.

Avant de détailler les différentes techniques mises en oeuvre, les résultats obtenus et leur interprétation, un rappel des conditions écologiques existant dans le delta du Mékong et des conditions culturales du cocotier, précédera la synthèse bibliographique sur la nutrition du cocotier, les amendements et la salinité.

Nous nous sommes particulièrement attachés dans ce travail à aboutir à une meilleure connaissance de:

- l'influence de la salinité et de l'acidité des sols sur la croissance, la production et la physiologie du cocotier,

- l'effet des apports de phosphates naturels pour une meilleure conduite des techniques culturales,

et à proposer une méthode d'élimination des ions Al^{3+} lorsque leur concentration dans le sol devient toxique.

N.B: La relative rareté des documents existant à l'IRHO VIET NAM, et la nécessité d'apporter un complément d'informations détaillées aux chercheurs de cet établissement, nous ont amenés à fournir certaines explications, en particulier d'ordre pratique et méthodologique, que nous avons placées en annexe afin d'alléger le présent mémoire.

PREMIERE PARTIE

**LES CONDITIONS NATURELLES DANS LE
DELTA DU MEKONG
ET
RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE
SUR LA CULTURE DU COCOTIER**

1. GEOMORPHOLOGIE DU DELTA DU MÉKONG

Situé entre 10° et 13° de latitude Nord et 105° et 108° de longitude Est, le delta du Mékong occupe une superficie de 3.900.000 ha. Ce delta a la particularité de ne présenter qu'une face continentale, limitée par la plaine des Joncs au nord-est, les deux autres bordant respectivement la mer de Chine à l'est et le golfe de Thaïlande à l'ouest (figure 1).

Il est constitué de gleysols et de fluvisols d'après la classification mondiale des sols de la FAO (planche D).

1.1. GÉOLOGIE

Le delta s'est édifié sur un bassin comblé par les apports fluviaux au cours des grandes régressions et transgressions qui se sont succédées depuis le Pléistocène (BOUAULT, 1930; SAURIN, 1964).

Au Nord et à l'Est, les sédiments deltaïques sont bordés par des terrasses du Pléistocène . Dans la zone axiale, au niveau du Bassac et vers le sud-ouest, le dépôt est très épais, les sédiments deltaïques pouvant atteindre 180m d'épaisseur (figure 2).

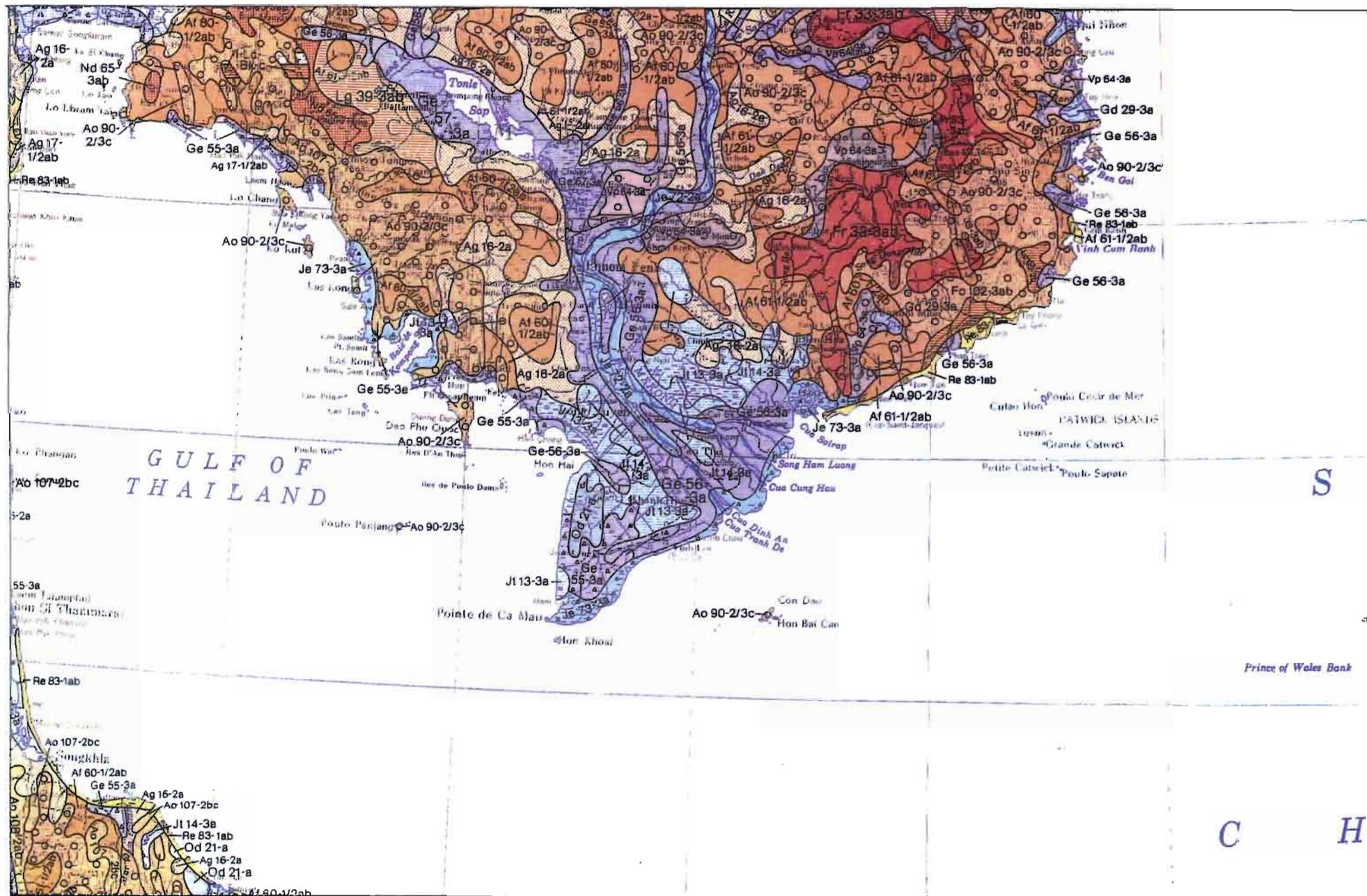
Sur le plan structural toute cette partie du sud Viet Nam est organisée en une série de bassins, séparés par des zones hautes ou seuils, orientés NW/SE et N/S. Ce phénomène serait du à une compression E/W de l'Asie du sud-est au Plio-Quaternaire (CARBONEL, 1970). Les sédiments du delta se sont déposés pendant le Quaternaire; les périodes d'émersion sont matérialisées par des couches de bois qui sont les restes d'anciennes mangroves. Les cordons sableux que l'on observe dans la plaine des Joncs et dans le delta actuel correspondent aux anciens rivages (SAURIN, 1964; KOLB et DORNBUSCH,1958).

1.2. MORPHOLOGIE ACTUELLE

Entre les deux bras: Bassac et Mékong, la plaine est très plate. La partie sud (bassin de Can Tho et péninsule de Camau) est la partie jeune du Delta, elle s'est formée par accrétion à partir des alluvions du Mékong. Ces alluvions sont fines (argilo-limoneuses) car le grand Lac situé au Cambodge, en réduisant la vitesse du courant provoque le dépôt des sédiments les plus lourds et seuls les sédiments les plus fins atteignent le cours inférieur du Mékong.

Avec un débit de 470 km³/an soit la moitié de celui du Chang Jiang- Yang tsé Kiang et du Gange, le débit solide du Mékong ne dépasse pas 160 x 10⁶ tonnes/an soit respectivement le 1/3 ou le 1/10 des fleuves précédents (MILLIMAN, 1990).

A l'embouchure, du fait de la faible profondeur du plateau continental, les sédiments sont entraînés vers le sud par la dérive littorale et se déposent à la pointe de Ca Mau.L'influence de la marée se fait sentir très loin (sur près de 30 km) à l'intérieur des terres et les courants qu'elle engendre, conjugués à l'absence de bourrelets de berge le long des cours d'eau secondaires, ont des effets très importants sur les mouvements des sédiments; une grande partie de la charge sédimentaire fine se dépose périodiquement dans la plaine deltaïque.



102°

104°

106°

108°

110°

Planche I: Carte mondiale des sols : 1: 5.000.000
(FAO - Unesco, 1979)

SOIL UNITS *

UNITES PEDOLOGIQUES *

UNIDADE

J FLUVISOLS FLUVISOLS FLUVISOLES ФЛЮВИСОЛИ

Je Eutric Fluvisols
Fluvisols eutriques
Fluvisoles éutricos
Богатые флювисоли

Jc Calcaric Fluvisols
Fluvisols calcaires
Fluvisoles calcáreos
Карбонатные флювисоли

Jd Dystric Fluvisols
Fluvisols dystriques
Fluvisoles dístricos
Бедные флювисоли

Jt Thionic Fluvisols
Fluvisols thioniques
Fluvisoles tíonicos
Серные флювисоли

G GLEYSOLS GLEYSOLS GLEYSOLES ГЛЕЙСОЛИ

Ge Eutric Gleysols
Gleysols eutriques
Gleysoles éutricos
Богатые глейсоли

Gd Dystric Gleysols
Gleysols dystriques
Gleysoles dístricos
Бедные глейсоли

Gh Humic Gleysols
Gleysols humiques
Gleysoles húmicos
Гумусовые глейсоли

R REGOSOLS REGOSOLS REGOSOLES РЕГОСОЛИ

Re Eutric Regosols
Régosols eutriques
Regosoles éutricos
Богатые регосоли

Rc Calcaric Regosols
Régosols calcaires
Regosoles calcáreos
Карбонатные регосоли

Rd Dystric Regosols
Régosols dystriques
Regosoles dístricos
Бедные регосоли

I LITHOSOLS LITHOSOLS LITOSOLES ЛИТОСОЛИ



Ql Ferralic Arenosols
Arénosols ferraliques
Arenosoles ferrálicos
Ферральные ареносоли

Qa Albic Arenosols
Arénosols albiques
Arenosoles álbicos
Белесые ареносоли

E RENDZINAS RENDZINES RENDZINAS РЕНДЗИНЫ



U RANKERS RANKERS RANKERS РАНКЕРЫ



T ANDOSOLS ANDOSOLS ANDOSOLES АНДОСОЛИ

To Ochric Andosols
Andosols ochriques
Andosoles ócricos
Светлые андосоли

Tm Mollic Andosols
Andosols molliques
Andosoles mólicos
Моллевы андосоли

Th Humic Andosols
Andosols humiques
Andosoles húmicos
Гумусовые андосоли

Tv Vitric Andosols
Andosols vitriques
Andosoles vitricos
Стекловатые андосоли

V VERTISOLS VERTISOLS VERTISOLES ВЕРТИСОЛИ

Vp Pellic Vertisols
Vertisols pelliques
Vertisoles pelicos
Темные вертисоли

Vc Chromic Vertisols
Vertisols chromiques
Vertisoles cromicos
Окрашенные вертисоли

Z SOLONCHAKS

S SOLONETZ SOLONETZ SOLONETZ СОЛОНЦЫ

So Orthic Solonetz
Solonetz orthiques
Solonetz órticos
Типичные солонцы

Y YERMOSOLS YERMOSOLS YERMOSOLES ЕРМОСОЛИ

Yl Luvic Yermosols
Yermosols luviques
Yermosoles lúvicos
Лювиновые ермосоли

B CAMBISOLS CAMBISOLS CAMBISOLES КАМБИСОЛИ

Be Eutric Cambisols
Cambisols eutriques
Cambisoles éutricos
Богатые камбисоли

Bd Dystric Cambisols
Cambisols dystriques
Cambisoles dístricos
Бедные камбисоли

Bh Humic Cambisols
Cambisols humiques
Cambisoles húmicos
Гумусовые камбисоли

Bg Gleyic Cambisols
Cambisols gleyiques
Cambisoles gleicos
Глеевые камбисоли

Bk Calcic Cambisols
Cambisols calciques
Cambisoles cálcicos
Известковые камбисоли

Bc Chromic Cambisols
Cambisols chromiques
Cambisoles cromicos
Окрашенные камбисоли

Bv Vertic Cambisols
Cambisols vertiques
Cambisoles vérticos
Слитые камбисоли

Bf Ferralic Cambisols
Cambisols ferraliques
Cambisoles ferrálicos
Ферральные камбисоли

L LUVISOLS LUVISOLS LUVISOLES ЛЮВИСОЛИ

L Orthic Luvisols
Luvisols orthiques

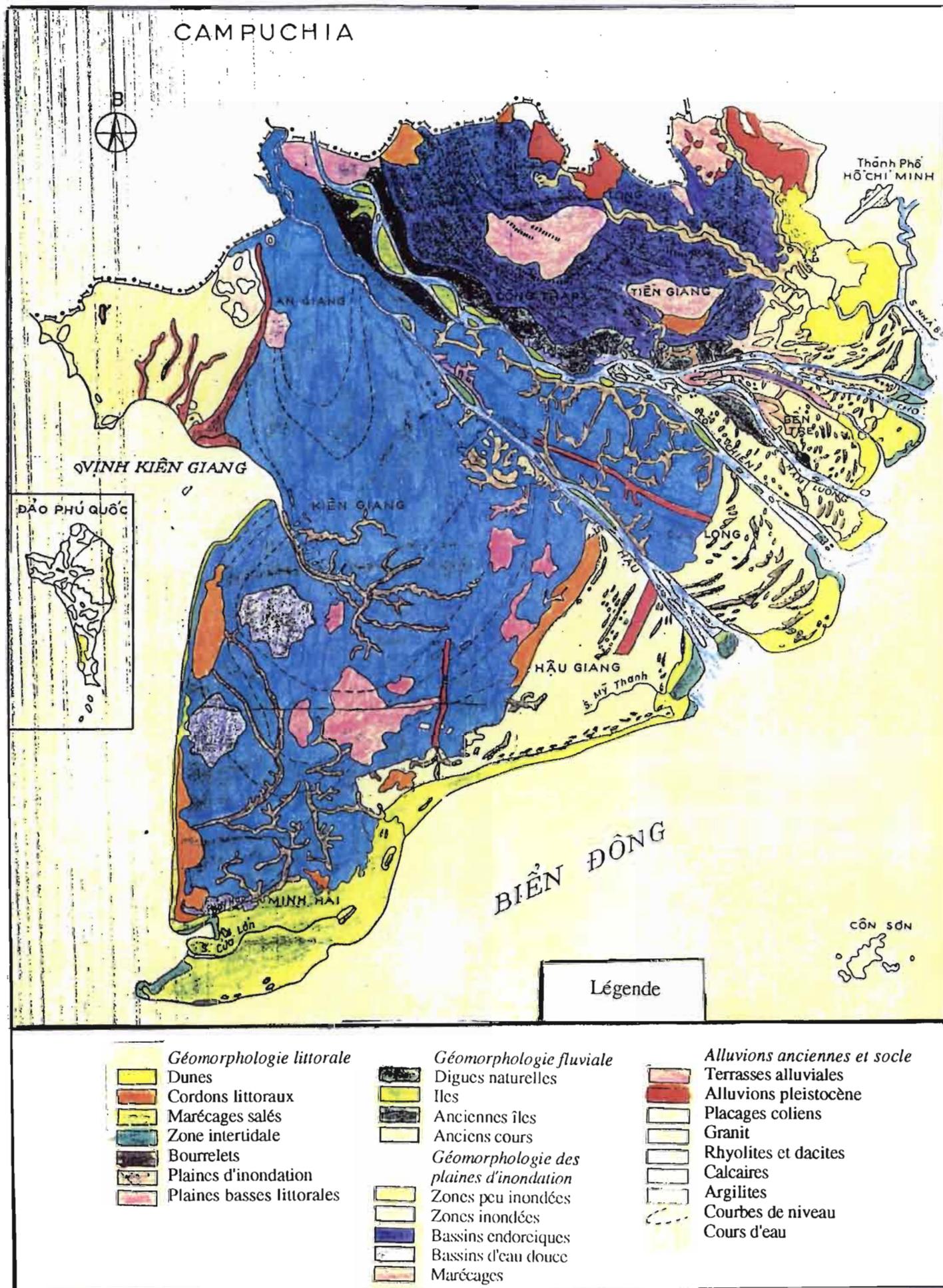
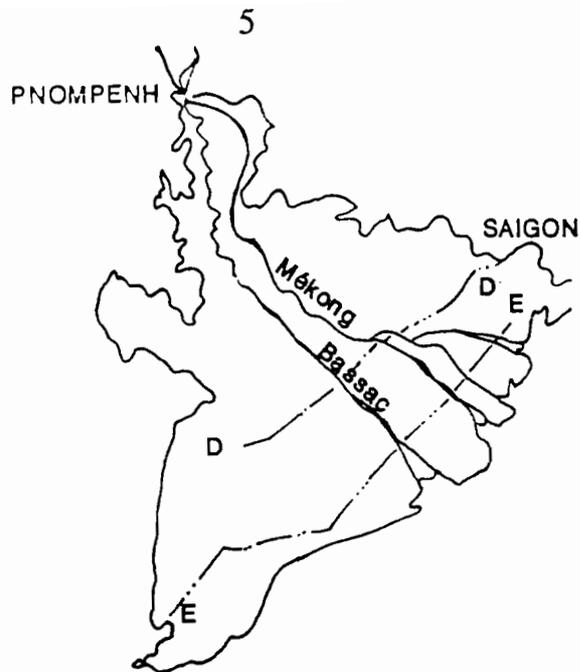
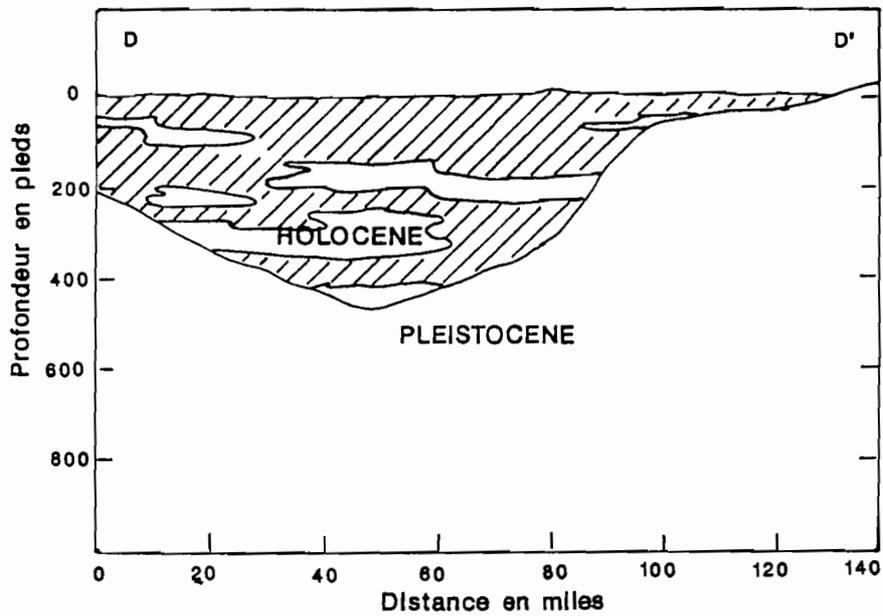


Figure 1: Carte géomorphologique du delta du Mékong

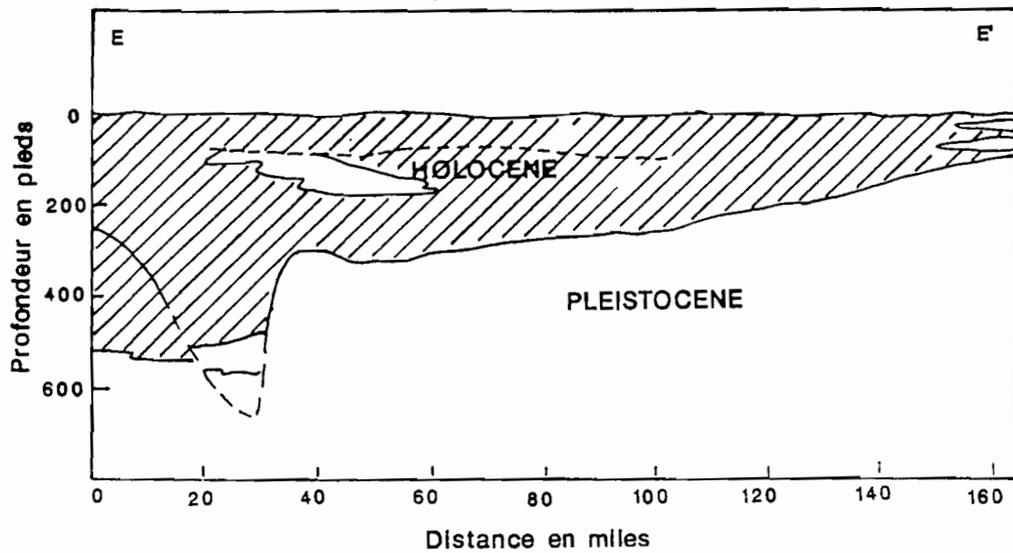
(1: 1.500.000)



A: Le delta du Mékong: localisation des transects



B: Epaisseur des dépôts deltaïques selon le transect DD'



C: Epaisseur des dépôts deltaïques selon le transect EE'

Figure 2: Section transversale générale dans le delta du Mékong (d'après RASMUSEN (1966) et ANDERSON (1969)).

Il ressort de tous ces phénomènes que la sédimentation du delta et de la péninsule de Ca Mau est très homogène. Ce sont des dépôts argilo- limoneux très riches en matière organique et en pyrite qui sont à l'origine des sols sulfatés acides du delta du Mékong.

2. CONDITIONS ECOLOGIQUES DANS LE DELTA DU MEKONG

2.1. LE CLIMAT

Le delta du Mékong est soumis à un climat de moussons.

Les figures 3 à 6 correspondent à la moyenne approchée des données du Centre National Météorologique du Viet Nam pour le delta du Mékong pour la période 1982-1992. Cette moyenne, comparable à celle des 50 dernières années, présente l'avantage de correspondre à la situation climatique actuelle.

2.1.1. La pluviosité (annexe IA)

La pluviométrie totale du delta du Mékong est bonne de 1700 mm à 2000 mm/an selon les sites, mais elle n'est pas répartie de manière régulière; on distingue:

-une saison sèche de cinq mois (décembre à avril), où les précipitations mensuelles, sans être nulles, ne totalisent pas plus de 80 à 130 mm suivant les sites.

-une saison des pluies de mai à novembre, où la pluviosité dépasse systématiquement les 150mm (figure 3)

Pendant la saison sèche, du fait de l'influence de la marée et des infiltrations de l'eau de mer, la salinité des nappes du delta du Mékong augmente.

2.1.2. La température (annexe IB)

La température moyenne est de 26- 30°C avec une faible variation en cours d'année (figure 4).

2.1.3. L'ensoleillement (annexe IC)

L'ensoleillement est plus important pendant les cinq mois de saison sèche, avec un maximum en mars mais on note un bon ensoleillement pendant la saison des pluies (fig. 5).

2.1.4. Hygrométrie et évaporation (annexe ID)

L'hygrométrie relative moyenne est de 80% et l'évaporation moyenne sur nappe libre dans le delta est de 60 à 140 mm suivant la saison avec un maximum en mars (figure 6).

Les données climatiques du delta du Mékong sont favorables au développement végétal avec des précipitations importantes pendant sept mois mais non nulles les cinq autres mois, des températures moyennes de 26° à 30°C avec des variations de faible amplitude, un ensoleillement important même pendant la saison des pluies et une évaporation maximum en mars qui reste inférieure à 5 mm par jour.

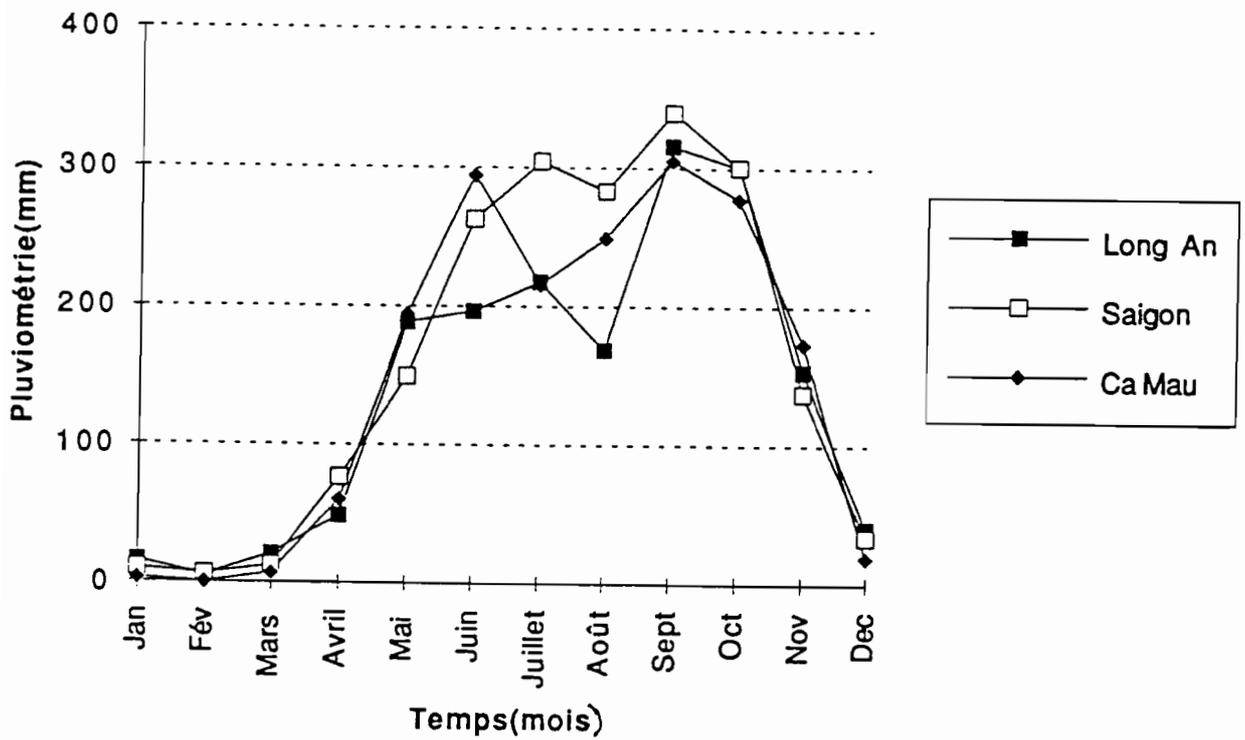


Figure 3: Variation moyenne de la pluviométrie dans le delta du Mékong

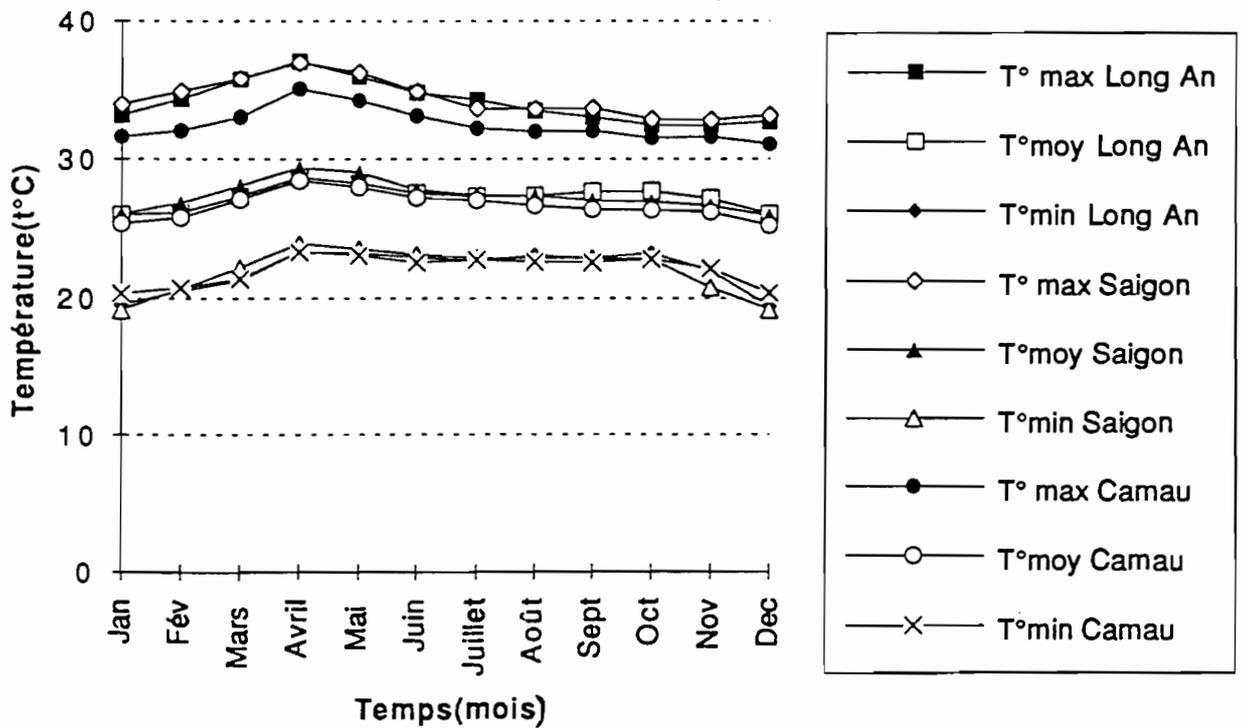


Figure 4: Variation moyenne de la température dans le delta du Mékong

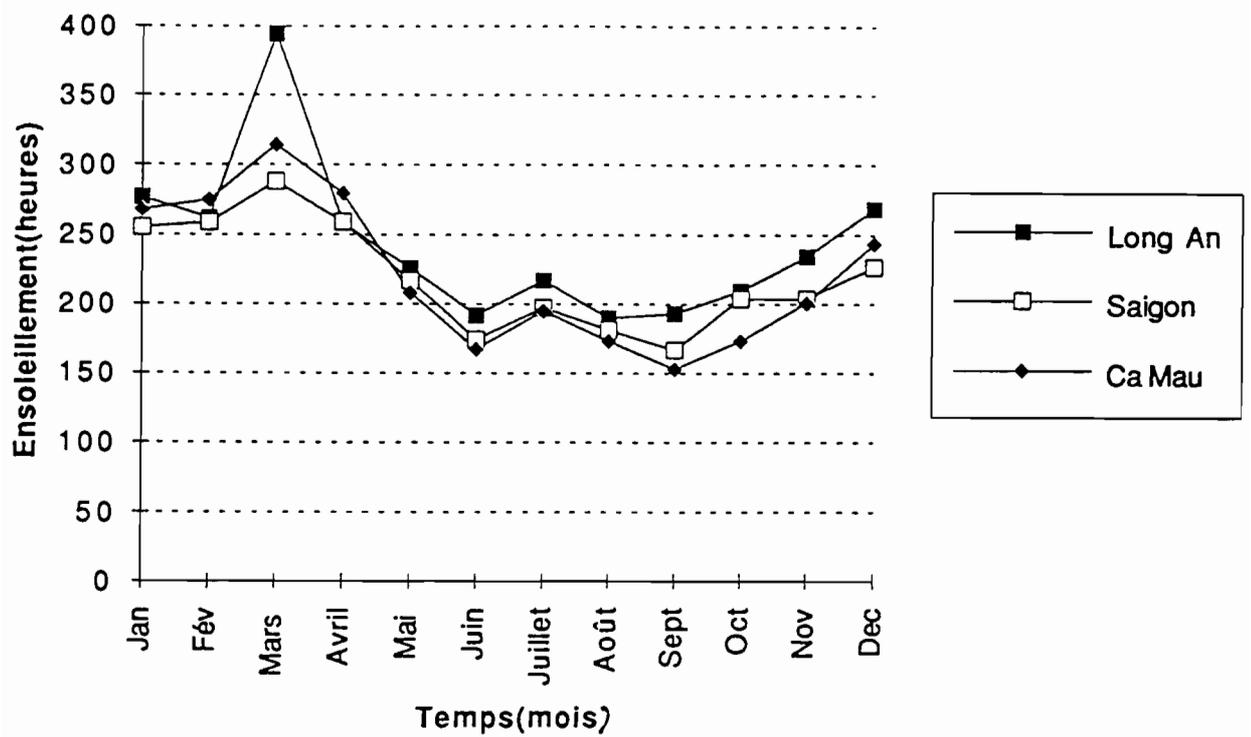


Figure 5: Variation moyenne de l'ensoleillement dans le delta du Mékong

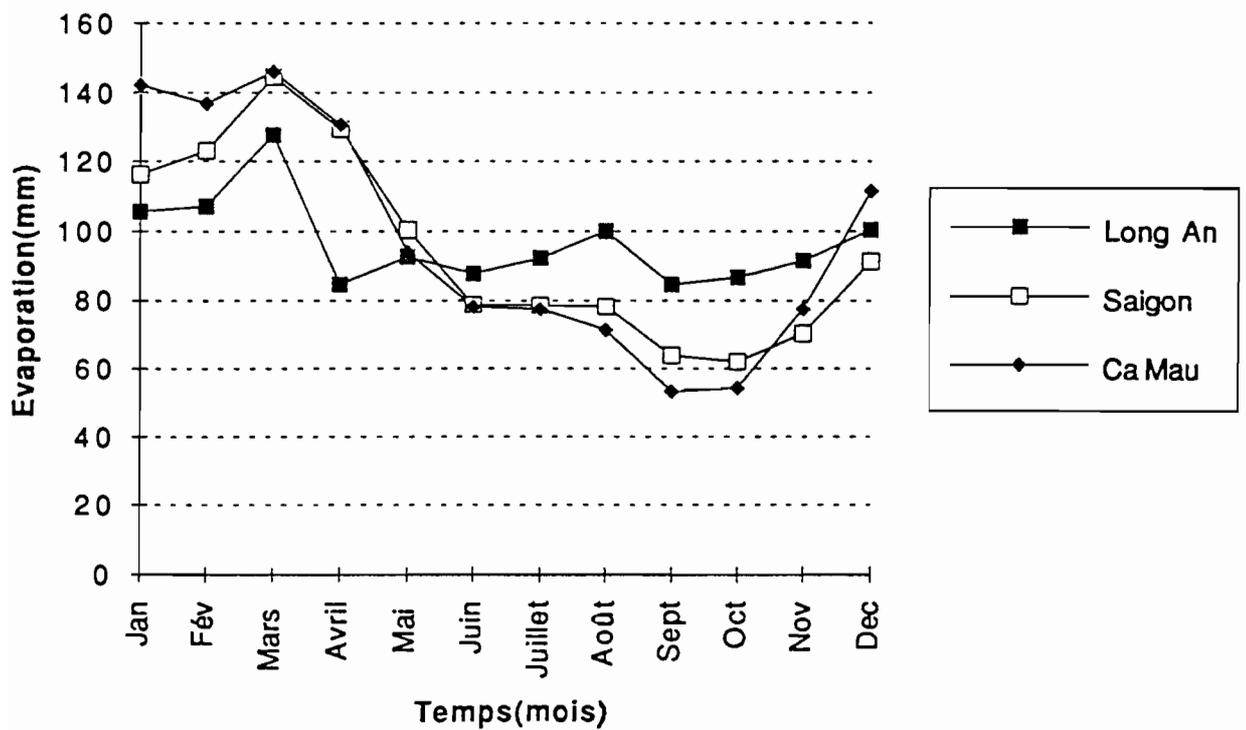


Figure 6: Variation moyenne de l'évaporation dans le delta du Mékong

2.2. VÉGÉTATION DANS LE DELTA DU MÉKONG

La végétation dans le delta du Mékong est très abondante, ce qui joue un rôle important dans la formation des sols et dans la variation des conditions écologiques. On distingue les principales formations naturelles suivantes:

2.2.1. Les savanes herbeuses à *Eleocharis dulcis* et *Phragmites karta*:

Ce sont des formations herbeuses dégradées de la forêt inondée primitive qui occupait les dépressions du delta du Mékong et de la forêt de *Melaleuca*. Les *Phragmites* colonisent les sols les plus ou moins exondés et légèrement acides alors que les *Eleocharis dulcis* dominent les dépressions acides. Ces formations couvrent à l'heure actuelle une grande superficie de terre inculte du delta dans la Plaine des Joncs, la Plaine de Ha Tien et la Plaine de Ca Mau.

2.2.2. La mangrove (planche 2)

Au Viet Nam, la mangrove est actuellement limitée à l'extrémité sud de la péninsule de Ca Mau et à la frange côtière des provinces de Ben Tre, Tra Vinh, Cuu Long à l'Est et à Ha Tien à l'Ouest. Son développement est conditionné par un apport permanent d'eau courante et de sédiments en provenance des terres hautes (Cambodge et Viet Nam).

Sa superficie était estimée à 250.000 ha en 1983 dont la moitié dans le Delta du Mékong qui constitue sans doute une des plus grandes mangroves du monde (MARIUS, 1990).

D'après MOQUILLON, qui a étudié cette mangrove, la flore comprend 59 espèces réparties en 4 groupes, qui sont très développées dans les principales mangroves du monde.

Rhizophora apiculata, *R. mucronata*, *R. stylosa* - *Rhizophoraceae*

Bruguiera gymnorhiza- *B. parviflora*, *B. cylindrica* - *Rhizophoraceae*

Ceriops tagal, *Ceriops decandra*- *Rhizophoraceae*

Avicennia alba, *A. officinalis*, *A. marina*- *Verbenaceae*

Sonneratia alba, *S. caseolaris*. L. Engler. *Sonneratiaceae*

Xylocarpus spp- *Meliaceae*

Lumnitzera littorea, *Lumnitzera racemosa* - *Combretaceae*

Excocharia agallocha- *Euphorbiaceae*

Acanthus sp - *Acanthaceae*

Aegiceras sp- *Myrsinaceae*

Phoenix paludosa - *Palmae*

Nipa fructicans- *Palmae*

MARIUS et PAGES (1990) ont remarqué que dans la mangrove du Viet Nam, toutes les espèces de *Rhizophora*, *Avicennia* et *Bruguiera* qui y sont représentées sont celles des autres mangroves de la zone indopacifique (Indonésie, Malaisie, Inde).

P. T. NGAN et al.(1987) ont signalé que la distribution des différentes espèces de palétuviers varie selon leur tolérance à la salinité mais aussi en fonction de la topographie, de l'hydrologie et des sols.

Planche II:

- Paysage de mangrove: sols sulfatés acides et salés



Photo 1: *Rhizophora apiculata*.Bl. *Rhizophoraceae*



Photo 2: *Avicennia officinalis*.L. *Verbenaceae*

- Plaine des Joncs: sols sulfatés acides



Photo 3: Les Joncs et les *Melaleuca leucadendron*. L. *Myrtaceae*.



Photo4: *Heleocharis dulcis* Rothb. R. et S. *Cyperaceae*

Les *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata* et *Rhizophora stylosa* se développent dans la zone de salinité élevée (35‰); les *Rhizophora apiculata*, et les *Avicennia officinalis* colonisent dans la zone de la salinité moyenne (20 ‰) (Mekong Delta Master Plan, 1993).

A l'embouchure du Mekong, sur sol vaseux, *Sonneratia caseolaris* est dominante dans la zone de faible salinité, à l'embouchure des bras Cua Dai, Ham Luong et Co Chien par exemple.

A l'embouchure de Ba Lai par contre, où la salinité est élevée, *Sonneratia griffithii* et *Avicennia* dominant.

Sur les terres plus exondées, à faible salinité, on trouve les *Excoecaria agallocha* et *Phoenix spp.* et dans la mangrove de Nam Can, le long de la côte, sur sol vaseux, un peuplement très dense d'*Avicennia alba*, *A. marina*, *A. officinalis* et *Rhizophora apiculata*; sur les gleys à salinité faible apparaissent *Lumnitzera* et *Ceriops*.

Dans la zone côtière, à proximité de l'embouchure des bras de Vam Co et My Thanh, beaucoup d'alluvions du Mékong et du Bassac ont été déposées; du fait de l'amplitude des marées et de la rapidité de la sédimentation, une zone intertidale s'est formée (zone d'oscillation de la marée) où l'on trouve *Rhizophora* et *Sonneratia ovata*. alors qu'à l'embouchure des cours d'eau, on retrouve *Sonneratia caseolaris*, l'espèce la plus sensible à la forte salinité.

La péninsule de Ca Mau s'allonge vers le sud-ouest de 50 à 100 m par an; là où les vagues sont de faible amplitude, la mangrove se développe à proximité de la plage; de la mer vers l'intérieur, les espèces dominantes sont successivement: *A. officinalis*, *A. alba*, *R. apiculata*, *Lumnitzera* et *Ceriops*. Une mangrove dense s'est également établie en bordure des canaux de la péninsule qui véhiculent de l'eau saumâtre.

Dans le golfe de Thaïlande, le long du rivage occidentale de Ca Mau à Ha Tien, là où la marée est de faible amplitude et où les dépôts fluviaux sont faibles, la mangrove ne s'est développée que sur une bande étroite où *Avicennia* domine alors qu'il est rare d'y trouver *Rhizophora*.

Les formations de *Nipa fruticans* caractéristiques de la zone d'oscillation de la marée le long des criques et des marais sont souvent classées dans les mangroves et occupent 6.000 ha.

La surface totale de la mangrove qui atteignait 250.000 ha dans le delta en 1950 occupait moins de 100.000 ha en 1988; on estime à plus de 100.000 ha la destruction due à l'usage des défoliants pendant la guerre; la réduction s'est poursuivie depuis du fait de l'exploitation non contrôlée pour le besoin de bois de construction et la fabrication du charbon de bois et le développement abusif des élevages de crevettes.

2.2.3. La forêt de *Melaleuca*

La forêt actuelle est une formation secondaire dérivée de la forêt des marécages de l'intérieur, sur sol tourbeux recouvrant les argiles côtières. Ces forêts assurent l'habitat d'un

grand nombre d'animaux et d'espèces végétales caractéristiques de la biodiversité du delta. Plusieurs espèces de la forêt primitive ont disparu depuis longtemps du delta sous l'influence des brûlis fréquents et des activités humaines; c'est le cas d' *Alstonia spathulata*, *Ilex thorellii* et *Eugenia spp* .

Mais la poursuite des brûlis, les incendies et l'oxydation de la tourbe ont permis l'installation de peuplements herbacés d'*Eleocharis dulcis* sur les sols très acides et de *Phragmites karka* sur les sols moins acides.

Melaleuca est aussi l'espèce la plus appropriée pour la récupération des terres incultes et des surfaces impropres à la culture comme les tourbes ou les sols sulfatés acides. *Melaleuca* peut supporter un certain taux de salinité dans des zones soumises de façon occasionnelle à l'intrusion d'eau salée. Grâce à un système racinaire abondant, *Melaleuca* peut s'établir dans les zones soumises aux brûlis fréquents; les arbres sont dotés d'une écorce épaisse et liégeuse permettant une protection contre les feux.

La forêt naturelle de *Melaleuca* correspond à une forêt sur les marécages à l'intérieur des terres; elle existe à l'état naturel (10.000 ha à Minh Hai et 7000 ha en 1988 dans la Plaine des Joncs, province de Long An) et fait également l'objet de plantations : 120.000 ha en 1988 dont 40.000 ha à Minh Hai - 27.000 ha à Long An - 20.000 ha à Tien Giang. Des feuilles est extrait le cinéole utilisé en pharmacie; le bois, imputrescible, est utilisé pour la construction (fondations).

Sous *Melaleuca* , les principaux types de sols sont les sols sulfatés acides, comprenant les sols potentiellement sulfatés acides et les sols tourbeux de la péninsule de Ca Mau et les sols sulfatés acides de la Plaine des Joncs et de la plaine de Ha Tien.

2.3. LES SOLS DU DELTA DU MÉKONG

Le delta du Mékong est une région du Viet Nam à grande vocation agricole, liée aux caractéristiques pédologiques de ses sols.

Les sols du delta du Mékong peuvent être répertoriés 8 groupes avec dominance des sols alluviaux, sulfatés acides, potentiellement sulfatés acides et salés avec de nombreux intergrades.

Sur les 3.900.000 ha du Delta du Mékong, les sols alluviaux occupent 1.200.000 ha, ce sont des sols riches, réservés à la riziculture. Le reste du delta du Mékong est occupé par des sols sulfatés acides (1.800.000 ha) et salés (730.000 ha).

Les sols potentiellement sulfatés acides se développent généralement sous la mangrove qui est un milieu anaérobie riche en matière organique. En effet, dans ce milieu, réagissent ensemble les sulfates apportés par l'eau de mer et les oxydes de fer apportés par les sédiments du continent; en présence des bactéries sulfato-réductrices caractéristiques de ces milieux anaérobies, les sulfates sont réduits en sulfures (S) et se combinent au fer pour former la pyrite FeS₂ .

Cette pyrite est à l'origine de l'acidité des sols dont le pH peut descendre à 2 ou 3. Exposée à l'air, son oxydation entraîne la formation d'hydroxyde de fer et d'acide sulfurique suivant la formule:



Acide sulfurique

Le sulfate qui se forme est un sulfate double de fer et de potassium: c'est la jarosite qui est présente sous forme de taches jaune pâle.

Quand l'acidité est plus élevée, l'aluminium remplace le fer et il se forme des "aluns", d'où le nom de sols "alunés" qui ont été définis pour la première fois dans la "Plaine des Joncs".

L'oxydation de la pyrite est due:

- soit à l'abaissement de la nappe du fait de la sécheresse ou d'un aménagement de drainage.

- soit à la remontée de ce minéral du fait d'un remaniement des terres à l'occasion d'un aménagement mal conduit .

Suivant la profondeur à laquelle se situe la pyrite par rapport à la surface, on distingue deux types de sols sulfatés acides:

- Sols sulfatés acides actifs: la pyrite est présente dans la couche superficielle et tout mouvement de terre (labourage, creusement des canaux, construction des digues...) favorise son oxydation (mise en évidence par les traînées jaunes en surface) et donc la diminution du pH.

- Sols potentiellement sulfatés acides: la pyrite n'affleure pas et on la trouve sous une couche d'argile de 40 à 60 cm d'épaisseur. Dans ce cas, les sols sont généralement peu ou pas acides car la pyrite n'est pas en contact avec l'oxygène de l'air. Un aménagement mal conduit peut avoir des conséquences désastreuses sur la fertilité de ces sols.

Sols salés: ce sont des sols argileux à argilo-limoneux d'origine alluvionnaire qui sont encore submergés par la marée; de ce fait, la production de riz est relativement faible, avec un seul cycle en saison des pluies. Dans le delta du Mékong, ces sols bordent toute la côte est et jusqu'à la pointe de Ca Mau. Ces sols ont souvent une texture moyenne, voire très fine. La plupart ont un mauvais ou très mauvais drainage et la formation de banquettes est la meilleure méthode pour les drainer.

A l'embouchure des fleuves à faible débit, en saison sèche, la salinité de l'eau est élevée. Les halophytes sont prédominants comme *Sonneratia ovata* , sur les rives s'avancent les *Avicennia officinalis*, *Rhizophora mucronata*, *Kandelia candel*, *Bruguiera parviflora*.

3. LE COCOTIER: REPARTITION, USAGES ET CONDITIONS CULTURALES

A. LE COCOTIER DANS LE MONDE

A.1. GÉNÉRALITÉS ET HISTORIQUE

Le cocotier, *Cocos nucifera*. *L. Palmae* est connu comme "l'arbre de vie", l'un des arbres cultivés les plus répandus dans le monde. En Asie, on l'appelle "l'arbre du ciel" ou "l'arbre aux cent usages", tant il est vrai que ses différentes parties, feuilles, fruits, bourre, coques, stipe sont couramment utilisées. On estime qu'il couvre plus de 9 millions d'hectares répartis dans 80 pays, principalement en région intertropicale (tableau 1).

Tableau 1: Surface cultivée, rendement et production de coprah dans le monde en 1993 (d'après Oil World annual, 1993).

	Pays	Surface cultivée (1000ha)	Rendement (T/ha)	Production (1000T)
	Côte d'Ivoire	55	1,05	58
	Mozambique	185	0,33	73
	Tanzanie	305	0,10	32
	République Dominicaine	77	0,35	27
	Mexique	141	1,23	173
	Brésil	6	0,50	3
	Venezuela	22	0,95	21
	Inde	1580	0,29	460
	Indonésie	2430	0,55	1330
	Malaisie	310	0,24	75
	Philippines	2350	0,74	1750
	Sri Lanka	418	0,22	90
	Thaïlande	335	0,19	65
	Viet Nam	280	0,80	225
	Iles Salomon	44	0,68	30
	Fidji	49	0,41	20
	Vanuatu	71	0,38	27
	Papouasie-N ^{lle} Guinée	188	0,61	115
	Samoa	47	0,38	18
	Autres pays	318	0,56	178
	Total	9211	0,52	4770

Cultivé essentiellement en zone humide côtière, on peut cependant le rencontrer jusqu'à 1000 mètres d'altitude en Inde (Bangalore) et dans les zones tempérées (Haïnan).

Son existence est tellement ancienne que l'on ne connaît plus de peuplements spontanés. La découverte de noix fossiles en Nouvelle Zélande et en Inde (SAUER, 1967) montre que l'histoire du cocotier remonte à plusieurs millions d'années. Après une controverse qui a duré plus d'un siècle (PURSEGLOVE, 1972), la communauté scientifique s'accorde à situer le centre d'origine entre le Sud- Est Asiatique (Indonésie, Nouvelle Guinée) et l'Ouest du Pacifique (Nouvelle- Zélande, Nouvelle- Calédonie); HARRIES (1978) le situe sur un fragment continental submergé depuis quinze millions d'années , sous les îles de Lord Howe et Norfof, au large de l'Australie.

Le produit du cocotier le plus connu est le **coprah**, albumen de la noix de coco partiellement déshydraté à 6 % de teneur en eau, à partir duquel on extrait de l'huile.

Tableau 2: Import- Export mondial du coprah et d'huile en milliers de tonnes

	Coprah	Huile
Pays exportateurs:		
Indonésie	-	215
Philippines	95	950
Papouasie- Nouvelle Guinée	63	34
Malaisie	43	50
Iles Salomon	40	-
Vanuatu	35	-
Singapour	-	45
Côte d'Ivoire	-	33
Pays importateurs:		
	Coprah	Huile
U.S.A.	-	460
Allemagne	70	220
Pays- Bas	-	128
ex U.R.S.S.	-	80
France	-	66
Italie	-	58
Corée du Sud	60	-
Japon	43	39
Singapour	22	-

(DE TAFFIN, 1993- Source: Oil World annual 1991).

Le cocotier est cultivé tant pour l'autoconsommation, que pour la production industrielle. On estime en effet que la moitié de la production mondiale de noix est consommée localement sous forme de noix fraîches (huile de coco- lait- eau). Le commerce international d'huile de coco naquit au XVIII^e siècle avec l'augmentation des besoins en oléagineux des pays européens. D'abord source de lumière, l'huile de coprah fut employée ensuite pour la fabrication de savon, et à partir de 1890, comme base des margarines végétales. L'expansion de la culture du cocotier s'est accélérée à partir de la seconde moitié du XIX^e siècle pour devenir en 1914 la première source mondiale d'huile végétale.

Avec le développement des oléagineux tempérés (soja, tournesol, colza) et l'expansion rapide de la culture du palmier à huile, la part relative de l'huile de coprah dans les échanges a diminué. En 1960, le cocotier perdait sa place de premier producteur d'huile végétale.

Depuis, la production du cocotier varie en fonction du prix de coprah. Actuellement, le cocotier occupe le sixième rang des plantes oléagineuses dans le monde (Oil World Annual 1993, tableau 3).

Tableau 3: Production mondiale de graines oléagineuses en 89/90
(d'après Oil World Annual,1993).

Graines oléagineux	Surface récoltée (1000 ha)	Rendement (T / ha)	Production d'huile (1000 T)
Soja	58564	1,84	107546
Coton	31814	0,98	31242
Colza	17129	1,29	22095
Tournesol	15543	1,40	21751
Arachide	20323	0,80	16320
Cocotier	8964	0,61	5482
Palmier à huile	3466	0,95	3285
Graine de lin	4515	0,52	2352
Sesame	6260	0,33	2054
Ricin	1599	0,70	1123

A.2. USAGES DU COCOTIER (planche3)

Le cocotier fournit de très nombreux produits: nourriture et boissons, matières premières cosmétiques et médicales, matériaux de construction (bois) et de couverture (fibre tressée). C'est aussi une plante ornementale sur les côtes du Sud- Est asiatique et du Pacifique ; au Viet Nam, dans le delta du Mékong, le cocotier omniprésent est le symbole de la région.

Exportations d'huile de coco : 850 millions de dollars par an

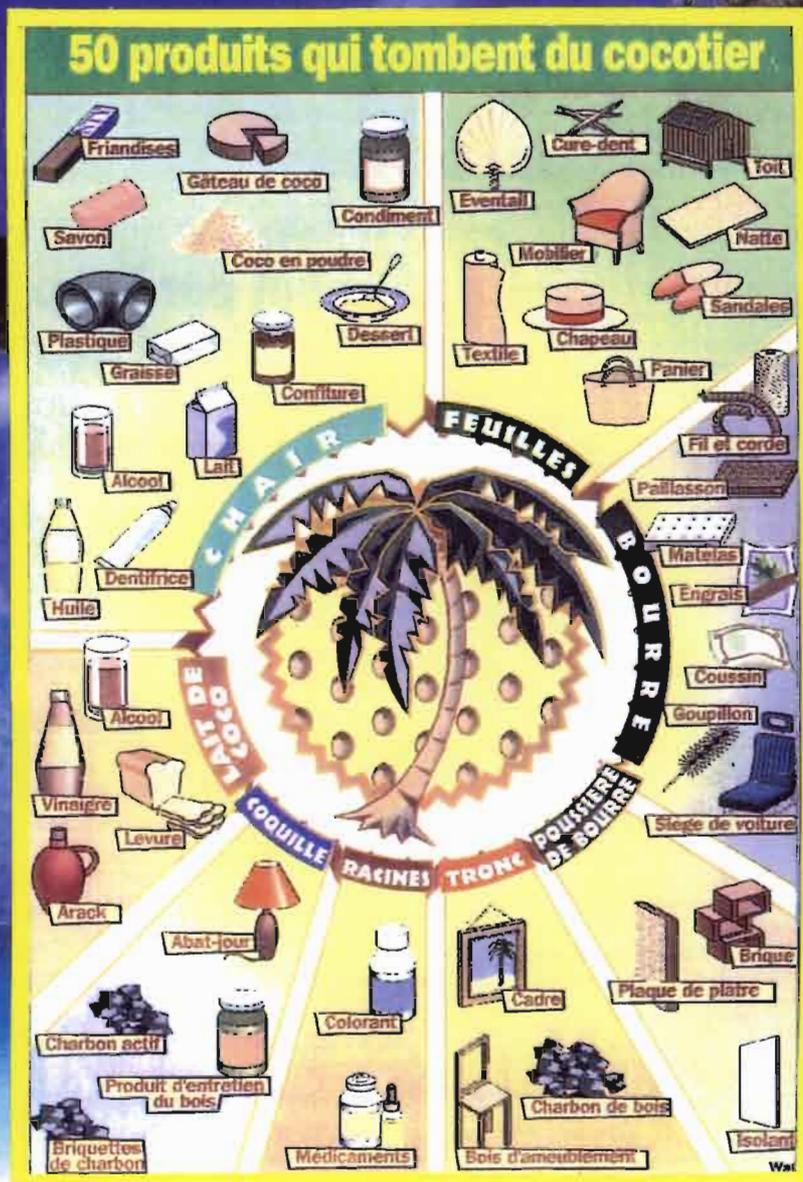


Planche III: Les différents produits du cocotier
(d'après le Journal ça m'intéresse, 1993)

L'extrême diversité de l'utilisation des produits du cocotier est à l'origine d'études et de travaux non seulement pour améliorer la production de coprah, mais aussi pour mieux valoriser les sous-produits et augmenter ainsi l'intérêt économique de cette culture.

Les industriels Européens intéressés par l'huile de coco riche en acide laurique, recherché pour ses qualités de détergent, moussant, surfactant, etc., se sont efforcés d'extraire le maximum d'huile; l'albumen frais se conservant mal et les noix entières représentant des poids et volumes importants à transporter on a pensé à sécher l'albumen: ramené à 6% de teneur en eau on obtient un produit stable, le coprah, facile à transporter et dont on peut extraire l'huile par des procédés industriels: chauffage- pressage- utilisation de solvant. Si le séchage a été mal fait, le coprah peut contenir un champignon qui produit une substance toxique: l'aflatoxine; sa présence dans les résidus d'usinage rend les tourteaux impropres à la consommation du bétail.

L'huile de coco et ses dérivés

L'huile de coco, extraite artisanalement de l'albumen frais est la principale source d'huile végétale consommée sur place par les villageois. L'huile extraite du coprah fait l'objet d'échanges internationaux.

Une huilerie performante extrait du coprah environ 62% d'huile. Le prix du coprah varie essentiellement en fonction de sa qualité, liée à la présence ou non d'aflatoxine. Celle-ci peut se développer suite à la contamination par *Aspergillus flavus* lorsque les conditions de séchage et de conservation sont mal assurées.

Les tourteaux, sous produits de l'huile de coprah sont très prisés pour l'alimentation animale quand ils ne sont pas contaminés par l'aflatoxine.

L'huile de coprah, composée de 90% d'acides gras saturés est une huile concrète dont le point de fusion est d'environ 25°C.

La planche ci-dessous souligne l'extrême diversité de son utilisation ainsi que celle de ses dérivés, ce qui explique le rôle économique important du cocotier:

- savonnerie: sa richesse en acide laurique C12 lui confère une bonne propriété moussante.

- alimentation: les huiles lauriques sont utilisées en l'état ou hydrogénées à divers degrés, pures ou en mélange avec d'autres corps gras. Elles entrent dans la composition de : margarine, graisse blanche pour feuilletage, graisse et shortening pour la cuisine, boulangerie, pâtisserie. Elles sont également utilisées sous forme de stéarines hydrogénées et d'huiles hydrogénées interestérisées.

- oléochimie: du fait des propriétés tensioactives remarquables des dérivés des chaînes en C12 et C14, les huiles lauriques sont à la base de la plupart des dérivés tensioactifs (GRAILLE, 1993).

Huile de coco

comestible	non comestible
	- lessive, savonnette, schampoing
- huile de cuisine (friture- salade)	- bain moussant, cosmétique, dentifrice
- matière grasse pour pétrir	- additif pour fuel, surfactant
- margarine	- émulsifiant (chimie agricole)
- enrobage des glaces	- émulsifiant d'huile de fraisage
- poudre de lait	- revêtement des métaux, peinture, vernis
- dessert fouetté	- substitut du diesel, résines synthétiques
- huile pulvérisée (céréales, gâteaux)	- lubrifiant pour textile et cuir
- pâtisseries	- traitement du papier, encre

A.3. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES BOTANIQUES ET MORPHOLOGIQUES

Le cocotier, *Cocos nucifera* L. est une monocotylédone

- ordre des Palmales
- famille des Palmaceae
- groupe des cocosoïdes
- genre Cocos
- une seule espèce: *Cocos nucifera* L.

La famille des Palmaceae a été l'objet de nombreuses classifications. MOORE (1973) distingue 15 groupes dont celui des Cocosoides qui présente une seule espèce, le cocotier dont le nombre chromosomique est de 32 (SANTOS, 1928).

Le cocotier est une monoïque pouvant atteindre 30 m de haut, composée de trois parties:

- l'appareil aérien comprend deux parties:
 - . le stipe ou tronc monopodique
 - . la couronne foliaire avec à l'aiselle des feuilles les régimes de noix.
- l'appareil souterrain comprend un système racinaire avec des racines primaires qui porte des racines secondaires et tertiaires.

Cette espèce se compose de plusieurs génotypes se distinguant par des colorations et morphologies très variées.

On distingue:

Les cocotiers Grands: à croissance rapide avec un stipe important, des grosses noix et une teneur en coprah relativement élevée; ils sont peu précoces (planche 4).

Les cocotiers Nains: à faible croissance et au stipe plus mince avec un grand nombre de petites noix; ils sont très précoces.

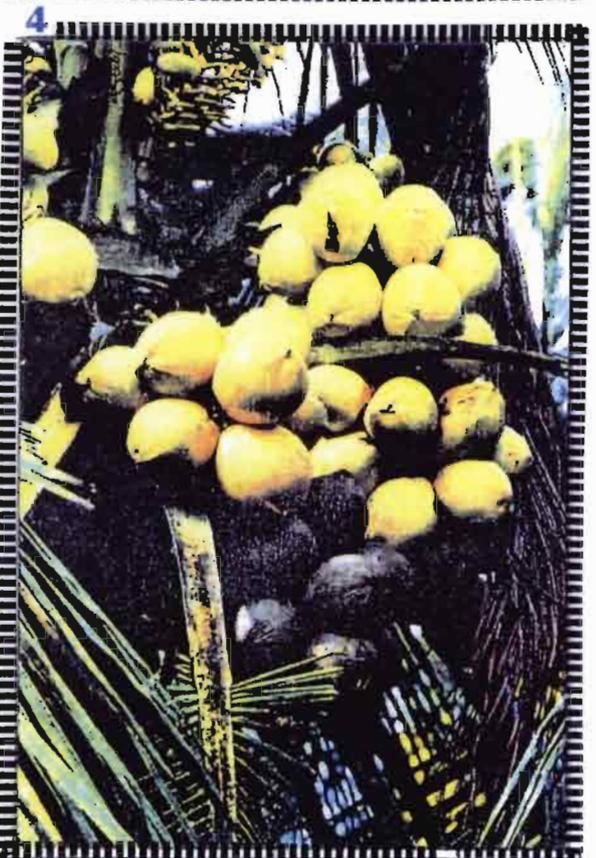
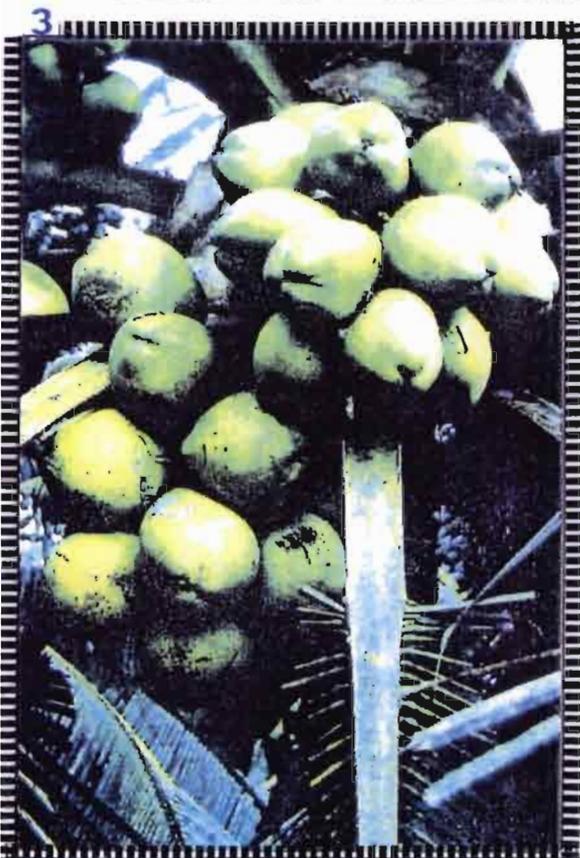
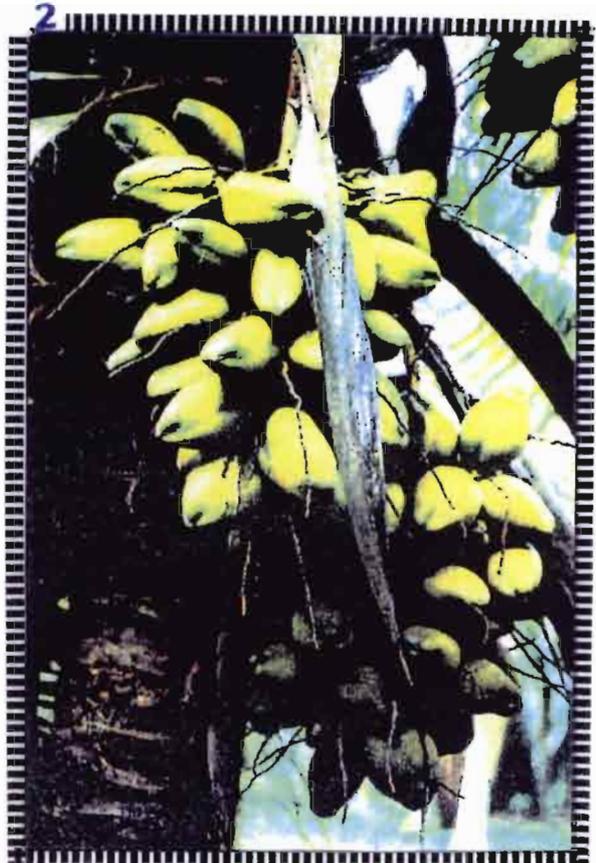


Planche IV: Régimes et noix matures

(d'après BOURDEIX, 1989)

Photo 1: Nain Rouge Malaisie

Photo 2: Grand des Indes, Laccdives micro, GND7

Photo 3: Nain Vert Guinée Equatoriale

Photo4: Nain Rouge Cameroun

Dès l'apparition du stipe, 3 ans après la germination de la noix, la distinction entre Grands et Nains se fait par l'examen du stipe: celui du Grand a une forme conique au niveau du sol alors que le stipe du Nain se présente comme un cylindre

La longévité de la plante est difficile à évaluer, elle varie selon les géotypes. Sa durée de vie économique est de l'ordre de trente ans pour les cocotiers Nains et cinquante ans pour les Grands. Le fruit est une drupe dont le noyau présente trois pores, l'un d'eux permettant la germination de la noix.

A.3.1. Le système racinaire

La partie souterraine du stipe se termine par un cône renversé, le bulbe racinaire d'où se développent de très nombreuses racines primaires d'environ 1 cm de diamètre pouvant atteindre 8 à 10 m de longueur. Elles se ramifient en racines secondaires et tertiaires qui sont les principaux organes d'absorption.

La plus grande partie du système racinaire est superficielle, ne dépassant pas 60 cm de profondeur, cependant, dans les sols meubles et bien drainés, on peut trouver des racines primaires jusqu'à 4 et 5 m de profondeur.

Le système racinaire se développe moins vite que le système aérien pendant la période de fort développement du cocotier, deux à cinq ans; c'est la période de grande sensibilité aux vents et aux déficiences minérales.

Le système racinaire des Grands est plus développé que celui des Nains.

A.3.2. Le stipe

Le stipe est constitué d'un grand nombre de faisceaux libéro- ligneux primaires qui, entourés d'un tissu fibreux, lui assure souplesse et résistance.

Le stipe porte des cicatrices foliaires très visibles dont le nombre permet de distinguer deux géotypes: nains et grands .

- Les Nains montrent environ quarante cicatrices par mètre de stipe (sur la portion de stipe comprise entre 1 m et 2 m du sol).

- Les Grands comportent environ vingt cicatrices. La croissance en hauteur varie de 0,15 à 1 m par an (de 2 à 12 ans). Certains grands dépassent 30 m de hauteur.

Le stipe du cocotier fournit un bois de qualité, mais de densité irrégulière de l'extérieur vers l'intérieur, qui varie aussi selon l'âge et la hauteur du stipe. Après immersion dans l'eau salée et séchage à l'air, les sciages poncés, impustrescibles peuvent être utilisés dans la construction ou la fabrication de meubles. On les utilise aussi pour faire des ponts dans les villages du delta du Mékong où existe un réseau de canaux inextricable.

A.3.3. La couronne foliaire

Le stipe porte une couronne d'une trentaine de feuilles ouvertes avec un seul bourgeon terminal. Les feuilles se répartissent sur 5 spirales avec une phyllotaxie de 2/5.

Une feuille adulte comprend un fort pétiole prolongé par un rachis sur lequel se trouvent environ deux cents folioles. La longueur de la feuille varie selon les génotypes.

Les feuilles sont le siège des activités physiologiques, leur état hydrique reflète les conditions d'alimentation en eau de la plante. Les teneurs foliaires en éléments minéraux permettent de caractériser l'état nutritionnel des plantes. La couleur des feuilles traduit les déficiences en certains éléments minéraux. A noter que la feuille 14 a été choisie pour les analyses relatives au diagnostic foliaire.

Le rythme d'émission foliaire et la longueur des feuilles dépendent de l'origine génétique et des conditions édaphiques. Cinq ans s'écoulent entre l'apparition des ébauches foliaires, le développement de la flèche et la mort des feuilles qui, desséchées, tombent naturellement.

Les feuilles sont utilisées en milieu villageois, comme matériau de construction (toits), pour le tissage de nattes, et comme combustible pour faire la cuisine. Cette dernière fonction est particulièrement importante dans le Delta du Mékong pour limiter l'exploitation des maigres ressources forestières encore disponibles.

Le coeur du cocotier, appelé chou palmiste, a un goût très spécifique mais il faut sacrifier un cocotier pour en extraire le bourgeon.

A.3.4. L'inflorescence

La floraison apparaît trois ans à cinq ans après la germination suivant qu'il s'agit de Nains ou de Grands. Les fleurs se succèdent en moyenne tous les mois.

Si les conditions climatiques sont favorables, à l'aisselle de chaque feuille se développe une inflorescence monoïque qui est contenue à l'intérieur d'une spathe pouvant atteindre 50 cm à 1 m de longueur, 5 à 10 cm de diamètre. A maturité, la spathe se fend longitudinalement et s'épanouit.

L'inflorescence est formée d'un rachis sur lequel on trouve les épillets. Ceux-ci portent quelques fleurs femelles dans la partie basale et de nombreuses fleurs mâles vers l'extrémité. Tous les épillets, portent toujours des fleurs mâles mais il n'y a pas toujours de fleurs femelles.

Les fleurs femelles et mâles sont organisées sur le modèle trimère, typique de l'organisation des monocotylédones. Les fleurs femelles, de forme globuleuse, ont environ 25 mm de diamètre et possèdent: trois sépales, trois pétales et trois ovules, dont un seul est fertile. Le style, très compact, possède trois stigmates.

Les fleurs mâles, nombreuses et plus réduites, comprennent six étamines réparties en deux verticilles.

Chaque inflorescence donne un régime de 5 à 25 noix ou plus suivant les génotypes.

La figure 7 analyse la chronologie du développement d'une feuille et de son inflorescence associée. Il s'écoule environ deux ans de la différenciation du primodium floral jusqu'à la maturité de la noix (26^e mois - 49^e mois), donc l'influence des facteurs climatiques se fait sentir sur la production 2 ans après leur manifestation.

La sève, recueillie par martelage, puis incision de l'extrémité de l'inflorescence, est couramment utilisée pour obtenir :

- par évaporation un sucre de bonne qualité.
- par fermentation, de l'alcool ou du vinaigre .

A.3.5. Le fruit

La fleur femelle évolue en une drupe monosperme appelée noix.

La couleur du fruit est un caractère important de distinction chez les cocotiers Nains. Excellent descripteur, il peut servir de marqueur génétique, permettant de discriminer des croisements issus de parents dissemblables pour ce trait (N'CHO et al., 1988).

Après la fécondation, le sac embryonnaire grossit et il se forme un amas pâteux de cellules en multiplication: l'albumen. Vers le huitième mois, une lyse des parois provoque la liquéfaction : les cellules, encore très actives, flottent dans l'albumen liquide, eau de coco, (HENRY, 1957).

Une phase solide se dépose par édification de membranes celluloses sur le tégument séminal, alors que la phase liquide s'appauvrit progressivement en matière organique.

La composition de la noix de coco varie avec son état de maturation :

- La noix fraîche comporte une partie liquide (eau de coco), légèrement sucrée et une partie gélatineuse (albumen).
- La noix mature a une composition semblable avec un albumen plus épais et plus consistant, la quantité d'eau est réduite.

L'eau de coco contient des substances de croissance et des sucres réducteurs au début de sa formation (CHILD et NATHANAEL, 1950) puis ensuite des sucres non réducteurs.

Une coupe transversale du fruit mature montre, de l'extérieur vers l'intérieur:

- Un épiderme lisse, cireux, de couleur jaune, rouge ou vert, suivant génotype; à maturité il prend une teinte plus foncée gris - brun .
- Un mésocarpe fibreux, résistant, de couleur brun rougeâtre: l'ensemble constitue la bourre.
- Un endocarpe ligneux appelé coque, brun foncé et très résistant. Sur la coque, trois pores germinatifs disposés en triangle se trouvent à l'extrémité portant le pédoncule.
- La graine se compose d'un tégument séminal, fine pellicule brun rougeâtre, qui forme un lien entre la coque et l'albumen blanc; à l'intérieur se tient un liquide légèrement opalescent , l'eau de coco.

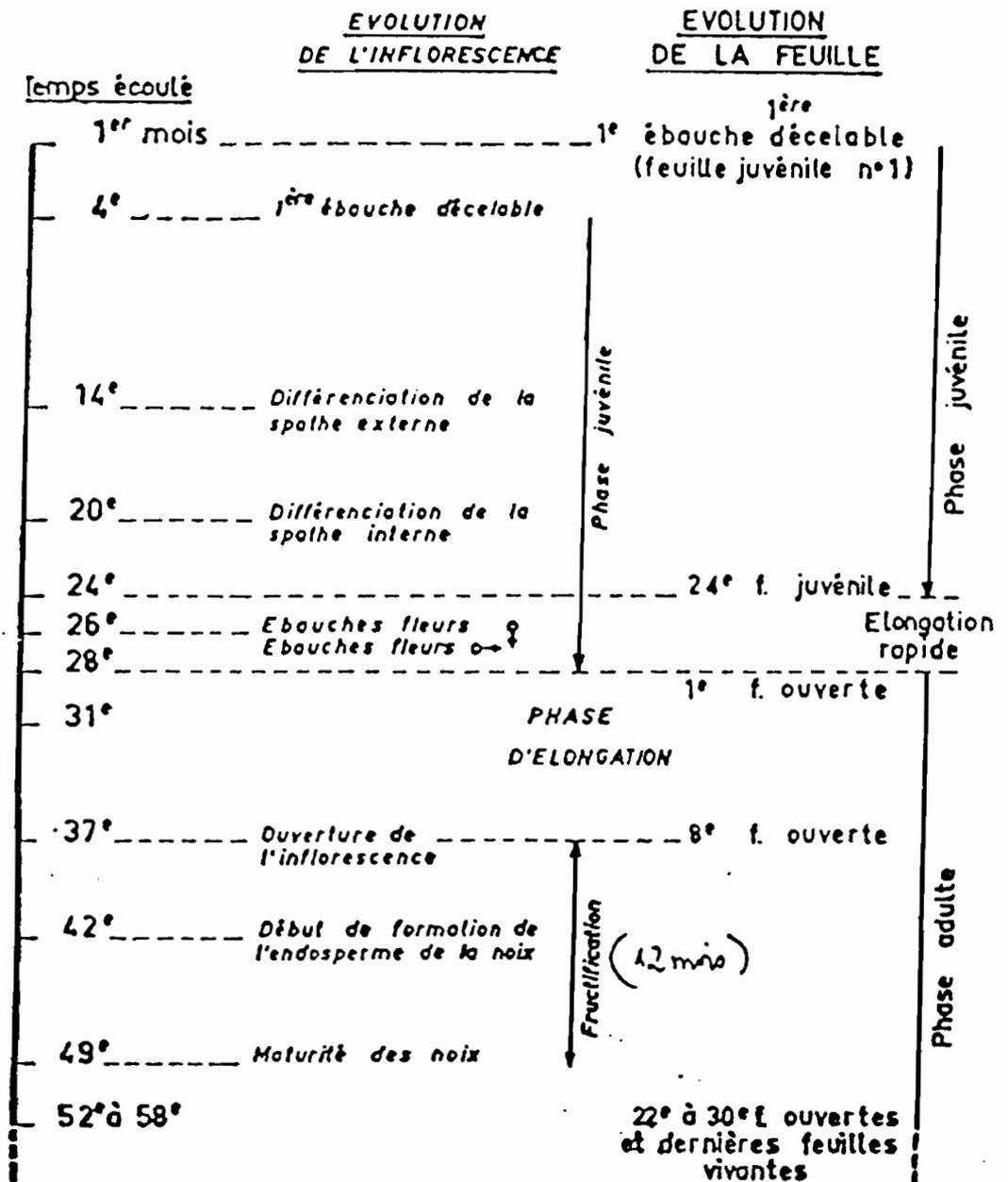


Figure 7: La chronologie du développement d'une feuille et de son inflorescence associée. (d'après FREMOND et al, 1966)

Dans l'albumen, sous l'un des trois pores germinatifs, se trouve un embryon.

La bourre est constituée d'un réseau de fibres noyées dans un tissu interstitiel qui devient pulvérulent en séchant. Après rouissage et traitement mécanique les fibres servent à la fabrication de cordage, filets, brosses, tapis, matelas. Imputrescibles elles possèdent également d'excellentes qualités d'isolation. La poudre interstitielle contient 67% de potassium et 85% du chlore exporté par le régime (de TAFFIN et OUVRIER, 1985) et il est recommandé de procéder au débouillage au champ pour restituer ces éléments. La bourre peut être enterrée en interligne des arbres, la concavité étant tournée vers le haut: l'eau de pluie retenue dans la bourre peut être utilisée par la plante en saison sèche.

La coque, utilisée comme combustible pour le séchage du coprah, permet aussi de fabriquer un excellent charbon actif, utile dans l'industrie chimique, pharmaceutique et alimentaire (filtration des eaux, absorption des odeurs, etc...). Les cendres riches en potassium font un engrais apprécié en particulier pour la culture de l'arachide. Les coques sont également très utilisées dans l'artisanat local (ustensiles de cuisine, coupes, bols...).

L'albumen, gélatineux dans les noix fraîches, plus dense dans les noix sèches, toujours solidaire de la coque, constitue la réserve glucido- lipidique de la noix de coco; séché artificiellement à moins de 6% de teneur en eau il donne le coprah dont on extrait l'huile. L'albumen broyé, mélangé à l'eau, donne un extrait, le lait de coco.

L'eau de coco légèrement sucrée, indemne de germes microbiens, est une boisson saine et très agréable . Elle est également utilisée pour la cuisine.

A.3.6. Les systèmes de reproduction

Plusieurs études de la biologie florale ont mis en évidence l'existence d'une variabilité du mode de reproduction chez le cocotier (RAO et KOYAMU, 1955; ROGNON, 1976, SANGARE et al., 1978).

La phase mâle commence dès l'ouverture de l'inflorescence et s'achève à la chute de la dernière fleur mâle.

La phase femelle dure de l'entrée en réceptivité de la première fleur femelle à la nécrose des derniers stigmates.

Le recouvrement entre les phases mâles et femelles permet une classification en quatre groupes:

* *Allogame*: phase femelle courte sans recouvrement avec la phase mâle de la même spathe (Grand Ouest Africain).

* *Allogame préférentiel* phase femelle courte partiellement recouverte par la phase mâle de l'inflorescence suivante. Cette classe comprend la plupart des génotypes grands (Polynésie, Vanuatu, Cambodge, Malaisie, Comores et certains GOA). Le Nain de Niu Leka est le seul nain connu de ce type.

* *Autogame* : phase femelle longue incluse dans la phase mâle de la même inflorescence: (nains Jaune et Rouge de Malaisie, Rouge du Cameroun et de Polynésie).

* *Autogame préférentiel*: phase femelle recouverte partiellement par les phases mâles de la même inflorescence et de la suivante: nains verts du Brésil, de Sri Lanka et de Thaïlande, nain brun de Nouvelle- Guinée.

Le recouvrement entre deux inflorescences successives dépend du rythme d'émission des fleurs, donc des conditions écologiques .

* *Hybrides*:

La combinaison deux à deux de différents génotypes de cocotier par fécondation artificielle permet d'obtenir des hybrides avec les qualités les plus marquantes des parents; ils sont testés au champ suivant un dispositif expérimental; les observations portent sur le développement et la production: il faut attendre une douzaine d'années pour choisir tel ou tel hybride. La fécondation des fleurs femelles de Nain par pollen de Grand donne des hybrides possédant les caractères de précocité et de productivité des Nains (quantité de noix) avec des fruits plus gros et donnant plus de coprah (caractéristique des Grands).

L'hybride PB 121: Nain jaune de Malaisie x Grand Ouest Africain est le plus planté dans le monde du fait de ses facultés d'adaptation.

Pour l'obtenir, on peut procéder par pollinisation artificielle ou planter des Grands au milieu des Nains.

Dans les deux cas, les spathes des cocotiers mères sont ouvertes avant maturité et les épillets contenant le pollen sont soigneusement retirés et stockés dans un sac avant d'être enfouis pour une destruction totale. `

Cette technique exige une exécution rigoureuse avec une équipe d'émasculateurs qui visite les arbres tous les jours pour éliminer les fleurs mâles dès que les spathes présentent un gonflement près du point d'insertion et un sillon longitudinal marqué.

Les fleurs femelles sont pollinisées manuellement quand elles sont réceptives avec du pollen préparé à cet effet.

L'autre technique d'hybridation consiste à complanter les cocotiers parentaux dans la proportion d'un pollinisateur pour cinq arbres mères.

Dans la mesure où il n'y a pas pollinisation manuelle, cette deuxième méthode demande moins de personnel mais elle présente quelques inconvénients:

- la plantation se fait en une fois or les Nains sont plus précoces et il faut attendre que les pollinisateurs Grands soient à maturité pour concevoir des hybrides; si l'on peut se procurer ailleurs le pollen nécessaire, on a 20% d'arbres non productifs.

- l'inconvénient majeur c'est la difficulté dans ce cas de changer de pollinisateur s'il était avéré que le changement soit bénéfique: la suppression des pollinisateurs fera perdre 20% de surface et 7 à 8 ans avant de pouvoir les remplacer alors que l'on peut toujours se procurer tel ou tel pollen sur le marché mondial.

Production du pollen: sur les cocotiers pères, les épillets sont prélevés puis transportés au laboratoire où ils sont légèrement broyés pour être séchés à 30°C dans une salle à 45 ou 50% d'humidité. Après tamisage, on récupère le pollen qui peut être conservé

en sachets plastiques soudés à -18°C pendant quelques temps; pour une conservation de longue durée, il faut une déshydratation poussée du pollen puis mise en flacons sous vide et conservation au congélateur.

A.4. CONDITIONS CULTURALES DU COCOTIER

Le cocotier est une plante qui exprime toutes les caractéristiques du milieu dans son comportement végétatif. L'observation du stipe et de la couronne de feuilles permet de connaître son état de nutrition. Observé en Côte d'Ivoire en 1986 l'hybride PB 121 présente un aspect vigoureux avec une couronne foliaire bien fournie dans les conditions normales; par contre, en conditions hydromorphes, le stipe est peu développé, pointu, avec quelques feuilles jaunes; il est stérile.

Au Viet Nam, dans les zones soumises aux défoliants, les cocotiers présentent sur leur stipe un rétrécissement caractéristique correspondant à la période pendant laquelle ils ont subi la toxicité.

Comme pour tous les végétaux, les deux facteurs naturels qui influencent sa croissance et son développement sont le climat et le sol.

A.4.1. Le climat

Plante caractéristique de la zone tropicale humide, le cocotier est capable de s'adapter à des climats relativement secs, à condition que les sols soient suffisamment sableux et profonds. Géotype joue un rôle important dans son adaptation aux conditions climatiques.

Les facteurs climatiques principaux qui influencent la culture du cocotier sont: la pluviosité, la température, l'insolation, l'humidité atmosphérique et le vent.

a. La pluviosité

L'optimum pour le cocotier représente un total de précipitations d'environ 2500 mm/an bien répartis dans l'année, ce qui correspond à la zone équatoriale. En dehors de cette zone, le cocotier peut être soumis à des périodes de déficience en pluviosité suivant les saisons car l'eau utile n'a pas toujours pour origine l'eau de pluie (FREMOND et al, 1966). Dans beaucoup de régions, l'eau est fournie par la nappe phréatique existant à une profondeur favorable pour le système racinaire soit 1 à 2 m.

La nappe est d'une importance primordiale lorsque la pluie est déficitaire. En cas d'excès d'eau, c'est le drainage du sol qui est prépondérant. Sur un sol bien drainé, le cocotier peut se développer même avec 4000 mm d'eau (OHLER, 1984). D'après plusieurs auteurs, la quantité minimum pour les besoins en eau du cocotier varie de 1000 à 1500 mm par an, ce qui correspond à une consommation journalière d'environ 200 l par arbre. Au dessous de 130 mm par mois, sans apport de la nappe phréatique, on constate une baisse de rendement qui correspond à la diminution du taux de nouaison (FREMOND et al.,1966)

TAMMES, 1947, a démontré la conséquence de la période sèche très sévère de 1930 sur la production du cocotier et du coprah à la plantation Talissa du North Sulawesi,

Indonésie. MENON et PANDALAI (1958) ont trouvé qu'une période sèche apparue 15 à 16 mois avant l'ouverture de la spathe entraînait son avortement .

Les conditions climatiques défavorables au cocotier, en particulier les périodes de sécheresse, entraînent une augmentation du taux d'avortement (ZILLER et al.,1966).

ABEYWARDENA et MATHES (1971) ont observé un avortement important lié à la sécheresse des mois précédents pendant la période de janvier- février et juillet- août au Sri Lanka. COOMANS (1975) a observé une corrélation négative entre le nombre de noix et le déficit hydrique accumulé pendant 5 mois ou l'année d'avant. Il a conclu que la satisfaction des besoins en eau était essentielle pendant toute la période comprise entre le moment où le primodium floral apparaît et celui de la différenciation des fleurs femelles. C'est pendant cette période que le nombre de fleurs femelles est déterminé, avant l'ouverture de la spathe.

Pendant les 12 mois de murissement, NAMBIAR et al.(1969) ont distingué 3 phases de développement de la noix, après fécondation:

- la première, de progression lente, dure environ 3 mois.
- la deuxième, avec un développement rapide, environ 4 mois.
- la troisième, pendant laquelle le développement de la noix diminue, dure environ 2 mois.

C'est la deuxième phase qui est importante pour la corrélation entre le volume, le poids de la noix et le poids du coprah. Pendant cette phase, des conditions défavorables provoquent la diminution de ces facteurs de production.

Normalement, après la fécondation, environ 30% de fleurs fécondées chutent naturellement. C'est la chute physiologique pour équilibrer le développement du régime de la noix. Après deux mois, l'avortement éventuel a pour cause les conditions de nutrition ou les contraintes climatiques.

D'après COOMANS (1975) le déficit hydrique cause une réduction de l'émission des feuilles, ce qui entraîne la baisse du nombre des inflorescences pendant la période sèche.

Un essai d'irrigation du CPCRI en Inde a prouvé que le poids du coprah pouvait augmenter de près 50 %.

OCHS (1977) a trouvé sur le PB121, pour un déficit hydrique de 600 mm, une diminution de la production de 40%. Dans les mêmes conditions, le palmier à huile perd 60% de production.

Enfin, la sensibilité à la sécheresse dépend également de la variété. POMIER et de TAFFIN (1986) ont observé que le Grand Ouest Africain (GOA) et l'hybride de GOA et Grand Rennell sont très sensibles, alors que le PB 121 est plus tolérant, comme on peut le constater sur la réduction du nombre de feuilles et sur le taux d'avortement.

b. La température:

La température optimale pour la culture du cocotier est de 27°C (ZILLER et al., 1966) avec des variations diurnes ne dépassant pas 5°C à 7°C (CHIID,1974). Dans certaines situations, les basses températures représentent un facteur limitant. Une relation positive significative existe entre la production et la température moyenne enregistrée pendant les 18 mois

précédant la récolte ainsi qu'entre la production et les températures mensuelles minima de la période 4-18 mois précédant la récolte lorsqu'elles sont inférieures à 23°C. La durée de chaque période de basse température a une influence, COOMANS (1975). ZILLER et al.(1966) ont observé des anomalies de fructification aux îles Loyauté, lorsque les températures minimales nocturnes s'abaissent jusqu'à 10°C. BLAAK (1983) a observé des dégâts mortels à HAÏNAN sur des PB 121 de pépinière et des dégâts sur feuilles de PB 121 âgés de 2,5 ans, avec des températures de 7°C. OHLER (1984) a noté une relation positive entre le nombre de fleurs femelles par inflorescence et la température moyenne enregistrée les 29^e et 30^e mois avant la récolte.

c. L'insolation:

" Le cocotier est un arbre de grande lumière; la durée de l'ensoleillement, en favorisant la photosynthèse, agit sur la formation du coprah"(ZILLER et al., 1966) . La durée minimale d'insolation pour la culture du cocotier est de 2000 heures par an. L'ensoleillement ne présente aucune limite supérieure.

d. L'humidité atmosphérique:

Une hygrométrie de 80% à 90% permet un développement optimal de la plante. Au desous de 60% , on observe une fermeture progressive des stomates entraînant une baisse de la photosynthèse et une réduction de la production.

e. Le vent:

Le vent joue un rôle important dans la fécondation des cocotiers allogames par la dissémination du pollen. Le cocotier est souvent cultivé dans des régions soumises à des vents parfois très violents (typhons) pouvant causer des dégâts considérables, l'enracinement du cocotier n'étant pas du type pivotant.

A.4.2 . Les sols

Le cocotier peut s'adapter à plusieurs types de sols, de sableux à argileux. Le facteur sol est aussi important que le facteur climat pour son développement parce que ce milieu contient les solutions nutritives absorbées par le système racinaire et assure les échanges d'ions nécessaires pour sa croissance et son développement.

Sol et climat ont toujours une influence réciproque, l'un compensant les facteurs limitants de l'autre: ainsi une pluviosité faible et mal répartie peut être compensée par l'importance de la capacité de rétention du sol ou par une nappe phréatique proche des racines. L'interaction sol- climat permet de définir les meilleures zones pour la culture du cocotier.

Dans le cas de sols à fertilité initiale basse, de bons rendements ne pourront être obtenus qu'après amélioration de celle-ci par des techniques culturales adéquates et une fertilisation régulière (de TAFFIN, 1993).

B.1. INTRODUCTION

Omniprésent le cocotier s'adapte à des conditions écologiques très différentes d'un site à l'autre:

- dans la région nord, delta du fleuve Rouge, près de Hai Phong, il supporte une période de basses températures préjudiciables à son développement.
- dans la région centre vers Quang Nam, Da Nang, Binh Dinh, Phu Yen, Nha Trang, les sols sont pauvres, sableux et le cocotier peut subir un déficit hydrique.
- sur le plateau de Bao Loc à 800 m d'altitude, le cocotier est encore présent.
- dans les provinces du delta du Mékong, les conditions climatiques sont très favorables et les conditions de sols variables, depuis les sols alluviaux très bénéfiques aux sols sulfatés acides plus ou moins salés à potentialités plus limitées.

D'après l'estimation de VOCARIMEX, la compagnie nationale des huiles végétales, le cocotier occuperait une superficie de 280.000 ha au Viet Nam; cette estimation est le résultat d'enquêtes sur le nombre de cocotiers détenus par chaque propriétaire avec une densité théorique de 160 par hectare.

En fait, sauf dans les régions d'altitude, en plantation ou en alignement le long des canaux, le cocotier fait partie du paysage Vietnamien. Tous les paysans des zones du delta et des plaines côtières possèdent quelques unités pour la consommation familiale, certains en font des plantations pouvant atteindre plusieurs dizaines d'hectares pour commercialiser les différents produits déjà mentionnés.

C'est aussi un élément de protection du milieu: dans le delta du Mékong la destruction de la mangrove entraîne une remontée plus importante de la marée donc une salinité stérilisante que le cocotier peut supporter dans certaines limites; il assure ainsi une protection des sols et joue un rôle de coupe vent contre les typhons.

Dans le delta du Mékong, tout nouvel arrivant commence par construire une maison et planter quelques cocotiers; plus tard il y aura toujours une jeune plantule en cours de développement pour remplacer un sujet trop vieux.

A partir de 1978, des plantations d'Etat ont été entreprises dans le cadre d'un plan national de développement de la production de coprah mais des erreurs d'aménagement et le manque d'entretien font que sur les 200.000 ha de cocotier du delta du Mékong, les plantations d'Etat n'occupent pas plus de 30.000 ha.

La consommation d'une famille paysanne est estimée à une noix par jour et par personne; en effet ce n'est pas seulement pour la boisson que l'on utilise l'eau de coco des noix vertes, la cuisine se fait le plus souvent à l'eau de coco qui a toutes les qualités d'une eau pure légèrement sucrée et riche en vitamines; en pressant l'albumen on obtient du lait de coco, riche en lipides, utilisé pour certaines recettes culinaires. Avec les noix mures,

l'albumen, qui se présente à l'état solide, peut être râpé pour enrichir les plats et les pâtisseries.

Traditionnellement la noix mature est débourrée puis ouverte à la machette, l'eau est recueillie dans un récipient pour utilisation à court terme ou fabrication de vinaigre; chauffé on obtient un liquide très concentré de couleur brun foncé utilisé pour colorer les plats de viande ou de poisson ; l'albumen solide solidaire de la coque est séché à l'air pendant 48 heures en saison sèche ou au four en saison des pluies; puis il est extrait et séché au four pour donner le coprah.

Si le séchage n'est pas conduit dans de bonnes conditions, humidité ambiante et température permettent le développement d'un champignon *Aspergillus flavus*, qui en se développant sur le coprah produit une toxine très dangereuse, cancérigène: l'aflatoxine. Cette toxine existe également dans les tourteaux résiduels après extraction de l'huile, les rendant impropres à l'alimentation animale.

Le combustible des fours provient de la noix, bourre et coques ou des balles de riz.

Pour préparer son huile, la ménagère procède manuellement: elle râpe l'albumen frais de la noix mature et le mélange à l'eau bouillante; en faisant chauffer ce mélange, l'huile surnage en surface, d'où elle est retirée à la cuillère.

B.2. LES PRINCIPAUX GENOTYPES DU COCOTIER AU VIET NAM:

Le Viet Nam possède une grande diversité de cocotiers, des Grands, des Nains, des hybrides naturels et des hybrides résultant des programmes de recherche.

B.2.1. Les Grands (planche 5)

Il sont répandus dans toutes les provinces et dans les plantations villageoises. Les formes et dimensions des noix permettent de distinguer différents génotypes (tableau 4):

a . *Le TA*:

La noix est sphérique de 20 cm de diamètre, avec à l'opposé du pédoncule un pôle déformé en forme de prisme; la bourre est épaisse, l'albumen abondant peut donner 300 gr de coprah par noix; on peut récolter 58 noix/ cocotier/ an.

b. *Le DAU*:

La noix est sphérique, de dimensions plus réduites, la bourre est plus mince, le poids de coprah limitée à 250 gr par noix; par contre, le nombre de noix peut atteindre 70.

c. *Le BUNG*:

La noix est presque parfaitement sphérique avec un diamètre de plus de 25 cm; la bourre est très épaisse et la production de coprah peut dépasser 325 gr/ noix; le nombre de noix se limite à une quarantaine par cocotier.

Les teneurs moyennes en huile du coprah varient de 61,9 à 64,1%.

B.2.2. Les Nains (planche 5)

Par rapport aux Grands, il n'y a pas de différence dans la répartition géographique et on peut avancer une proportion d'un tiers de Nains pour deux tiers de Grands.

Les Nains sont recherchés pour leur précocité et pour la qualité organoleptique de leur eau légèrement sucrée qui en fait une boisson très agréable quand la noix est verte.

Les trois Nains décrits ci-après sont du type autogame préférentiel, la phase femelle de l'inflorescence étant recouverte partiellement par les phases mâles de la même inflorescence et de la suivante.

Les principaux génotypes sont les suivants:

a. *Le EO:*

Il présente une noix très petite, de moins de 15 cm de diamètre, de couleur brun typique, même quand elle n'est pas mûre; la bourre est peu épaisse et chaque noix ne donne guère que 60 gr de coprah, mais on peut compter plus de 280 noix par cocotier.

b. *Le XIEM:*

La noix est un peu plus grosse que celle du Eo, de couleur verte, la bourre est assez épaisse. On peut compter 100 noix par cocotier et chaque noix donne 100 gr de coprah.

c. *Le TAM QUAN:*

La noix a les mêmes dimensions que celle du XIEM mais la couleur est d'un jaune intense; la bourre est également assez épaisse mais la teneur en coprah est beaucoup plus importante, 150 gr par noix et le nombre de noix est plus restreint: 75 noix par cocotier.

B.2.3. Cas particulier:

Le SAP est un Grand qui a de grosses noix à bourre mince et présente une particularité : quelques noix, une ou deux par régime, sont remplies d'un gel opalescent, mélange d'eau et d'albumen; cette particularité est très appréciée en pharmacopée et les noix des cocotiers SAP sont recherchées soit pour la consommation soit pour être mises en germination; le cocotier issu de noix SAP présente la particularité SAP : quelques noix sont remplies d'un gel opalescent.

Ce phénomène n'est pas spécifique au Viet Nam, il existe aussi aux Philippines, le Macapuno, dont la culture in vitro permet d'obtenir des cocotiers dont toutes les noix sont gélatineuses (LY TUNG, 1983).

B.2.4. Les hybrides

Dans la nature, les hybrides naturels existent par la fécondation entre Grands ou entre Grands et Nains. Ainsi, lorsqu'on trouve des sujets plus productifs que leurs voisins dans les mêmes conditions culturales, on peut considérer qu'il s'agit d'un phénomène d'hybridation naturelle.

Pour obtenir des hybrides parfaitement référencés, un champ semencier a été installé en 1988 sur sols sableux dans une zone plutôt réservée à la culture de l'hévéa; ainsi, il n'y a



Photo 1: Nain vert: le Xiem



Photo 2: Nain brun: le Eo

Planche V: Les principaux cocotiers au Viet nam



Photo 3: Grand vert: le Dau



Photo4: Grand vert: le Ta

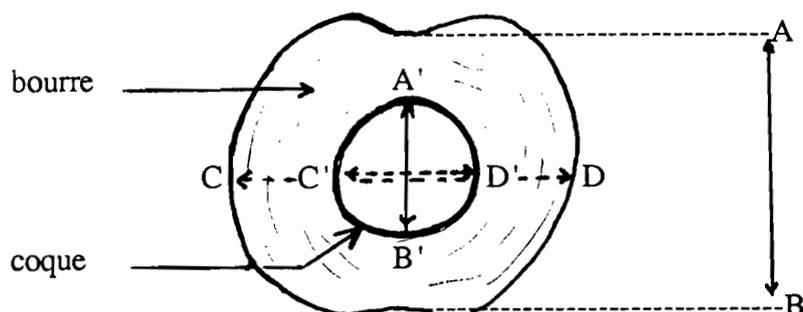
pas de risque de contamination avec d'autres cocotiers existants. Ce champ semencier comprend actuellement 4000 Nains Jaunes de Malaisie utilisés comme arbres mères; fécondés avec du pollen de Grand Ouest Africain, ils fourniront les semences de PB 121 pour le programme de développement du cocotier du Viet Nam.

Tableau 4: Caractéristiques biologiques des principaux génotypes de cocotier au Viet Nam.

Génotypes		GRANDS			NAINS		
		TA	DAU	BUNG	EO	XIEM	TAM QUAN
Forme de la noix	AB cm	23,1	20,0	27,6	14,8	17,2	17,5
	CD cm	20,7	14,4	24,0	10,3	13,9	14,6
Forme de la coque	A'B' cm	15,5	15,5	16,2	7,7	11,2	10,8
	C'D' cm	12,7	11,0	15,4	8,1	11,7	11,2
Nombre de noix/rég		4,6	5,1	3,3	21,6	6,7	5,3
Nombre de noix/ cocotier		58,2	69,2	41,2	285,1	98,5	76,3
PCoprah/noix (gr)		308	254	326	59	103	156
NFleurs femelles/infl.		18,9	21,9	14,8	57,0	20,7	26,3
Huile/coprah (%)		63,7	64,1	61,9	63,4	61,6	61,5

(d'après Division sélection, IRHO VN, 1989)

Avec:



B.3. CULTURE DU COCOTIER DANS LE DELTA DU MEKONG:

Dans le delta du Mekong, toutes les plantations de cocotiers se présentent de la même façon: sur des parcelles plus ou moins grandes, ceinturées par un canal principal en communication avec l'un des nombreux bras des affluents du Mékong, sont constituées des banquettes de 5 à 10 m de large, séparées par des canaux qui assurent, suivant les saisons, irrigation et drainage.

Une des exigences du cocotier est en effet d'avoir un système racinaire bien aéré et un bon drainage, condition indispensable pour un bon développement.

Les cultures de cocotier occupent au Viet Nam deux zones écologiques très différentes:

- dans le Centre, sur les sols sableux pauvres où la nappe phréatique est assez profonde et l'évaporation importante, il y a des carences minérales et des risques de déficit hydrique.

- dans le delta du Mékong, les conditions de culture varient suivant les types de sol:

B.3.1. Sur les sols alluviaux enrichis par les apports du Mekong, le cocotier se développe vigoureusement dans les parcelles bien drainées; en effet le système racinaire doit disposer d'une tranche de terre d'environ 1 m d'épaisseur au dessus du niveau de la nappe. L'association de cultures intercalaires nécessite l'apport d'engrais NPK pour éviter tout risque de carence.

La réalisation des canaux de drainage nécessite un travail de terrassement important qui n'exige pas de précautions particulières.

B.3.2. Sur les sols sulfatés acides : les plantations ont la même présentation que sur les sols alluviaux: les cocotiers sont plantés sur des banquettes de terre séparées par des canaux qui servent à la fois à l'irrigation et au drainage.

Techniques spécifiques à la culture sur les sols sulfatés acides: (planche VI).

Nous savons que ces sols présentent en profondeur une couche de pyrite qui, oxydée, entraîne une acidification qui peut abaisser le pH au dessous de 3.

Les aménagements faits sans précaution ont été catastrophiques dans la mesure où ils ont acidifié et stérilisé des surfaces importantes.

La connaissance de l'existence de cette couche permet de recommander les conditions d'exécution des banquettes:

- des sondages préalables doivent situer la profondeur de la couche de pyrite.
- les terrassements successifs pour constituer les mottes puis les banquettes ne doivent pas atteindre cette couche.

Les parcelles de 2 à 50 ha sont généralement ceinturées d'un canal principal en relation avec une rivière ou un bras du Mekong. Ces sols étant inondables, il faut



Photo 2: Constitution de la banquette par remblayage.

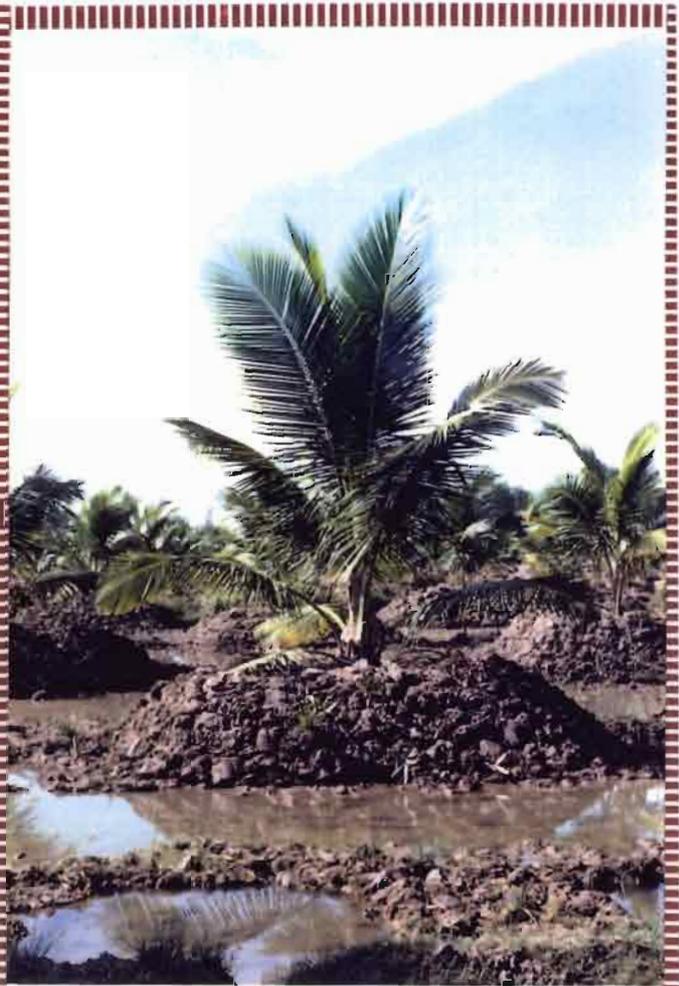


Photo 1: Faire les mottes pour la 1ère année.

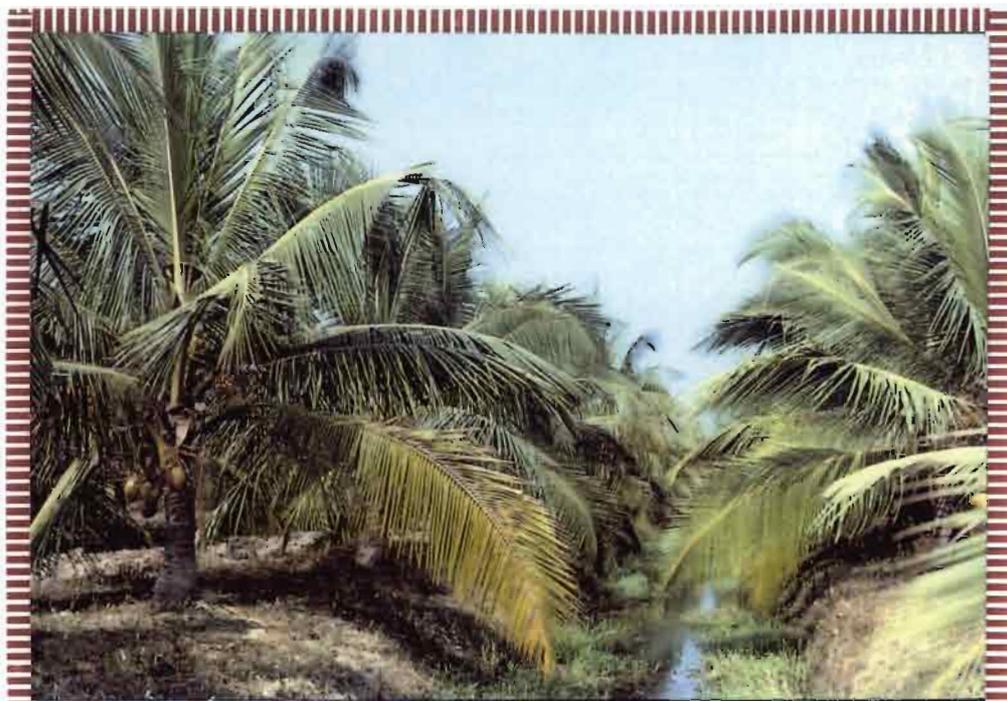


Photo 3: Les banquettes constituées et le canal d'irrigation drainage.

commencer par constituer une motte toujours exondée, sur laquelle on va déposer une plantule de cocotier; en enrichissant ces mottes avec de la bonne terre, on réalise des banquettes continues dont la hauteur doit être surélevée d'environ 0,6 m au dessus du terrain initial pour que le système racinaire reste bien aéré; pour maîtriser ce niveau, on peut installer une vanne à la prise d'alimentation sur la rivière, vanne à réglage automatique en fonction du niveau d'eau de la rivière, lui-même fonction de l'état de la marée.

Il existe deux types de banquettes:

- banquette simple: largeur de 3 à 6 m, le cocotier est planté sur une ligne médiane.
- banquette double: largeur de 8 à 10 m, ce qui permet de planter deux lignes.

On commence souvent par des banquettes simples. Ensuite, on remplit l'espace entre deux banquettes avec les déchets, les feuilles de cocotier, l'alluvion qui est apportée par le fleuve pour constituer une banquette double, avec la possibilité d'établir des cultures intercalaires entre les deux rangs de cocotiers.

Tous les deux ans, on fait le remblayage par la boue qui s'accumule dans le canal et qui constitue une source d'engrais pour les plantes.

Le calendrier est le suivant:

-*première année*: on fait des mottes en forme de trapèze avec:

- . base supérieure AB: 2 m
- . base inférieure CD : 3,5 m
- . hauteur AH: 0,6 m

pour récupérer toutes les bonnes terres dans cette motte.

Le cocotier est planté sur la motte; autour du cocotier, on peut semer du riz.

- *deuxième année*: on élargit la motte, toujours avec la bonne terre pour obtenir:

- . base supérieure : 3,5 m
- . base inférieure : 5 m.

On peut encore semer du riz mais sa production va diminuer.

- *troisième année*: on relie les mottes entre elles pour former la banquette simple avec en surface une largeur de 6 m.

Le canal aménagé entre les banquettes à l'occasion de ces terrassements aura une largeur variable suivant la profondeur de l'horizon de pyrite.

B.3.3.Sur sols salés: dans les zones côtières du delta à salinité élevée, on fait des digues pour empêcher la venue de la marée surtout pendant la saison sèche. En saison des pluies, l'eau douce est maintenue dans les canaux grâce à un système de vannes. Ainsi les sols sont dessalés mais si l'eau des canaux est maintenue à un niveau trop élevé, il existe un risque d'asphyxie du système racinaire et, de diminution de la production encore plus importante que celle liée à la salinité .

*C.TECHNIQUES CULTURALES DU COCOTIER
ET NUTRITION MINÉRALE*

C.1. PRODUCTION DES PLANTULES

L'obtention de jeunes plants se fait en trois temps:

- . Préparation des semences
- . Mise en germoir
- . Transplantation à la pépinière.

- La préparation des semences: les noix mûres sont récoltées et puis entaillées au tiers de la calotte de la noix, côté pédoncule ; l'entaille ne doit pas être trop profonde pour ne pas endommager le germe.

- Le germoir: des planches de 2 m à 2,5 m de large sont séparées par des allées de 0,5 m assurant le drainage du dispositif; sur un sol soigneusement nettoyé et ameubli, les noix sont alignées, entaille vers le haut pour absorber l'eau, deux tiers enterrées dans le sol, un tiers restant au soleil. Chaque planche ne doit comporter qu'un génotype d'une même récolte pour contrôler la vitesse de germination, un des caractères importants pour estimer la vigueur et la précocité des plantes correspondantes (de TAFFIN, 1993).

L'arrosage doit être assuré sur la base de 4 à 5 mm/ jour; sans excès, pour éviter des pourritures pouvant entraîner la destruction du germe. En cas de présence de termites, il faut faire des traitements de protection.

Dès que le germe atteint quelques centimètres, une sélection doit privilégier la vitesse de germination, la robustesse et la couleur des germes.

Compte tenu de ces critères de sélection, dans un délai de 5 mois pour les cultivars à germination lente, 4 mois pour le autres, les plantules de qualité sont repiquées avec leur noix soit dans un sac plastique pour faciliter leur transport ultérieur soit dans une pépinière.

- La pépinière: la pépinière en sac plastique présente un meilleur pourcentage de reprise et améliore la précocité (jusqu'à 6 mois). Les sacs en polyéthylène noir, de 25 litres de capacité, résistant aux rayons ultra violets, perforés jusqu'à quelques centimètres du fond, sont remplis d'une terre légère, tamisée, éventuellement enrichie de compost.

Les sacs sont alignés sur des planches dont les dimensions sont liées aux possibilités d'arrosage; le maintien des plants en pépinière peut durer de 6 à 12 mois suivant les programmes de transplantation au champ.

Arrosage, entretien, suivi phytosanitaire, élimination des sujets à développement limité sont les actions courantes à mener dans la pépinière.

Une bonne plantule sélectionnée pour la replantation doit avoir les caractéristiques suivantes:

- grosse circonférence au collet.
- feuilles vertes et bien développées
- feuilles les plus jeunes déjà différenciées en folioles.

Les plants anormaux, à éliminer, sont chétifs ou présentent des difformités plus ou moins graves (filés, dressés, à folioles réduites ou soudées, à chimères, albinos, etc..).

C.2. TECHNIQUE DE CULTURE

Après une étude pédologique permettant de choisir un terrain convenable pour le cocotier, un plan d'aménagement doit être établi avant de réaliser une plantation.

Selon la taille du projet, il faut définir les surfaces à planter, la dimension des parcelles, la densité de plantation et proposer également des aménagements particuliers comme le système de drainage ou l'aménagement des banquettes. D'abord, on défriche et on débroussaille le sol, les déchets végétaux et les troncs de cocotier (en cas de replantation sur des vieilles cocoteraies) sont alignés en andains que l'on fait brûler pour éviter le développement des insectes ravageurs du cocotier (*Oryctes* et *Rhynchophore*). L'utilisation des légumineuses de couverture (*Pueraria javanica* ou *P. phaseolaris*, *Centrosema pubescens*, *Calopogodium* , etc...) est souvent appliquée dans les plantations industrielles si l'on n'y fait pas de culture associée, ce qui permet d'enrichir le sol en azote et en matière organique, de contrôler les mauvaises herbes, de diminuer les risques d'érosion et d'éviter le développement de *Oryctes* dans les stipes tombés accidentellement.

Le cocotier est une plante à croissance symétrique, le maximum d'éclairement est obtenu grâce au dispositif de plantation en "triangle équilatéral" et les lignes sont orientées nord- sud. Mais ce dispositif peut être modifié selon le but, monoculture ou cultures associées, pour éviter dans la parcelle les problèmes de concurrence pour la lumière, la nutrition et les ressources en eau.

Normalement, la densité de plantation est de 143 cocotiers à l'hectare pour les Grands et de 160 pour les hybrides de Nains, ce qui correspond à des triangles équilatéraux de 9 m dans le premier cas ou 8,5 m dans le deuxième.

La réalisation du drainage dépend du niveau de la marée, de la situation de la plantation par rapport à la rivière ou à la mer. Sur les sols sulfatés acides, il faut faire très attention à la profondeur où se situe la couche de pyrite .

C.3. LA RECOLTE:

A maturité, les noix tombent d'elles mêmes mais il peut être préférable de les cueillir pour éviter les vols ou la germination des variétés les plus précoces. Les cocotiers nains sont récoltés tous les mois, les hybrides et certains grands tous les deux mois.

La noix mûre a un épiderme brun, en la secouant, on entend un clapotis très caractéristique. Les régimes sont coupés à la machette sur les petits cocotiers, avec un crochet au bout d'un bambou sur les plus grands.

Le débouillage peut se faire sur place si la fibre n'est pas utilisée de façon industrielle. Cette pratique qui réduit la charge à transporter permet en outre de restituer au sol la majeure

partie des prélèvements potassiques et chlorés. Enfin, on peut extraire l'albumen au champ et le transporter au four sans délai pour obtenir un coprah de qualité.

La récolte d'un hectare d'hybride performant, donnant 3,3 tonnes de coprah par an, nécessite suivant les cas le transport de 6 tonnes (albumen seul) à 18 tonnes (noix entières non débourrées).

C.4. NUTRITION MINERALE

Palmier le plus cultivé dans le monde, le cocotier est le plus souvent implanté sur les sols des tropiques humides où dominant latérite et sable, sols susceptibles d'être déficients en N, P, K, Ca et Mg du fait de la lixiviation.

L'étude de la nutrition du cocotier est délicate car les facteurs climat et sol ont une action plus ou moins rapide et plus ou moins récurrente sur la production.

Les méthodes utilisées pour étudier la nutrition minérale du cocotier ont été chronologiquement:

Celle de NATHANAEL, 1958:

- la définition des besoins par approximations successives.
- l'analyse du sol.

Celle d' OLLAGNIER, OCHS, MARTIN, 1970:

- le bilan des exportations d'éléments nutritifs; les nombreuses études entreprises ont donné des résultats très différents.
- la définition du niveau de déficience ou d'excès des éléments minéraux à partir du diagnostic foliaire.

L'IRHO a entrepris des recherches dès 1949 en multipliant les points d'étude sur neuf pays et quatre continents (FREMOND et DE NUCE DE LAMOTHE, 1968) en utilisant le diagnostic foliaire comme support de ces études car il permet de déterminer les besoins de la plante et de mesurer les effets de la fertilisation.

Mise au point par CHAPMAN et GRAY en 1949 et reprise par l'IRHO ensuite, cette technique permet de déterminer la teneur des différents éléments minéraux pour 100g de feuilles sèches.

Comme pour certains éléments, la teneur varie avec l'âge des organes : c'est le cas du phosphore (PREVOT et OCHS, 1962). Pour permettre les comparaisons et interpréter les résultats, le diagnostic foliaire est établi sur la feuille de rang 14 en prélevant 3 folioles de chaque côté du rachis; pour étudier l'évolution de la situation dans le temps, il faut réaliser les mesures sur les mêmes plantes, à la même époque et éviter la saison pluvieuse.

Pour chaque élément, on fixe un niveau critique, teneur de la feuille en dessous de laquelle l'apport de l'élément correspondant augmente économiquement la production et le revenu du producteur.

A partir de ces données, on peut déterminer le type, la forme et l'époque d'application de l'engrais le mieux adapté au sol et à la plante. Le premier travail consiste à déterminer les carences et à en rechercher les causes pour proposer des corrections.

En 1968, l'IRHO avait adopté les niveaux critiques suivants pour 5 éléments:

N = 1,8 à 2,0% Ca = 0,5% (en g pour 100g de
P = 0,120 à 0,130% Mg = 0,300% feuilles sèches)
K = 0,8 à 1,0%

En 1979, MANCIOT et al. de l'IRHO ont ajouté deux éléments le chlore et le soufre et retiennent des niveaux critiques différents suivant qu'il s'agit d'un Grand ou d'un hybride (tableau 5).

Tableau 5: Niveaux critiques des principaux éléments (en % de matière sèche)

	N	P	K	Ca	Mg	Cl	S
GOA (Grand)	1,8	0,12	0,8	0,5	0,3	0,55	0,15
NJM x GOA (Hybride)	2,2	0,12	1,4	0,3	0,2	0,55	0,15

Les besoins essentiels concernent l'azote et le potassium et il est logique que le niveau critique augmente quand on passe du GOA à l'hybride NJM x GOA puisque la production de ce dernier est nettement supérieure à celle du GOA.

En 1978, sur une cocoteraie l'hybride PB121 de 12 ans produisant plus de 3 tonnes de coprah/ ha/an, OUVRIER et OCHS ont recueilli les données présentées dans le tableau 6.

Tableau 6: Hybride PB 121: prélèvement annuel d'éléments nutritifs en kg.

Composantes	Poids (kg)	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S
Epillet	492	3	<1	14	2	2	3	11	1
Tige	349	1	<1	7	<1	1	2	6	<1
Bourre	7.843	19	1	116	5	4	12	92	1
Coque	3.849	5	<1	9	1	<1	2	4	<1
Albumen	6.375	80	13	47	1	8	2	12	6
Total	18.908	108	15	193	9	15	20	125	9

Les exportations concernent principalement le potassium et le chlore dont respectivement 67% et 85% se retrouvent dans la bourre, ce qui confirme l'intérêt du débouillage au champ pour économiser les engrais. Pour KHAN, BIDDAPPA et CECIL (1990), les sols latéritiques et sableux où poussent les cocotiers subissent d'importantes

pertes par lessivage sous les tropiques, pertes qui peuvent atteindre 70,9 % pour l'azote et 7 à 12% pour le potassium. Il existe aussi des pertes en oligoéléments KHAN et al.(1990).

L'utilisation d'engrais est restée exceptionnelle jusqu'à ces dernières années (1% des surfaces aux Philippines en 1979 d'après les conclusions de la réunion FAO du 3-8 décembre à Manille). Pourtant, bien fertilisé, le cocotier hybride est un des outils de développement du petit propriétaire en zone tropicale côtière.

C.4.1.Etude par élément

a.Azote:

En physiologie végétale, l'azote est indispensable à la constitution des aminoacides, des protéines et des acides nucléiques (MARTIN PREVEL, 1978). Sa déficience, sur le cocotier, se traduit par une baisse de production (réduction du nombre des noix) ; on observe un jaunissement de l'appareil foliaire et, en cas de carence, les feuilles sont courtes et peu nombreuses. Conditions pédologiques défavorables, manque d'entretien entraînant un appauvrissement du sol par les adventices sont des causes de carence, mais la plus importante est la pluviosité: trop faible ou mal répartie, la nitrification se fait mal et l'absorption par les racines est réduite (COOMANS, 1974).

Pour le cocotier, le sol doit être humide pour permettre le fonctionnement des petites racines absorbantes qui prospectent l'horizon humifère; ces petites racines meurent dès que la sécheresse s'installe et la nutrition minérale est alors très ralentie.

C'est également durant la saison humide que se produisent l'émergence et le déploiement de nouvelles palmes, ce qui se traduit par une augmentation des besoins en azote.

Faisant suite aux études de MARTIN- PREVEL et MONTAGUT sur la dynamique de l'azote (1966), FREMOND et GONÇALVES au Mozambique (1967) ont montré la supériorité d'un épandage précoce.

Ils ont aussi montré que la production pouvait augmenter sans modification de la teneur des feuilles: en effet, cette teneur est exprimée en pour cent de matière sèche et ne tient pas compte du développement de la masse foliaire qui résulte de l'application d'engrais azoté.

De 1961 à 1966, les mêmes auteurs n'ont pas trouvé de relation avec le nombre de noix, l'effet étant plus net sur la quantité de coprah par noix. Pourtant, ultérieurement, KHOOKAY THYE et al. en Malaisie (1976) et KUNHI MULIYAR et NELLIAT en Inde (1971) ont montré que l'apport d'azote avait un effet dépressif sur la quantité de coprah par noix (10%) mais le bilan reste positif du fait de l'augmentation du nombre de noix(40%).

Sur les sols maigres et sans structure comme les sols coralliens, le seul moyen d'apporter de l'azote est d'utiliser des légumineuses de couverture (POMIER, 1964, 1969).

L'utilisation du *Pueraria* comme plante de couverture présente un double avantage: non seulement cette légumineuse apporte de l'azote mais elle permet également l'éradication des graminées comme l'*Impérata* qui sont grosses consommatrices d'azote.

En matière d'engrais, ce sont les nitrates qui donnent les meilleurs résultats (SMITH 1968, IRHO 1975-79).

b. Potassium

Le potassium a une importance considérable en physiologie végétale, mais son rôle est mal connu sur le cocotier.

La déficience en potassium se traduit par l'apparition de taches rouilles sur deux bandes longitudinales de part et d'autre de la nervure médiane avec jaunissement du limbe à l'extrémité de la foliole.

En cas de carence, il y a jaunissement des feuilles du milieu de la couronne et dessèchement des feuilles basses. La déficience en potassium, d'ordre pédologique, est pratiquement générale, les sols ne possédant pas les grandes quantités dont les cocotiers ont besoin. La correction par les fumures minérales agit sur tous les facteurs de production: nombre d'inflorescences par plante, nombre de fleurs par régime, nombre de noix, poids de coprah par noix. La fumure potassique a des effets spectaculaires et le manque de potassium pendant le jeune âge est irrémédiable (FREMOND et OUVRIER, 1971). Sur certains sols (KUNHI MULIYRAR et al, Inde, 1971; IRHO au Vanuatu), la correction de la déficience en potassium se traduit par une augmentation du nombre de noix sans modification de la teneur de coprah par noix.

Il existe des antagonismes entre le potassium et les autres éléments Ca, Mg et Na. C'est en 1955 que l'IRHO a montré que l'application de fortes fumures de potassium pouvait induire une carence en magnésium, ce qui a été confirmé par COOMANS en 1977 sur des hybrides. Réciproquement, en 1970, BRUNIN a montré que l'application de doses élevées de fumure magnésienne diminuait les niveaux de potassium : il faut corriger la déficience potassique pour que la fumure magnésienne ait une action positive.

c. Phosphore

Le phosphore intervient dans la constitution de l'acide adénosine triphosphorique et des phosphoprotéines, d'où son importance même si les quantités mises en oeuvre sont faibles. Les cas de déficience sont rares, il n'y a pas de symptômes visuels très caractéristiques, mais ralentissement de la croissance et raccourcissement des palmes; les causes sont liées à la pédologie.

Il n'y a que quelques exemples de réactions favorables à la fertilisation phosphatée car il faut des années pour que les réserves d'un sol soient épuisées, les besoins du cocotier étant faibles.

Les premières expérimentations conduites en Côte d'Ivoire de 1957 à 1967 avec 2 kg /plante / an de phosphate bicalcique ont permis une augmentation de la teneur en phosphore des feuilles sans amélioration notable sur la production du GOA (BRUNIN, 1968).

A Ceylan, il a fallu attendre 26 ans pour obtenir un effet significatif sur la production (Ceylan coconut 64-65-66).

L'incidence sur la production est liée à l'augmentation du nombre de fleurs femelles.

Ce n'est que très récemment que les expériences ont permis de mieux situer la déficience en phosphore et de fixer éventuellement le niveau de rentabilité de la fumure. En général, l'application d'une fumure minérale phosphatée s'accompagne d'une augmentation significative des teneurs en phosphore dans les feuilles (MANCIOT et al, 1979). Des précautions doivent être prises pour que les engrais apportés restent assimilables par les plantes. Les réactions entre azote et phosphore sont étroites pour toutes les plantes et en particulier pour le cocotier; dans ce dernier cas , la corrélation est significative pour les feuilles âgées seulement, elle n'existe pas dans les jeunes feuilles; ceci justifie que le diagnostic foliaire se fasse sur la feuille de rang 14.

En présence d'apport **potassique**, les réponses sont très variables :

- aux Philippines, le niveau de phosphore augmente.
- en Indonésie, Océanie et au Mozambique, il n'y a pas d'influence.
- en Côte d'Ivoire, le niveau de phosphore baisse.

Pourtant, on considère que la fumure potassique améliore la nutrition en phosphore (BRUNIN, 1968).

d. Calcium

Cet élément joue un rôle dans la formation des parois cellulaires; les symptômes visuels pour une déficience marquée - 0,1 % de la matière sèche alors que le niveau critique est donné à 0,5 % et que 0,33 soit considéré comme convenable, MAGAT (1975) - se traduisent par le jaunissement de l'extrémité des folioles, phénomène pouvant aller jusqu'à la nécrose.

Ce jaunissement est irréversible, il aboutit au dessèchement de la feuille après que les taches soient devenues coalescentes.

Il existe en outre des anomalies sur le système racinaire; en nombre insuffisant, de longueur réduite à 25 cm, elles sont généralement pourries à l'extrémité. Ces symptômes correspondent à un taux moyen de la feuille de rang 14 inférieur à 0,085 pour cent.

En Côte d'Ivoire, l'implantation d'un champ semencier sur sols lessivés après 46 ans de cocoteraie a mis en évidence une déficience en calcium (DUFOUR- QUILLEC- OLIVIN- RENARD, 1977- 1983).

L'expérience mise en place a permis de constater que la carence en calcium avait une influence sur les différents génotypes et en 1980 un essai d'apport calcique s'est ajouté aux expériences lancées en 1977 sur la nutrition minérale.

La fumure calcique a eu un effet net sur l'accroissement de la taille du collet puis du nombre de folioles de la feuille 3. Après 3 ans , les feuilles des sujets traités sont plus longues que celles des témoins.

L'apport de calcium se traduit par le développement du système racinaire mais il n'y a pas d'influence sur la production. On observe en outre au niveau du diagnostic foliaire, le maintien des teneurs en phosphore et en potassium et une baisse des teneurs en magnésium.

Les teneurs en calcium sont augmentées par les applications d'engrais azotés et phosphatés; au contraire, la fumure potassique tend à diminuer les teneurs en calcium.

Dans les sols riches en calcium (atoll corallien par exemple), on peut constater des désordres graves: carences en potassium, manganèse et fer.

e. Magnesium

Le rôle du magnésium est important puisqu'il intervient dans la constitution de la chlorophylle, mais le niveau critique est faible 0,3% pour les Grands et 0,2% de matières sèches pour les hybrides.

En cas de carence, il y a jaunissement des folioles des feuilles les plus âgées, la décoloration étant accentuée pour les parties exposées au soleil. La partie des folioles restant près du rachis reste verte alors que l'extrémité prend une teinte rouge brun correspondant à une nécrose.

Il y a une bonne relation entre le taux de magnésium et le nombre de feuilles vertes de la couronne.

Les expériences de nutrition conduites à Port-Bouet en Côte d'Ivoire pendant plus de 15 ans ont mis en évidence une baisse continue de la teneur des feuilles en magnésium et une réponse positive à l'application de cet élément. Le magnésium agit peu sur les teneurs en potassium alors que les applications de potassium dépriment nettement les niveaux de magnésium; pour des accroissements égaux et continus de potassium, le magnésium diminue de moins en moins: il y a donc des transporteurs d'ions spécifiques au magnésium qui ne peuvent être saturés par le potassium, et d'autres, communs au magnésium et au potassium avec peu à peu saturation par l'ion K^+ (BRUNIN, 1970).

Pour COOMANS (1977), l'apparition de carence en magnésium due aux apports de potassium est plus marquée chez le Nain que chez les hybrides.

La déficience magnésienne induite par une forte fertilisation potassique peut réduire la production de 40%. L'application de kiésérite permet de remédier à une situation déficiente.

f. Sodium

Si le sodium est favorable à la croissance de certaines plantes, il ne semble pas qu'il soit indispensable au cocotier ; les applications de chlorure de sodium ont des effets positifs, mais c'est le chlore qui est à l'origine de ces résultats.

L'irrigation de cocotier hybride PB 121 avec de l'eau salée sur sols sableux en Côte d'Ivoire montre qu'avec une concentration correspondant à la moitié de celle de l'eau de mer, on augmente la teneur en sodium dans les feuilles (0,066- 0,135) ainsi qu'en magnésium et en chlore (POMIER et BRUNIN, 1974).

g.Chlore

Le caractère indispensable du chlore pour la nutrition de la plante est connu depuis 1954 mais son effet positif sur le cocotier n'a été mise en évidence qu'en 1971 (OLLAGNIER et OCHS). L'ion chlore intervient sur la croissance: VON UEXKULL (1972); DANIEL et MANCIOT (1973); OGUIIS et al.(1979); la production : MAGAT et al.(1975, 1979); de TAFFIN et QUENCEZ (1980) ainsi que sur la tolérance à certains maladies: ALONZO et PALOMAR (1980); VON UEXKULL(1985).

Les déficiences se manifestent par des taches oranges sur les feuilles les plus âgées. VON UEXKULL a observé en 1972, que la déficience en chlore agissait sur la taille des noix, généralement plus grosse le long des rivages, et tendant à diminuer lorsque la distance à la mer augmente. Les expérimentations conduites à Sumatra par ROSENQUIST (1980) et aux Philippines par PALOMAR, MAGAT et HABANA (1980) ont confirmé la réduction de la taille des noix et concluent en outre à la réduction du nombre de noix. En 1983, DELMAS et DJOUKA en Côte d'Ivoire ont chiffré les apports de chlore par les embruns marins: plus 110 kg / ha / an près de la côte, moins de 20 kg / ha / an à 200km.

Le niveau critique proposé par l'IRHO est de 0,5% (MANCIOT et al, 1979). MAGAT, ALFORJA et OGUIIS (1979) distinguent des niveaux différents suivant que l'on s'intéresse au nombre de noix, au poids de coprah par noix ou de coprah par plante. Pour OUVRIER (1982), c'est dans les bourres que se situe l'essentiel du chlore d'où l'intérêt du débouillage au champ.

Le chlore assimilable par la plante se trouve dans les solutions du sol , solutions qui dépendent de la pluviosité; avec les risques de lessivage, il est recommandé de procéder à des applications fréquentes de petites doses.

La fertilisation avec le chlorure de potassium est d'un grand intérêt dans la mesure où l'on satisfait les besoins en chlore et en potassium, éléments essentiels pour le cocotier ; si les ressources en potassium du sol sont suffisantes , il peut être plus économique d'utiliser le chlorure de sodium.

MAGAT- MARGATE et HABANA (1986), MARKOSE (1989), MARGATE et MAGAT (1986) ont également mis en évidence que les semences provenant de pieds mères ayant reçu du chlorure de sodium ont une germination plus précoce et un meilleur coefficient de germination; les plantules obtenues ont plus de vigueur.

L'action du chlore se situe au niveau des mécanismes de photosynthèse comme l'a montré l'expérience conduite en 1989 par BRACONNIER et D'AUZAC.

En saison sèche le chlorure permet:

- aux stomates de rester ouverts plus longtemps.
- au cocotier d'avoir un potentiel hydrique plus négatif donc de disposer d'une force d'appel d'eau supérieure.

Ces deux actions permettent d'optimiser l'équilibre entre transpiration et assimilation et de maintenir la photosynthèse plus longtemps dans la journée.

Après la déficience en azote (84% des cas), c'est celle du chlore qui est rencontrée le plus fréquemment (52 %) mais cet aspect a longtemps été masqué par l'utilisation du KCl comme engrais potassique.

OLLAGNIER et al.(1983) à partir de quatre expériences conduites en Côte d'Ivoire à différentes distances de la mer, concluent en proposant un niveau critique de 0,25% pour le chlore en soulignant que la déficience se traduit par une moindre résistance à la sécheresse et aux maladies cryptogamiques et en confirmant que l'éloignement de l'océan est déterminant.

h. Soufre

Après la Nouvelle Guinée (SOUTHERN, 1969), c'est à Madagascar qu'ont été observées des déficiences en soufre (OLLAGNIER et OCHS, 1972): cela se traduit sur les jeunes plants par des feuilles de couleur jaune à orange avec nécrose des extrémités qui deviennent grises. Sur les plantes plus âgées, l'appareil foliaire est réduit et les feuilles basses sont nécrosées. Les noix sont peu nombreuses, petites, et le coprah, caoutchouteux, a une teneur en huile très sensiblement réduite.

L'apport de sulfate d'ammonium ou de sulfate de potassium fait reverdir les feuilles en 6 mois; les autres symptômes disparaissent également: le nombre de feuilles augmente ainsi que la production de noix et le coprah perd son caractère caoutchouteux (MAGAT, ALFORJA et MARGATE, 1981). Pour ces auteurs, le niveau critique peut être fixé à 0,13% alors qu'en 1979, MANCIOT et al. proposaient 0,15- 0,20% et SOUTHERN 0,15% dès 1969. Le rapport N/S est important d'où l'intérêt d'utiliser le sulfate d'ammonium pour remédier à une carence.

C.4.2 Les oligoéléments

Le rôle des oligoéléments a été analysé par ESCHBACH et MANCIOT (1981).

a. Bore

Le bore est indispensable au développement des cocotiers; sa carence se traduit par des déformations foliaires: folioles terminales soudées, extrémités des folioles en bâtonnettes, base des feuilles sans foliole; jeunes feuilles réduites à un embryon de rachis sans foliole.

Le bore joue un rôle important dans la différenciation cellulaire qui est inhibée en cas de carence. L'application d'engrais boraté n'a aucune action curative sur les désordres observés; c'est à titre préventif que le bore doit être appliqué et ce dès la plantation. D'autres causes peuvent provoquer des déformations similaires.

b. Fer

Le fer intervient dans les oxydo- réductions, il est nécessaire à la formation de la chlorophylle.

POMIER (1964, 1969) a montré que la carence ferrique était un facteur limitant sur les sols coralliens où l'abondance de carbonate de calcium bloque l'assimilation des éléments métalliques. Il y a jaunissement progressif de l'ensemble de la foliole en bandes

longitudinales parallèles aux nervures, ce qui la différencie de la carence en azote où le jaunissement est uniforme. A un stade plus avancé, la feuille devient complètement jaune (de TAFFIN, 1993).

c. Manganèse

La carence en manganèse ne peut être corrigée indépendamment de celle du fer; l'application de sulfate de manganèse a des conséquences beaucoup plus faibles que celle de sulfate de fer. Au niveau des tissus, la déficience manganique se caractérise par la réduction du volume des cellules dont les cloisons se rétrécissent.

d. Aluminium

On considère l'action de l'aluminium comme plutôt favorable sur la croissance mais suivant le pH il y a possibilité d'accumulation sur le système racinaire pouvant être toxique. Le cocotier semble pouvoir supporter de fortes concentrations dans la solution du sol sans que se manifestent des symptômes visibles de toxicité.

e. Cuivre

On pense qu'il intervient dans la photosynthèse mais sa fonction n'est pas clairement définie. On a observé sur sol tourbeux en Indonésie des déficiences en cuivre ; elles se caractérisent par une courbure accentuée du rachis des plus jeunes feuilles, accompagnée d'un jaunissement et d'un dessèchement de leur extrémité qui apparaît comme auréolée de brun et de jaune, la partie centrale restant verte. Les nouvelles feuilles sont courtes et déformées donnant au cocotier un aspect chétif (de TAFFIN, 1993).

f. Molybdène

Il intervient dans la réduction des nitrates en nitrites: l'enzyme nitrate-réductase est moins active en absence de molybdène.

La déficience se traduit par des feuilles petites, couvertes de taches nécrotiques avec enroulement des bordures (ESCHBACH et MANCIOT, 1981). Il n'a pas été possible d'établir un niveau critique pour le cocotier.

g. Zinc

Il est indispensable à la synthèse du tryptophane, précurseur de l'acide indolacétique , substance de croissance.

La déficience provoquée par des niveaux élevés du phosphore se traduit par des taches nécrotiques vert pâle, jaune ou blanc sur les feuilles. La toxicité se traduit par la réduction du système racinaire et du système foliaire.

h. Fluor

Les niveaux élevés en fluor sont en général toxiques; en pépinière, l'utilisation de superphosphate simple, riche en fluor a entraîné l'apparition de taches brunes, circulaires, d'aspect huileux s'élargissant en se nécrosant, en particulier sur sol blanc lessivé.

Les oligoéléments n'ont pas d'effet important sur le comportement du cocotier.

Avec	10 ppm pour le bore	4 ppm pour le cuivre
	15 ppm pour le zinc	40 ppm pour le fer

100 ppm pour le manganèse
 10 à 120 ppm pour l'aluminium
 il n'y a pas à craindre de déficience.

C.4.3. Effets des métaux lourds

BIDDAPPA et BOPAIAH ont étudié, en 1989, l'effet des métaux lourds sur certains éléments (P, K, Ca, Mg) et sur les oligoéléments:

- Pour le phosphore, ils ont trouvé que sa distribution dans les acides organiques, protéines, acides nucléiques et saccharides était influencée par les métaux lourds.

- Le potassium contenu dans les lipides, pigments et acides organiques, cellulose et autres résidus insolubles a une teneur significativement altérée par les métaux lourds.

- La concentration du calcium des lipides, pigments et acides organiques est réduite.

Sur les oligoéléments, on constate:

- Une augmentation du Fe dans les pigments, en particulier par le Pb et le Cd.

- Une augmentation de Mn dans les radicaux ionisés par les sept métaux lourds .

- Cd- Bi- Cr et Ba entraînent un développement de la distribution du zinc dans les polysaccharides et résidus insolubles mais pas de changement de concentration du cuivre dans les pigments et les insolubles.

Conclusion

Malgré l'évolution des connaissances, on peut reprendre les conclusions de FREMOND et DE NUCE DE LAMOTHE en 1968:

Les besoins du cocotier en éléments minéraux sont très inégaux ce qui explique certaines carences. Les conditions pédologiques sont essentielles, mais il faut souligner le rôle déterminant du climat dont dépend l'assimilation des éléments présents ou apportés au sol, et leur lessivage. Il n'y a pas de formule passe partout pour la fertilisation des cocoteraies.

Le diagnostic foliaire est l'outil essentiel pour définir les formules les mieux adaptées à chaque situation écologique et en suivre les effets.

4. EFFETS DE LA SALINITE ET DE LA CONTRAINTE HYDRIQUE SUR LA REGULATION STOMATIQUE DU COCOTIER

Les observations effectuées sur la production des cocotiers dans le Delta du Mékong ont montré, entre autres particularités, une baisse de la production, après les cinq mois de saison sèche, par la diminution du nombre de noix récoltées.

En réalité, la saison sèche correspond à quelques dizaines de millimètres de pluies sauf en février; des mesures de potentiel hydrique foliaire effectuées en saison sèche et en saison des pluies montrent des différences trop faibles pour pouvoir affirmer qu'il y a des contraintes hydriques majeures chez le cocotier dans le delta du Mékong.

Le facteur température ne semble pas contraignant bien que la saison sèche corresponde aux températures maxima qui dépassent de 2 à 3 degrés les maxima de la saison des pluies; en effet, sous d'autres latitudes, ces températures sont dépassées même en saison des pluies.

L'évaporation est particulièrement importante en mars, mois du plus fort ensoleillement et ce sont les seuls facteurs de l'environnement qui sont modifiés avec la salinité de la nappe.

Pour étudier les causes de cette variation de production, on a mesuré sur le terrain et au laboratoire les principaux paramètres hydriques.

L'eau est très importante pour la plante parce qu'elle représente plus de 75 à 90% du poids frais des tissus des végétaux supérieurs. De nombreux auteurs ont étudié la résistance des plantes à la sécheresse ou à la salinité.

Il existe une large gamme de mécanismes d'adaptation au déficit hydrique (JONES et al 1981); PARSONS (1980), LEVITT(1980), TURNER (1986) ont présenté de différentes manières, les mécanismes de résistance à la contrainte hydrique.

La fermeture des stomates est la conséquence directe de la contrainte hydrique (DAVIES et al,1991). Ce comportement constitue un mécanisme important de réduction des pertes en eau. Cependant, cette adaptation entraîne certains inconvénients: elle implique une augmentation de la température foliaire et une réduction de la photosynthèse, correspondant à une stratégie d'évitement (RISTIC et CASS, 1991).

Plusieurs auteurs ont montré que la diminution de l'humidité du sol provoque la fermeture des stomates en déclenchant une synthèse d'ABA au niveau des racines (DAVIES et MEINZER, 1990, DAVIES et ZANG, 1991, LEIDI et al., 1993; MEINZER, 1993).

Quand on parle de résistance à la sécheresse, le plus important est de préciser de quel type de sécheresse la plante a souffert. La fermeture des stomates n'est qu'une des réponses de la plante à la sécheresse qui dispose d'autres processus métaboliques, liés ou non avec des caractères morphogénétiques (LAFFRAY et LOUGUET, 1990). Les effets de la sécheresse doivent être étudiés en fonction du cycle végétatif: la plante répond de façon différente au moment de la germination , de l'initiation florale ou de la maturité de la production.

La résistance à la sécheresse est liée aux conditions climatiques et agronomiques: type de sol, capacité de rétention en eau, période de sécheresse en fonction du cycle de développement de la plante, durée et intensité de la sécheresse.

La résistance à la sécheresse est un système complexe avec plusieurs possibilités d'adaptation.

Le maximum de production et de rendement a besoin d'un optimum d'assimilation qui dépend de la conductance stomatique. Une faible conductance stomatique limite la perte d'eau et conditionne la survie de la plante pendant la sécheresse avec une réduction de la production.

La régulation stomatique joue un autre rôle dans l'extraction de l'eau du sol. La succession de plusieurs sécheresses provoque une modification de la régulation stomatique pour adapter le métabolisme de la plante à supporter la déshydratation cellulaire.

Pour une sécheresse courte, la fermeture des stomates peut être une réponse favorable mais cette solution n'est pas intéressante pour une longue période.

Pour les plantes ayant une tolérance protoplasmique élevée, l'effet de la sécheresse peut être minimisé.

Les stomates sont des ouvertures naturelles dans l'épiderme des tiges chlorophylliennes et des feuilles permettant les échanges gazeux avec l'extérieur.

Un stomate est constitué d'un couple de cellules qui se différencient des cellules épidermiques voisines par l'inégale élasticité de leur paroi suivant les faces: la face externe plus mince s'allongeant davantage que la face interne plus épaisse.

L'appareil stomatique se compose des cellules stomatiques et des cellules épidermiques compagnes; le rôle des cellules épidermiques est essentiellement passif mais elles interviennent dans les mouvements stomatiques (LOUGUET, 1973). En effet, les échanges de substances et d'eau ne se produisent qu'entre cellules stomatiques et cellules compagnes.

Les facteurs intervenant sur le degré d'ouverture des stomates sont nombreux:

- Diminution de la teneur en eau du sol et des tissus foliaires.
- Lumière et teneur en CO₂ de l'air agissent sur le degré d'ouverture à condition que l'état hydrique ne soit pas un facteur limitant.

En règle générale, les stomates s'ouvrent à la lumière et se ferment à l'obscurité en présence d'une teneur de l'atmosphère en gaz carbonique normale (0,036 % en volume).

Les mouvements stomatiques sont directement affectés par la quantité et la qualité de la lumière, par la disponibilité en eau, l'humidité atmosphérique, la concentration de l'atmosphère en CO₂ et la température; certains de ces facteurs, ainsi que le vent, peuvent avoir des effets indirects sur les mouvements stomatiques.

L'excès de sels comme le manque d'eau provoque une fermeture plus ou moins importante des stomates. La salinité peut abaisser le potentiel osmotique du milieu suffisamment pour freiner l'entrée d'eau dans la plante, cependant, le plus souvent, la

toxicité des sels sur les métabolismes est la cause directe de l'inhibition de la photosynthèse et par voie de conséquence, de la fermeture stomatique.

La résistance à la contrainte hydrique d'une plante dépend des espèces et de ses mécanismes de résistance: évitement ou tolérance.

Si on trouve une espèce sauvage dans un milieu sec ou salé, c'est qu'elle peut s'y reproduire et qu'elle est adaptée à ce milieu. Les stratégies de survie et de reproduction sont les seules à être mises en jeu. En revanche, pour une espèce cultivée, ou des cultivars introduits artificiellement par l'homme dans un milieu donné, il faut non seulement que la plante survive mais qu'elle produise. Une meilleure adaptation à un milieu contraignant se traduit par une meilleure productivité et par voie de conséquence, le métabolisme, et notamment le métabolisme photosynthétique, devront être maintenus le plus élevés possible.

La présence de chlorure de sodium dans le sol a généralement pour effet de réduire l'intensité de la transpiration des plantes: sur *Atriplex halimus* (KAPLAN et GALE, 1972), sur *Polygonaceae* (GONCHARIK et KOZLOVA, 1972).

COUDRET et LOUGUET (1979) ont étudié l'effet du chlorure de sodium sur le degré d'ouverture et les vitesses de fonctionnement des stomates sur les plantains. Le chlorure de sodium modifie le degré d'ouverture maximale des plantains avec des écarts pouvant atteindre 50%. Le chlorure de sodium s'accumule plus fortement dans les feuilles des plantains halophytes que dans celles des glycophytes ce qui explique le caractère halophyte.

La photosynthèse est inhibée avec la diminution du potentiel hydrique foliaire (KAISER, 1987). De nombreux travaux décrivent une réduction de la pression partielle en CO₂ dans la feuille et de l'assimilation lors d'un déficit hydrique; actuellement, les mécanismes contrôlant cet effet ne sont pas encore complètement connus (BRADFORD et HSIAO, 1982, HANSON et HITZ, 1982) et les estimations des teneurs en CO₂ dans la feuille font également l'objet de discussion en raison de l'hétérogénéité des ouvertures stomatiques (DOWNTON et al 1988, MANSFIELD et al, 1990).

Le maintien de la turgescence durant un déficit hydrique est important pour la plante parce qu'il permet aux processus métaboliques et à la croissance de se poursuivre.

Ni l'humidité pondérale du sol ni le contenu relatif en eau ne permettent de déterminer le sens des échanges d'eau entre le sol et la plante et entre les différentes parties de la plante. Seuls les gradients de potentiel hydrique permettent de le prévoir (LAFFRAY et LOUGUET, 1988).

La littérature en matière de tolérance au sel sur le cocotier est limitée, la plupart des études liées au chlorure de sodium ayant pour objet l'analyse des carences en Cl⁻ et l'établissement de la teneur critique de cet élément qui peut être apporté de façon plus économique avec le sel ordinaire qu'avec le chlorure de potassium lorsqu'il n'y a pas besoin de potassium (réserve du sol suffisante).

BRACONNIER et D'AUZAC (1989) en étudiant les effets d'une carence en chlorure concluent que l'ion Cl^- est un facteur limitant essentiel de la production qui en période sèche interviendrait à deux niveaux:

- permettre aux stomates de rester ouverts plus longtemps dans la journée,
- permettre au cocotier de disposer d'une force d'appel d'eau suffisante pour maintenir la turgescence des tissus,

l'ensemble de ces processus assurant une optimisation entre transpiration et assimilation.

Les travaux de DIAS DA SILVA JUNIOR (1994) d'irrigation avec de l'eau salée à 15 o/oo sur les cocotiers des sols sableux du Brésil, où existe un gros problème de sécheresse, montrent que cet apport ne cause pas une diminution significative de leur croissance.

Dans le delta du Mékong, nous avons d'autres conditions: sols argileux et nappe qui fournit toujours de l'eau plus ou moins salée. Le problème de la salinité est dominant par rapport au stress hydrique.

Dans le cadre de nos travaux, nous avons étudié la réponse du cocotier à l'effet du chlorure de sodium dans un milieu fortement concentré pendant la saison sèche.

L'étude a porté sur le potentiel hydrique, sur la photosynthèse et sur la conductance stomatique dont les diminutions peuvent expliquer l'inhibition de la croissance et de la production dans les milieux salés du delta du Mékong.

5. UTILISATION DU PHOSPHATE NATUREL

Le phosphore apparaît comme l'un des éléments dominants dans les structures et les processus métaboliques de la vie: constituant des acides nucléiques, supports de l'hérédité, véhicule de l'énergie (ATP, ADP) par les propriétés particulières de ses liaisons, élément des structures membranaires dans son association avec les lipides. Dans le sol, le phosphore est présent dans des composés minéraux et organiques, engagé sous des formes ioniques, adsorbé au niveau des argiles, des hydroxydes et de la calcite (MOREL, 1989).

Le cycle du phosphore est un système dynamique mettant en jeu le sol, les plantes et les micro-organismes. Les grandes étapes de ce cycle sont:

- l'absorption du phosphore par les plantes, et la consommation des plantes par les animaux
- le recyclage du phosphore dans les résidus végétaux et animaux.
- la minéralisation - immobilisation par une réaction de fixation sur les surfaces oxydées et les argiles.
- la solubilisation des phosphates minéraux à partir des activités des micro-organismes.

Les facteurs climatiques particuliers des régions tropicales provoquent une profonde altération de la roche mère avec hydrolyse des silicates qui libèrent des sesquioxides de fer et d'aluminium qui fixent rapidement les ions phosphoriques.

Très pauvres en bases et très acides, ces sols présentent également des carences en calcium (COMHAIRE, 1968). Ces caractéristiques s'appliquent aux sols du delta du Mékong dont certains sont en outre salés.

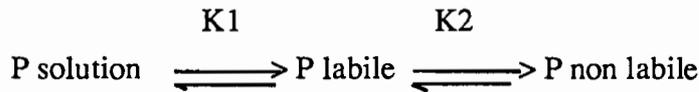
Pour y remédier il est préconisé de saturer les sesquioxides en apportant de fortes doses d'engrais en particulier sous formes de phosphate naturel (COMHAIRE, 1968).

L'efficience du phosphate naturel est fonction de l'acidité du sol (PEASLEE et al., 1962) mais les énergies de liaison du calcium dans les suspensions d'argiles et les systèmes d'échanges de cation sont également un important facteur de dissolution du phosphate naturel (GRAHAM, 1955). L'activité du calcium varie indépendamment du pH (WILSON et ELLIS, 1984). Le rôle du pH sur la dissolution du phosphate naturel est moins important que prévue du fait de l'influence du calcium dont le rayon ionique est supérieur à celui du phosphore (MACKAY et SYERS, 1986).

Depuis plus de 50 ans de nombreuses recherches ont été entreprises à travers le monde pour développer des méthodes sûres pour l'extraction et l'estimation du phosphore assimilable. On distingue le phosphore de la solution du sol de celui de la phase solide que l'on subdivise en forme labile ou non labile. La forme labile correspond au phosphore en équilibre avec celui de la solution du sol. S'il y a déséquilibre la plus labile est rapidement mise en solution et une fraction de la forme non labile peut se convertir lentement en forme labile (MENON et HAMMOND, 1984).

Le phosphore dans le sol se présente sous formes ionique et moléculaire: ions phosphatés plus ou moins chargés électronégativement selon le pH du sol et phosphates de calcium, de fer et d'aluminium de structure évolutive.

Les formes moléculaires, minérales ou organiques sont peu ou pas accessibles aux racines; la plante s'alimente à partir des ions labiles de la phase liquide ou adsorbés sur les diverses composantes du sol. Le phosphore engagé dans les combinaisons non labiles peut le devenir à plus ou moins long terme et du phosphore labile peut évoluer vers des formes inaccessibles aux racines:



K1 et K2 représentent des vitesses de réalisation d'équilibre avec $K1 > K2$.

La dissolution du phosphate naturel dans le sol est essentiellement contrôlée par trois paramètres: le taux de saturation en calcium, la capacité d'absorption du phosphore et la capacité d'échange du calcium (MACKAY et al, 1986). Le calcium est nécessaire aux plantes pour la neutralisation de leurs acides organiques. Il influe sur les propriétés physiques, en assurant une structure plus meuble et plus stable, chimiques, en maintenant le pH dans des limites favorables à l'absorption des éléments nutritifs et aux échanges d'ions, et biologiques du sol, par l'influence de la structure et du pH sur la micro-faune et la micro-flore (SOLTNER, 1981).

L'adjonction de phosphates naturels stimulant l'activité biologique intensifie la minéralisation de la matière organique existante (MUNEVAR et WOLLUM, 1977). Cette minéralisation nécessite un équilibre entre les teneurs en carbone, azote et phosphore: le développement de la biomasse ne se produirait que pour $C/P < 200$ (ECONOMOU et al., 1980).

La dose, l'époque et le mode de localisation des phosphates dans le sol, dépendent de l'aptitude des plantes à absorber le phosphore et de la quantité de phosphate qui peut être fixée par le sol; l'efficacité de l'absorption des engrais phosphatés par les racines dépend la vitesse de migration du phosphore vers la racine: seul le phosphate qui se trouve à moins de 0,5 mm d'une racine est en position convenable pour être absorbé (BARBER, 1958).

Les conclusions du rapport de l'office Allemand des Sciences de la Terre et des matières premières en 1984 à partir des essais en pots et des essais aux champs avec les phosphates naturels sont les suivantes:

- l'efficacité des phosphates naturels peut être estimée à partir de déterminations minéralogiques ou chimiques.

- la corrélation entre le rendement en matière sèche et la teneur en phosphore soluble dans l'acide formique est plus ou moins nette suivant les cultures.

- les phosphates naturels tendres sont capables de satisfaire les besoins des plantes sur les sols acides riches en fer et en aluminium.

- les phosphates durs ont un effet à long terme intéressant dans la mesure où la fixation du phosphore par le sol est moindre.

- l'efficacité du phosphate naturel est améliorée par l'apport complémentaire de calcium, silice et soufre pour certains essais.

La fixation est plus rapide avec les engrais phosphatés solubles-eau; pour limiter cette fixation, on peut songer à réduire les surfaces de contact par la granulation de l'engrais et par l'utilisation de phosphates bicalciques ou thermiques dont la solubilisation progressive limite la fixation par le sol.

Les besoins en phosphore sont généralement assurés pour le cocotier: il a fallu attendre 26 ans au Sri Lanka et 12 ans en Côte d'Ivoire pour obtenir un effet significatif du phosphore sur la production de noix (MANCIOT et al., 1979), ce qui prouve que la plupart des sols ont des réserves suffisantes en phosphore pour cette culture. En matière de fertilisation, on utilise très souvent des engrais complexes NPK ce qui rend difficile d'isoler l'action d'un élément.

LOGANATHAN et ATPUTHARAJAH ont montré en 1984, au Sri Lanka, sur sols sableux, l'intérêt d'un apport de phosphate naturel sur la production du coprah avec des sols contenant de 3 à 15 ppm de P assimilable (P Olsen).

Les mines de phosphate de la région de Lao Cai au nord Viet Nam avec une réserve d'un milliard de tonnes sont une ressource essentielle pour l'amélioration des sols acides dans les deltas du fleuve Rouge au nord et du Mékong au sud.

Le minerai le plus riche à Lao Cai 1 contient 31,3% de P₂O₅ et 40% de CaO. De nombreuses formules d'engrais ont été fabriquées avec ce minerai, plus ou moins attaqué par différents acides (sulfurique, phosphorique) et par un mélange; les tests de préfragilisation correspondant à une mise sous pression du minerai avant broyage se sont traduits par un enrichissement en P₂O₅ de la fraction inférieure à 40 µm. Ces différents engrais ont été essayés sur plusieurs cultures, annuelles riz, soja, arachides, ou pérennes cocotiers, hévéas . Les conclusions des premiers essais ont été exposées à l'occasion d'une réunion à Ha Noi en Octobre 1991 : les sols plus acides du sud Viet Nam valorisent mieux les différentes formules d'engrais que ceux du nord (TRUONG BINH et al, 1991). Sur les cocotiers Grands Dau âgés de 7 ans à la station de Binh Thanh, sur sols sulfaté, après deux ans d'apport d'engrais phosphaté, le nombre de fleurs a été augmenté de 7 à 26 fleurs / inflorescence.

Dans les sols sulfatés acides du delta du Mékong, on peut envisager d'utiliser des phosphates naturels dont la solubilisation lente permet d'assurer aux plantes une alimentation régulière en phosphore; on apporte en outre le calcium qui assure les effets d'amendement pour le sol et qui tient son rôle d'aliment pour les plantes.

DEUXIEME PARTIE

MATERIEL D'ETUDE ET PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

1. CHOIX DES CULTIVARS DE COCOTIER

Le Viet Nam possède une grande diversité de géotypes, mais les deux cultivars les plus répandus sont deux Grands : le Ta et le Dau. Dans le cadre de nos travaux, nous avons utilisé ces deux géotypes, les plus représentatifs de la production du cocotier au Viet Nam.

Les raisons de ce choix sont fondées sur les données suivantes:

- Ils existent dans les conditions écologiques du delta du Mékong que nous voulons étudier.
- Le nombre de sujets disponibles, du même âge, est suffisamment élevé pour exécuter les études sur les mêmes sites avec le nombre de répétitions nécessaire.
- Ces deux Grands ont des caractéristiques biologiques homogènes qui permettent de définir un plan unique pour les observations de croissance et de développement.
- Les résultats obtenus par nos études pourront s'appliquer immédiatement sur les cocotiers existant dans le delta du Mékong, ce qui permet de lancer un programme d'amélioration de la production sans attendre les nouveaux hybrides dont la production de semences est en cours d'organisation.

1.1.CAS DES COCOTIERS ADULTES:

1.1.1.Etude des effets des contraintes édaphiques du milieu naturel

Pour étudier les effets des contraintes édaphiques, des enquêtes ont été conduites depuis 1989 sur des plantations de 15 ans (âge de production stabilisée du cocotier) en limitant au minimum le nombre de sujets observés pour avoir une variance ne dépassant pas 5% (lots de 15 sujets avec 4 répétitions).

1.1.2.Essai d'engrais phosphaté naturel

Cet essai est conduit avec le TA, deux niveaux d'engrais phosphaté naturel ont été appliqués aux plantes les plus homogènes déterminées par l'enquête précédente. Avec un sujet par traitement et trois répétitions cet essai a porté sur 9 cocotiers.

1.2. CAS DES PLANTULES:

Les plantules ont été obtenues à partir de la germination de noix de Dau qui ont été récoltées sur les plantes mères de 15 ans dans les plantations villageoises de la province de Ben Tre.

Les noix ont été mises en germe ; ont été retenues pour l'essai eau salée les noix qui ont germé en même temps; elles ont été sélectionnées ensuite pour obtenir des plantules homogènes.

2. LES SITES D'ETUDE

2.1. SITES CLASSIQUES POUR LA CULTURE DU COCOTIER AU VIET NAM

Dans le programme de développement du cocotier du Viet Nam, on a prévu la mise en culture de 700.000 ha dont une part importante se situe dans les zones côtières sulfatées acides et salées. Plusieurs plantations d'Etat de cocotiers ont été créées : plantation de Do

Hoà de HCM ville, plantation de Phu Dong de la province de Tien Giang, K20 de la province de Ben Tre, 30 Avril de la province de Cuu Long, etc... Ces cocoteraies ont atteint plus de 10 ans et entrent dans la période de production stabilisée. Elles montrent des différences de croissance, de production et des anomalies (petites noix, noix parthénocarpiques...) à côté d'une croissance et d'un développement normal. Un programme d'amélioration efficace doit tenir compte de cette situation.

Pour résoudre ces problèmes, dans les années 1987 et 1988, d'après les premières mesures et analyses effectuées, nous avons déterminé les trois contraintes principales:

- l'engorgement du sol
- la salinité
- l'acidité.

Pour déterminer les facteurs limitants, il a fallu étudier séparément chaque contrainte puis synthétiser les résultats.

En se fondant sur les trois facteurs cités, à partir de 1989, nous avons réalisé une étude sur la croissance, le développement et la production du cocotier sur différents sites du delta du Mékong représentatifs des principaux facteurs limitants.

A partir de là on a pu dégager les facteurs essentiels influant sur le métabolisme de la plante et cerner les zones où l'on pourrait développer le cocotier dans les conditions optimales.

Les observations ont concerné 15 sites du delta du Mékong, sur des lots de cocotiers homogènes mais avec des sols différant par l'acidité, la salinité et les conditions de drainage; le témoin, exempt de toute contrainte, est situé sur sol alluvial avec un réseau de canaux d'irrigation alimenté en eau douce.

D'abord, il a fallu s'assurer que le nombre de noix, caractéristique de la production, était lié aux trois contraintes ci dessus.

Sur chaque site, 15 sujets ont été choisis sur 4 parcelles homogènes et à deux saisons différentes, saison sèche et saison des pluies, les noix ont été comptées.

On a déterminé le nombre de régime/plante et de noix/régime dans l'ordre de la spirale de la couronne à partir de F14 (noix de la taille du poing) jusqu'à la dernière feuille (noix mures), et finalement le nombre de noix par arbre (tableau 8).

Les fichiers contenant toutes les données d'observation ont été traités par la méthode statistique classique d'analyse de la variance pour chacune des variables observées, calcul des corrélations entre ces variables et application du test de Duncan pour classer les caractères en fonction des sites (GOMEZ, 1983).

Les résultats de l'analyse de variance montrent que pour le nombre de noix/cocotier/an, la différence est très significative à 95%, ce qui permet de distinguer 6 groupes différents (tableau 8).

Tableau 7: Les sites d'observation dans le delta du Mekong en 1989

N°	CO DE	SITES	PRO VIN CE	SOLS SULFA - TES ACIDE S	SOLS SULFA TEACI DE SALÉ	SALINITE		SOL S INO N- DES
						Bon drainage	Mauvais drainage	
1	BLQ	Luong Quoi	Ben Tre					
2	LA1	An Thanh 1	Long An	X				
3	LA2	An Thanh 2	Long An	X				
4	LA3	Luong Hoa	Long An	X				
5	BO5	Luong Phu	Ben Tre			S 5 ‰		
6	B10	Chau Hoa	Ben Tre			S 10 ‰		
7	BGT	Giong Trom	Ben Tre			S 10 ‰		
8	B15	An Hiep	Ben Tre			S 15 ‰		
9	B20	Tan Thuy	Ben Tre			S 20 ‰		
10	BCB	Chau Binh	Ben Tre			S 24 ‰		
11	DH	Do Hoa	HCMville		X			
12	PH	Phuong Phu	Hau Giang					X
13	THD	Tan Hung Dong	Minh Hai				S 6 ‰	
14	VH	Viet Hung	Minh Hai				S 6 ‰	
15	TD	Thanh Dam	Minh Hai				S 11 ‰	

Tableau 8: Nombre de noix/cocotier/an sur les 15 sites d'étudiés

Site	Moyenne \pm σ	Groupe de Duncan
BLQ	60,1 \pm 2,6	A
B05	52,6 \pm 6,8	B
BCB	48,4 \pm 12,4	B
B10	44,5 \pm 11,3	C
B20	37,1 \pm 4,9	D
B15	35,5 \pm 2,0	E
BGT	35,4 \pm 4,8	E
LA1	27,4 \pm 2,2	E
VH	26,4 \pm 16,3	E
LA2	22,1 \pm 6,5	E
DH	19,4 \pm 3,9	F
LA3	17,6 \pm 7,2	G
TD	13,2 \pm 3,8	G
THD	10,8 \pm 4,6	H
PH	7,6 \pm 3,5	H

Il résulte de cette première approche que le nombre de noix par cocotier est un paramètre représentatif des caractéristiques du milieu (acidité- salinité- asphyxie).

Nous avons donc hiérarchisé les facteurs limitant la culture du cocotier dans le delta du Mekong qui sont dans l'ordre:

- Asphyxie par engorgement
- Acidité
- Salinité

Ce classement a été validé par un expert du CIRAD (BONNEAU, 1992) après sa visite des sites d'étude; il a souligné que la compacité du sol pouvait être un facteur limitant supplémentaire.

2.1.1. Asphyxie par engorgement

L'inondation qui provoque l'asphyxie est particulièrement contraignante. C'est le premier facteur limitant, ce qui explique sans doute la volonté d'exécuter des aménagements drainants pour rabattre la nappe. Le cocotier est une plante tolérante à l'hydromorphie des couches profondes, à condition toutefois qu'il subsiste une mince couche de sol perpétuellement exondé. Ce phénomène a été observé en plusieurs endroits (Côte d'Ivoire, Indonésie), et le système de banquette du delta en donne confirmation. Les cocotiers acceptent bien une inondation temporaire exceptionnelle de quelques jours, mais ne supportent pas une inondation prolongée périodique. Par conséquent, il ne faut pas penser à

cultiver les cocotiers dans les zones sujettes à l'inondation : le régime des eaux devra être contrôlé, de façon à ce que les plantes disposent en permanence d'une couche de sol aéré d'au moins 20 cm.

2.1.2. Acidité

Le cocotier est une plante tolérante à l'acidité, comme on l'a constaté sur les tourbes de Sumatra. Pourtant, à $\text{pH} < 4$, les ions Fe^{3+} et Al^{3+} sont libérés dans la solution du sol, ce qui perturbe l'absorption des autres éléments, phosphore et calcium en particulier. Ce facteur limitant doit pouvoir être levé en partie par les amendements et une fertilisation minérale appropriée, à établir par expérimentation.

2.1.3. Salinité

Le cocotier est une plante tolérante à la salinité, mais jusqu'à un certain point, et certaines zones du delta sont, dans l'état actuel, probablement trop salées. Une expérimentation est nécessaire pour déterminer les seuils de tolérance du cocotier à la salinité de la nappe phréatique sur ce type de sol argilo-limoneux.

Un drainage bien exécuté étant de toute façon indispensable, nous avons limité notre travail à l'étude des conditions d'adaptation du cocotier aux deux contraintes acidité et salinité puisque, pour résister, deux réactions peuvent se conjuguer:

- d'une part, blocage des éléments pouvant être toxiques (fer, aluminium, sodium)
- d'autre part, régulation des mouvements stomatiques et du potentiel hydrique.

En outre, l'étude porte sur la détermination des amendements et fertilisations susceptibles de s'opposer à l'acidité du sol, et des seuils de tolérance à la salinité.

2.2. SITES D'ETUDE:

2.2.1. Sols sulfatés acides : Long An

Les sols sulfatés acides ont été choisis dans la province de Long An qui est situé au bord de la Plaine des Joncs. Ce sont des sols représentatifs pour le facteur acidité.

Ces sols sont issus de sols potentiellement sulfatés acides à la suite de la réalisation des banquettes pour la culture du cocotier.

Les sites sont situés à:

LONG AN 1 = LA1: district de An Thanh 1

LONG AN 2 = LA2: district de An Thanh 2

LONG AN 3 = LA 3: district de Luong Hoa.

2.2.2. Sols sulfatés acides et salés: Do Hoa

Sur la zone côtière de Saigon, le site étudié est à Do Hoa, zone précédemment occupée par la mangrove dont l'aménagement irréfléchi a provoqué le développement de l'acidité; ces sols soumis à l'influence de la marée sont en outre salés.

3.DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DES SOLS ETUDIES

3.1.CARACTERISTIQUES PHYSIQUES GRANULOMETRIQUES

La granulométrie est la détermination du pourcentage pondéral correspondant à chaque dimension de particule constituant un sol ou un sédiment.

L'étude granulométrique comporte deux étapes :

1 - une partie technique conduisant à la détermination du pourcentage de chaque dimension de particules par rapport à la masse totale du sol.

2 - la seconde étape correspond à l'interprétation des résultats. Ils sont exprimés en pourcentages des grandes classes granulométriques utilisées en agronomie :

- sables grossiers (2 mm - 200 μm)
- sables fins (200 - 50 μm)
- limons grossiers (50 - 20 μm)
- limons fins (20 - 2 μm)
- argiles (< 2 μm)

L'étude granulométrique a été réalisée à l'ORSTOM, dans le laboratoire des Formations Superficielles du Centre de Bondy sur un granulomètre automatique Sedigraph 5000 ET.

Le granulomètre automatique Sedigraph 5000 ET n'analyse que les particules fines, de taille inférieure à 50 microns. Il est donc nécessaire de faire, au préalable, un tamisage sous l'eau sur tamis de maille 50 μm .

La suspension à analyser est placée dans une cellule à parois de verre, traversée par un mince faisceau de rayons X ; les variations d'absorption du rayonnement en fonction de la diminution de la concentration de la suspension due à la chute des particules, sont détectées par un compteur à scintillation, transformées en impulsions électriques et transmises à une table traçante. On obtient ainsi une courbe cumulative de répartition des particules en coordonnées semi-logarithmiques. Pour réduire le temps d'analyse la cellule se déplace et sa vitesse de déplacement est calculée de telle sorte que le % de particules au moment de l'enregistrement corresponde à leur diamètre réel.

Le protocole expérimental détaillé est dans l'annexe II.

3.2. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

3.2.1.pH, conductivité électrique

a. pH *in situ*:

Le pH *in situ* du sol a été mesuré directement sur les sites étudiés par un pH mètre - Eh mètre portable équipé d'électrodes combinées Ingold (HP 67- BIOBLOCK). Les mesures ont été faites immédiatement après la sortie de la carotte prélevée à la pelle à vase. Le Eh (le potentiel rédox) a été mesuré en même temps que le pH *in situ* .

b. pH du sol sec:

Pour mesurer le pH du sol sec, les échantillons ont été séchés à l'air pendant 48h ; ensuite ils ont broyés et tamisés au tamis de 2 mm. Nous avons procédé à une mesure du pH avec un rapport sol / eau= 1 /1 (50 g de sol + 50g d'eau distillée).

c. La conductivité électrique:

La salinité globale des sols ou des eaux a été mesurée à l'aide d'un conductimètre et exprimée en conductivité électrique à 25°C, en micromhos/cm ou millisiemens/cm (mS/cm): il y a eu une correction en fonction de la température réelle ambiante.

- Pour le sol:

En ce qui concerne les sols, la salinité a été déterminée à partir d'échantillons séchés à l'air sur des extraits aqueux dilués au 1/ 10 (5g de sol + 50 ml d'eau distillée).

- Pour la nappe:

Les eaux des nappes phréatiques ont été prélevées en même temps que les sols correspondants et ont été filtrées sur filtres Millipore avant de mesurer la conductivité.

- Pour les eaux interstitielles :

Les eaux interstitielles ont été extraites par centrifugation à 6000 tours par minute des échantillons de sols frais conservés au congélateur.

3.2.2. Ions solubles

La conductivité des extraits aqueux des sols (1:10), des eaux des nappes phréatiques ou des eaux interstitielles, dépend de la nature et de la concentration des ions présents dans la solution. A partir de ces solutions, nous avons dosé la teneur des ions suivants:

a. Les anions:

Les anions caractéristiques de la salinité sont le chlore et le sulfate soluble. Ces anions ont été analysés par la chromatographie ionique DIONEX .

b. Les cations:

Calcium (Ca) et magnésium (Mg) sont analysés par Absorption atomique, sur le PU 9000 Philips avec 3 gaz: air + N₂O + acétylène.

Sodium (Na) et potassium (K) sont analysés par Emission de flamme , sur le PU 9000 Philips avec 2 gaz: air + acétylène.

Selon la concentration, les solutions sont diluées pour obtenir une teneur compatible avec les caractéristiques de l'appareil.

Fer (Fe), aluminium (Al) et silice (Si) sont dosés par Emission de la torche au plasma, avec le gaz argon.

3.2.3. Capacité d'échange et bases échangeables

On appelle **capacité d'échange** (ou capacité d'échange cationique = CEC) d'un horizon ou d'un échantillon, la quantité totale de cations que celui-ci peut retenir sur son complexe adsorbant, à un pH donné. La lettre T sert depuis longtemps aux pédologues à

désigner la CEC d'un horizon. La CEC est couramment exprimée en milliéquivalents pour 100 gr de terre fine: meq/100 g.

Le complexe adsorbant. Les origines de la capacité d'échange:

Le terme "adsorbant" est préférable à celui de "absorbant" pourtant couramment rencontré. Il s'agit bien, en effet, d'une adsorption, phénomène de surface, sans réaction chimique. Les minéraux phylliteux et les matières organiques humifiées présentent des propriétés colloïdales et des charges négatives, c'est pourquoi le "complexe argilo-humique" a la propriété de retenir des cations provenant de la solution du sol. Mais ces derniers ne sont que momentanément fixés et demeurent échangeables (D. BAIZE, 1988).

La détermination de la CEC est complexe, sa valeur varie selon les conditions opératoires. Différentes méthodes ont été proposées, mais elles reposent toutes sur le même principe:

- déplacement des cations échangeables et des ions H^+ par une solution monoionique.
- saturation de l'échantillon par le cation de cette solution;
- déplacement puis dosage de ce cation.

La méthode la plus courante est celle de Metson qui utilise l'acétate d'ammonium normal comme solution d'échange, à pH 7. Employée dans le monde entier, cette méthode sert de référence et permet d'opérer des comparaisons à l'échelle mondiale, mais elle est mal adaptée aux sols acides pour lesquels elle fournit des valeurs trop élevées.

La connaissance de T apparaît comme tout à fait indispensable, pour tous les sols, même obtenu par la méthode traditionnelle. Sa comparaison avec la somme des cations échangeables est aussi une indication précieuse quant à la fertilité potentielle des sols.(Annexe III)

3.2.4. Phosphore total et phosphore assimilable

Le phosphore, élément très important, est souvent un facteur limitant de la production végétale, et joue un rôle spécifique dans le métabolisme chimique et biologique du sol.

Il convient de déterminer:

- Les réserves du sol en cet élément: le phosphore total.
- La fraction facilement déplaçable : le phosphore assimilable.

a. Le phosphore total.

Différentes méthodes ont été proposées pour le dosage du phosphore total, certaines donnent réellement la totalité du phosphore contenu dans le sol, même si ce dernier renferme des minéraux primaires, d'autres sont plus conventionnelles, mais également plus simples d'emploi. La méthode utilisée est l'attaque par $HClO_4$.

b. Le phosphore assimilable

Le phosphore assimilable est une forme du phosphore du sol aisément utilisable par les plantes: on l'extrait par des solutions plus ou moins diluées de réactifs appropriés.

Certains auteurs ont préconisé un extrait à l'eau, mais les teneurs sont généralement très faibles.

En plus du phosphore soluble à l'eau, le phosphore se trouve sous forme d'ions PO_4^{3-} , adsorbés ou précipités sur les colloïdes minéraux du sol, par l'intermédiaire des ions aluminium, fer ou calcium, qui tapissent les surfaces extérieures des argiles; il peut être également précipité sur les hydroxydes ou le carbonate de calcium; enfin il peut former des complexes mixtes PO_4^{3-} , humus, métal.

- Les solutions d'acides faibles sont susceptibles de déplacer l'ion PO_4^{3-} de ses liaisons avec le calcium, mais n'empêchent pas la fixation par les hydroxydes.

- Les solutions alcalines déplacent les ions PO_4^{3-} des liaisons avec les hydroxydes par échange entre les ions PO_4^{3-} et les ions hydroxydes OH^- , mais agissent peu sur les liaisons calciques.

- Les complexes organiques ou minéraux, tels que l'acide citrique, ou l'oxalate d'ammonium, ou le fluorure d'ammonium, déplacent les ions PO_4^{3-} fixés sur différents cations, selon leur pouvoir spécifique de complexation.

- L'acide citrique complexe surtout le fer et déplace modérément le calcium.

- L'oxalate d'ammonium complexe l'aluminium et très fortement le calcium.

- Le fluorure d'ammonium complexe très fortement l'aluminium.

Suivant la nature des sols, ces divers réactifs ont été utilisés avec plus ou moins de succès; on fabrique maintenant des réactifs mixtes qui agissent sur une gamme étendue de sols.

Nous avons utilisé la méthode OLSEN- DABIN (1957) dans laquelle le phosphore est extrait par un réactif mixte, constitué d'un mélange de bicarbonate de sodium et de fluore d'ammonium, tamponné à pH 8,5 (Annexe IV).

3.2.5. Carbone, azote et soufre total

Cette technique est fondée sur les méthodes classiques de DUMAS et de PREGL(1993):

L'échantillon, contenu dans une petite capsule d'étain, est introduit automatiquement dans un réacteur constitué par un tube vertical en quartz maintenu à 1020°C et dans lequel passe un courant constant d'hélium.

A l'introduction de l'échantillon, le courant d'hélium est automatiquement enrichi par une quantité déterminée l'oxygène pur, provoquant ainsi la combustion éclair de la capsule et de l'échantillon.

Les gaz de combustion, entraîné par le courant d'hélium passent sur un catalyseur d'oxydation qui les transforme en CO_2 , H_2O , SO_2 , SO_3 , N_xO_y ..

Ces gaz passent alors sur un deuxième catalyseur (cuivre réduit) qui va réduire les oxydes d'azote élémentaire, le SO_3 en SO_2 et piéger l'excès d'oxygène. A la sortie du tube, on trouve en plus du gaz vecteur (hélium) les gaz N_2 , CO_2 , H_2O , SO_2 .

Les gaz ainsi obtenus sont alors séparés par une colonne de chromatographie et quantifiés par un détecteur à conductibilité thermique. Le signal obtenu est amplifié, puis envoyé à un enregistreur- intégrateur.

L'utilisation de la technique de l'étalon externe permet de calculer la teneur des éléments dosés.

Durée d'analyse pour C, H, N, S : 12 minutes

4. DIAGNOSTIC FOLIAIRE ET RACINAIRE

4.1. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

Le diagnostic foliaire est une méthode facile et précise pour l'étude de la nutrition minérale du cocotier. Les concentrations des éléments minéraux dans les feuilles sont déterminées par analyse chimique (Annexe V).

4.1.1. Les feuilles

Les échantillons sont prélevés sur chaque cocotier, sur la feuille 14, tous les 6 mois , pendant deux ans en saison sèche et en saison des pluies.

On prélève 6 paires de folioles sur le centre de la feuille 14, 10 cm de portion centrale de la foliole sont coupés pour l'analyse des éléments suivants:

N, P, K, Ca, Mg, Na, Cl, B, Fe, Al, Zn, Cu, Mn, S

Dans un délai de 6 heures après le prélèvement, les feuilles doivent être nettoyées pour éliminer la poussière ou les souillures, en les essuyant avec un coton hydrophile et en les lavant avec de l'eau distillée. Cette opération exécutée rapidement n'entraîne pas de perte en éléments nutritifs. Puis les feuilles sont séchées à 70°C pendant 48 heures.

4.1.2. Les racines

La méthode d'analyse de la teneur des éléments ci-dessus a été appliquée également aux racines. Les racines prélevées sur le système racinaire, à la même profondeur sur différents sites, après lavage et séchage sont séparées en deux lots pour analyse :

- grosses racines (diamètre de plus de 10 mm)
- racines fines (développées à partir des grosses racines)

4.2. METHODE D'ANALYSE

La destruction de la matière organique et la mise en solution des éléments minéraux se fait par voie sèche, " calcination" ou " double calcination ".

Les équipements de photométrie de flamme et de spectrophotométrie ont été utilisés pour les analyses avec enregistrement des données et lecture digitale.

Spectrophotométrie : les appareils sont réglés de façon à obtenir une courbe standard de linéaire possible, rendant le calcul et les vérifications plus rapides et plus faciles.

Photométrie de flamme : méthode simple, rapide et sûre pour les déterminations de K et Na. La flamme doit être stable et reproductible à partir d'un gaz propre. Une attention

particulière doit être portée aux interférences, effets de matrice, ainsi qu' à la fidélité et à la précision.

Calibrage: les méthodes spectrophotométriques et photométriques doivent être calibrées à partir de solutions de concentration connue puis diluées de façon à avoir des teneurs proches de celles des solutions d'échantillons à analyser. Les solutions- mères sont préparées avec soin, à partir de produits secs et pesés sur des balances de précision.

a. Préparation des échantillons

Les échantillons arrivés au laboratoire d'analyse sont à nouveau séchés .

Ensuite les échantillons sont broyés en utilisant des broyeurs en acier inox avec tamis de 1 mm. On évite ainsi une contamination au broyage et on obtient un échantillon homogène.

Les échantillons pulvérulents sont placés dans des sachets plastiques avec leur étiquette d'identification.

b. Modes opératoires au laboratoire

- Le dosage de l'Azote: la très ancienne méthode Kjeldahl est toujours utilisée pour la minéralisation et la transformation de l'azote en NH_4 avec de l'acide sulfurique à l'ébullition pendant 4 heures et en présence d'un catalyseur (mélange de sulfate de sodium ou potassium et sélénium ou, si on se trouve en présence de nitrates, le catalyseur de DUMAZERT- MARCELLET- sélénite de mercure- après addition d'acide salicylique). L'attaque faite au début sur les rampes à gaz ou électriques est menée actuellement dans des blocs chauffés contenant 20 ou 40 échantillons.

Le dosage de NH_4 peut se faire ensuite par distillation et titrage par colorimétrie qui peut être automatisée.

- Le dosage du potassium et du sodium se fait par photométrie de flamme air/ butane ou air/ propane dans les solutions obtenues après minéralisation.

- Le dosage du calcium et du magnésium: actuellement, l'utilisation de la spectrométrie d'absorption atomique facilite les déterminations par rapport aux premières méthodes colorimétrique pour Mg et complexométrique pour la somme Ca + Mg.

- Le dosage des oligo-éléments : bore, fer, aluminium, zinc, manganèse, cuivre, soufre : les méthodes colorimétriques utilisées au début pour les dosages de Cu, Mn et Fe étaient assez fiables et faciles à utiliser, mais il n'en est pas de même pour Zn et Al. L'utilisation de l'absorption atomique donne des résultats améliorés. Une flamme acétylène/ protoxyde d'azote permet de doser facilement Al.

5. SPECIATION DU PHOSPHORE

Le fractionnement des différentes formes de phosphore existant dans le sol s'effectue en traitant successivement un même échantillon par des solutions de nature et de concentration différentes, dont chacune extrait une forme particulière de phosphore (JACKSON,1958). Même si les formes existant dans le sol sont différentes de ces

orthophosphates purs, les différentes fractions extraites sont en relation avec la composition du sol, son pH, sa richesse en hydroxydes et en calcium, et la quantité des ions phosphoriques plus ou moins liés aux différents éléments de fixation- en particulier le calcium, le fer, et l'aluminium.

- Le phosphore existant à l'état soluble est extrait par le chlorure d'ammonium (il s'agit généralement de la fraction soluble du phosphate de calcium).
- Le phosphore lié à l'aluminium est extrait par le fluorure d'ammonium à pH= 7.
- Le phosphore lié au fer et fraîchement précipité est extrait par la soude diluée.
- Le phosphore lié au calcium est extrait par l'acide sulfurique dilué (il s'agit de la fraction peu soluble du phosphate de calcium).
- Une forme beaucoup plus rétrogradée, appelée phosphate de fer d'inclusion, est extrait par réduction au dithionite de sodium.

D'autres formes, comme la forme organique, peuvent être également extraites, mais on peut les obtenir par différence avec le phosphore total déterminé par fusion (Annexe VI).

6. MESURES PHYSIOLOGIQUES

6.1. PARAMETRES HYDRIQUES

6.1.1. Détermination du potentiel hydrique:

L'eau circule dans le système sol- plante -atmosphère sous l'action de gradients de potentiel hydrique qui s'établissent entre le sol et les racines, entre ces dernières et les feuilles et enfin entre les feuilles et l'atmosphère lorsque la plante transpire, (BERGER,1973). On peut définir le potentiel hydrique d'un système comme la quantité d'énergie à dépenser pour extraire l'unité de masse d'eau de ce système en prenant comme référence l'eau pure dont le potentiel hydrique est égal à zéro à la même température et à la même pression (LUDLOW, 1982). Chez les plantes, le potentiel hydrique Ψ_H est la somme de deux composantes principales: le potentiel osmotique (Ψ_O) qui dépend de la quantité de solutés dissouts dans la vacuole et du potentiel de turgescence(ψ_P) résultant de la pression qu'exerce la cellule sur sa paroi.

Le potentiel hydrique peut être mesuré par plusieurs techniques; la presse à membrane a été préférée en raison de sa simplicité et de sa rapidité d'utilisation. Le système est parfaitement autonome et ne nécessite aucune source d'électricité extérieure, c'est pratique pour les mesures au champ. En outre, cette technique n'exige qu'un petit échantillon de feuille (2-3 cm), ce qui permet de réaliser plusieurs mesures avec une quantité de limbe foliaire limitée.

Principe de la méthode:

L'échantillon foliaire (environ 2 x3 cm) est placé immédiatement dans la presse. La mesure repose sur le même principe que la chambre de SCHOLANDER, c'est à dire l'application d'une pression sur la feuille. Elle est exercée par l'intermédiaire d'une membrane souple qui comprime la feuille contre une plaque en plexiglas transparent. La

montée en pression se fait à l'aide d'un vérin hydraulique qui déforme la membrane. Pour visualiser la sortie de la sève au niveau du xylème, le morceau de feuille à étudier est placé sous un papier buvard.

D'après LOUGUET et LAFFRAY (1988), cette méthode présente cependant des limites dans la mesure où elle ne permet pas d'obtenir des résultats concordants avec la chambre à pression de SCHOLANDER pour toutes les espèces. C'est le cas par exemple du Caroubier, espèce ligneuse méditerranéenne à feuilles très coriaces.

6.1.2. Détermination du contenu relatif en eau (CRE):

Le contenu relatif en eau (CRE) est un paramètre très intéressant car il est relié au volume vacuolaire; c'est un des meilleurs paramètres physiologiques caractérisant l'état hydrique du végétal (FLOWER et LUDLOW, 1986) . Il correspond au rapport de la teneur en eau de l'échantillon prélevé sur la teneur maximale en eau lorsque les cellules sont à pleine turgescence.

Principe de la mesure:

On prélève un échantillon de feuille de 1 x2 cm que l'on pèse immédiatement et rapidement, afin d'éviter les pertes d'eau par transpiration. On détermine le poids de matière fraîche (PF). Ensuite, on réhydrate l'échantillon dans un petit tube d'essai muni d'un bouchon qui contient de l'eau distillée avec la quantité juste nécessaire pour avoir le contact avec l'échantillon. Après 24h, l'échantillon est essuyé sur un papier filtre et pesé pour obtenir le poids de la feuille à pleine turgescence (PM). L'échantillon est ensuite mis à déshydrater à 80°C, dans une étuve pendant 24 heures, puis refroidi dans un dessiccateur, ensuite pesé pour obtenir le poids de matière sèche(PS). Le contenu relatif en eau est calculé selon la formule de WEATHERLEY (1950):

$$\text{CRE (\%)} = (\text{PF} - \text{PS}) / (\text{PM} - \text{PS}) \times 100$$

PF: poids de matière fraîche

PS: poids de matière sèche

PM: poids de la feuille à pleine turgescence

6.1.4. Conductance stomatique

Principe de la mesure:

Les stomates opposent une résistance à la diffusion de la vapeur d'eau des chambres sous-stomatiques vers l'atmosphère extérieure, qui est appelée résistance stomatique et peut être quantifiée à l'aide d'un poromètre à diffusion de vapeur d'eau (MK3, Delta -T Devices Ltd, Cambridge, UK). Lorsque la palme transpire dans la pince de mesure du poromètre, la vapeur d'eau émise y provoque l'augmentation de l'humidité relative (HR%).

Quand celle-ci atteint la valeur HR + 5% (HR étant fixée par l'opérateur en début de manipulation, par agitation de la pince dans l'air, en fonction de l'humidité relative ambiante), un balayage d'air sec la ramène à la valeur HR puis cesse. Il reprend chaque fois que l'humidité relative dans la pince dépasse HR + 5 %, sous l'effet de la transpiration du matériel végétal.

Le poromètre mesure le temps mis par l'humidité relative dans la pince pour passer de la valeur HR à la valeur HR + 5%. Cette durée dépend du degré d'ouverture des stomates et de leur densité, c'est à dire de la résistance stomatique à la diffusion de la vapeur d'eau (FARQUHAR et SHARKEY, 1982). Elle est donnée en 1/200 de seconde par l'appareil puis convertie en unité de résistance stomatique ($s \cdot cm^{-1}$) à partir de la courbe d'étalonnage.

L'étalonnage est effectué pour chaque série de mesures. La courbe étalon est obtenue en insérant dans la pince du poromètre une plaque d'étalonnage de polypropylène munie de six séries de perforations de profondeur, nombre et calibre différents.

La résistance à la diffusion de la vapeur d'eau de chaque série est fournie avec l'appareil. Les valeurs brutes de la résistance (R_s) sont ensuite corrigées d'après la méthode de MONTEITH et al (1988) et LAFFRAY et LOUGUET (1990 b). Elle sont ensuite convertie en $mol^{-1} \cdot m^2 \cdot s$, d'après la loi des gaz parfaits:

$$R's (mol^{-1} \cdot m^2 \cdot s) = R_s \frac{V_o \cdot P_o \cdot T}{P \cdot T_o}$$

avec:

V_o = volume molaire de l'air = $22,4 \times 10^{-3} m^3 \cdot mol^{-1}$ à $273^\circ K$

P_o = 0,1 MPa

d'où à $20^\circ C$ avec $P = P_o = 0,1 MPa$

$$R's (mol^{-1} \cdot m^2 \cdot s) = 0,024 R_s (s/m)$$

Le terme de conductance stomatique, notée G_s ($1/R_s$) en $mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ est préférable à celui de résistance car la conductance varie comme la transpiration (HALL et al., 1976). De plus, elle est très souvent comprise entre 0 et 1.

$$G's = \frac{1}{R's} = \frac{1}{R_s \times 0,024} = G_s \times 0,416$$

Le cocotier étant une plante hypostomatique, la détermination de la conductance stomatique est effectuée uniquement sur la face abaxiale des folioles, au niveau des deux-tiers supérieurs.

a. Pour les plantules: pour l'essai eau salée, dans chaque traitement, quatre mesures sont faites sur la foliole de la feuille 1 de quatre plantules.

b. Pour les cocotiers adultes: pour l'étude des contraintes hydriques, sur les sites, les mesures sont effectuées sur les folioles de la feuille 14 avec ou sans arrosage.

6.1.4. Assimilation photosynthétique

Les échanges gazeux entre le mésophylle foliaire et le milieu ont été mesurés par la chambre d'assimilation. Dans ce système, on mesure la différence entre les fractions molaires de gaz (CO_2 ou vapeur d'eau) qui rentrent et qui sortent de la chambre d'assimilation. (planche 12).

Un des avantages de ce système ouvert c'est qu'il permet de modifier les conditions expérimentales (température, intensité lumineuse, déficit de pression de vapeur air- feuille et teneur en CO₂).

Principe des mesures:

Les mesures ont été effectuées sur la feuille 2 des plantules soumises à la salinité et du témoin.

Sur le témoin ont été mesurés les échanges gazeux en fonction de l'intensité d'éclairement, de la perte d'eau en coupant la foliole ou en laissant sécher la plante pendant deux semaines; puis on réhydrate pour suivre sa récupération.

Des mesures ont également été effectuées sur des cocotiers soumis à un arrosage avec de l'eau salée (10o/oo et 20o/oo).

Le réglage du système par le débit d'air et de l'humidité d'entrée, température de la chambre, ceci est important pour avoir les mesures précises.

7.ETUDE DU DEVELOPPEMENT DU SYSTEME RACINAIRE ET CYTOLOGIE DES RACINES

7.1. ETUDE DU DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME RACINAIRE

Technique utilisée:

On utilise une tarière hollandaise cylindrique (BIOBLOCK, 1986)

$$\phi = 8 \text{ cm}$$

$$\text{Hauteur} = 14,5 \text{ cm}$$

soit un volume de terre prélevé : 728,85 cm³.

Toutes les racines prélevées dans chaque carotte de terre sont lavées, séchées et pesées.

Les mesures ont lieu suivant :

- 3 directions: D1: direction parallèle au canal d'irrigation.
 D2: direction formant avec le canal un angle de 45°.
 D3: direction perpendiculaire au canal.
- 2 distances du stipe: d1 : 1 m
 d2 : 2 m.
- 3 profondeurs: p1 : 0 - 30 cm
 p2 : 30 - 60 cm
 p3 : 60 - 90 cm

7.2. ETUDE CYTOLOGIQUE DES RACINES SUR LAMES MINCES:

Cette méthode a été mise au point au laboratoire de Pédologie de INA- Grignon par GUILLORE (1980).

Une lame mince est un échantillon de sol ou de roche à tendance spéculaire, limité par deux faces planes, parallèles et distantes l'une de l'autre de 25 microns environ.

Celle-ci, permet l'observation en microscopie optique, d'une roche ou d'un sol rendu cohérent par induration plastique si les éléments constitutants sont d'une épaisseur suffisamment fine pour permettre la transmission du flux lumineux microscopique. Cette épaisseur conditionne aussi les teintes de polarisation qui permettent l'identification des minéraux anisotropes; elle doit être constante sur toute la surface de la lame.

7.2.1. Préparation des échantillons

Un échantillon de sol de dimension 20 x 15 x 10 cm est prélevé sur chaque site entre 20 et 40 cm de profondeur en un seul bloc.

Les échantillons sont conservés dans leur état hydrique initial (saturation) dans les sacs plastiques, stockés au réfrigérateur et expédiés au plus vite au laboratoire d'analyse des sols de l'INA PG pour fabriquer les lames minces.

7.2.2. Fabrication des lames minces

La technique de fabrication des lames minces est décrite dans l'annexe VII. Le processus de fabrication de lame mince a rencontré beaucoup de difficulté dans la phase d'échange acétone- résine parce que l'échantillon contenait une importante quantité de chlorure de sodium.

7.2.3. Analyse d'image:

Pour analyser l'image des racines au scanner (Scanner Colograph Traitment Aldus Photostyler) des plaquettes d'un centimètre d'épaisseur ont été prélevées sur les échantillons indurés. Le traitement numérique permet de décrire quantitativement les images et, par la suite, de relier les caractéristiques morphologiques aux autres propriétés des objets ou matériaux étudiés (M. COSTER et J.L. CHARMANT, 1989).

Par combinaison des plans rouge, vert et bleu, une sélection chromatique a été effectuée pour s'approcher des couleurs de la jarosite et des oxydes de fer; les racines ont été sélectionnées et dessinées à la main sur les images digitales avant quantification.

TROISIEME PARTIE

RESULTATS

CHAPITRE 1

LES CONTRAINTES EDAPHIQUES ET LEUR EFFETS SUR LA PHYSIOLOGIE DU COCOTIER

1. VARIATIONS DES FACTEURS EDAPHIQUES EN FONCTION DES SITES ET DE LA SAISON

RAPPEL DE QUELQUES DEFINITIONS

Le pH - Eh

Le pH est le paramètre majeur pour définir les sols de mangrove. Il peut être mesuré directement sur le terrain avec un pH mètre- Eh mètre portable équipé d'électrodes combinés Ingold (BIOBLOCK, 1991). Les mesures ont été faites immédiatement après la sortie de la carotte prélevée à la pelle à vase. Cette mesure donne le pH et Eh in situ . La valeur du pH in situ est essentielle parce que c'est dans cette condition naturelle que la plante se développe. Par ailleurs dans les sols sulfatés acides, l'acidité provoque la mobilité des ions Al^{3+} et Fe^{3+} : si le pH diminue d'une unité, l'activité de Al^{3+} est multipliée par un coefficient 10 (David DENT, 1978).

Pour mesurer le pH du sol sec, les échantillons ont été séchés à l'air et on a procédé à une mesure du pH avec un rapport sol/eau = 1/1. La différence entre le pH in situ et le pH du sol sec constitue l'acidité potentielle. Dans les sols sulfatés acides, la mobilité des éléments comme le fer, le soufre, l'aluminium est liée, non seulement au pH mais aussi au potentiel redox, défini par le Eh.

On note que la pyrite est stable dans une large gamme de pH, en conditions réduites, tandis que la jarosite est limitée aux conditions fortement oxydées et acides et que les oxydes ferriques couvrent une large gamme de Eh à des pH supérieurs à 4.

Salinité globale

Dans les eaux et les sols, la salinité globale a été mesurée avec un conductimètre et exprimée en conductivité électrique à 25°C, en millisiemens/cm (mS/cm).

Pour qualifier la salinité des eaux et des sols , on a dosé les ions majeurs solubles : Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , CO_3^{--} pour les anions , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ pour les cations et dans le cas des sols acides(pH < 3) l'aluminium et le fer; les résultats sont exprimés en milliéquivalents par litre.

Les eaux de la nappe ont été filtrées, sur filtres millipores. Les eaux interstitielles ont été extraites par centrifugation d'échantillons de sol frais à 6000 tours /min.

En ce qui concerne les sols, la salinité et les sels solubles ont été déterminés à partir des extraits aqueux dilués au 1/10 , sur les échantillons séchés à l'air, cette méthode est adaptée aux analyses en série.

La très forte salinité des sols peut, au séchage, entraîner la cristallisation de gypse qui permet de tamponner l'acidité normale et d'augmenter le pH (MARIUS, 1986).

Sodicité

Le paramètre qui sert à caractériser la sodicité est le S.A.R (Sodium Absorption Ratio) qui s'écrit:

$$S.A.R. = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}}$$

(in Tropical soil manuel, 1984)

Ce paramètre est souvent utilisé en relation avec la conductivité électrique pour classer les eaux d'irrigation.

D'après la classification de l' USDA de l'eau d'irrigation sodique , nous avons 4 classes de sodium, comme suit :

Teneur en sodium de l'eau	S.A.R.	Qualité de l'eau d'irrigation
S1: faible	<10	bonne
S2: moyenne	10 - 18	moyenne
S3: élevée	18 - 26	mauvaise
S4: très élevée	>26	très mauvaise

Composition chimique de l'eau de mer moyenne

D'après MARIUS (1986), l'eau responsable de la salinité des sols et des nappes des mangroves est essentiellement d'origine marine. La composition chimique d'une eau de mer moyenne et les rapports caractéristiques résultant de cette composition permettent de comparer l'eau de mer moyenne avec les eaux étudiées.

Composition chimique d'une eau de mer moyenne (meq/l):

Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻
19,6	104,2	9,7	459	535	55,2
HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	Cl / SO ₄	Ca / Mg	Na / K	S.A.R.
2,3	-	9,6	0,19	47,3	58,5

(d'après MARIUS,1986)

La conductivité de cette eau est d'environ 46 mS/cm pour 35,8 gr de sels dissouts par litre. Le pH est de 8,2. Les chlorures représentent environ 90% des anions et le sodium environ 75% des cations. Par ailleurs, on retiendra que l'eau de mer contient très peu de bicarbonates et pas du tout de carbonates. Il s'agit donc d'une eau chlorurée- sodique .

Bilan ionique- Relation conductivité- Somme des ions

La conductivité des extraits aqueux des sols, des nappes et des eaux interstitielles dépend de la nature et de la concentration des ions présents dans la solution. Pour une même concentration, les solutions de NaCl ont une conductivité supérieure aux solutions de MgSO₄. On constate que la somme des anions, en meq/l est égale à environ 10 fois la

conductivité exprimée en mS/cm (MARIUS, 1986). Sur les sols de Basse Casamance, MARIUS (1985) donne les résultats suivants :

$$\text{Somme anions} = 10,6 \text{ CE} - 15; r = 0,98$$

Consistance du sol

La consistance est une donnée physique essentielle. Elle a été définie par un indice n (PONS et ZONNEVELD, 1965), lié à la teneur en eau, à la granulométrie et à la matière organique selon la formule :

$$n = \frac{A - (0,2 \times R)}{L + 3H}$$

dans laquelle :

A = % d' eau d' un échantillon de sol séché à l'air avant d' être desséché dans l' étuve à 105° C.

$R = 100 - L - H = \text{limon} + \text{sable}$

$L = \%$ d' argile

$H = \%$ de matière organique (= carbone organique $\times 1,724$)

Plus n est élevé, moins le sol est " développé " (ou " mûré ").

La détermination de la consistance permet d' apprécier le degré de développement physique d' un sol et 5 classes de développement correspondant à 5 types de consistance sont ainsi définies :

Indice n et classe de consistance			
Indice n	Classe de consistance	Classe de développement	Description de la consistance
>2	1	non développée	fluide, mou, ne peut être contenu dans la main.
1,4 - 2	2	peu développée	sans consistance, très plastique, passe entre les doigts
1 - 1,4	3	semi développée	très malléable, plastique, colle à la main, mais s'échappe entre les doigts.
0,7 - 1	4	presque développée	malléable, un peu plastique, colle à la main, nécessité de forcer pour passer entre les doigts.
< 0,7	5	développée	très consistant, résiste à la pression de la main.

1.1. SITE DE DO HOA

1.1.1. Description générale

Situé dans la zone côtière, entouré par deux bras de la rivière de Saigon : Dong Tranh et Long Tau, Do Hoa est une île que l'on peut considérer comme un biotope.

A l'origine, zone de mangrove, on peut encore trouver des espèces tout à fait caractéristiques :

Rhizophora apiculata .Bl.-*Rhizophoraceae*

Phoenix paludosa .Roxb.-*Palmae*

Sonneratia caseolaris (L.) Engler. *Sonneratiaceae*

Nipa fructicans .Wurmb .*Palmae*

Avicennia officinalis L.*Verbenaceae*

Dans cet écosystème, les marées et les courants côtiers ont une influence prépondérante. S'y ajoute l'influence climatique avec deux saisons distinctes: saison sèche (décembre à mai) et saison des pluies (juin à novembre) qui modifient la salinité de la nappe et des eaux interstitielles .

La génèse et l'évolution des sols de mangrove sont essentiellement liées à la présence des composés soufrés, notamment les sulfures, qui s'accumulent par suite de la réduction des sulfates de l'eau de mer, sous l'influence des bactéries sulfato-réductrices et qui combinés au fer provenant du bassin continental donne la pyrite, FeS_2 (MARIUS, 1986).

L'oxydation de la pyrite est à l'origine de l'acidification de ces sols, le principal produit de l'oxydation étant la jarosite, sulfate basique de fer et de potassium, de formule $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$. La jarosite se présente dans les sols sous forme de taches de couleur jaune pâle 2,5 Y 8/6 .

La séquence étudiée à Do Hoa part de la rive droite de la rivière de Dong Tranh, perpendiculairement, et s'étend sur une centaine de mètres jusqu'à la cocoteraie où se trouvent les essais.

L'étude de cette séquence permet d'analyser l'influence d'un aménagement mal conduit, qui a eu seulement pour conséquence l'acidification de sols qui étaient antérieurement salés .

Rappelons les principales caractéristiques spécifiques des sols sulfatés acides :

- les taches de jarosite de couleur jaune pâle 2,5 Y 8/6 .
- le pH *in situ*, généralement voisin de la neutralité entre 6 et 7 et le pH mesuré sur sols secs (1:1) qui peut s' abaisser à des valeurs inférieures à 3 même 2,5 .
- une consistance peu développée à semi développée.

Bien qu'influencée par les saisons, à Do Hoa la salinité est toujours présente dans le sol et dans la nappe .

Les caractères distinctifs trouvés pour de la séquence de Do Hoa sont:

- l'apparition d'un horizon "purée de marron" avec taches d'oxydes de fer 10 YR3/4 (MARIUS, 1986).

- la consistance varie de 2 à 3, ce qui, avec la présence de matières organiques non décomposées, montre que Do Hoa est un sol jeune, peu développé à semi développé.

- *in situ* le pH s'établit entre 6 et 7, mais sur les échantillons séchés à l'air, sa valeur s'abaisse jusqu'à 3 et même 2,5. L'acidité augmente au cours du séchage des échantillons ce qui traduit le fait que le sol de Do Hoa est potentiellement acide; il devient sol sulfaté acide lors de la réalisation des banquettes pour planter des cocotiers lorsque l'aménagement a provoqué et l'oxydation de la pyrite.

1.1.2. Description des profils types (planche VII)

Les descriptions morphologiques de chaque profil sont détaillées dans l'annexe VIII.

Dans la séquence: cinq profils ont été localisés à 20 m l'un de l'autre à partir de 5m du bord de la rivière jusqu'à la cocoteraie (figure 8).

Dans la cocoteraie: un profil a été localisé sur chaque répétition.

Dans chaque profil, deux échantillons ont été prélevés à 0-20 cm et à 50-70 cm en deux temps:

- fin saison des pluies (novembre 1991)
- fin saison sèche (mars 1992)

En tout, 20 échantillons dans la séquence et 16 échantillons dans la cocoteraie ont été prélevés et analysés.

Pour apprécier le sol en l'état original et après l'aménagement, deux profils types sont présentés ci-après:

a. Sol original (profil DHS2 à 25 m de la rivière)

0 -43 cm : argileux, semi humide, couleur brun foncé 10 YR.3/3 avec reflets très foncés 10YR.3/1, consistance 5, présence de taches rouille d'oxyde de fer 5 YR. 3/4 et nombreuses racines.

43 - 75 cm : humide, couleur gris foncé 10YR.4/1, consistance 3, présence des taches de couleur brun olive clair 2,5Y.5/6, nombreuses racines et radicelles et quelques taches noires 10 YR .2/1.

> 75 cm : humide, couleur gris foncé 10 YR.4/1, consistance 2, présence de taches de couleur brun olive clair 2,5 Y. 5/6 .

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	6,3	6,1	6,1	6,7	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Eh (mV)	47,1	57,1	55,5	20,4	3,2	3,3	5,3	8,7	5,6	3,9

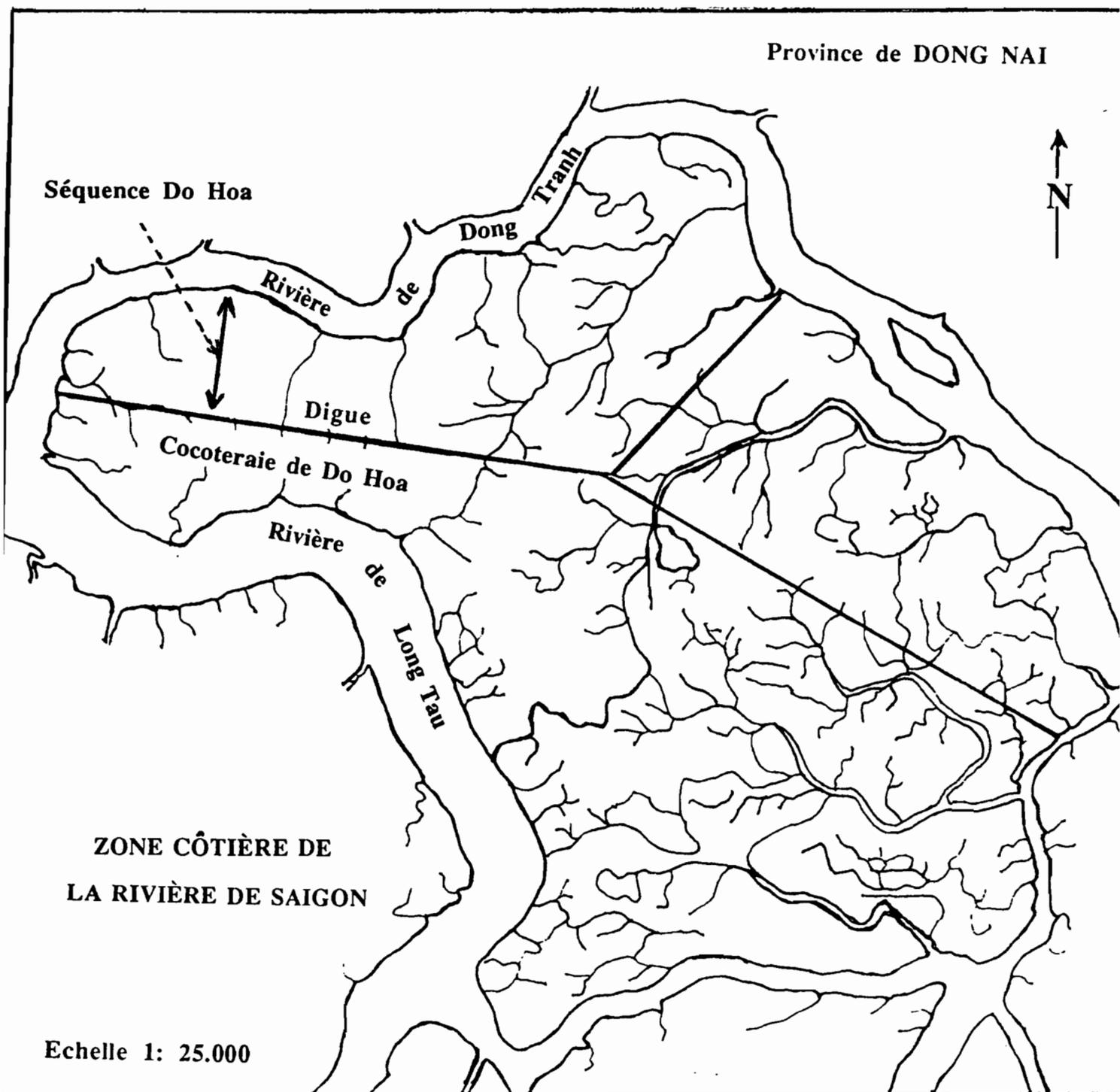


Figure 8: Localisation des profils dans la séquence et dans la cocoteraie (site de Do Hoa)



Photo 1: Profil du sol naturel

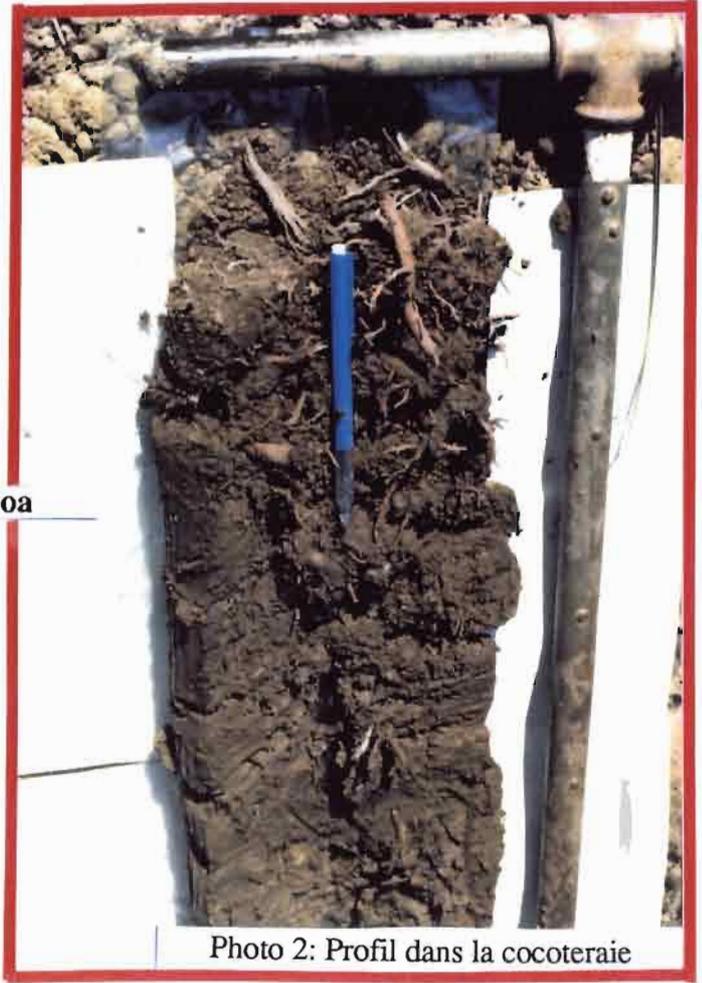


Photo 2: Profil dans la cocoteraie

Planche VII: Coupe de sols sur les deux sites



Photo 3 :Profil du sol naturel

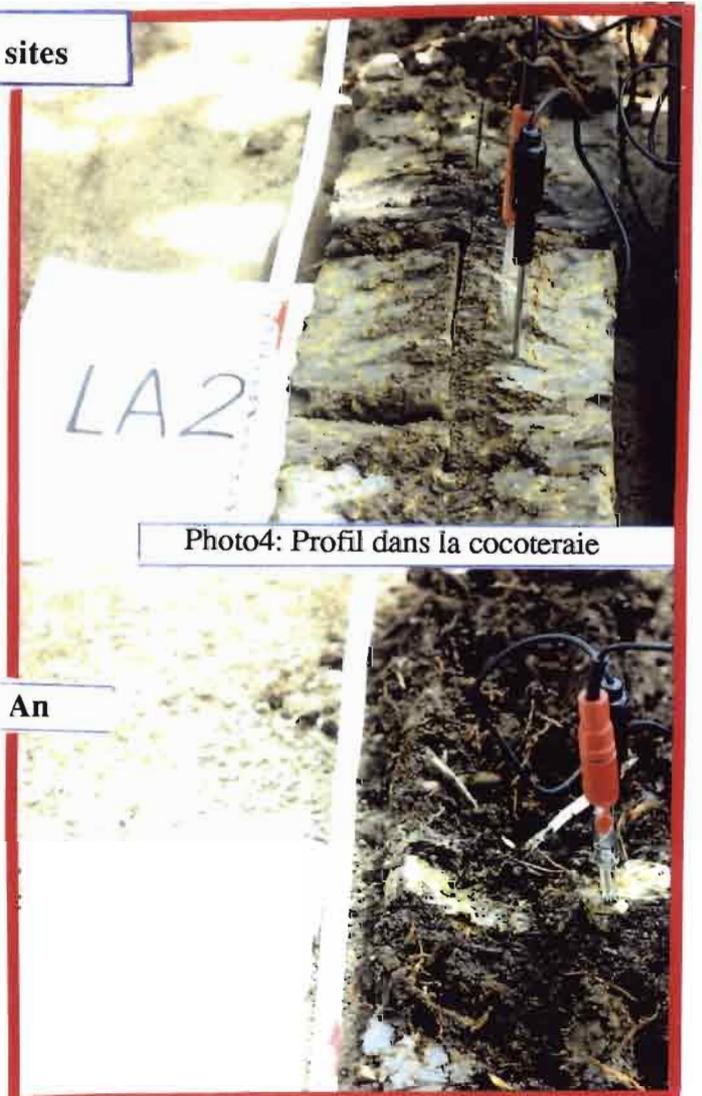


Photo4: Profil dans la cocoteraie

Long An

Soulignons l'état humide du sol du fait de la présence de la nappe à 40 cm de profondeur. La couleur brun foncé avec taches d'oxyde de fer est très typique des sols potentiellement sulfatés acides (MARIUS, 1986). La consistance 5 de l'horizon représente une texture très argileuse, correspondant à un sol développé. En profondeur, les consistances 3 et 2, correspondent respectivement à un sol semi développé et peu développé (PONS et ZONNEVELD, 1965).

Les mesures du pH *in situ* montrent que le sol est pratiquement à la neutralité sur l'ensemble du profil. Ce sont les taches rouilles d'oxyde de fer et la consistance qui permettent de supposer que c'est un sol potentiellement sulfaté acide.

b.Sol dans la cocoteraie:

0- 30 cm: argileux, semi humide, couleur brun foncé 7,5YR.3/2, consistance 5, présence de taches de jarosite 2,5 Y8/6, un mélange avec des taches d'oxyde de fer 10YR.5/8, abondance de racines de cocotier.

30- 60 cm : argileux, humide, couleur gris brun très foncé 10 YR.3/2, consistance 3, présence des taches d'oxyde de fer 10YR.5/8 , peu de racines de cocotier.

60- 100 cm: humide, couleur brun très foncé 10 YR.2/2, consistance 3, abondance de matière organique non décomposée.

> 100 cm: très humide , consistance 2, couleur gris très foncé 2,5 Y.N/0, odeur de sulfure.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	4,1	3,9	4,0	4,2	6,3	6,3	6,4	6,5	6,6	6,5
Eh (mV)	184,7	194,9	189,3	177,9	44,5	41,5	39,6	32,0	27,7	30,6

A partir d'un sol potentiellement sulfaté acide et salé, après aménagement, il apparaît sur les banquettes des taches jaunes de jarosite; les mesures du pH *in situ* montrent que la neutralité n'est conservée que pour les couches profondes (- 50 cm); la partie supérieure est devenue très acide, pH = \pm 4 très différent du sol original: les taches jaunes de jarosite expliquent cette acidité qui résulte de la transformation de la pyrite en jarosite par oxydation avec libération d'H⁺ et baisse du pH : c'est la conséquence d'un aménagement mal conduit. La neutralité conservée en profondeur s'explique par la présence de la nappe. La quantité de racines de cocotier dans l'horizon supérieur du profil montre que le système racinaire supporte assez bien le pH de ce milieu.

Les analyses des caractéristiques physiques et chimiques du sol dans les profils de la séquence et dans la cocoteraie permettent d'étudier les variations, naturelles ou liées à l'aménagement, en fonction de la saison.

NB: la matière organique non décomposée est identifiable

la matière organique décomposée n'est pas identifiable

1.1.3. Caractères physiques et chimiques du sols de Do Hoa

a. Caractères physiques

Les propriétés physiques d'un sol dépendent naturellement des proportions relatives des éléments minéraux constitutifs, mais aussi de la façon dont ils sont associés pour former des unités structurales.

La texture du sol est définie par les cinq classes granulométriques suivantes:

- les sables grossiers : de 2 mm à 200 μ m
- fins : de 200 μ m à 50 μ m
- les limons grossiers : de 50 μ m à 20 μ m
- fins : de 20 μ m à 2 μ m
- les argiles : inférieurs à 2 μ m

A partir des données de l'analyse granulométrique, on construit des triangles de texture qui permettent de classer les sols suivant la classification française (INRA, 1963).

Tableau 9: Résultats d'analyse de la granulométrie à Do Hoa

Profondeur (cm)	Argile %	Limon fin %	Limon grossier %	Sable fin %	Sable grossier %	Teneur en eau %	M.O %
0-20	48,19	21,97	0,71	1,00	11,53	5,44	8,61
20-40	47,10	22,67	1,06	1,03	11,23	5,47	8,89
40-60	39,19	21,95	1,57	0,93	16,37	6,17	11,42
60-80	34,01	19,63	1,66	1,20	12,47	10,56	12,92
80-100	36,66	23,22	1,22	1,00	6,73	11,04	13,85

L'examen du tableau 9 et du triangle granulométrique (figure 9) permet de conclure à la présence d'un sol argilo-limoneux à texture très fine; à part les argiles et limons , seuls les sables grossiers représentent une fraction notable.

On constate des teneurs plus élevées en argiles en surface (48,19%) qu'en profondeur (36,66%). Ce phénomène peut s'expliquer:

- soit par l'activité biologique d'un crustacé: *Thalassica sp Crustacae* , très abondant dans ces sols où il fait des galeries et remonte les argiles de la profondeur vers la surface;
- soit par la réalisation de l'aménagement des banquettes qui entraîne également un remaniement important en ramenant en surface les couches inférieures.

Les teneurs en eau plus élevées au dessous de 60 cm correspondent à la présence de la nappe phréatique.

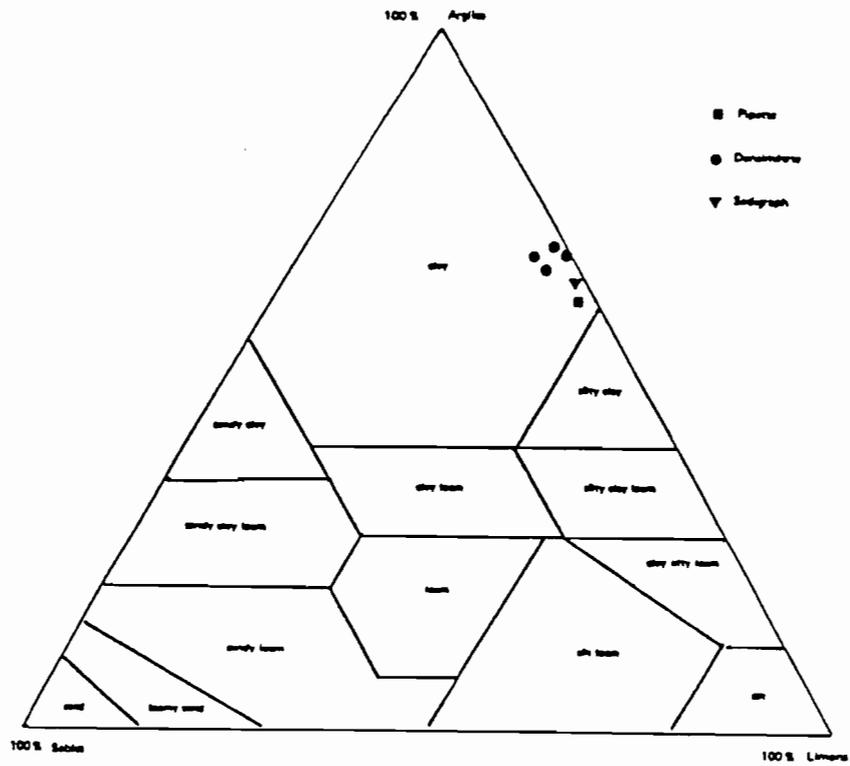
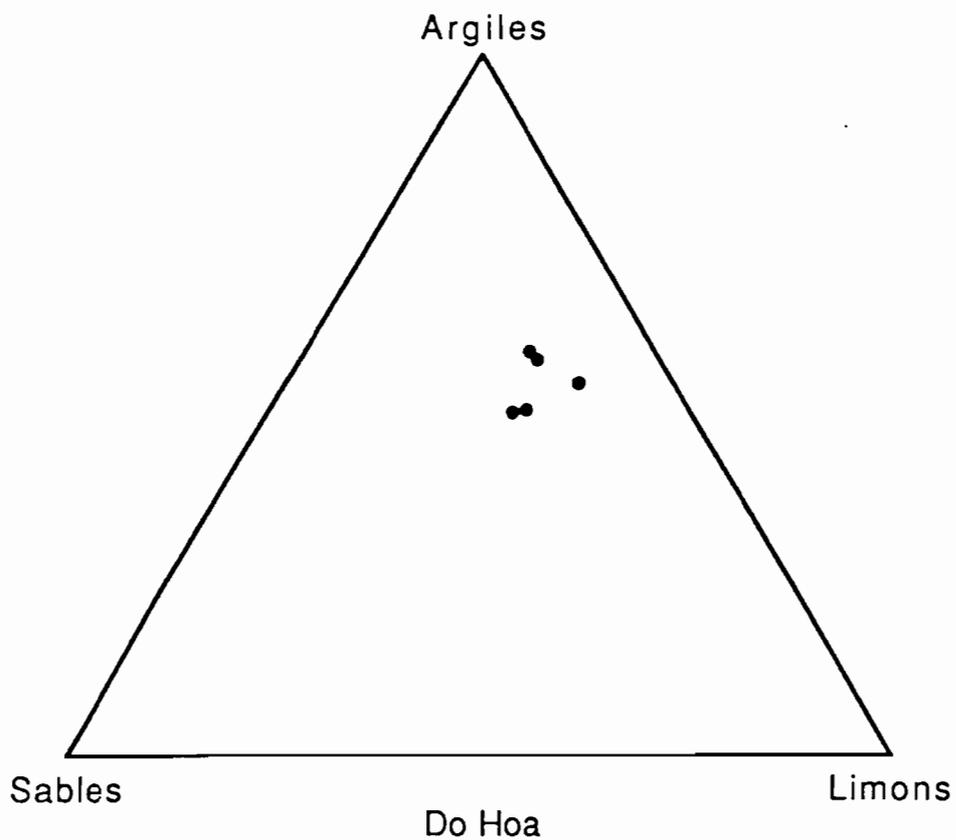


Figure 9: A: Diagramme de texture granulométrique de base (d'après INRA Versailles, 1963)



B: Diagramme de texture granulométrique du sol à Do Hoa

Les argiles de Do Hoa se composent 47% de kaolinite, 24% d'illite, 24% d'interstratifiés illite-smectite à 40% de smectite et 5% de chlorite. La présence d'interstratifiés s'explique par l'effet de la marée et par la jeunesse des sols de Do Hoa.

b. Caractères chimiques du sol à DoHoa (annexe IX)

- *Matière organique et complexe absorbant du sol Do Hoa*

Tableau 10 : Complexe absorbant du sol de Do Hoa

	Profil 0-20 cm	Profil 50-70 cm
Matière organique (%)	8,61	11,42
Carbone organique (%)	4,9	6,6
Azote total (‰)	3,38	4,81
C/N	14,5	13,7
C.E.C. (meq/100g)	33,1	34,1
Σ tous cations (meq/100g)	29,5	31,6

L'horizon superficiel (0-20cm) présente des teneurs de matière organique, de carbone organique et d'azote total plus faibles qu'en profondeur (figure 10). Le rapport C/N, qui varie entre 14,7 et 14,9, traduit le faible degré de décomposition de la matière organique dans ce sol (MARIUS, 1982). La capacité d'échange est importante pour un sol tropical (généralement environ 10). La valeur de la C.E.C. est liée aux charges ioniques des argiles et à l'étendue des surfaces accessibles à l'échange (MOREL,1989).

- *Le pH - Eh*

La figure 11 montre que le pH *in situ* dans les sols de Do Hoa est généralement voisin de la neutralité ou légèrement acide; plus élevé en profondeur qu'en surface, le pH dans la séquence décroît quand on s'éloigne du bord de la rivière vers la cocoteraie; il varie de 5,53 à 6,95, sauf au profil S5 où la présence d'une digue antimarée à proximité justifie une remontée de pyrite en surface à l'occasion des terrassements, pH *in situ* = 4,07.

La figure 12 montre que le pH du sol sec, en surface, en fin de saison des pluies (novembre 1991) varie peu dans les 4 premiers profils et qu'il est compris entre 5 et 6 donc faiblement acide, alors qu'à proximité de la cocoteraie, il est nettement acide (inférieur à 4).

Figure 10: Matière organique du sol à Do Hoa en fonction de la profondeur

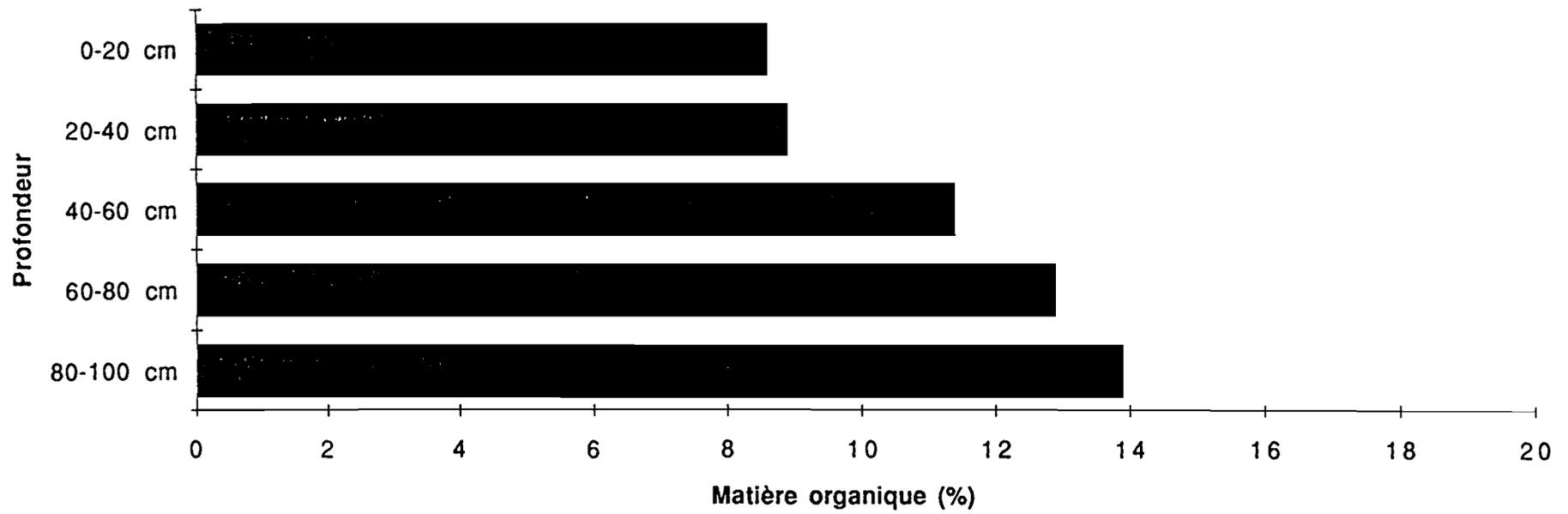
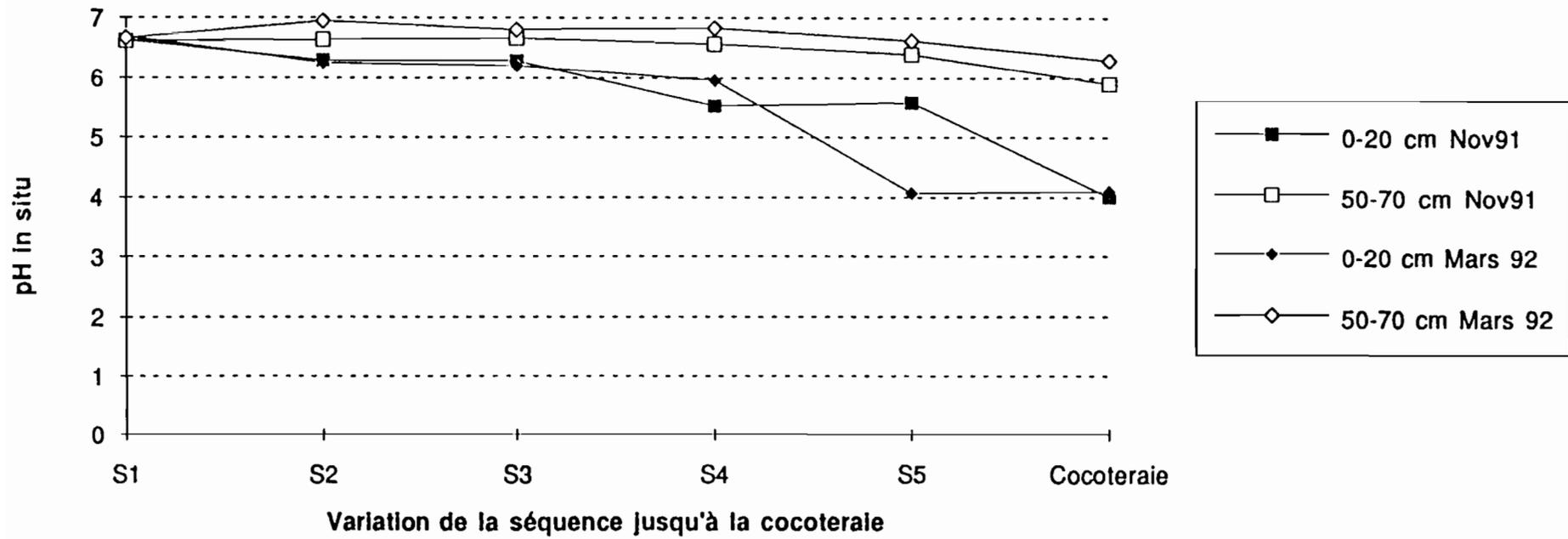
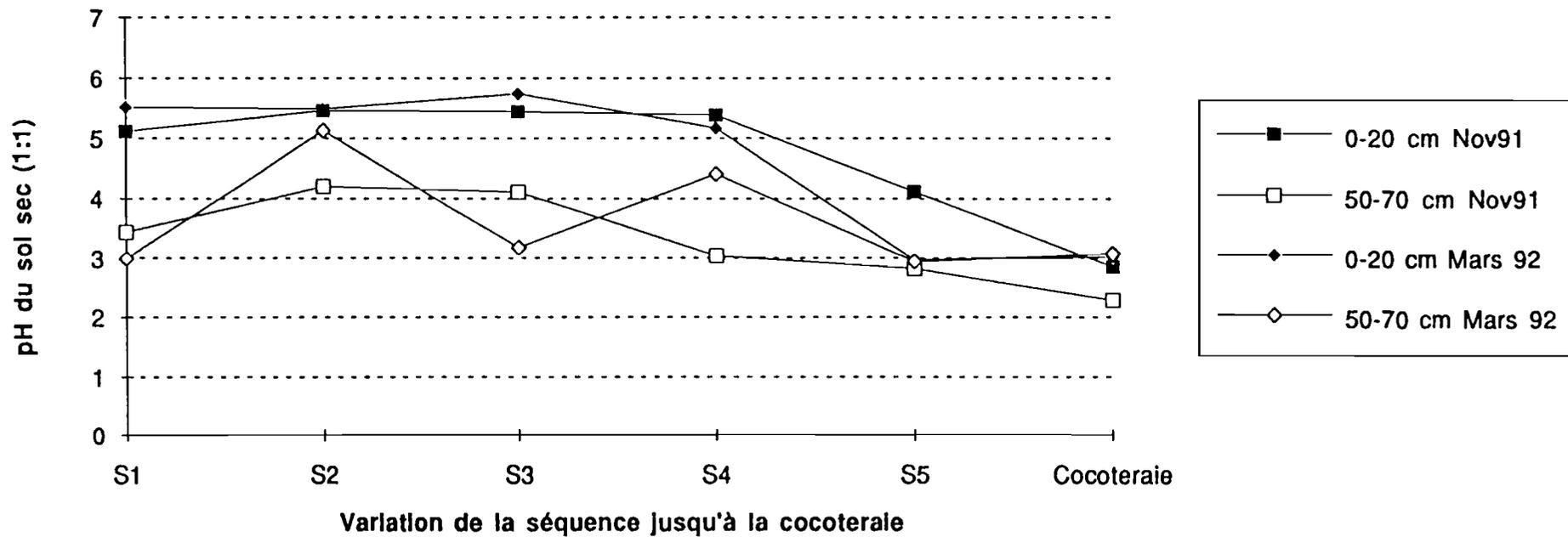


Figure 11: Variation du pH *in situ* dans le sol à Do Hoa



S1,S2,S3,S4,S5: les différents profils dans la séquence Do Hoa

Figure 12: pH du sol sec (1:1) dans le sol à Do Hoa



S1,S2,S3,S4,S5: les différents profils dans la séquence Do Hoa

Dans l'horizon 0- 20 cm, le pH *in situ* est moins élevé que celui de l'horizon 50- 70 cm , mais quand nous observons le pH du sol sec, on constate que le pH s'abaisse jusqu'à des valeurs de l'ordre de 2,82. Ce qui permet d'expliquer la présence de la pyrite dans la couche 50 - 70 cm, qui devient extrêmement acide au cours du séchage. Entre les deux saisons : sèche et humide, le pH de l'horizon 0- 20 cm ne change pas beaucoup, mais dans l'horizon 50- 70 cm , en saison sèche, le pH est toujours plus élevé que dans la saison des pluies, ce qui s'explique par l'augmentation de la salinité qui a neutralisé l'acidité du sol.

En revanche, pendant cette même saison, en profondeur, le pH du sol sec est très acide, inférieur à 4, dans toute la séquence. Ce qui montre qu'il y a une accumulation de la pyrite, à cette profondeur.

La comparaison des figures 11 et 12 montre que le pH *in situ* est toujours plus élevé que le pH du sol sec.

On vérifie l'excellente corrélation pH -Eh *in situ* , $r = 0,998$ (figure 13).

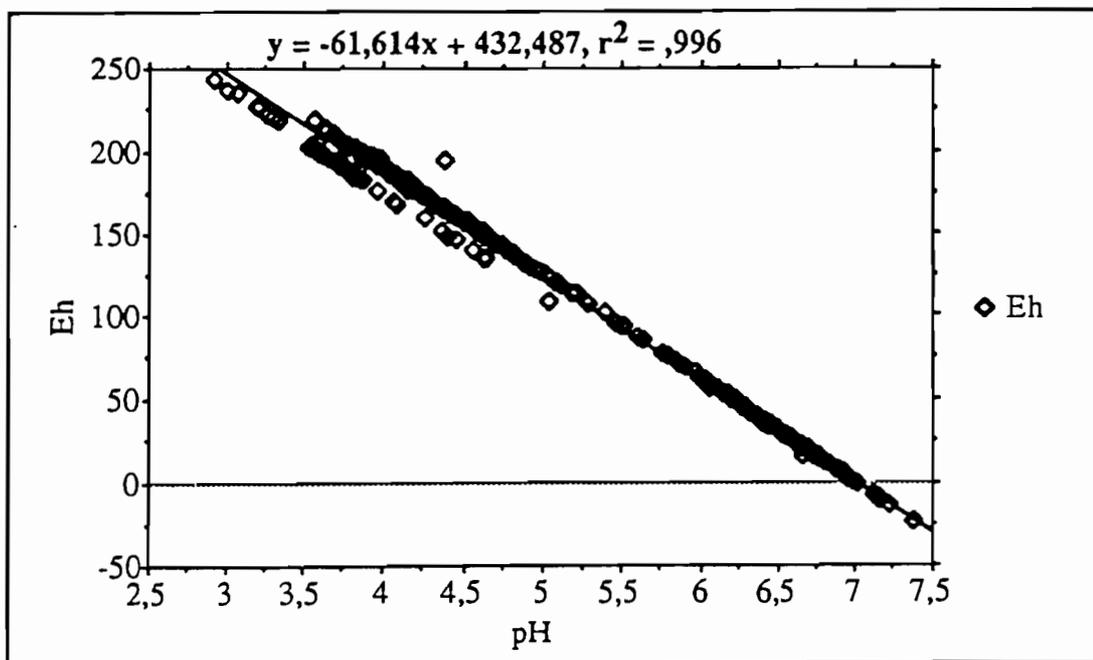


Figure 13: Corrélation entre le pH et Eh *in situ*

-La salinité du sol

L'examen de la figure 14 montre que la salinité est élevée dans l'ensemble des horizons et nettement supérieure à 4 mS/cm. Ce sont donc des sols salés. On observe que, dans la séquence, la salinité est très nettement plus élevée en saison sèche (presque le triple) qu'en saison des pluies, en surface.

La salinité augmente en saison sèche, en surface comme en profondeur, mais les variations sont plus faibles entre les saisons dans l'horizon profond par rapport à l'horizon de surface. Ce qui montre bien que les pluies ne lessivent les sels que dans les 50 cm superficiels, comme l'avait déjà montré MARIUS (1975) en Basse Casamance, permettant ainsi la riziculture.

Il faut distinguer entre les profils de la séquence et ceux de la cocoteraie.

Pour la séquence (tableau 11 A), en fin de saison des pluies comme en fin de saison sèche, le profil le plus voisin de la rivière présente la plus forte conductivité pour l'horizon 0-20 cm, le site de Do Hoa étant nettement salé ; la salinité de l'horizon supérieur des sols est très influencée par la proximité de la rivière de conductivité 24,9 mS/cm :

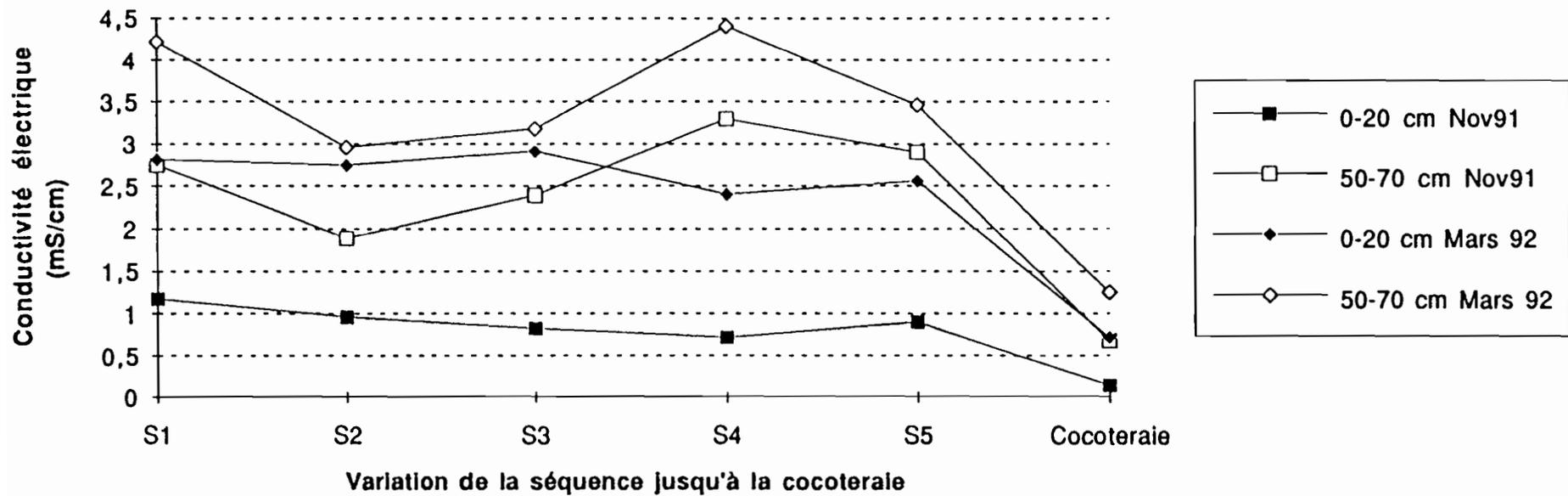
La conductivité est toujours plus forte en profondeur quelle que soit la saison, elle est nettement plus élevée en fin de saison sèche sur les deux horizons: ceci s'explique par la présence de la nappe à moins d'un mètre de profondeur, nappe fortement salée en fin de saison sèche. Cette situation est liée à la proximité de la mer.

Tableau 11 A: La conductivité électrique du sol dans la séquence, extrait 1:10 (mS/cm).

Profondeur (cm)	Profils	Novembre 91	Mars 92
0-20	S1	1,17	2,81
	S2	0,96	2,75
	S3	0,83	2,91
	S4	0,72	2,40
	S5	0,90	2,56
50-70	S1	2,75	4,22
	S2	1,89	2,96
	S3	2,39	3,18
	S4	3,30	5,41
	S5	2,90	3,46

Pour la cocoteraie, la salinité est toujours supérieure à 1,47 mS/cm quelle que soit la saison et la profondeur; la saison sèche est marquée par une salinité nettement supérieure à celle de la saison des pluies: ceci s'explique par le lessivage des sels par les pluies (tableau 11 B).

Figure 14: Variation de la conductivité électrique du sol à Do Hoa (extrait 1/10)



S1,S2,S3,S4,S5: les différents profils de la séquence Do Hoa

Tableau 11 B: Conductivité électrique du sol dans la cocoteraie , extrait 1:10 (mS/cm)

Profondeur (cm)	Novembre 91	Mars 92
0-20	0,15± 0,02	0,72 ± 0,09
50-70	0,67 ± 0,21	1,25 ± 0,14

- Composition chimique du sol

Rappelons que l'analyse des ions solubles a été faite sur l'extrait 1/10 du sol séché, de ce fait, elle ne reflète pas la réalité du sol *in situ* , comme l'a montré MARIUS (1985) pour les sols de Basse Casamance.

Alors que la salinité est due à l'eau de mer, on observe que le rapport Cl^- / SO_4^{--} qui est voisin de 10 pour l'eau de mer est nettement inférieur à cette valeur, surtout en profondeur (figure 15) et en saison des pluies où le taux des sulfates est plus élevé que celui des chlorures. Ceci est dû à l'oxydation des sulfures en sulfates pendant le séchage à l'air.

Il est intéressant de noter qu'à la fin de la saison sèche, le rapport Cl/SO_4 de l'horizon de surface se rapproche de celui de l'eau de mer montrant que le sol est imprégné de l'eau de mer alors qu'en fin de saison des pluies, l'eau douce ayant lessivé les sels, c'est le taux de sulfates résultant de l'oxydation de la pyrite qui s'élève.

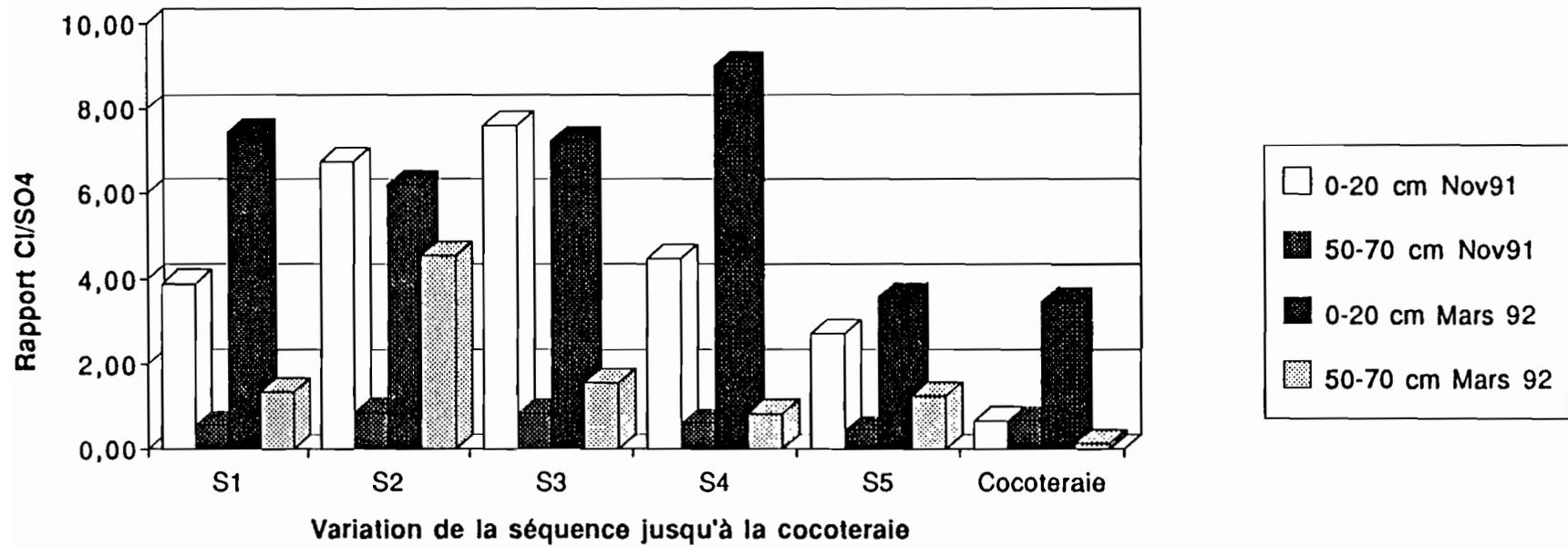
Dans la séquence, pendant deux saisons, et dans les deux horizons étudiés, c'est le profil 5, le plus loin du cours d'eau, qui montre le rapport Cl/SO_4 le plus faible. Ce profil est donc plus sulfaté acide que salé (tableau 11).

Dans la cocoteraie, à la fin de saison des pluies, le rapport Cl/SO_4 est de 0,59 pour l'horizon 0-20cm et de 0,31 à la profondeur 50-70cm. Ce rapport augmente à la fin de la saison sèche pour atteindre 3,48 en surface et 1,40 en profondeur, ceci montre qu'en profondeur, la teneur en sulfates est dominante par rapport aux chlorures (tableaux 12A, B).

Parmi les cations, on a toujours la séquence $Na > Mg > Ca > K$ alors que pour les anions, en profondeur et en saison des pluies, c'est SO_4 qui prédomine sur Cl . En surface, ce sont les chlorures qui prédominent, en toutes saisons.

La corrélation entre la somme des anions et la conductivité électrique est dans l'annexe X et, entre Na^+ et Cl^- dans l'annexe XI.

Figure 15: Rapport Cl/SO4 dans le sol à Do Hoa



S1,S2,S3,S4,S5: les différents profils dans la séquence Do Hoa

Tableau 11: Composition en ions solubles de la séquence des sols à Do Hoa

Temps	Profil	Profondeur	EC	K+	Na+	Ca++	Mg++	Cl-	SO4--	Cl/SO4
		cm	mS/cm	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	
Nov-91	S1	0-20	1,17	0,38	8,98	0,15	0,54	8,93	2,30	3,88
	S2		0,96	0,25	8,65	0,09	0,29	8,09	1,20	6,74
	S3		0,83	0,19	6,28	0,07	0,19	7,14	0,94	7,60
	S4		0,72	0,30	7,90	0,28	0,60	7,33	1,64	4,47
	S5		0,90	0,32	5,78	0,15	0,55	6,41	2,53	2,53
	S1	50-70	2,75	0,14	15,83	2,83	10,57	11,76	20,12	0,58
	S2		1,89	0,96	11,57	1,43	4,20	8,71	9,76	0,89
	S3		2,39	0,76	14,65	2,06	6,60	11,05	12,84	0,86
	S4		3,30	0,01	26,37	6,09	19,82	13,22	21,09	0,63
	S5		2,90	0,01	9,87	4,72	16,00	8,87	19,14	0,46
Mar-92	S1	0-20	2,81	0,70	21,70	0,84	2,31	25,38	3,41	7,44
	S2		2,75	0,87	21,09	0,62	2,63	22,15	3,57	6,20
	S3		2,91	0,71	22,40	1,00	2,56	26,23	3,62	7,25
	S4		2,40	0,68	18,61	0,45	1,92	21,78	2,41	9,04
	S5		2,56	0,72	16,90	1,22	4,18	21,43	5,97	3,59
	S1	50-70	4,22	1,20	24,10	1,98	6,96	24,81	18,30	1,36
	S2		2,96	0,96	21,40	0,94	3,02	24,53	5,41	4,53
	S3		3,18	1,20	20,31	2,01	6,55	18,50	11,80	1,57
	S4		5,41	0,82	24,65	9,16	24,63	20,86	24,56	0,85
	S5		3,46	1,12	21,10	2,31	8,14	20,02	15,97	1,25

Tableau 12 : A. Composition en ions solubles du sol de la cocoteraie à Do Hoa en novembre 1991

Horizons	Répétitions	pH	EC	K+	Na+	Ca++	Mg++	Cl-	SO4--
			mS/cm	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g
0-20 cm	1	2,82	1,41	0,18	3,80	0,68	1,76	3,67	5,35
	2	3,12	1,33	0,20	4,10	0,21	1,32	3,38	6,50
	3	2,96	1,41	0,35	6,30	0,88	2,08	4,79	6,70
	4	2,49	1,73	0,11	5,30	0,87	2,88	3,95	7,83
	Moyenne	2,85	1,47	0,21	4,88	0,66	2,01	3,95	6,59
	Ecart-type	0,27	0,18	0,10	1,15	0,31	0,66	0,61	1,02
50-70 cm	1	2,01	9,76	0,05	21,80	6,12	11,48	20,02	49,14
	2	2,39	5,69	0,07	17,10	6,55	17,36	13,82	35,87
	3	2,62	5,23	0,25	17,50	5,36	13,04	11,84	30,21
	4	2,12	6,02	0,05	17,30	6,20	14,84	3,95	41,64
	Moyenne	2,29	6,68	0,11	18,43	6,06	14,18	12,41	39,21
	Ecart-type	0,27	2,08	0,10	2,26	0,50	2,53	6,63	8,09

B. Composition en ions solubles du sol de la cocoteraie à Do Hoa en mars 1992

Horizons	Repetitions	pH	EC	K+	Na+	Ca++	Mg++	Cl-	SO4--
			mS/cm	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g
0-20 cm	1	2,97	7,69	0,45	14,70	1,06	3,05	17,77	5,08
	2	3,01	8,55	0,44	15,30	0,83	2,62	18,89	3,56
	3	3,12	6,78	0,46	12,90	1,17	2,40	16,07	7,91
	4	2,96	5,93	0,39	11,90	0,86	1,92	13,54	2,44
	Moyenne	3,02	7,24	0,44	13,70	0,98	2,50	16,57	4,75
	Ecart-type	0,06	0,98	0,03	1,36	0,14	0,41	2,02	2,05
50-70 cm	1	3,27	12,19	0,93	23,90	1,93	7,12	25,10	11,76
	2	2,49	14,58	0,91	20,40	5,11	11,82	22,00	32,17
	3	3,28	11,74	1,03	24,30	2,33	7,95	24,25	12,08
	4	3,28	11,74	1,03	24,30	2,33	7,95	24,25	12,08
	Moyenne	3,08	12,56	0,98	23,23	2,93	8,71	23,90	17,02
	Ecart-type	0,39	1,36	0,06	1,89	1,47	2,11	1,33	10,10

1.1.4. Nappe de Do Hoa (tableau 13)

Dans la séquence de Do Hoa, des échantillons de la nappe ont été prélevés en même temps que les échantillons de sols. L'étude des variations saisonnières de la nappe phréatique, en liaison avec la marée, d'une part, et l'eau de pluie, d'autre part, est basée sur deux séries d'analyses :

- fin saison sèche (mars 92)
- fin saison des pluies (novembre 92)

En outre, la variation de la salinité dans la nappe a été observée tous les deux mois pendant un an (juillet 1991 - juillet 1992)

a. Le pH de la nappe

Le pH de la nappe subit une variation saisonnière liée au dessalement. En effet, le pH est , dans l'ensemble, légèrement plus élevé en saison sèche qu'en saison des pluies, d'une part, et plus élevé, à mesure qu'on s'éloigne de la rivière, d'autre part. La nappe du profil S5, protégé par la digue antimarée est acide en toutes saisons .

b. La salinité de la nappe

La salinité de la nappe est élevée en toutes saisons, supérieure à 4 mS/cm et sa variation en cours d'année est importante. En effet, en fin de saison des pluies (nov.91), elle est inférieure à 10 mS/cm et s'élève à des valeurs comprises entre 20 et 30mS/cm en fin de saison sèche (mai 92) soit presque le triple de la valeur de saison des pluies. Ceci rejoint les observations de MARIUS en Casamance. Les variations de la salinité dans la séquence sont peu marquées ainsi que dans la cocoteraie où les valeurs sont inférieures .

La figure 16 montre la variation de la conductivité de la nappe dans la séquence (annexe XIIA).

En fin de saison sèche, dans la cocoteraie, la conductivité varie de 16,8 à 23,8 mS/cm alors que les profils de la séquence ont des conductivités généralement plus élevées, de 20,3 à 29,9 mS/cm. Cette dernière valeur est plus élevée que la conductivité de l'eau de la rivière (24,9 mS/cm).

En novembre, après le lessivage provoqué par la saison des pluies, la conductivité dans la cocoteraie s'abaisse à 4,92 mS/cm; celles des profils de la séquence diminue également mais comme en saison sèche, elle est toujours supérieure à la conductivité plus élevée.

c. Composition chimique de la nappe

Le tableau 13 exprime la composition chimique de la nappe (en mS/cm). Les nappes prélevées en fin de saison sèche (mars 92) ont une composition chimique comparable à celle de la rivière.

- Les anions sont essentiellement représentés par les chlorures et les sulfates.
- Les cations sont représentés dans l'ordre suivant: Na > Mg > Ca > K. On trouve une bonne corrélation entre la somme des cations (figure 17) et entre Na⁺ et Cl⁻ (figure 18).

Tableau 13 : Variation de la composition chimique de la nappe à Do Hoa en mars 92

	pH	EC	Na+	K+	Ca++	Mg++	Cl-	SO4--	Cl/SO4
		mS/cm	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	
Eau de mer*	8,20	46,0	459,00	9,70	19,60	104,20	535,00	55,20	9,7
DH Riviere	7,55	24,9	216,96	5,86	12,13	40,67	228,80	21,28	10,8
S1	7,54	28,1	248,70	6,50	13,85	52,72	259,88	24,77	10,5
S2	7,42	26,4	205,66	4,83	11,51	41,65	197,94	22,21	8,9
S3	7,44	25,2	239,14	5,40	12,21	45,36	268,75	23,84	11,3
S4	7,74	29,9	268,70	5,63	14,64	53,91	281,33	25,17	11,2
S5	6,90	20,3	176,96	4,16	18,26	38,12	233,83	21,23	11,0
R1	5,80	16,8	146,96	3,91	16,13	37,75	164,76	13,62	12,1
R2	5,97	17,9	150,00	4,24	16,22	30,22	161,22	13,04	12,4
R3	4,89	23,8	207,83	4,74	24,64	45,52	223,45	26,07	8,6
R4	5,14	19,3	163,48	4,02	17,47	35,16	192,84	17,83	10,8
Moyenne des R	5,45	19,5	167,07	4,23	18,62	37,16	185,57	17,64	11,0
Ecart-type	0,52	3,1	28,11	0,37	4,06	6,39	28,95	6,01	1,7

S1, S2, S3, S4, S5: différents profils dans la séquence- R1, R2, R3, R4: répétitions 1, 2, 3, 4 dans la cocoteraie- Eau de mer: source MARIUS,1986.

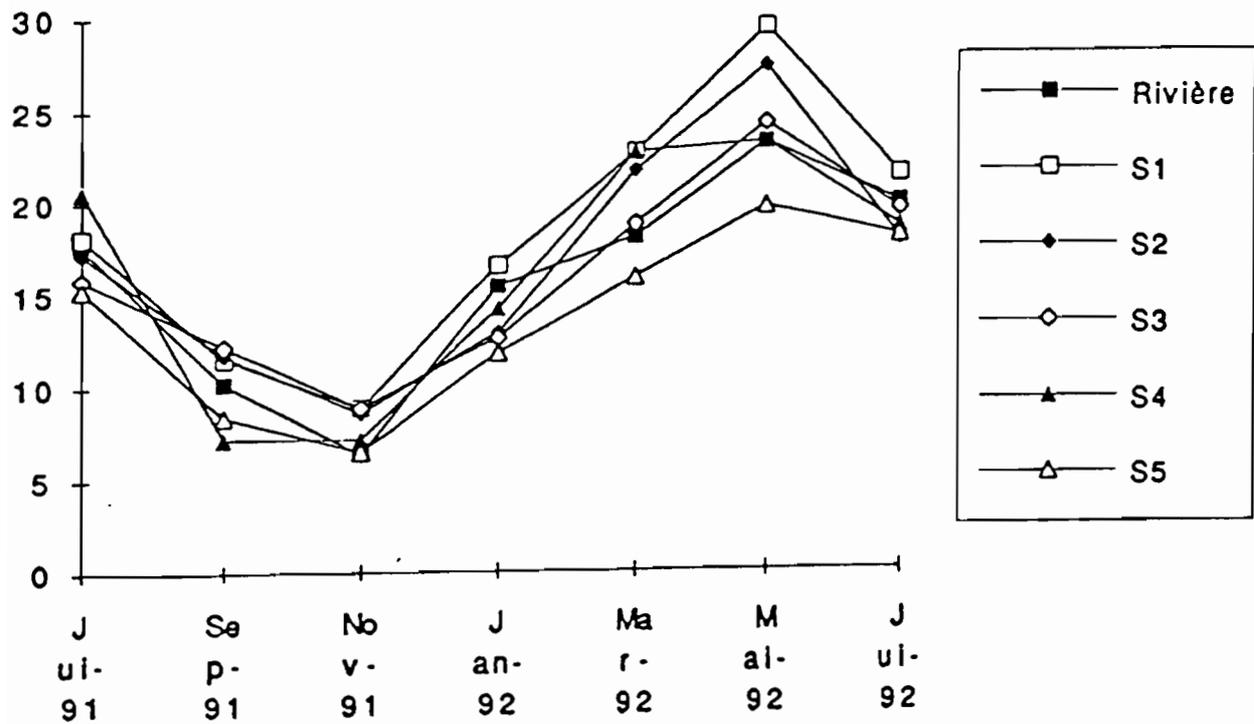


Figure 16: Variations saisonnières de la conductivité électrique de la nappe à Do Hoa (mS/cm)

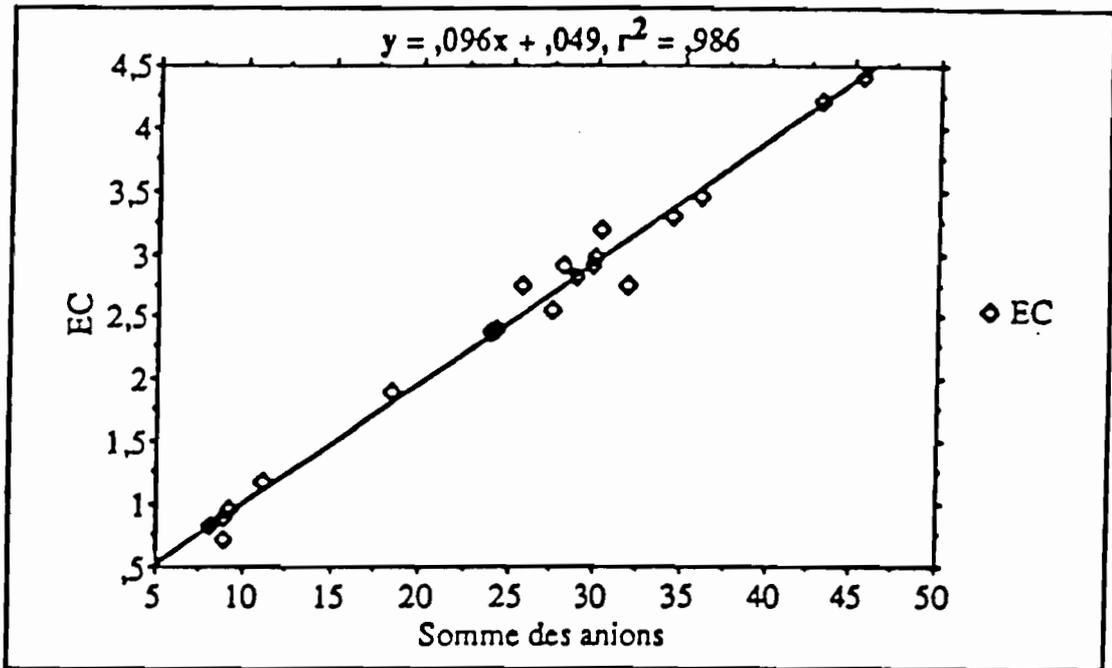


Figure 17 - Corrélation entre la somme des anions et la conductivité électrique dans la nappe à Do Hoa

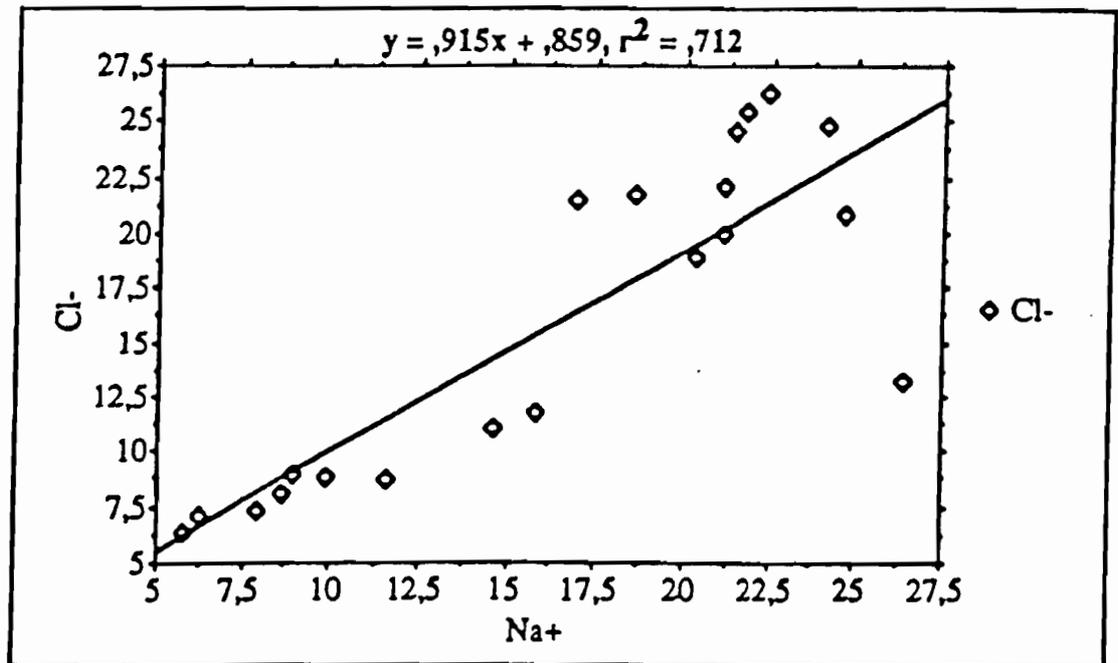


Figure 18 - Corrélation entre Na⁺ et Cl⁻ dans la nappe à Do Hoa

Les rapports des ions / Cl^- : (annexe XIIB)

Le sodium : le rapport $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$ est de l'ordre de 0,85 dans l'eau de mer, dans la séquence de DoHoa, en Mars, il varie entre 0,76 et 1,04 dans les nappes.

Le potassium: le rapport K^+ / Cl^- est voisin de 0,02 dans l'eau de mer, nous retrouvons ici pour la nappe un rapport K^+ / Cl^- de même valeur de 0,02 .

Le calcium: le rapport $\text{Ca}^{++} / \text{Cl}^-$ est de 0,036 dans l'eau de mer, et l'on observe à Do Hoa que ce rapport varie de 0,05 à 0,08. La teneur en calcium systématiquement supérieure à celle de l'eau de mer peut atteindre le double.

Le magnésium: le rapport $\text{Mg}^{++} / \text{Cl}^-$ est de 0,2 dans l'eau de mer et dans l'ensemble des nappes, il varie entre 0,16 et 0,21 ce qui traduit une légère déficience en magnésium par rapport à l'eau de mer.

Les chlorures : la teneur des chlorures est extrêmement élevée dans la nappe et dans toute la séquence durant la saison sèche.

Les sulfates : le rapport Cl / SO_4 est de 9,7 dans l'eau de mer et dans la nappe, il varie de 10 à 12 dans la séquence et de 8 à 12 dans la cocoteraie.

Le tableau 14 exprime les rapports de Ca/Mg , $\text{Na}+\text{K}/\text{Ca}+\text{Mg}$, SAR dans la nappe. L'utilisation de certains rapports caractéristiques Cl/SO_4 (SADO-NIKOV, 1953) et $\text{Na}+\text{K}/\text{Ca}+\text{Mg}$ (IVANOVA et ROSANOV,) pour classer les eaux, nous conduit à caractériser toutes les nappes de Do Hoa comme chlorurées- sodiques. En effet, le rapport Cl / SO_4 est toujours supérieur à 8,9 tandis que le rapport $\text{Na}+\text{K}/\text{Ca}+\text{Mg}$ est voisin ou légèrement supérieur à 4 (eaux sodiques) ; avec dans tous les cas, un rapport Ca/Mg inférieur à 0,48 .

En résumé, la nappe phréatique de Do Hoa en saison sèche est extrêmement salée. Cette salinité explique la neutralité du pH par la dominance de la salinité d'une part, et d'autre part du fait qu'il n'existe pas d'oxydation de la pyrite dans le sol.

Tableau 14: Rapports des teneurs en ions Ca/Mg , $\text{Na}+\text{K}/\text{Ca}+\text{Mg}$ et sodium absorption ratio (SAR) de la nappe à Do Hoa.

Echantillons	Ca/Mg	$\text{Na}+\text{K}/\text{Ca}+\text{Mg}$	SAR
L'eau de mer*	0,19	3,79	58,50
Rivière	0,30	4,22	42,23
S1	0,26	3,83	43,11
S2	0,28	3,96	39,89
S3	0,27	4,25	44,57
S4	0,27	4,00	45,90
S5	0,48	3,21	33,33
Cocoteraie	0,50	3,07	31,64

1.1.5. Eaux interstitielles de DoHoa (tableau 15)

En mars 1992, une série de sols frais a été prélevée et les eaux interstitielles ont été extraites par centrifugation à 6000 tours /minute. Les eaux interstitielles sont importantes parce qu'elles libèrent les éléments nutritifs que la plante absorbe.

a. Le pH des eaux interstitielles

Dans les 5 échantillons des eaux interstitielles de la séquence, le pH est élevé sauf pour le profil S5, où il existe une perturbation liée à la présence d'une digue antimarée. Dans la cocoteraie, l'acidité est beaucoup plus marquée avec une moyenne de 4,4.

b. La salinité

A proximité immédiate de la rivière, les eaux interstitielles ont une salinité assez proche de celle de l'eau de mer (35 contre 45 mS/cm);. cette valeur diminue vers la cocoteraie, ce qui montre que le sol a filtré la salinité apportée par la marée.

L'étude de la figure 19 montre que la salinité des eaux interstitielles est généralement supérieure à celle de la rivière sauf dans la cocoteraie et au profil particulier de S5.

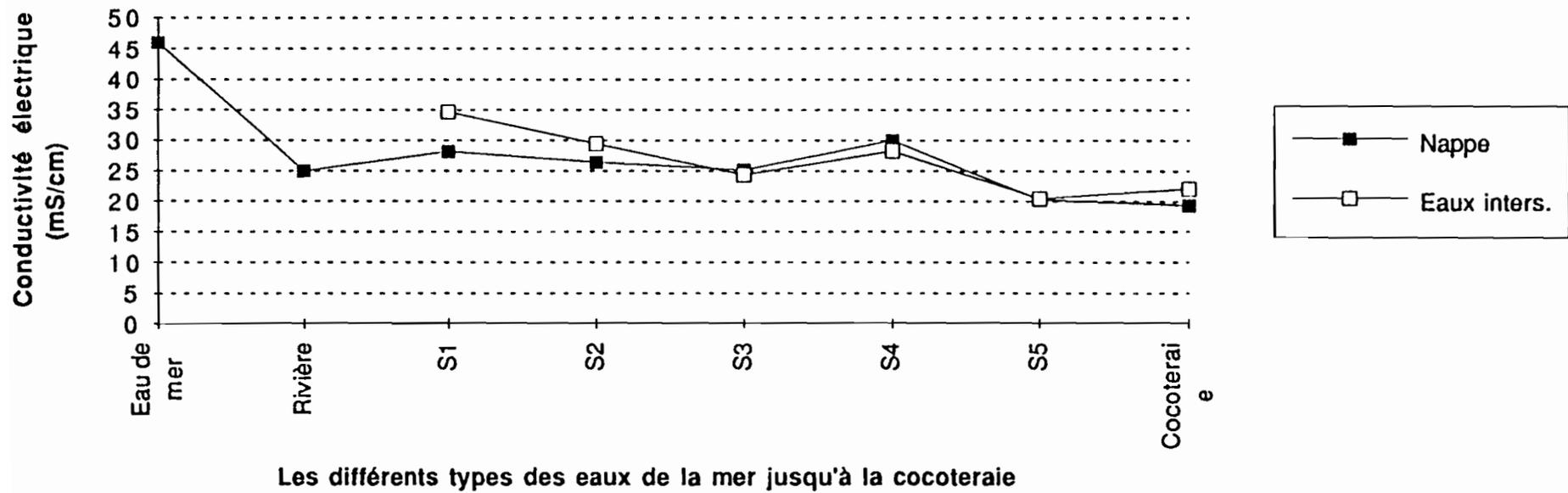
La figure 20 permet la comparaison de la salinité de la nappe et de l'eau interstitielle dans les différents sites de prélèvement : pratiquement, les eaux interstitielles présentent toujours une salinité plus élevée.

Tableau 15 : Variation de la composition chimique des eaux interstitielles à Do Hoa en mars 92

Sites	pH	EC mS/cm	Na+ meq/l	K+ meq/l	Ca++ meq/l	Mg++ meq/l	Cl- meq/l	SO4-- meq/l	Cl/SO4
DHS1	6,37	34,70	351,75	7,85	20,31	93,26	373,60	39,64	9,4
S2	7,78	29,42	189,57	5,11	12,48	56,75	216,06	22,11	9,8
S3	7,21	24,38	235,00	6,29	15,87	70,44	271,87	30,43	8,9
S4	7,21	28,22	284,79	6,85	16,77	77,72	315,27	32,05	9,8
S5	4,32	20,53	194,79	4,93	11,43	50,29	207,85	26,86	7,7
R1	3,23	21,25	203,05	5,12	16,27	63,82	218,15	41,60	5,2
R2	6,85	20,53	195,87	5,18	15,07	61,47	213,56	39,18	5,5
R3	3,06	26,54	248,48	5,63	21,26	84,71	278,96	46,54	6,0
R4	4,32	20,17	207,61	4,38	16,97	67,11	202,01	48,30	4,2
Moyenne des R	4,37	22,12	213,75	5,08	17,39	69,28	228,17	43,91	5,22
Ecart-type	1,75	2,98	23,65	0,51	2,69	10,54	34,53	4,24	0,76

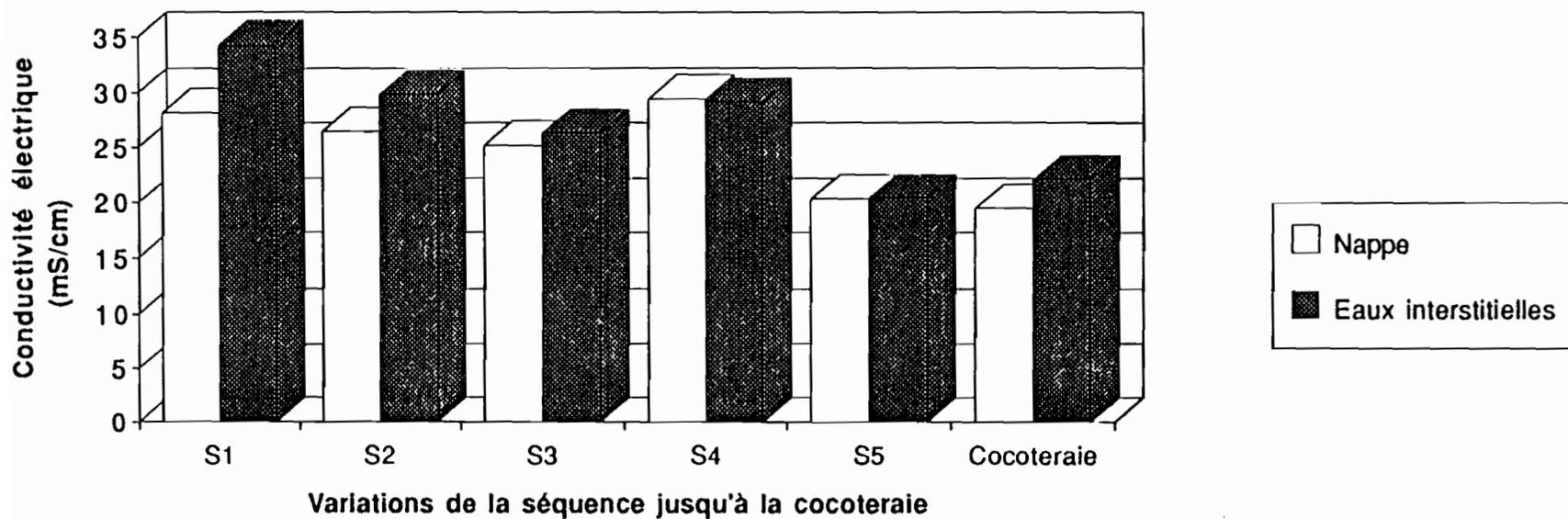
S1,S2,S3,S4,S5: différents profils dans la séquence - R1, R2, R3, R4: répétitions 1, 2, 3, 4 dans la cocoteraie

Figure 19 - Variation de la salinité de la nappe et des eaux interstitielles à Do Hoa



S1,S2, S3,S4, S5: différents profils dans la séquence

Figure 20 - Comparaison de la salinité de la nappe et de l'eau interstitielle dans la séquence et dans la cocoteraie à Do Hoa



S1, S2, S3, S4, S5: différents profils dans la séquence

1.2. SITE DE LONG AN

1.2.1. Description générale

Située au bord de la rivière de Vam Co Dong, Long An est une des provinces en limite de la plaine des Joncs, au nord-est du Delta du Mékong. La sédimentation argilo-limoneuse des marécages correspond aux derniers dépôts holocènes postérieurs à la dernière grande transgression vers 6000 ans (DELAUNE, 1993). La végétation est composée de *Melaleuca leucadendron* L. *Myrtaceae* et *Heleocharis dulcis* Rottb. R. et S. *Cyperaceae*.

Les cocoteraies de Long An sont situées sur sols sulfatés acides, développés à partir de sols potentiellement sulfatés acides lors de la formation des banquettes pour la culture du cocotier.

* 17 profils sur 3 séquences ont été choisis comme suit:

- à Long An 1: 6 profils à 60 m l'un de l'autre.
- à Long An 2: 6 profils à 590 m l'un de l'autre.
- à Long An 3: 5 profils à 300 m l'un de l'autre.

Ils sont localisés sur la figure 21.

* 4 profils sur chaque cocoteraie ont été également étudiés afin d'examiner les effets d'aménagement.

Dans chaque profil, 2 échantillons ont été prélevés de 0-20 cm et de 50-70 cm en deux temps:

- fin de saison des pluies (novembre 1991)
- fin de saison sèche (mars 1992)

En tous, 84 échantillons ont été prélevés et analysés.

1.2.2. Description des profils de Long An (annexe XIII et planche VII).

Trois sites ont été effectivement suivis à Long An; comme pour Do Hoa, nous avons choisi de présenter deux profils types par site, l'un caractérisant l'état du sol naturel, l'autre la cocoteraie aménagée; on peut ainsi apprécier l'évolution liée à l'aménagement.

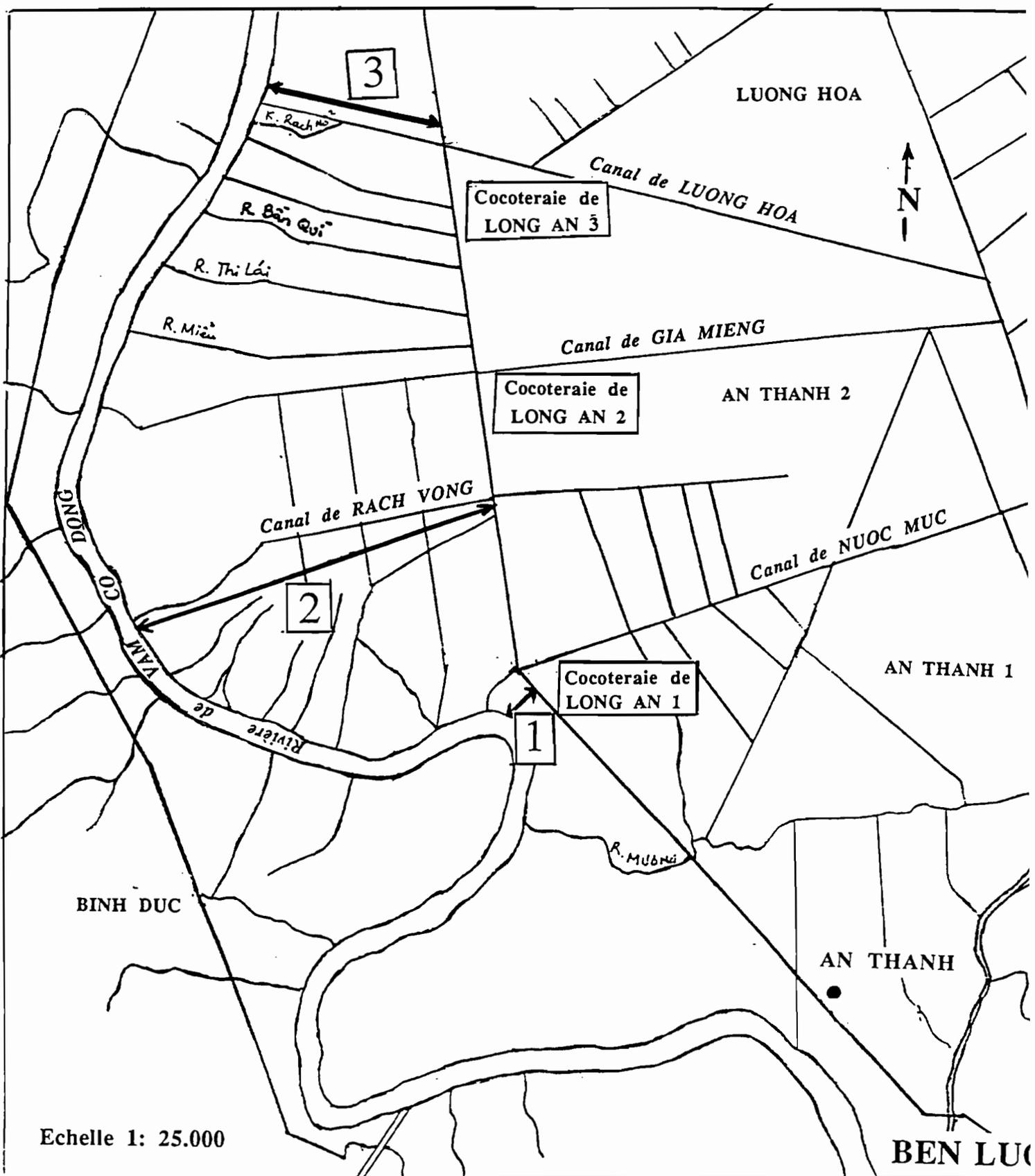


Figure 21: Localisation des profils dans les séquences et dans les cocoteraies à Long An

1: Séquence Long An

2: Séquence Long An 2

3: Séquence Long An 2

a. Site de Long An 1

Sol naturel: LAIS3: situé à 130 m du bord de la rivière Vam Co Dong.

0- 30 cm: argileux, humide, consistance 5, de couleur gris brun foncé 10YR. 4/1, présence de taches rouille brun jaune 10YR.5/8.

30-86 cm: argileux, humide, consistance 4, de couleur gris très foncé 10YR.3/1, avec reflets de couleur gris foncé 2,5. N 4/0, présence de beaucoup de matière organique non décomposée.

>86 cm: argileux, humide, consistance 3, de couleur gris très foncé 10YR.3/1, présence de beaucoup de matière organique non décomposée.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	5,9	6,1	6,3	6,3	6,3	6,3	6,4	6,3	6,4	6,4
Eh (mV)	71,6	54,6	44,9	42,2	41,6	43,8	40,8	42,1	40,8	39,9

Comme à Do Hoa, les mesures du pH *in situ* correspondent à un sol très proche de la neutralité avec une consistance et des traces d'oxyde de fer qui laissent supposer un sol potentiellement sulfaté acide.

Sol de la cocoteraie de Long An 1

0- 30 cm: argileux, semi humide, consistance 5, de couleur brun foncé 7,5YR.3/2, avec nombreuses racines de cocotier.

30-60 cm: argileux, humide, consistance 5, couleur gris brun très foncé 10YR.3/2, présence de tache jaune brun 10YR.5/8, présence de racines de cocotier.

>60 cm: argileux, humide, consistance 3 à 2, de couleur brun très foncé 3,5YR.3/2, il existe encore des racines de cocotier et des fragments végétaux plus ou moins identifiables.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	4,1	3,9	4,0	3,9	4,0	4,6	4,7	4,6	4,6	4,7
Eh(mV)	185,3	189,8	189,7	192,4	190,4	148,2	142,7	148,4	149,8	147

Les mesures du pH *in situ* montrent une forte acidité de l'ensemble du profil qui s'explique, par l'oxydation de la couche de pyrite remaniée par la réalisation des banquettes et par la présence de la nappe qui fluctue entre -0,8 m et -1m.

b. Site de Long An 2

Sol naturel : LA2S2: situé à 590 m du bord de la rivière

0- 20 cm: argileux, semi humide, consistance 5, couleur gris foncé 10YR.4/1, présence de taches jaune brun 10 YR.5/8

20- 42 cm: argileux, humide, consistance 5, couleur gris brun 10 YR.5/2, présence de taches jaune brun 10 YR.5/8.

42- 80 cm : argileux, humide, consistance 4, couleur brun foncé 7,5 YR.3/2, présence de beaucoup de fragments végétaux encore identifiables.

>80 cm: argileux, humide, consistance 3, couleur gris très foncé 10YR 3/1, présence de beaucoup de fragments végétaux encore identifiables.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	3,9	4,1	4,6	4,7	4,2	4,8	4,4	5,2	5,1	5,2
Eh (mV)	197,2	183,5	153,9	144,0	178,0	137,5	162,1	113,5	119,2	113,2

Les mesures du pH *in situ* sont caractéristiques d'un sol sulfaté acide actif dû, soit à un remaniement ancien, soit plus probablement au caractère très superficiel de la couche de pyrite.

Sol de la cocoteraie de Long An 2

0- 40 cm: argileux, semi humide, consistance 5, couleur gris brun clair 2,5Y.6/2, présence de taches jaunes de jarosite 2,5Y.8/6 mélange avec les taches jaunes 7,5 YR.5/6; présence de nombreuses racines de cocotier.

40- 75 cm : argileux, humide, consistance 5, couleur brun 7,5 YR.5/2, présence de "tuyaux" de jarosite de couleur jaune brun 10YR.5/8, caractéristique d'une forte acidité. Les racines de cocotier sont moins abondantes qu'en surface.

>75 cm: argileux, humide, consistance 4, couleur brun 10YR 5/2, mélange avec des taches jaune claire 2,5YR.8/4, très peu de racine de cocotier, consistance 3 en profondeur.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	4,1	4,0	3,8	3,6	3,6	3,8	3,9	4,1	4,2	4,2
Eh (mV)	188,6	191,4	204,6	219,3	214,5	201,2	196,8	184,6	179,6	182,0

Les mesures des pH *in situ* traduisent une forte acidité de l'ensemble du profil avec une nappe à une profondeur supérieure à 1 m.

c. Site de Long An 3

Sol naturel: profil LA3S5: situé à 1220 m du bord de la rivière

0- 40cm: argileux, semi humide, consistance 5, couleur brun jaune 10YR. 6/8, présence de beaucoup de taches jaunes 10YR.7/8, en mélange avec des taches brun très foncé 10YR.2/2.

40-80cm: argileux, humide, consistance 4 couleur brun 7,5YR.4/2, avec des taches brun foncé 7,5 YR.3/2.

>80 cm: argileux, humide, consistance 4, couleur gris brun 10YR.5/2, avec des taches brun très foncé 10YR.2/2, la couleur fonce avec la profondeur, présence de nombreux fragments végétaux encore identifiables.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	4,3	4,2	4,1	4,0	3,9	4,0	4,2	4,4	4,5	4,6
Eh (mV)	170,0	176,2	182,0	190,1	193,9	189,4	175,8	165,9	161,7	151,0

Les mesures du pH *in situ* sont caractéristiques d'un sol sulfaté acide actif comme à Long An 2.

Sol de la cocoteraie de Long An 3

0- 40cm: argileux, semi humide, consistance 5, couleur gris brun très foncé 10YR. 3/2, présence de beaucoup de taches jaune clair 2,5Y.8/4, en mélange avec des taches jaune brun 10YR.6/8; nombreuses racines de cocotier.

40- 77cm: argileux, humide, consistance 5, couleur gris très foncé YR.3/1, avec des taches jaune brun foncé 10YR.3/6; nombreuses racines de cocotier.

>77 cm: argileux, humide, consistance 4, couleur gris très foncé 10YR.3/1, avec des taches de couleur marron particulièrement représentatives des sols potentiellement sulfatés acides 5YR.3/2 (MARIUS, 1992).

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	3,9	3,9	4,0	4,1	4,1	4,1	4,2	4,4	5,9	5,1
Eh (mV)	194,6	194,5	191,5	185,5	183,1	186,4	175,6	162,7	70,4	69,7

Les mesures du pH *in situ* montrent une forte acidité jusqu'à 0,9 m qui correspond au minimum du niveau de la nappe.

Pour les trois cocoteraies de Long An, les caractéristiques des sols sont identiques: très argileux et très acides avec pH <4. Il existe cependant une différence dans leur évolution:

- Long An 1: sol naturel potentiellement sulfaté acide, riche en matière organique non décomposée.

- Long An 2: sol sulfaté acide en surface évoluant vers un sol plus acide jusqu'à une profondeur d'un mètre, sol riche en matière organique présentant de nombreuses taches de jarosite.

- Long An 3: sol sulfaté acide évoluant vers un sol plus acide en surface, un peu moins en profondeur.

1.2.3. Caractères physiques et chimiques du sol de Long An

a. Caractères physiques:

Ont été étudiés les profils des sols des trois cocoteraies.

Le tableau 16 rassemble les caractéristiques granulométriques des trois profils qui s'avèrent très homogènes comme le confirme le triangle granulométrique; il s'agit d'un sol argilo-limoneux pratiquement sans sable, de texture très fine avec plus de 50% d'argile.(figure 22). Les argiles de Long An se composent de 40 à 45% de kaolinite, 40 à 45% d'illite, 5 à 10% de chlorite, il n'existe pas d'interstratifiés.

Long An 1: l'horizon supérieur est nettement plus riche en argile ce qui s'explique :

- soit par les techniques de réalisation des banquettes.
- soit par la richesse en matière organique des horizons inférieurs.

Long An 2 et Long An 3: teneur en argile homogène sur tout le profil.

A noter que le crustacé *Thalassica spp. Crustacae* n'existe pas à Long An.

Tableau 16: Caractères physiques des sols à Long An

Site	Profondeur (cm)	Argile (%)	Limon fin (%)	Limon grossier (%)	Sable fin (%)	Sable grossier (%)	Teneur en eau (%)	M.O. (%)
Long An 1	0-20	56,13	27,63	3,95	0,60	0,53	3,70	7,62
	20-40	56,60	29,63	2,21	0,50	0,50	0,49	7,72
	40-60	50,37	35,35	2,65	0,63	0,63	0,63	7,70
	60-80	44,12	28,08	0,73	0,40	0,50	6,39	18,02
	80-100	40,19	21,81	0,31	0,33	0,40	7,27	19,95
Long An 2	0-20	56,42	32,04	1,81	0,57	0,83	4,30	2,98
	20-40	56,17	34,25	0,91	0,60	1,27	4,12	3,41
	40-60	60,32	29,01	2,76	0,83	1,33	4,06	2,06
	60-80	53,07	39,92	0,94	0,13	0,07	4,18	2,02
	80-100	63,18	26,10	2,29	0,13	0,03	4,82	2,34
Long An3	0-20	52,48	27,91	2,92	1,27	0,63	6,26	7,64
	20-40	54,89	26,20	2,08	1,07	0,80	6,09	5,80
	40-60	56,13	24,53	2,50	0,77	0,63	5,73	6,83
	60-80	56,77	26,07	1,26	0,13	0,07	6,38	7,71
	80-100	55,77	31,18	0,88	0,13	0,07	4,83	4,54

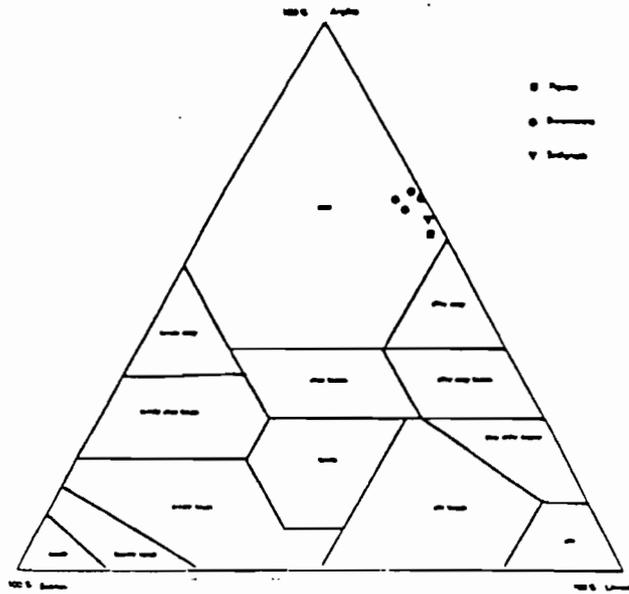
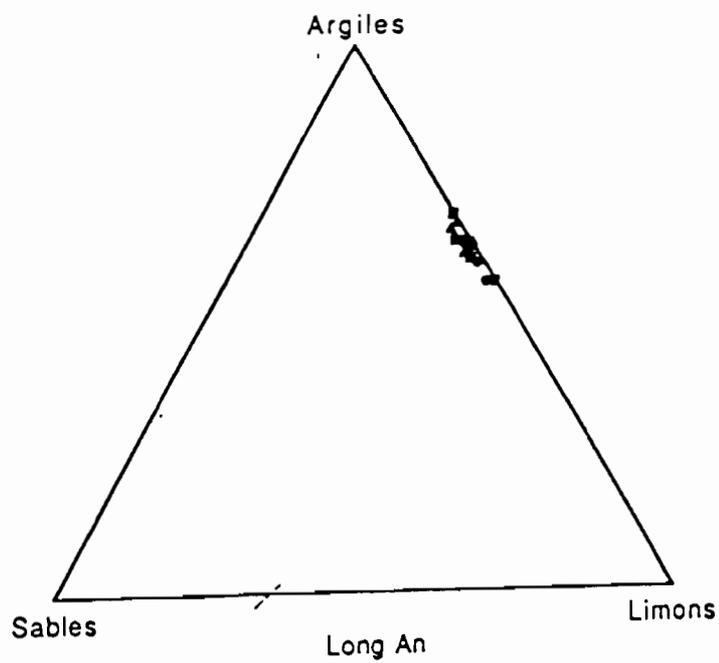


Figure 22: A: Diagramme de texture granulométrique de base (d'après INRA Versailles, 1963)



B: Diagramme de texture granulométrique des sols à Long An

b. Caractères chimiques:

- Matière organique et complexe absorbant

Le tableau 17 rassemble les analyses de la matière organique et du complexe absorbant dans les sols de Long An. La teneur en matière organique, carbone organique et azote total est faible dans l'horizon superficiel (0-20 cm) et plus élevée en profondeur (50-70 cm) (figure 23).

La capacité d'échange (C.E.C.) varie de faible à moyenne lorsque l'on passe de la surface à la couche profonde. Le sol de Long An contient 40-45% kaolinite, qui ne présente aucune substitution isomorphique, et ne possède pas d'espace interstratifié; la CEC ne peut donc qu'être faible. La somme des cations en surface est moins élevée qu'en profondeur.

Pour ce type de sol argileux (56% d'argile), avec peu de matière organique, une capacité d'échange limitée et un taux de saturation de 0,9, on peut conclure qu'il s'agit d'un sol de faible réserve nutritive (DABIN, 1961).

Le pH in situ

La figure 24A représente les valeurs du pH *in situ* du sol de Long An en novembre 91 et mars 92. Le pH *in situ* est acide mais avec des particularités visibles sur le graphique qui s'expliquent de la façon suivante: à proximité de la rivière le niveau de la nappe permet une immersion permanente de la couche de pyrite ce qui se traduit par un pH voisin de la neutralité (profil LA1S1, LA2S1); en LA3S1 les conditions ne sont plus les mêmes du fait de l'aménagement d'une rizière, avec remaniement des sols provoquant l'oxydation de la pyrite, et endiguement limitant les inondations.

Le pH du sol sec (1:1)

La figure 24B montre les variations du pH à Long An:

- à la fin de la saison des pluies (novembre 91): le pH en surface est légèrement plus élevé qu'en profondeur ce qui s'explique par la présence de pyrite dans l'horizon inférieur (taches brun très foncé en alternance avec des taches jaunes de jarosite).

-à la fin de la saison sèche, on observe la même tendance:

+ le pH en surface est plus élevé qu'en profondeur pour la raison évoquée ci-dessus,

+ l'acidité est un peu plus marquée en saison sèche, ce qui s'explique par une plus grande oxydation de la pyrite avec l'abaissement de la nappe.

Les sols de Long An sont très acides. Cette acidité est remarquable dans tous les profils, à chaque saison.

La salinité du sol à Long An

Il faut distinguer entre les profils des séquences et ceux des cocoteraies.

Pour les séquences (tableau 18A), pour les trois sites, en fin de saison des pluies comme en fin de saison sèche, le profil le plus voisin de la rivière présente la plus forte

Tableau 17: Compositions chimiques du sol à Long An

Sites	LONG AN 1		LONG AN 2		LONG AN 3	
	0-20 cm	50-70 cm	0-20 cm	50-70 cm	0-20 cm	50-70 cm
Ca éch.	1,0	0,78	1,24	1,17	1,34	0,78
Mg éch.	1,73	0,83	2,98	1,92	2,44	0,93
K éch.	0,19	0,23	0,24	0,26	0,29	0,19
Na éch.	0,07	0,04	0,33	0,27	0,40	0,15
Mn éch.	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
Al éch.	1,85	7,56	4,76	7,75	1,05	7,22
H éch.	0,34	0,56	0,40	0,46	0,16	0,40
Σ cations	4,96	10,04	9,97	11,86	5,72	9,70
CEC	5,91	11,31	11,31	12,90	6,99	9,71

CEC: capacité d'échange

Σ cations: somme de tous les cations

éch: échangeable

Figure 23: Matière organique du sol à Long An 1 en fonction de la profondeur

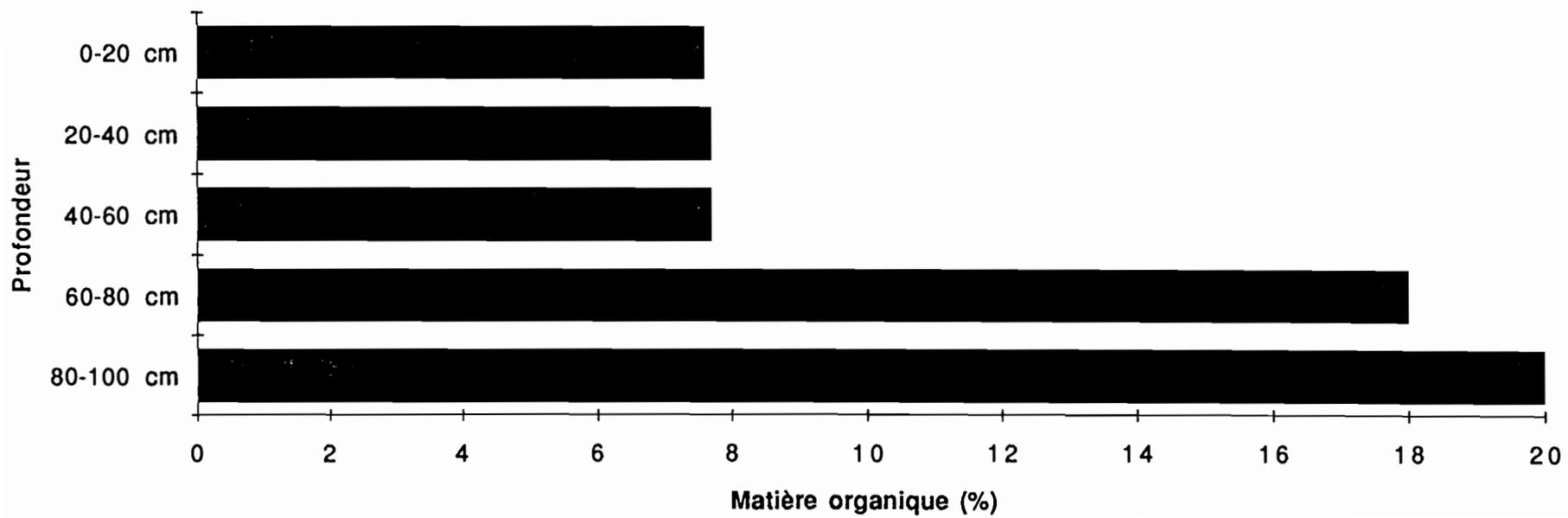


Figure 24A: Variation du pH *in situ* à Long An 1

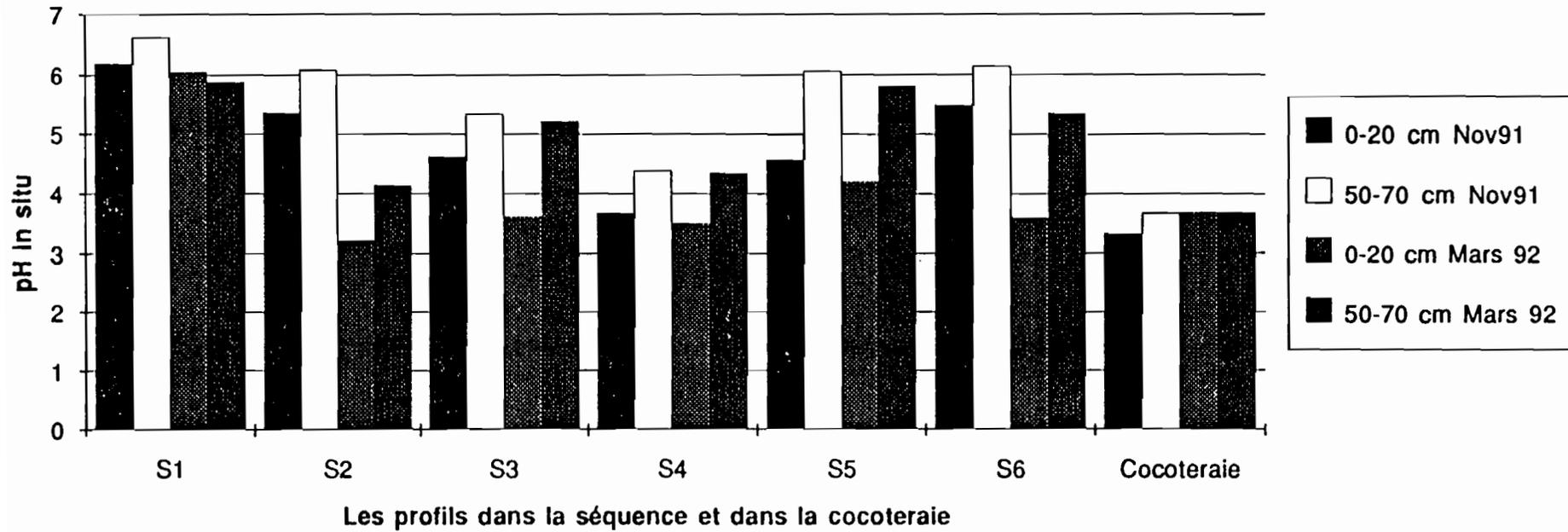
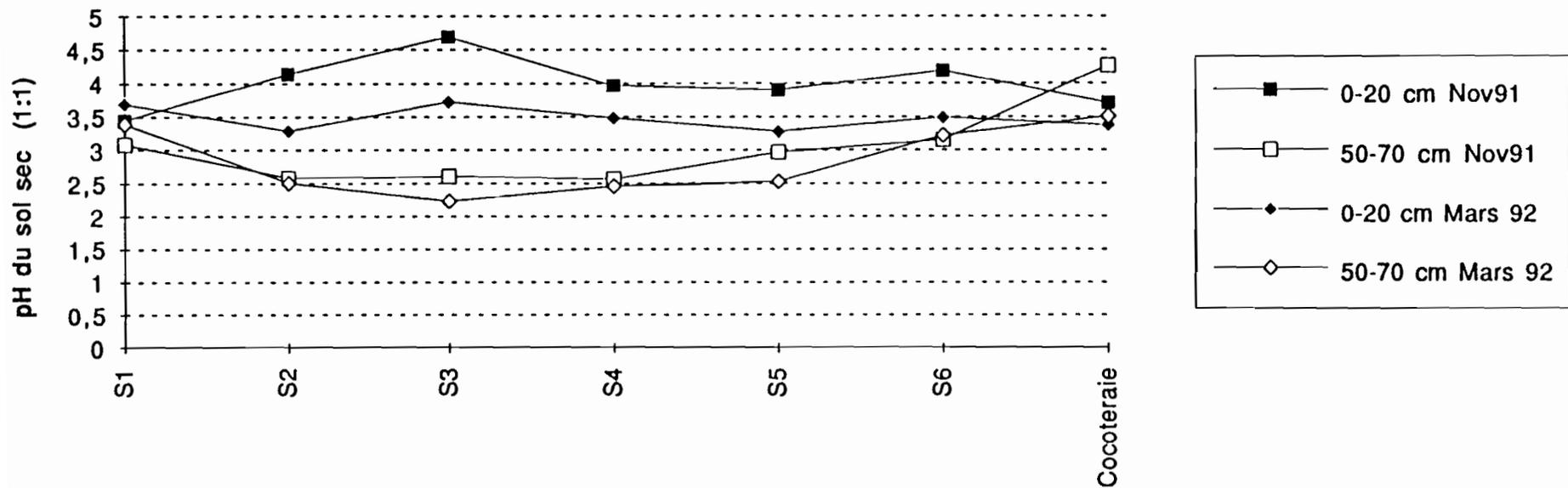


Figure 24B: Variation du pH du sol sec à Long An 1



Variation des profils de la séquence jusqu'à la cocoteraie

S1, S2, S3, S4, S5, S6: les profils dans la séquence Long An 1- Chaque valeur est la moyenne de 4 mesures dans la cocoteraie

conductivité pour l'horizon 0-20 cm, le site de Long An 2 étant nettement plus salé que les deux autres; la salinité des horizons supérieurs des sols est très influencée par la proximité de la rivière de conductivité 5,71 mS/cm:

- en S1 de LA1, situé à 10m de la rivière, la conductivité varie de 2,05 à 2,11 mS/cm.
- en S1 de LA2, situé à 5m de la rivière, la conductivité varie de 4,84 à 4,51 mS/cm.
- en S1 de LA3, situé à 20 m de la rivière, la conductivité varie de 1,75 à 2,17 mS/cm

Pour les trois sites, la conductivité est toujours plus forte en profondeur quelle que soit la saison, elle est nettement plus élevée en fin de saison sèche sur les deux horizons et plus particulièrement en profondeur: ceci s'explique par la présence de la nappe à moins d'un mètre de profondeur, nappe normalement plus salée en fin de saison sèche.

Le site de Long An 1 présente la particularité pour l'horizon profond d'être plus salé que les deux autres en fin de saison des pluies alors qu'en fin de saison sèche, les salinités des différents profils sont du même ordre de grandeur. Cette situation est peut être liée à la proximité de la mer.

Tableau 18 A: Conductivité électrique du sol dans les séquences à Long An. Résultats exprimés en mS/cm (extrait 1/10)

Sites	Séquences	Nov. 91		Mars 92	
		0-20 cm	50-70 cm	0-20 cm	50-70 cm
LA1	S1	2,05	2,14	2,11	2,99
	S2	0,32	4,15	1,55	2,67
	S3	0,38	3,26	0,64	3,37
	S4	0,22	4,42	0,38	1,22
	S5	0,38	2,34	0,53	4,41
	S6	0,17	1,85	0,24	1,54
LA2	S1	4,84	1,87	4,51	2,61
	S2	0,37	0,63	0,33	3,75
	S3	0,26	1,37	1,33	4,47
	S4	0,48	0,9	1,07	3,05
	S5	0,48	0,73	1,60	2,23
	S6	0,27	1,04	1,04	2,21
LA3	S1	1,75	2,88	2,17	4,35
	S2	0,07	0,62	0,61	3,15
	S3	0,07	0,32	1,08	3,34
	S4	0,78	0,64	0,31	2,34
	S5	0,18	0,55	0,39	2,61

Pour les cocoteraies des trois sites, la salinité est toujours inférieure à 0,7 mS/cm quelle que soit la saison et la profondeur; la saison sèche est marquée par une salinité légèrement supérieure à celle de la saison des pluies: ceci s'explique par le lessivage des sels par les pluies (tableau 18B).

Tableau 18B: Conductivité électrique du sol dans la cocoteraie à Long An. Résultats exprimés en mS/cm. Extrait 1:10.

Sites	Nov. 91		Mars 92	
	0-20 cm	50-70 cm	0-20 cm	50-70 cm
LA1	0,36	0,15	0,41	0,63
LA2	0,35	0,36	0,20	0,60
LA3	0,34	0,59	0,50	0,64

Composition chimique du sol

- Les ions solubles

Les variations des compositions chimiques des sols de Long An 1 en novembre 1991 (fin de la saison des pluies) et en mars 1992 (fin de la saison sèche) sont représentées dans les tableaux 19A et 19B pour les sols de la séquence, et les tableaux 20A et 20B pour les sols de la cocoteraie. Les résultats d'analyses des sols de Long An 2 et de Long An 3 sont rassemblés dans les annexes XIV A, XIV B, XVA, XVB.

D'une façon générale, quelle que soit la saison, les quantités d'ions sont plus importantes en profondeur.

Dans les cocoteraies, en fin de saison des pluies, les teneurs en ions solubles sont plus élevées dans l'horizon 0-20cm qu'en profondeur sauf pour le sodium; en fin de saison sèche, c'est différent, seul la teneur en potassium est plus élevée en surface qu'en profondeur, pour tous les autres ions, les teneurs sont supérieures dans l'horizon 50-70 cm.

Dans la séquence de Long An 1, à l'exception du profil S1, qui est soumis aux influences directes de la rivière toutes les teneurs augmentent en saison sèche dans l'horizon supérieur; en profondeur, en saison sèche les teneurs en potassium et en sodium augmentent, alors que celles du calcium, du magnésium et du sulfate diminuent, sauf pour le profil S5 qui présente des résultats irréguliers.

- Les teneurs plus élevées en fin de saison sèche s'expliquent par la concentration des solutions.

- Les teneurs en SO_4^{--} et Cl^- sont très importantes en profondeur en relation avec les faibles valeurs du pH sol sec.

La figure 25 montre que le rapport Cl/SO_4 à Long An 1 est toujours inférieur à 2 en fin de saison des pluies pour les deux profondeurs 0-20 cm et 50- 70 cm. Ce rapport est un

Tableau 19A : Composition en ions solubles du sol dans les séquences de Long An en novembre 91

Séquence	Profil	Horizons (cm)	pH	EC mS/cm	K+ meq/100g	Na+ meq/100g	Ca++ meq/100g	Mg++ meq/100g	Cl- meq/100g	SO4-- meq/100g	Cl/SO4
LONGAN1	S1	0-20	3,45	2,05	0,40	7,57	3,39	9,66	6,61	16,72	0,40
	S2		4,14	0,32	0,10	2,20	0,31	0,52	1,97	1,33	1,48
	S3		4,69	0,38	0,13	3,40	0,52	0,31	2,82	2,66	1,06
	S4		3,97	0,22	0,10	1,50	0,27	0,47	1,41	1,42	1,00
	S5		3,90	0,38	0,11	1,24	0,48	0,87	0,58	2,56	0,23
	S6		4,19	0,17	0,04	0,98	0,08	0,14	0,43	0,60	0,72
	S1	50-70	3,09	2,14	0,55	11,50	3,03	9,65	9,87	17,07	0,58
	S2		2,59	4,15	0,01	3,74	5,54	16,37	11,21	54,22	0,21
	S3		2,61	3,26	0,17	7,20	3,56	9,58	4,23	21,59	0,20
	S4		2,57	4,42	0,00	1,17	1,50	7,32	6,88	79,04	0,09
	S5		2,97	2,34	0,04	5,65	2,76	8,80	7,71	24,47	0,32
	S6		3,15	1,85	0,30	6,30	1,66	4,40	4,51	10,01	0,45

Tableau 19B: Composition en ions solubles du sol dans les séquences de Long An en mars 1992

Sites	Sequences	Horizons (cm)	pH	EC mS/cm	K+ meq/100g	Na+ meq/100g	Ca++ meq/100g	Mg++ meq/100g	Cl- meq/100g	SO4-- meq/100g	Cl/SO4
LONGAN1	S1	0-20	3,69	2,11	0,44	9,30	0,69	2,51	8,18	8,12	1,01
	S2		3,29	1,55	0,31	7,50	0,83	1,79	7,90	3,21	2,46
	S3		3,72	0,64	0,19	4,90	0,37	0,52	4,23	2,56	1,65
	S4		3,48	0,38	0,13	2,50	0,49	0,78	1,69	1,33	1,27
	S5		3,28	0,53	0,20	5,00	0,72	0,89	4,51	1,33	3,39
	S6		3,49	0,24	0,06	2,10	0,33	0,62	1,41	0,90	1,58
	S1	50-70	3,39	2,99	0,48	11,00	0,82	3,44	9,87	8,04	1,23
	S2		2,51	2,67	0,46	12,70	2,27	7,50	11,56	12,60	0,92
	S3		2,23	3,37	0,37	11,90	2,10	7,75	10,72	17,43	0,61
	S4		2,46	1,22	0,33	5,10	1,48	4,64	2,82	9,33	0,30
	S5		2,54	4,41	0,02	7,65	11,15	26,15	9,03	40,76	0,22
	S6		3,22	1,54	0,32	7,40	0,96	2,46	4,23	8,22	0,51

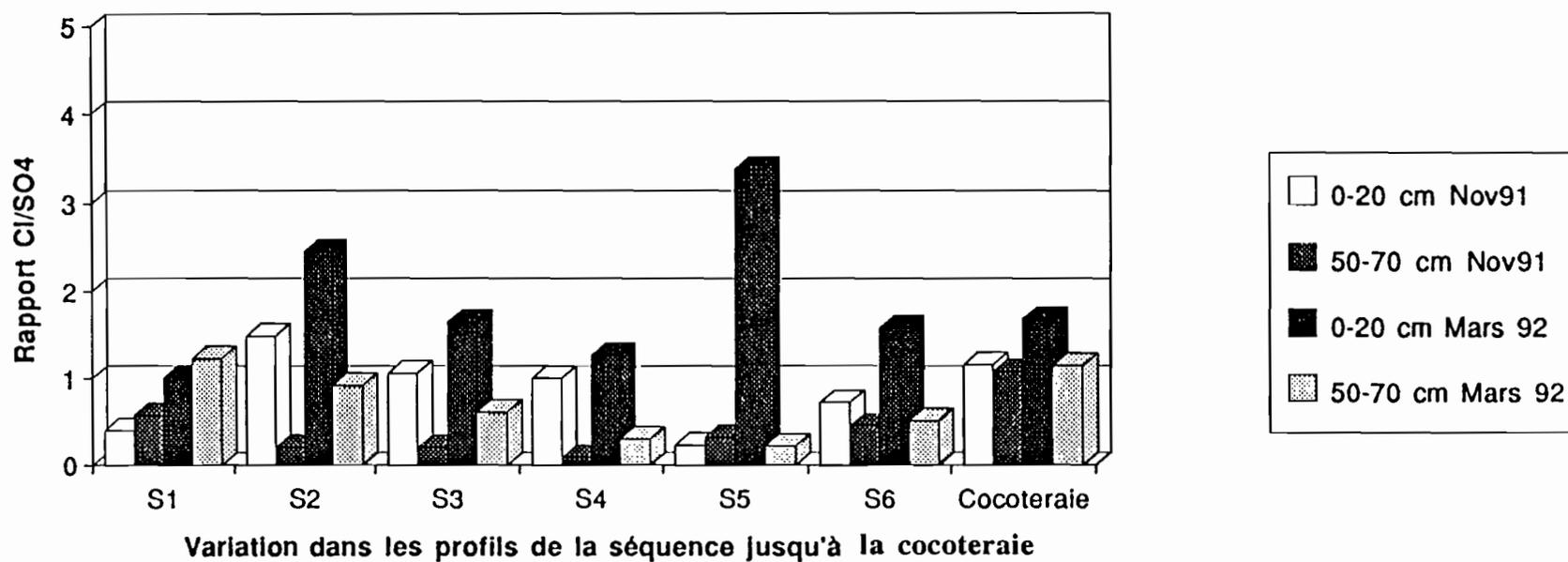
Tableau 20 A. Composition en ions solubles du sol dans la cocoteraie de Long An en novembre 91

Sites	Repetitions	Horizons (cm)	pH	EC mS/cm	K+ meq/100g	Na+ meq/100g	Ca++ meq/100g	Mg++ meq/100g	Cl- meq/100g	SO4-- meq/100g	Cl/SO4
LONGAN1	1	0-20	3,51	0,43	0,30	2,78	0,01	0,85	2,24	2,23	1,00
	2		3,79	0,54	0,08	0,36	0,31	0,09	0,2	0,35	0,57
	3		3,88	0,23	0,3	0,77	0,09	0,15	0,93	0,39	2,38
	4		3,66	0,25	0,28	0,44	0,09	0,19	0,75	0,57	1,32
	Moyenne		3,71	0,36	0,24	1,09	0,13	0,32	1,03	0,89	1,16
	Ecart-type		0,16	0,15	0,11	1,14	0,13	0,36	0,86	0,90	0,96
	1	50-70	4,04	0,29	0,04	1,55	0,12	0,29	0,92	1,09	0,84
	2		4,02	0,07	0,08	0,33	0,13	0,21	0,19	0,55	0,35
	3		5,13	0,08	0,05	0,96	0,05	0,02	0,37	0,45	0,82
	4		3,9	0,14	0,05	2,3	0,11	0,29	0,15	1,04	0,14
Moyenne		4,27	0,15	0,06	1,29	0,10	0,20	0,41	0,78	0,52	
Ecart-type		0,58	0,10	0,02	0,84	0,04	0,13	0,35	0,33	1,08	

Tableau 20 B. Composition en ions solubles du sol dans la cocoteraie de Long An en mars 1992

Sites	Horizons (cm)	Repetitions	pH	EC mS/cm	K+ meq/100g	Na+ meq/100g	Ca++ meq/100g	Mg++ meq/100g	Cl- meq/l	SO4-- meq/l	Cl/SO4
LONG AN1	0-20	1	3,51	0,25	0,35	1,00	0,29	0,58	1,13	1,42	0,79
		2	3,47	0,23	0,14	0,70	0,23	0,39	1,13	1,25	0,90
		3	3,26	0,67	0,18	6,30	0,35	1,06	6,49	1,69	3,84
		4	3,24	0,47	0,22	1,60	0,46	0,67	1,97	2,06	0,96
		Moyenne	3,37	0,41	0,22	2,40	0,33	0,68	2,68	1,60	1,68
		Ecart-type	0,12	0,18	0,08	2,27	0,08	0,24	2,22	0,31	
	50-70	1	3,72	0,52	0,20	3,20	0,43	0,93	2,54	2,75	0,92
		2	3,29	0,58	0,18	3,70	0,40	1,04	4,79	1,00	4,80
		3	3,60	0,77	0,17	5,70	0,23	0,72	5,08	2,21	2,30
		4	3,42	0,64	0,09	4,70	0,50	0,95	4,51	1,96	2,31
		Moyenne	3,51	0,63	0,16	4,33	0,39	0,91	3,24	2,81	1,15
		Ecart-type	0,16	0,09	0,04	0,96	0,10	0,12	1,65	1,12	

Figure 25 A: Variation du rapport Cl/SO4 dans les sols à Long An 1



S1, S2, S3, S4, S5, S6 : les profils dans la séquence Long An 1

peu plus élevé en fin de saison sèche ce qui est lié à une légère augmentation de la salinité à cette période. En profondeur, la valeur de ce rapport montre l'importance des sulfates.

1.2.4. Nappe de Long An

A Long An, les échantillons de nappe ont été prélevés en même temps que les échantillons de sol. L'étude des variations saisonnières de la nappe phréatique, en liaison avec la marée, d'une part, et l'eau de pluie, d'autre part, est réalisée par deux séries d'analyses, en novembre 1991 (fin de la saison des pluies) et en mars 1992 (fin de la saison sèche). En outre, la variation du pH et de la salinité dans la nappe est observée tous les 2 mois pendant un an (juillet 1991- juillet 1992).

a. Le pH de la nappe:

Dans les trois sites de Long An, le pH de la nappe varie d'acide à très acide (tableau 21) sauf pour les profils S1 situés à proximité de la rivière. A la fin de la saison des pluies (novembre 1991) le pH est très acide, à cause du lessivage de tous les ions SO_4^{2-} du sol qui percolent vers la nappe. La même tendance est observée pour les nappes de Long An 2 et Long An 3 (annexe XVI).

b. La salinité de la nappe de Long An:

En fin de saison sèche, dans la cocoteraie, la conductivité varie de 4 à 6 alors que les profils de la séquence ont des conductivités généralement plus élevées, de 5 à 8 (tableau 21). Cette dernière valeur correspond également à la conductivité de l'eau de la rivière.

En novembre, après le lessivage provoqué par la saison des pluies la conductivité dans la cocoteraie s'abaisse à 1mS/cm; les profils de la séquence présentent toujours comme en saison sèche, une conductivité plus élevée.

c. Composition chimique de la nappe

Les teneurs des principaux ions de la nappe dans les différents profils sont regroupées dans le tableau 21.

En fin de saison sèche, Na^+ et Cl^- sont les ions les mieux représentés, le rapport Na/Cl voisin de 1 pour l'eau de la rivière varie entre 0,66 et 0,78, chiffres sensiblement inférieurs à celui de l'eau de mer (0,85).

Le potassium: le rapport K/Cl est nettement inférieur à celui de l'eau de mer, dans la cocoteraie (0,015), et très variable dans les séquences, de 0,12 à proximité de la rivière à 0,01 pour les profils les plus éloignés.

Le calcium: le rapport Ca/Cl est nettement plus élevé que celui de l'eau de mer (0,036) avec une valeur moyenne de 0,12 pour la cocoteraie et une variation de 0,07 à 0,15 dans les profils de la séquence.

Tableau 21 : Variation de la composition chimique de la nappe à Long An en mars 92

	pH	EC	Na+	K+	Ca++	Mg++	Cl-	SO4--	Cl/SO4
		mS/cm	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	
LA1 Riviere	7,01	8,3	71,08	1,63	8,04	12,71	72,90	7,82	9,3
S1	7,62	7,5	58,65	1,27	6,07	10,72	79,94	9,07	8,8
S2	2,59	7,3	102,96	1,68	19,76	28,36	131,81	33,92	3,9
S3	6,46	8,2	60,78	1,13	7,66	13,61	86,19	15,56	5,5
S4	2,94	5,5	33,13	0,90	6,01	9,15	43,53	11,85	3,7
S5	3,67	8,2	58,08	1,21	8,18	12,97	87,74	13,73	6,4
S6	2,97	5,1	23,95	0,47	3,61	5,86	31,60	12,02	2,6
R1	3,51	6,7	44,52	1,00	7,56	10,82	60,55	15,51	3,9
R2	3,27	4,6	29,17	0,49	5,35	7,81	39,12	9,23	4,2
R3	3,94	5,3	40,00	0,83	5,02	8,41	51,51	9,44	5,5
R4	3,37	4,0	28,13	0,62	4,76	6,80	36,40	7,82	4,7
Moyenne des R	3,52	5,1	35,46	0,74	5,67	8,46	46,90	10,50	4,6
Ecart-type	0,30	1,1	8,08	0,22	1,28	1,71	11,23	3,42	0,7

S1, S2, S3, S4, S5, S6: différents profils dans la séquence- R1, R2, R3, R4: répétitions 1, 2, 3, 4 dans la cocoteraie

Le magnésium: les valeurs du rapport Mg/Cl très voisines de celle de l'eau de mer (0,2) pour la cocoteraie (0,18) varie de 0,13 à 0,21 dans la séquence.

Les chlorures: à la fin de la saison sèche, la teneur maximum en chlorures n'atteint pas 150 meq/l dans la séquence, la moyenne dans la cocoteraie étant inférieure à 50 meq/l.

Les sulfates: le rapport Cl/SO₄ n'est voisin de celui de l'eau de mer qu'à proximité de la rivière, dans tous les autres profils, la valeur de ce rapport est moitié moindre que celle de l'eau de mer.

Le calcul du paramètre SAR = 13,3 dans la cocoteraie à Long An 1, SAR= 10,9 à Long An 2 et SAR= 13,1 à Long An 3 montre que nous avons à faire à une nappe faiblement à moyennement sodique.

La figure 25 montre une bonne corrélation entre la conductivité et la somme des anions, attestant en particulier que la salinisation est du type chlorure- sodique, d'origine marine essentiellement.

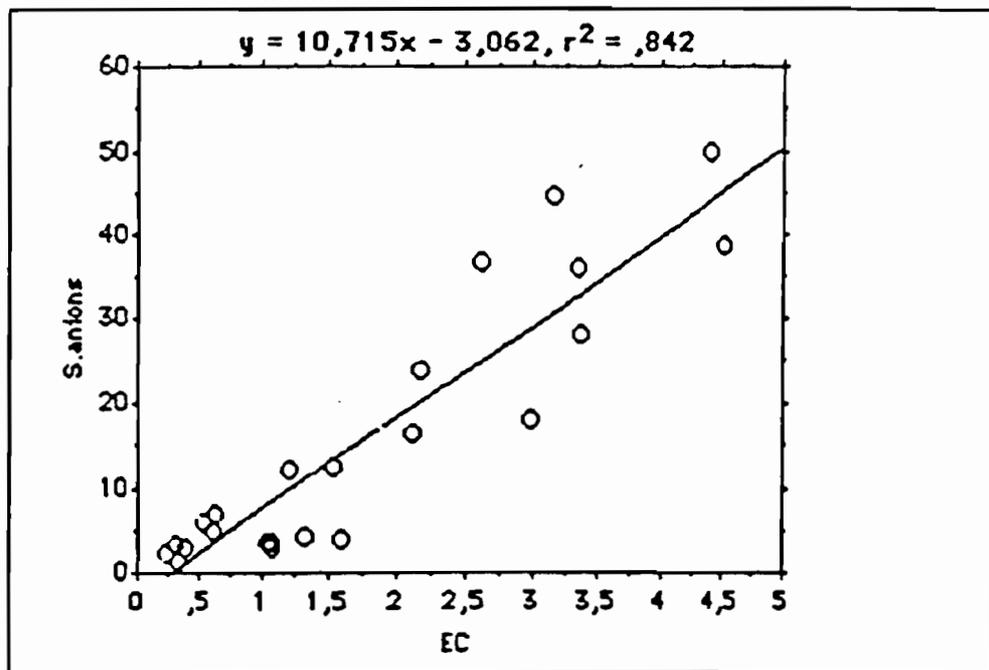


Figure 25B: Corrélation entre la conductivité électrique et la somme des anions dans la nappe en mars 1992

1.2.5. Eaux interstitielles à Long An

Comme à Do Hoa, en mars 1992, une série d'échantillon de sol frais de Long An a été prélevée et les eaux interstitielles ont été extraites par centrifugation à 6000 tours/minute. Le tableau 22 représente les résultats pour les eaux interstitielles à Long An 1. Les résultats pour Long An 2 et Long An 3 sont rassemblés dans l'annexe XVII.

a. Le pH des eaux interstitielles

A Long An 1, dans les 6 profils de la séquence, le pH des eaux interstitielles est acide, sauf dans le profil S1, à proximité de la rivière, où le pH est plus élevé. Dans la cocoteraie, le pH est acide.

A Long An 2 et Long An 3, le pH des eaux interstitielles présente la même tendance, les profils à proximité de la rivière représentent un pH élevé alors que les autres profils dans la séquence et dans la cocoteraie montrent un pH très acide.

b. La salinité des eaux interstitielles

A Long An 1, à proximité de la rivière, les eaux interstitielles ont une salinité assez proche de celle de la rivière et cette valeur diminue en s'éloignant vers la cocoteraie.

1.3. COMPARAISON ENTRE DEUX SITES DO HOA ET LONG AN

1.3.1. Pour le pH *in situ*

Le pH *in situ* à Do Hoa est toujours plus élevé qu'à Long An aux deux saisons, ceci correspond au fait que la salinité à Do Hoa est toujours supérieure à celle de Long An, même après le lessivage de la saison des pluies (tableau 23A).

Tableau 23A: Comparaison du pH *in situ* dans la cocoteraie de Do Hoa et Long An 1 en saison sèche et en saison des pluies.

	Novembre 1991		Mars 1992	
	0-20 cm	50-70 cm	0-20 cm	50-70 cm
Do Hoa	4,0	5,9	4,1	6,3
Long An 1	3,3	3,7	3,7	3,7

1.3.2. Pour la conductivité

Le maximum de la salinité de la nappe de Long An en fin de saison sèche correspond au plus bas niveau de Do Hoa en fin de saison des pluies.(tableau 23B), ce qui montre une grande différence de salinité entre Do Hoa et Long An (figures 26 et 27) qui est liée à la situation de ces deux séquences par rapport à la mer. Succédant à la mangrove, la cocoteraie de Do Hoa est toujours dominée par une nappe plus ou moins salée pendant toute l'année dont l'influence sur le développement du cocotier est étudiée dans le chapitre suivant.

Tableau 22 : Variation de la composition chimique des eaux interstitielles sur les sites de Long An en mars 92

Sites	pH	EC mS/cm	Na+ meq/l	K+ meq/l	Ca++ meq/l	Mg++ meq/l	Cl- meq/l	SO4-- meq/l	Cl/SO4
LA1S1	6,75	7,42	62,43	1,72	4,01	12,83	80,96	15,70	5,2
S2	3,46	9,22	75,56	1,83	6,69	12,02	84,85	20,68	4,1
S3	4,37	7,20	68,78	1,53	4,85	15,87	83,83	18,14	4,6
S4	3,81	3,77	59,39	0,96	2,51	18,85	72,28	14,54	5,0
S5	4,08	6,11	50,65	1,17	3,89	11,14	56,47	11,65	4,8
S6	3,39	6,59	59,95	1,32	4,36	13,20	67,73	14,13	4,8
R1	3,54	5,82	49,69	1,11	4,33	12,66	56,97	13,22	4,3
R2	3,67	5,87	53,26	0,95	4,22	12,34	63,43	12,36	5,1
R3	4,01	8,21	74,00	1,14	4,70	15,26	82,90	18,45	4,5
R4	3,93	6,60	60,52	1,11	5,00	15,09	74,21	17,62	4,2
Moyenne des R	3,79	6,63	59,37	1,08	4,56	13,84	69,38	15,41	4,54
Ecart-type	0,22	1,12	10,75	0,08	0,36	1,55	11,48	3,07	0,41

S1,S2,S3,S4,S5: différents profils dans la séquence - R1, R2, R3, R4: répétitions 1, 2, 3, 4 dans la cocoteraie

Figure 26: Comparaison de la conductivité du sol de Do Hoa et Long An

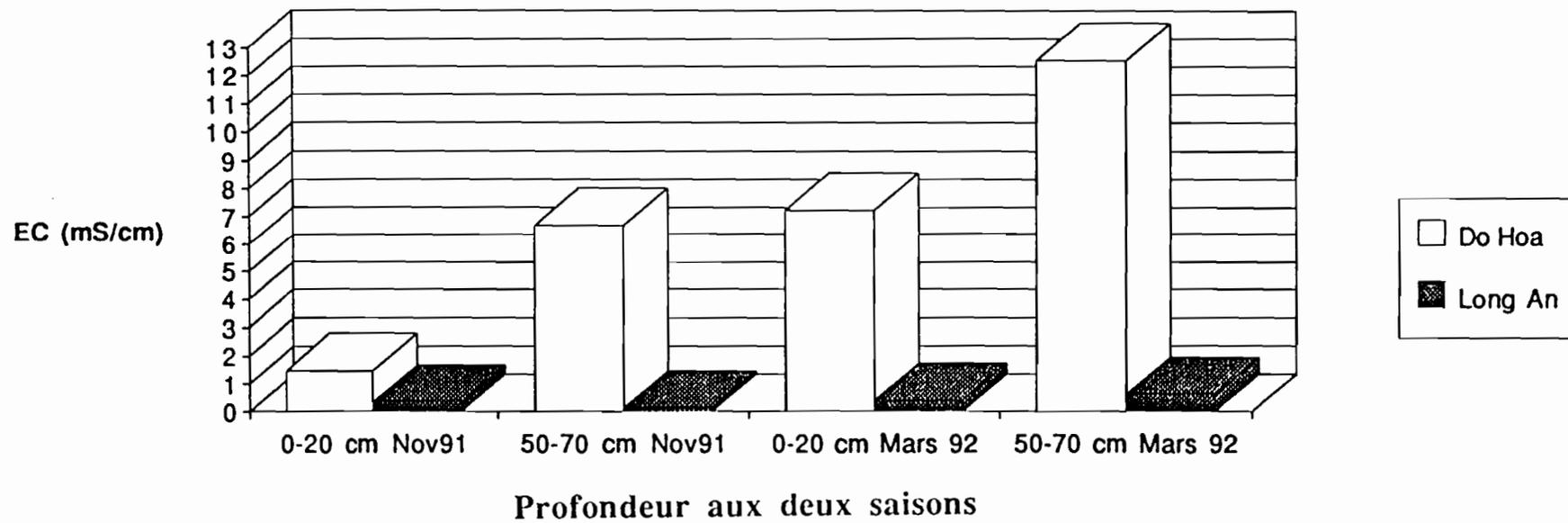


Figure 27 : Variation de la salinité de la nappe à Do Hoa et à Long An 1

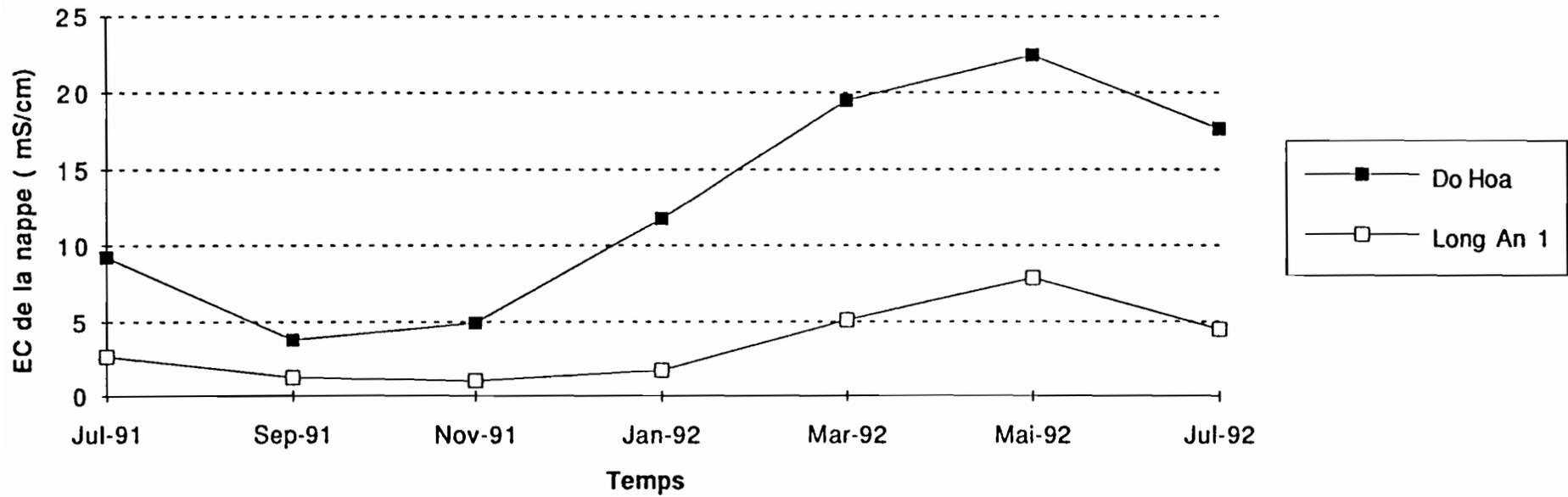


Tableau 23B: Variation de la conductivité électrique de la nappe pendant deux saisons sur les sites de Do Hoa et Long An. Résultats exprimés en mS/cm.

Sites	juillet 91	sept 91	nov.91	janv.92	mars 92	mai 92	juillet 92
Do Hoa	9,3	3,8	4,9	11,8	19,5	22,5	17,6
Long An 1	2,7	1,3	1,0	1,8	5,1	7,9	4,5

Il faut noter que le rapport Cl/SO₄ à Do Hoa est toujours plus élevé qu'à Long An pendant la saison sèche.(figure28).

1.3.3. Teneur en sulfates

Le tableau 23C permet de comparer la teneur en sulfates dans les sites de Do Hoa et de Long An 1. A Do Hoa, zone salée, influencée par la marée, la teneur en sulfates dans le sol, la nappe et les eaux interstitielles est toujours supérieure que celle de Long An 1. En profondeur, en présence de la nappe salée, la teneur en sulfates du sol est voisine de celle de la nappe. Dans les eaux interstitielles, cette teneur est encore plus élevée, approchant celle de l'eau de mer (55,2 meq/l).

Tableau 23C: Teneur en sulfates dans l'extrait du sol, dans la nappe et dans les eaux interstitielles à Do Hoa et à Long An 1. Résultats exprimés en meq/100g pour le sol, en meq/l pour la nappe et les eaux interstitielles.

	Sol 0-20 cm	Sol 50-70 cm	Nappe	Eaux interstitielles
Sites	(meq/100g)	(meq/100g)	(meq/l)	(meq/l)
Do Hoa	4,7	17,0	17,6	43,9
Long An	1,6	2,8	10,5	15,4

1.3.4. Teneur en aluminium et en fer

Le tableau 23D montre que la teneur de l'aluminium échangeable à Do Hoa est très faible, par contre à Long An, cette teneur atteint le niveau toxique, dépassant 40% de la somme des cations. Ce qui s'explique par le fait qu'à Do Hoa, en présence de la salinité et du pH élevé, l'aluminium est précipité, tandis qu'à Long An, le pH très acide libère l'aluminium échangeable dans le sol. La teneur en fer est plus élevée à Long An 1 qu'à Do Hoa où le fer n'apparaît pas dans l'analyse.

Figure 28 - Comparaison du rapport Cl/SO4 des sols à Do Hoa et à Long An en mars 92

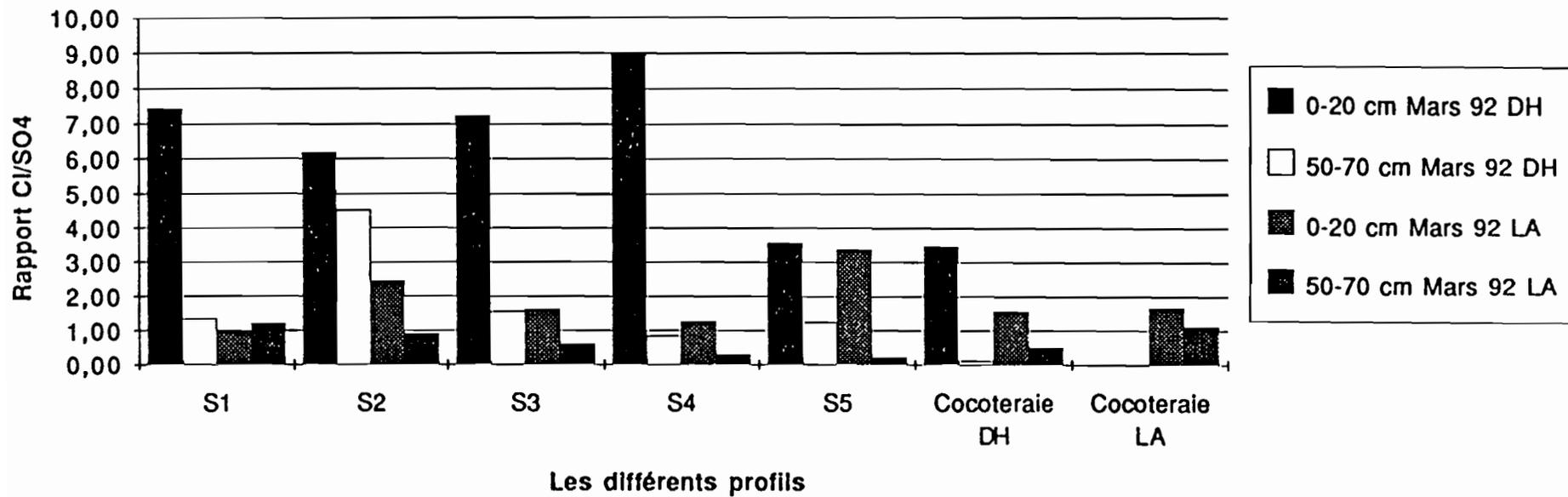


Tableau 23D: Teneur en Al et en Fe échangeables dans les sols de Do Hoa et de Long An.

	Do Hoa	Long An
Al échangeable (meq/100 g)	0,023	7,28
Fe échangeable (meq/100g)	0	0,026
Σ cations échangeables (meq/100g)	31,6	9,4

1.3.5. Teneur en phosphore

Les teneurs du P Olsen dans les sols de Do Hoa et Long An montrent que ces sols sont pauvres en phosphore assimilable. (figure 29).

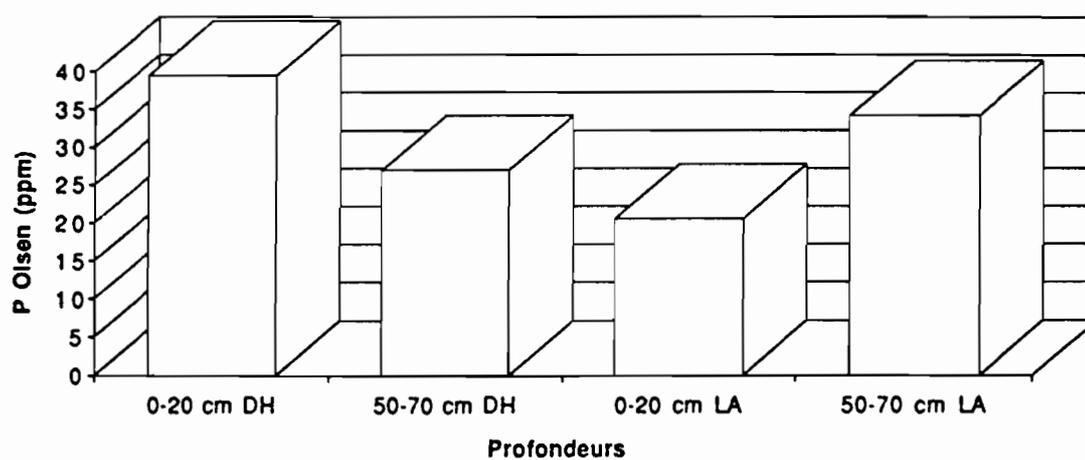


Figure 29- Comparaison des teneurs en phosphore assimilable dans les deux sites Do Hoa et Long An

2. BIOLOGIE DU COCOTIER EN CONDITIONS NATURELLES- COMPARAISON ENTRE LES DIFFERENTS SITES D'ETUDES

2.1. ETUDE DE LA CROISSANCE

2.1.1. Nombre de feuilles et nombre de feuilles émises

- *Le nombre de feuilles* : la production de noix est corrélée positivement avec le nombre de feuilles de chaque plante (rapport de stage au CIRAD, 1991) avec $r = 0,69$. La diminution du nombre de feuilles observée dans l'essai eau salée (chapitre 2 § 2.1.3) est une des raisons qui entraînent une baisse du rendement photosynthétique. Sur sols sulfatés acides et salés, le nombre de feuilles est plus faible que sur les sols sulfatés acides. La différence du nombre de feuilles entre le site de Do Hoa et les trois sites de Long An est significative à 95% avec $p = 0,0058$. Par contre, il n'existe pas de différence quant au nombre de feuilles entre les trois sites de Long An (tableau 24).

Tableau 24: Nombre de feuilles par cocotier dans les différents sites d'étude.

Sites	Nombre de feuilles
Do Hoa	26,8 ± 1,1
Long An 1	30,7 ± 1,8
Long An 2	31,3 ± 2,6
Long An 3	32,4 ± 1,1

- *Le nombre de feuilles émises:*

Tous les résultats sont donnés en annexe XVIII avec les moyennes et les écarts-types. Tous les deux mois, le nombre de feuilles émises pendant la période a été compté sur les 60 cocotiers, il varie de 1 à 4 suivant les sites. La figure 30 montre les variations du nombre de feuilles émises pendant deux ans sur les deux types de sols, sulfatés acides et sulfatés acides salés. Le nombre de feuilles émises est cyclique avec diminution en saison sèche (janvier pour Long An, fin saison sèche pour Do Hoa) et maximum à la fin de la saison des pluies.

L'analyse de la chronologie du développement d'une feuille, figure 7, montre qu'il s'écoule 28 mois de la différenciation du primodium foliaire jusqu'à l'ouverture de la première feuille. Pour s'ouvrir en janvier, la feuille a donc souffert pendant une partie de la période sèche dans la phase d'élongation rapide, avant l'ouverture, ce qui explique la diminution du nombre de feuilles émises en janvier pour les deux sites de Do Hoa et Long An.

A Do Hoa, le nombre de feuilles émises continue à diminuer ce qui montre non seulement l'influence de la saison sèche mais également celle de la salinité qui joue un rôle

Figure 30 : Variation du nombre de feuilles émises par cocotier dans les sites

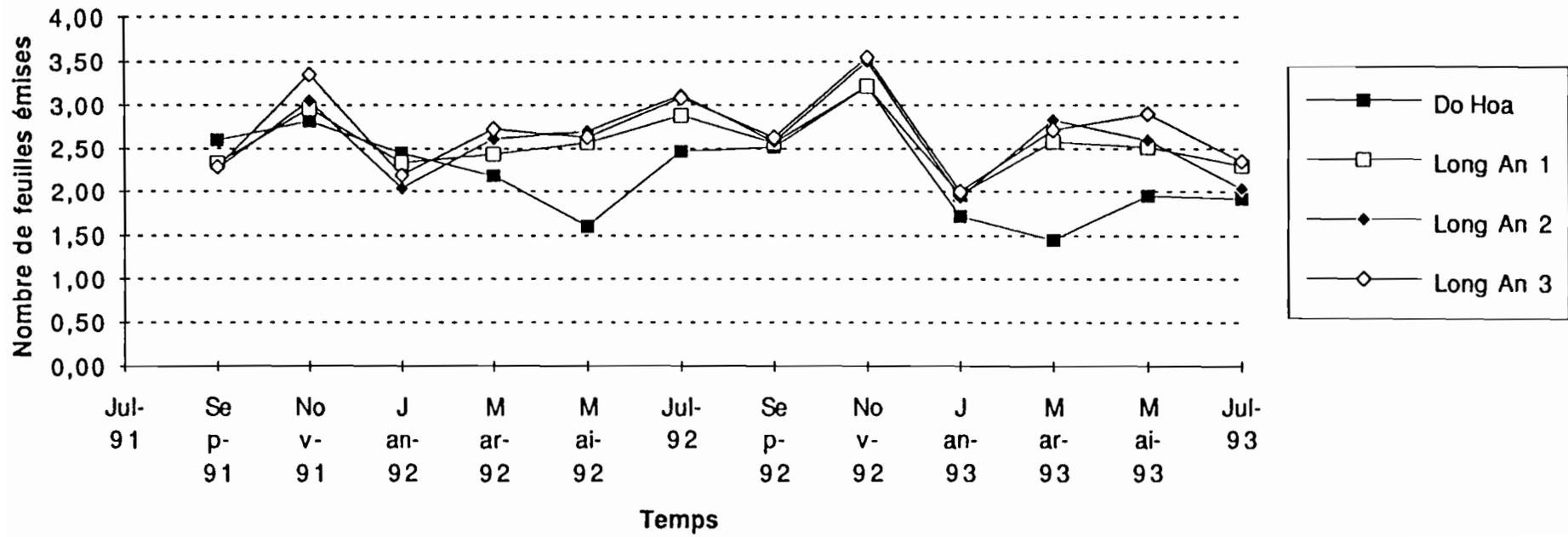


Figure 31 - Variation de la longueur de la feuille 14 du cocotier dans les sites

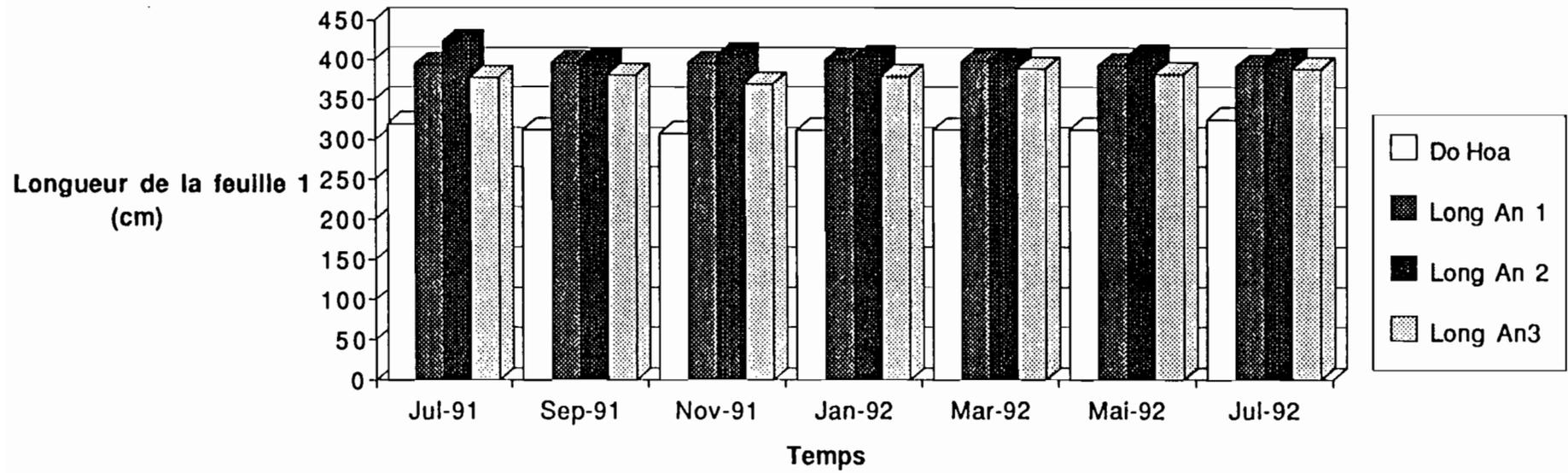


Planche VIII:

Photo 3: La couleur "purée de marron" représentatif pour sol potentiellement sulfaté acide

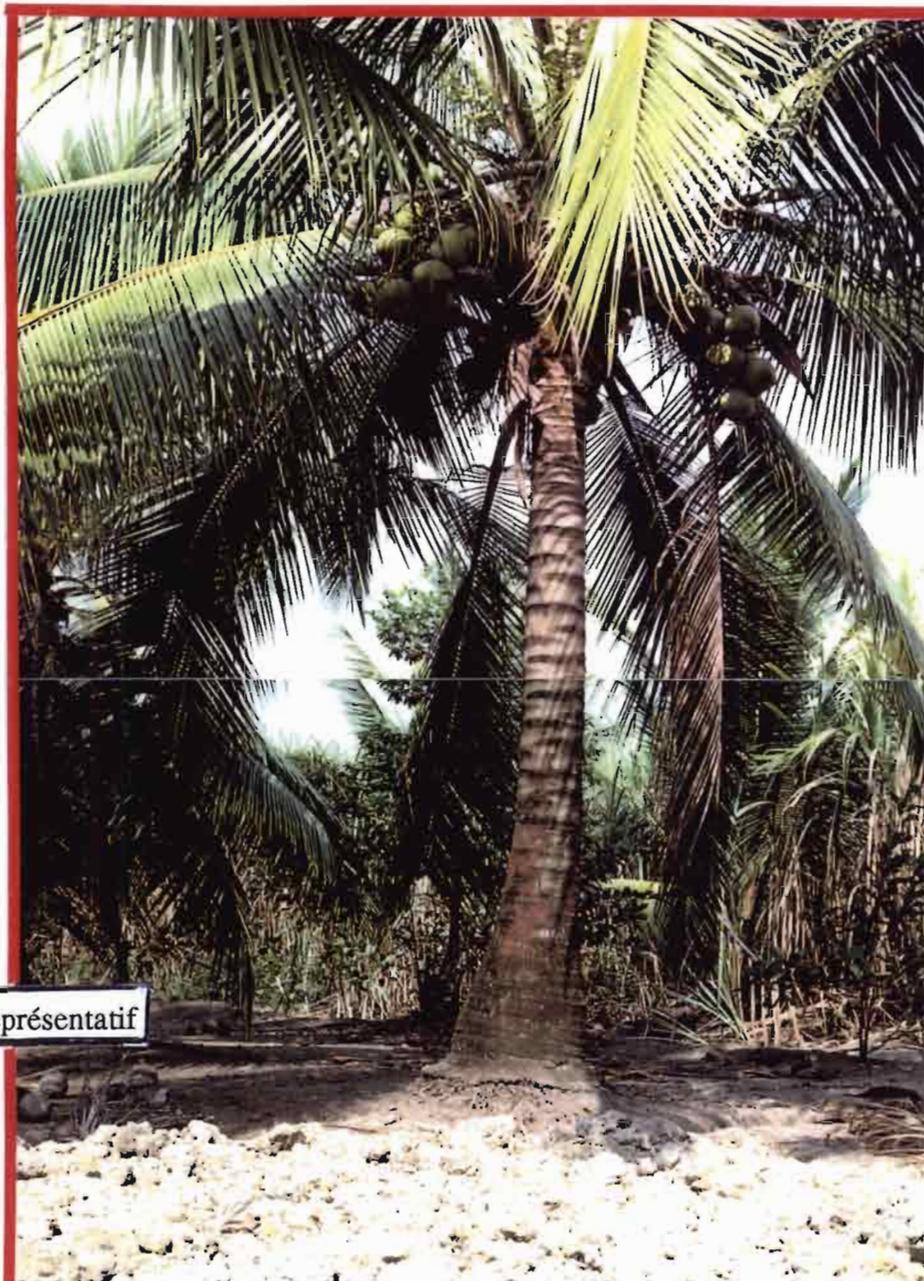


Photo 1: Un cocotier sur sols sulfatés acides à Long An

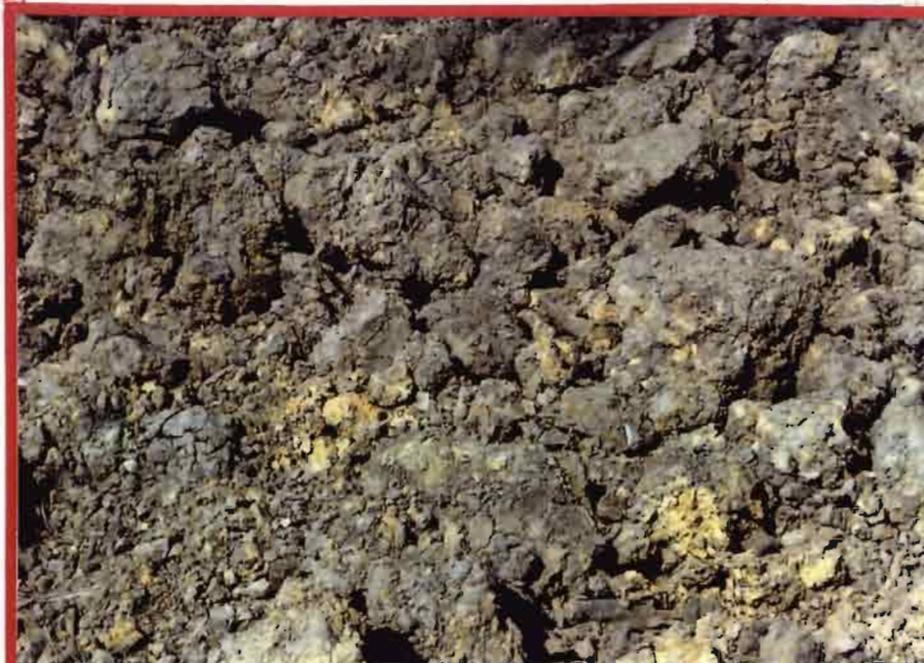


Photo 2: Les taches jaune de jarosite sous le pied du cocotier

dans la diminution du nombre de feuilles émises. Cette situation se retrouve dans les feuilles la phase dont les folioles s'ouvrent en avril, après avoir passé les derniers mois de leur juvénile en saison sèche avec une salinité de la nappe très élevée. Ceci permet d'expliquer que le nombre de feuilles émises est le plus bas en mars et en mai 92, puis en janvier et mars 93, le décalage provenant probablement de la durée de la saison des pluies.

Le nombre de feuilles émises est différent entre Do Hoa et Long An à cause de la salinité de Do Hoa.

2.1.2. Longueur de la feuille 14; dimensions et nombre des folioles

Les variations de longueur de la feuille 14 sur les sites apparaissent dans la figure 31. Les mesures détaillées sont rassemblées dans l'annexe XIXA.

A Do Hoa, il existe une différence significative de la longueur des feuilles de rang 14 qui commence à la fin de la saison des pluies (en novembre 91) et se poursuit jusqu'à la fin de la saison sèche (mai 92). Par contre, cette différence n'apparaît pas sur les trois sites de Long An, ce qui montre que sur les sols sulfatés acides non salés, la saison sèche n'a pas d'influence sur le développement de la feuille 14.

Ce résultat explique que pendant la saison sèche, dans le delta du Mékong, il y a suffisamment d'eau pour la croissance du cocotier et que la salinité représente, à Do Hoa, la principale cause de la limitation de la croissance.

Les mesures de longueur (annexe XIXC) et largeur (annexe XIXB) de la foliole, ainsi que les variations du nombre de folioles (annexe XIXD) aboutissent à la même conclusion: les dimensions plus importantes à Long An indiquent que les contraintes y sont plus faibles. Les résultats regroupés dans les annexes sont des moyennes des mesures sur 60 cocotiers dans chaque site et un exemple de mesures est donné à l'annexe XIXE.

Dans le delta du Mékong, la salinité est le facteur le plus contraignant.

2.1.3. Développement des racines (annexe XX A,B,C et XXI A,B,C)

Les tableaux 25A et 25B montrent les différentes quantités de racines exprimés en poids sec en fonction de:

- trois directions **D** (parallèle, perpendiculaire ou 45° par rapport au canal)
- deux distances **d** (1m et 2m)
- et trois profondeurs **p** (0-30, 30-60 et 60-90 cm)

sur chaque site en saison sèche et en saison des pluies.

A Do Hoa, nous avons des quantités de racines plus élevées en janvier 92 qu'en juillet 91. Ces résultats s'expliquent par la stratégie de la plante qui développe son système racinaire pendant la saison des pluies.

Tableau 25A: Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et Long An en juillet 91

Sites	$\Sigma D//$	$\Sigma D 45^\circ$	$\Sigma D 90^\circ$	$\Sigma d1$	$\Sigma d2$	$\Sigma p1$	$\Sigma p2$	$\Sigma p3$
	toutes d et p			toutes D et p		toutes D et d		
Do Hoa	6,98	14,67	20,68	28,65	13,67	37,22	3,70	1,40
LongAn1	27,88	25,13	20,91	43,05	30,88	45,15	21,77	7,00
LongAn2	26,61	27,67	24,02	45,49	32,83	53,48	20,27	4,57
LongAn3	43,70	44,32	47,11	70,85	64,27	61,34	54,47	19,31

Tableau 25B: Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et Long An en janvier 92

Sites	$\Sigma D//$	$\Sigma D 45^\circ$	$\Sigma D 90^\circ$	$\Sigma d1$	$\Sigma d2$	$\Sigma p1$	$\Sigma p2$	$\Sigma p3$
	toutes d et p			toutes D et p		toutes D et d		
Do Hoa	20,12	22,52	34,82	58,01	19,46	70,32	6,01	1,14
LongAn1	37,98	27,07	25,35	52,62	37,77	62,18	21,92	6,29
LongAn2	31,35	19,17	25,52	42,10	33,94	46,80	24,98	4,26
LongAn3	42,35	46,98	49,04	79,33	59,05	62,07	60,81	15,49

Résultats exprimés en grammes, chaque valeur est la moyenne de 8 mesures.

A Do Hoa

Différence directionnelle: à la distance d'un mètre du stipe, il n'existe pas de différence entre les directions, ce qui montre que le système racinaire se développe de façon homogène dans un rayon d'un mètre. A 2m, il existe une différence significative entre la direction perpendiculaire au canal et les deux autres.

Différence en distance: : les racines contenues dans les prélèvements situés à 1m du stipe se présentent en plus grande quantité qu'à 2m, où les racines ne représentent que 25% de l'enracinement total.

Différence en profondeur: la baisse de poids est très significative entre l'horizon 0-30 cm et les deux autres, 30-60 et 60-90 cm. La diminution peut s'expliquer par la présence de la nappe qui est permanente à la profondeur de 40-50 cm. Au total, plus de 90% des racines demeurent dans l'horizon superficiel.

A Do Hoa, l'augmentation de salinité pendant la saison sèche est à l'origine de la réduction du système racinaire.

A Long An, la quantité de racines à Long An 3 est plus élevée que sur les deux autres sites. Par contre, il n'y a pas de différence entre la saison sèche et la saison des pluies.

Pour la différence directionnelle, comme à Do Hoa, il n'y a pas de différence significative entre les quantités de racines situées dans les différentes directions à la distance d'un mètre; par contre, à deux mètres il existe une différence significative entre la direction

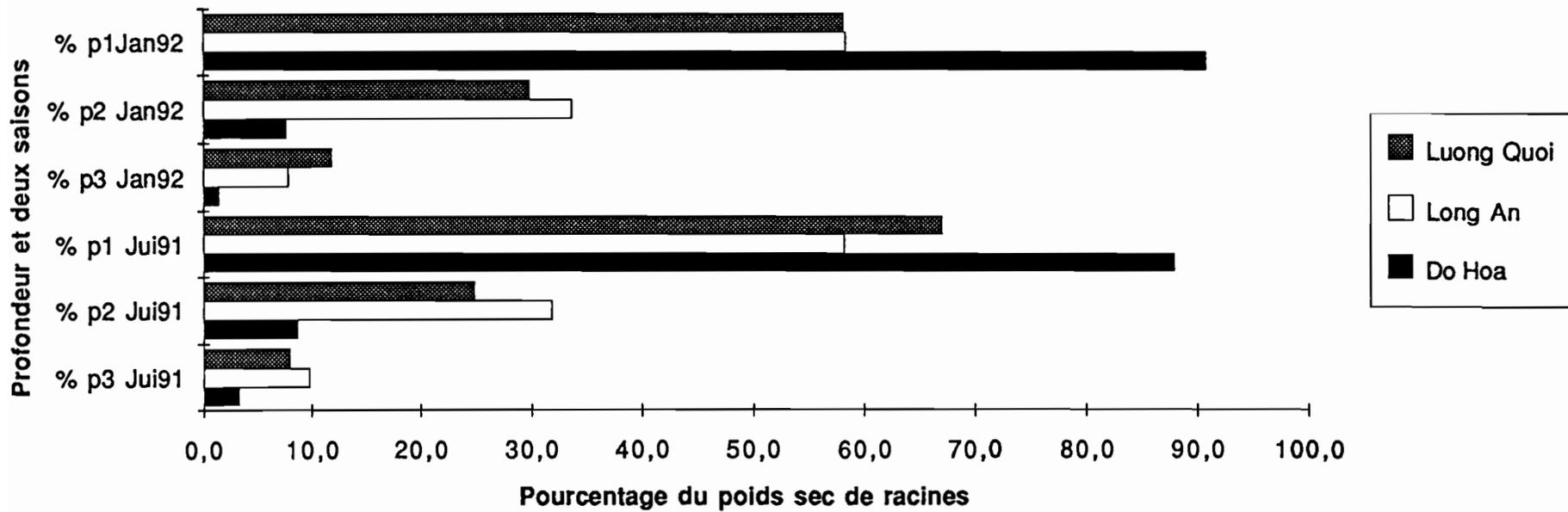
45° et les deux autres. Rappelons qu'à Do Hoa, c'est la direction perpendiculaire au canal qui se distinguait les deux autres.

Différence en distance: comme à Do Hoa, la quantité de racines dans les prélèvements effectués à un mètre du stipe est plus importante qu'à deux mètres. Cependant, sur les trois sites de Long An, à cette dernière distance, les prélèvements représentent encore 42% de la quantité totale des racines, ce qui traduit un meilleur développement racinaire à Long An qu'à Do Hoa.

Différence en profondeur: l'analyse statistique montre une diminution significative entre l'horizon 0-30 cm et les deux autres à Long An 1 et Long An 2. Par contre, à Long An3, la différence n'est pas significative entre les horizons 0-30 cm et 30-60 cm; en effet, sur ce site, la banquette est plus élevée qu'à Long An 1 et Long An 2.

Dans les sols alluviaux (Luong Quoi), considérés comme témoins, et les sols sulfatés acides (Long An), la diminution du poids des racines en pourcentage du poids total en fonction des trois niveaux de profondeur est plus faible qu'à Do Hoa (sols sulfatés acides salés) (figure 32) (planche IX).

Figure 32 - Pourcentage du poids sec des racines par rapport au poids total en fonction de la profondeur du sol dans les sites



p1: profondeur de 0-30 cm- p2: profondeur de 30-60 cm- p3: profondeur de 60-90 cm

2.2. ETUDE DU DEVELOPPEMENT FLORAL ET DE LA FRUCTIFICATION

2.2.1. Nombre de fleurs: (annexe XXII)

Le développement d'une inflorescence nécessite une année entre la différenciation des fleurs femelles et l'ouverture de la spathe, et encore une année entre cette dernière et la maturité des noix. Il faut donc environ 2 ans de la différenciation du primodium floral jusqu'à la maturité de la noix (26^e mois - 49^e mois). L'influence des contraintes du milieu sur la production intervient donc 2 ans avant la récolte.

Le potentiel de production est exprimé par le nombre de fleurs femelles et par le taux d'avortement qui décidera du nombre effectif de noix .

Le nombre de fleurs diminue à partir de novembre jusqu'à mai ce qui correspond à la période sèche, surtout à Do Hoa; la chute est particulièrement marquée en janvier (figures 33A et 33B).

2.2.2. Nombre de noix (annexe XXIII et XXIV)

La variation de la production sur une période de deux ans, présentée figure 34A, fait apparaître une évolution cyclique entre la saison sèche et la saison des pluies sur les deux sites.

Le nombre de noix récoltées par régime commence à augmenter en novembre, il atteint son maximum en janvier et mars, puis il diminue en mai, juillet et septembre (figure 34B).

Il semble que le nombre de noix récoltées réagisse à l'inverse du nombre de fleurs. En réalité, si le nombre de fleurs diminue en saison sèche, le taux d'avortement est beaucoup plus faible et finalement le nombre de noix est plus élevé.

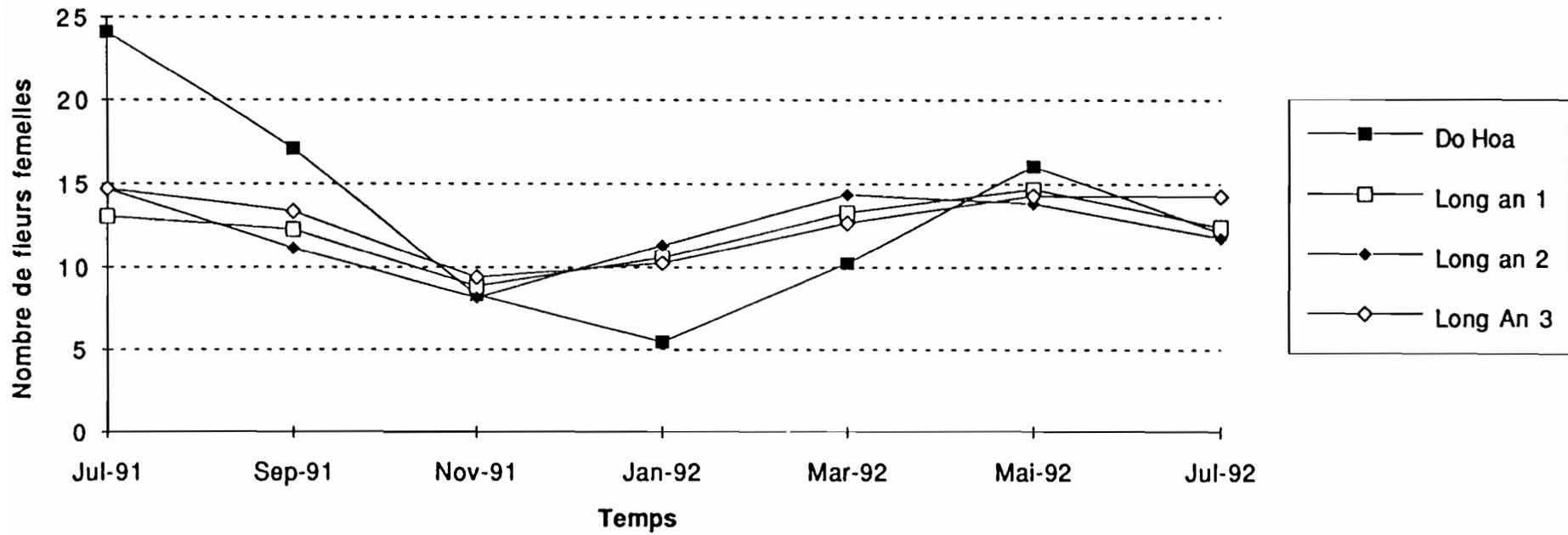
Par contre, en saison des pluies, du fait de l'importance de l'avortement, malgré le grand nombre de fleurs, il y a peu de noix dont la maturation est plutôt plus longue à obtenir: les récoltes de saison des pluies sont donc toujours plus limitées.

Par rapport à la production sur les sols alluviaux fertiles (60 noix/cocotier/an), la production sur les sols salés de Do Hoa est réduite de 45% et à Long An sur sols sulfatés acides de 25% .

2.2.3. Composantes de la noix

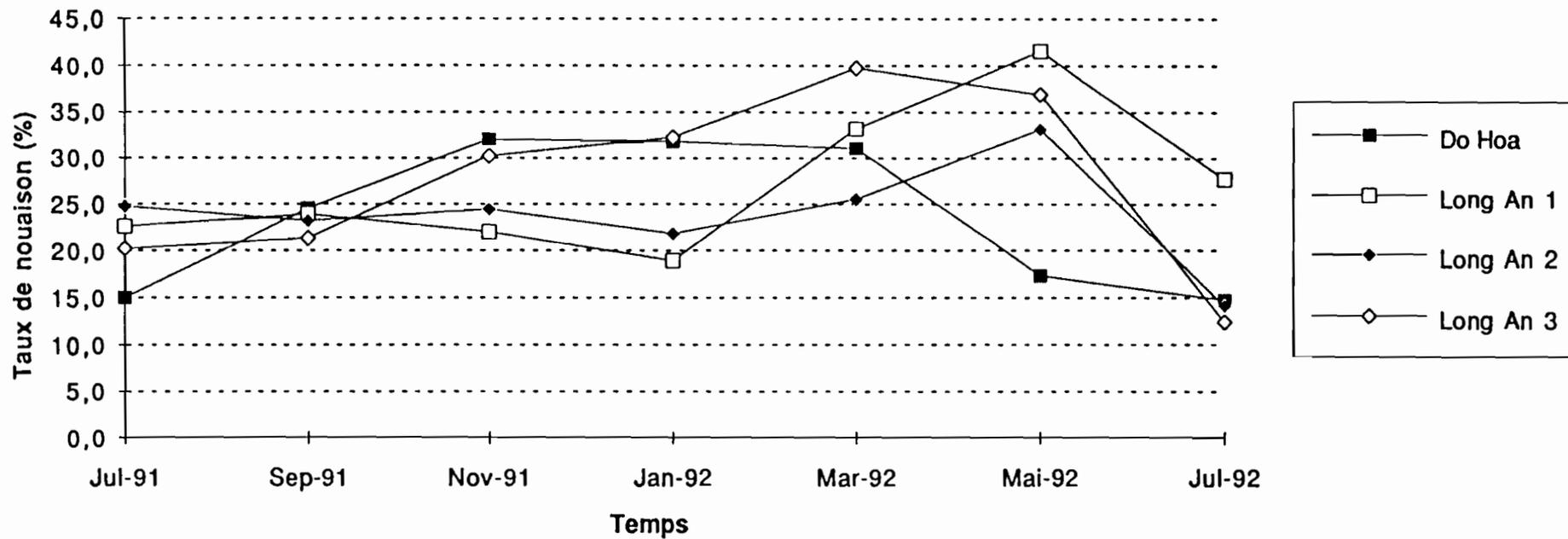
Le tableau 26 présente les composantes de la noix sur les sites d'études de Do Hoa et Long An 1. Les résultats pour les deux sites Long An 2 et Long An 3 sont regroupés dans les annexes XXVA et XXVB.

Figure 33 A: Variation du nombre de fleurs par cocotier dans les sites



Chaque valeur est la moyenne de 60 mesures sur 60 cocotiers dans les 4 répétitions de chaque site.

Figure 33B: Pourcentage de nouaison sur les sites



Taux de nouaison= Nombre de noix récoltée/nombre de fleurs femelles de la même inflorescence. Chaque valeur est la moyenne de 60 mesures.

Figure 34A: Variation du nombre de noix récoltées /cocotier sur les sites

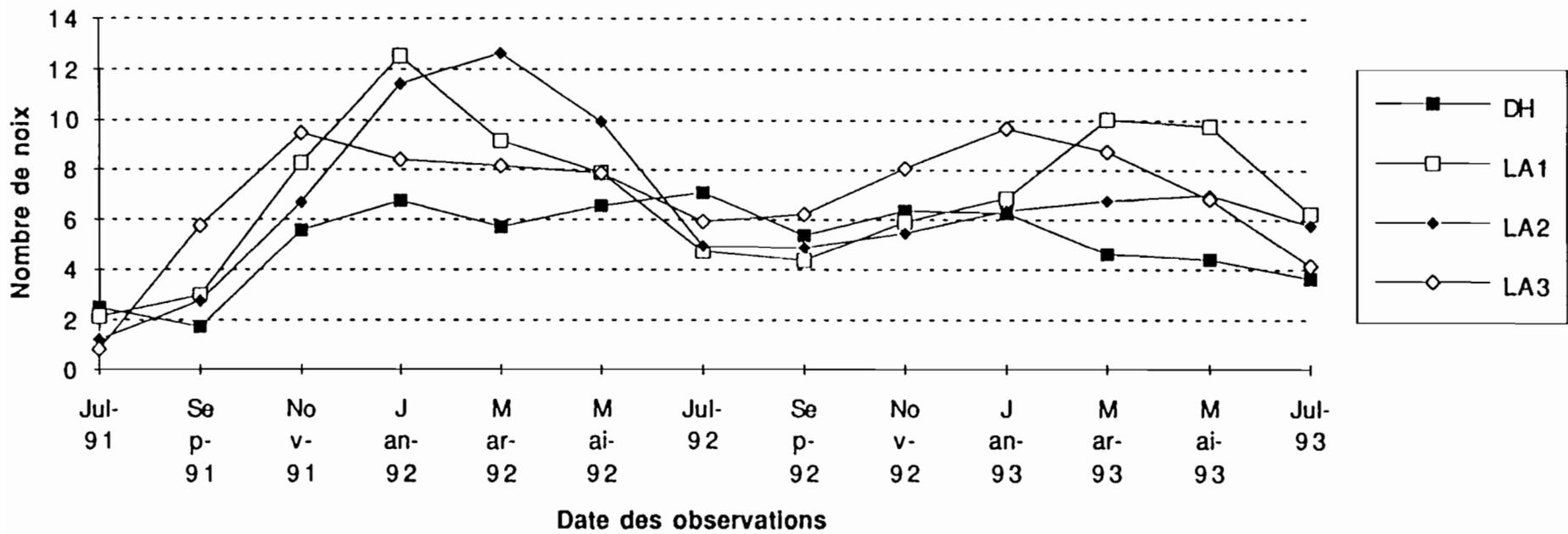
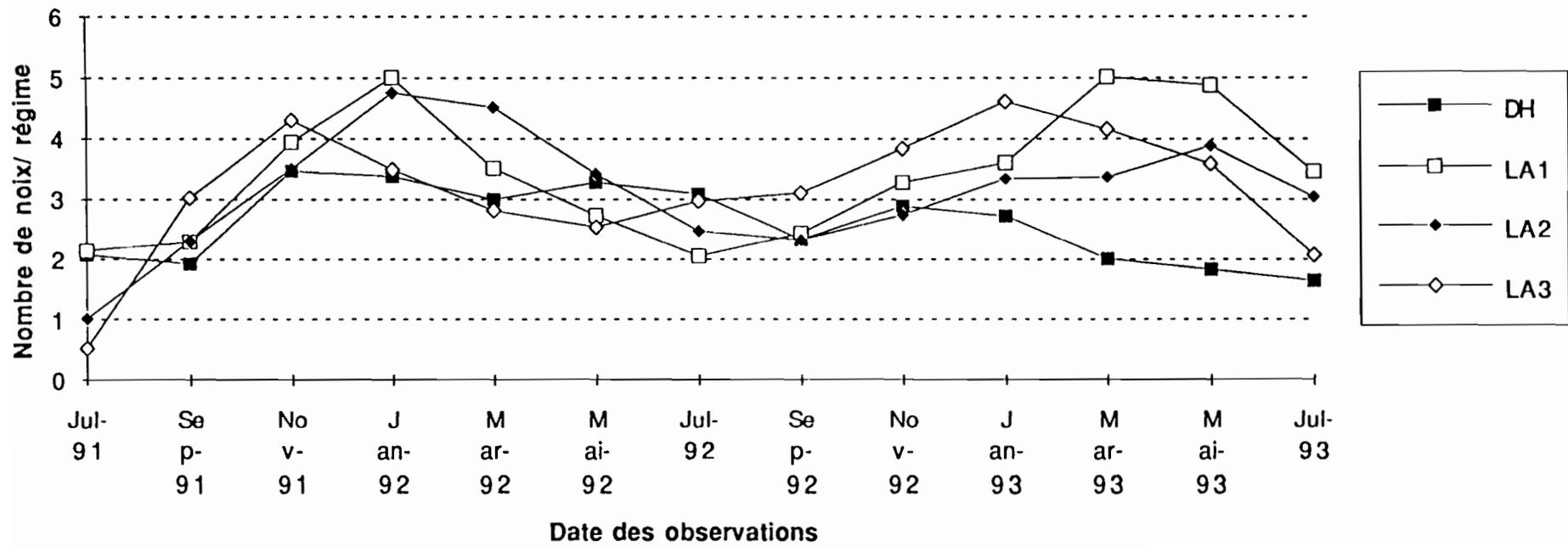


Figure 34B : Variation du nombre de noix/ régime sur les sites



On retiendra**Do Hoa 700 kg/ha****Long An 1835 kg/ha: soit 2,9 fois la production de Do Hoa.****2.2.5. Détermination de la relation entre la production de coprah et de biomasse de la plante:**

Les tableaux 28 A et 28B récapitulent les résultats.

Tableau 28A: Paramètres quantitatifs permettant l'estimation de la biomasse foliaire et racinaire

Sites	NF	NoFo	LgFo (cm)	LaFo (cm)	Se. (m2)	Sr. (m2)	S/pl. (m2)	PF. (kg)	PR. (kg)	PF/PR %
LQ	30,4	164	110	5,5	10	8	243	18,6	77,9	23,9
LA1	31	114	116	5,2	7	6	171	13,1	126,5	10,4
DH	27	104	94	4,3	4	3,5	91	6,9	72,5	9,5

Avec:

LQ: Luong Quoi: sols alluviaux

LA1: Long An 1: sols sulfatés acides

DH: Do Hoa: sols sulfatés acides et salés

NF: moyenne du nombre de feuilles sur le cocotier

NoFo: nombre de folioles de la feuille 14

LgFo (cm): longueur de la foliole de la feuille 14

LaFo (cm): largeur maximale de la foliole de la feuille 14

Se (m2) : surface foliaire estimée pour la feuille 14 = NoFo x LgFo x LaFo.

Sr (m2): surface réelle pour la feuille 14 = Se x r (indice de correction: 0,8, cf.tableau 45B).

S/pl (m2): surface foliaire réelle pour le cocotier = NF x Sr.

PF (kg): poids sec des feuilles (estimés) = poids sec/cm2 foliole x Sr.

PR (kg) : poids sec des racines (estimés)

PF/PR: rapport du poids sec des feuilles / poids sec des racines.

Tableau 28B: Pourcentage de variation de la production de coprah et de biomasse.

Sites	Production de noix/ cocotier/an	Production de coprah/ cocotier/an	Surface foliaire par cocotier	Poids secs des feuilles	Poids secs des racines	Rapport PF/PR
Luong Quoi	60 noix	14,4 kg	243 m2	18,6 kg	77,9kg	23,9 %
Long An 1	25%	- 21%	- 29%	- 30 %	+38,4 %	- 56,5%
Do Hoa	45%	- 73%	- 63%	- 63 %	- 7 %	- 60,2 %

La réduction de la production de noix et de coprah sur les sols sulfatés acides et / ou salés est liée à celle de la biomasse.

A partir des dimensions des folioles, de leur nombre par feuille et de l'indice de correction de la surface foliaire établi expérimentalement (annexe XXXVIII), la surface foliaire peut être estimée pour les feuilles 14 et pour l'ensemble de la couronne foliaire. Le poids sec des feuilles est obtenu à partir des mesures de terrain et de laboratoire (chapitre 2, tableaux 45B et C).

L'ensemble des racines du cocotier occupe un cylindre de 2m de rayon et de 0,9m de profondeur soit un volume de 11,3 m³. Les 9 prélèvements de 728,85 cm³ effectués dans trois directions représentant un volume de 6,6 m³ et contenant X grammes de racines peut être estimé à :

$$X/6,6 \times 11.300 = 1712 X$$

Ayant la production de noix et de coprah ainsi que les poids secs des feuilles et des racines dans les différents sites, les sols alluviaux de Luong Quoi étant pris comme référence, les variations ont été calculées en % par rapport à Luong Quoi; le rapport du poids des feuilles au poids des racines y est également mentionné pour situer l'importance de l'appareil photosynthétique par rapport au système racinaire.

On peut conclure que la salinité est plus contraignante que l'acidité pour la production de coprah du fait de la diminution de l'appareil foliaire. Il faut souligner l'importance du développement racinaire dans les sols sulfatés acides qui confirme le mode d'adaptation du cocotier à cette contrainte.

2.3.ETUDE DE LA NUTRITION MINERALE FOLIAIRE ET RACINAIRE

Les prélèvements ont été effectués en janvier qui correspond au début de la saison sèche (janvier) et au début de la saison des pluies (juillet).

2.3.1.Nutrition foliaire (Annexes XXVI A et XXVIB)

En se fondant sur les niveaux critiques donnés par MANCIOT et al.(1979), les analyses de feuilles sur les sites pendant deux ans, en saison sèche et en saison des pluies, montrent que la nutrition foliaire varie en fonction de la saison et du site (tableau 29).

Pour l'azote

Par rapport au niveau critique de 1,8 , la situation est la suivante sur les sols sulfatés acides:

Long An 1: carence en saison des pluies 91 et saison sèche 92.

Long An 2: carence en saison sèche 91.

Long An 3: carence en saison sèche 91 et 92

Tableau 29 : Diagnostic foliaire sur les sites

		R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	SiO2	Al
DH	SS91	1	1,931	0,114	1,065	0,174	0,434	0,173	1,034	0,253	27,1	154,7	2,5	136,1	11,0		100,5
		2	1,985	0,106	0,908	0,199	0,448	0,182	0,945	0,256	28,2	199,9	2,9	139,8	11,9		122,1
		3	1,975	0,107	1,123	0,178	0,396	0,183	1,105	0,265	26,4	184,6	2,5	105,4	9,0		124,9
		4	1,922	0,103	1,052	0,191	0,401	0,151	0,920	0,267	26,1	210,0	2,2	131,7	11,1		126,8
		M	1,953	0,108	1,037	0,186	0,420	0,172	1,001	0,260	27,0	187,3	2,5	128,2	10,8		118,6
		E	0,031	0,005	0,091	0,012	0,025	0,015	0,085	0,007	0,9	24,1	0,3	15,6	1,2		12,2
	SP91	1	1,940	0,114	0,977	0,138	0,398	0,265	0,792	0,228	21,6	198,6	2,5	100,0	16,2	2,430	60,9
		2	1,924	0,118	0,837	0,157	0,420	0,266	0,729	0,219	22,4	191,0	2,2	83,2	13,5	2,370	54,8
		3	1,918	0,118	0,920	0,150	0,423	0,294	0,789	0,230	23,5	227,1	2,6	89,2	18,1	2,470	58,1
		4	1,829	0,117	0,927	0,146	0,400	0,278	0,784	0,238	22,3	215,8	2,8	83,5	17,9	2,750	66,9
		M	1,903	0,117	0,915	0,148	0,410	0,276	0,774	0,229	22,5	208,1	2,5	89,0	16,4	2,505	60,2
		E	0,050	0,002	0,058	0,008	0,013	0,014	0,030	0,008	0,8	16,4	0,2	7,9	2,1	0,168	5,1
LA1	SS91	1	2,231	0,134	1,379	0,135	0,291	0,192	1,047	0,267	12,9	282,9	3,7	112,9	12,9		153,2
		2	1,770	0,120	0,824	0,104	0,401	0,308	0,984	0,301	13,9	301,0	3,6	161,0	12,2		216,0
		3	1,850	0,106	0,757	0,106	0,420	0,256	0,817	0,337	17,8	881,7	3,2	128,3	14,8		530,9
		4	1,672	0,097	0,719	0,125	0,434	0,284	0,882	0,354	15,0	939,4	3,0	172,8	10,4		571,1
		M	1,881	0,114	0,920	0,118	0,387	0,260	0,933	0,315	14,9	601,3	3,4	143,8	12,6		367,8
		E	0,245	0,016	0,309	0,015	0,065	0,050	0,103	0,039	2,1	358,0	0,3	27,9	1,8		213,7
	SP91	1	1,900	0,120	1,007	0,110	0,320	0,298	0,825	0,224	10,6	330,8	4,1	111,0	23,5	1,320	104,3
		2	1,767	0,122	1,313	0,084	0,277	0,355	0,958	0,232	10,2	210,3	4,4	96,8	21,9	1,440	105,0
		3	1,718	0,113	1,008	0,137	0,390	0,332	0,845	0,319	13,0	285,3	4,9	123,5	22,1	1,520	115,9
		4	1,748	0,113	0,977	0,121	0,384	0,408	0,866	0,301	13,9	316,7	4,3	102,7	25,3	1,540	95,0
		M	1,783	0,117	1,076	0,113	0,343	0,348	0,874	0,269	11,9	285,8	4,4	108,5	23,2	1,455	105,1
		E	0,080	0,005	0,158	0,022	0,054	0,046	0,059	0,048	1,8	53,8	0,3	11,6	1,6	0,100	8,5

Tableau 29 : Diagnostic foliaire sur les sites

		R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	SiO2	Al
LA2	SS91	1	1,851	0,124	1,127	0,129	0,265	0,268	0,927	0,290	12,6	207,2	3,4	196,5	15,6	—	99,7
		2	1,568	0,106	1,069	0,119	0,215	0,325	0,987	0,321	11,5	231,5	3,7	152,5	35,6	—	112,5
		3	1,796	0,123	1,118	0,121	0,225	0,325	0,976	0,315	11,8	241,7	3,9	146,8	37,6	—	93,5
		4	1,827	0,119	1,121	0,117	0,217	0,357	0,973	0,302	10,8	232,9	3,7	145,9	41,7	—	97,7
		M	1,761	0,118	1,109	0,122	0,231	0,319	0,966	0,307	11,7	228,3	3,7	160,4	32,6	—	100,9
		E	0,130	0,008	0,027	0,005	0,023	0,037	0,027	0,014	0,7	14,8	0,2	24,2	11,6	—	8,2
	SP91	1	1,915	0,216	1,078	0,229	0,272	0,323	0,883	0,325	10,5	212,2	3,9	204,9	15,2	2,330	95,4
		2	1,991	0,121	0,968	0,169	0,282	0,272	0,816	0,258	8,3	220,2	4,0	196,3	11,6	1,610	109,9
		3	1,781	0,125	0,962	0,150	0,323	0,272	0,763	0,273	13,5	232,1	3,5	137,8	12,5	1,560	87,2
		4	1,979	0,123	1,232	0,135	0,221	0,366	0,863	0,339	8,3	197,2	4,3	123,5	14,2	2,610	104,9
		M	1,917	0,146	1,060	0,171	0,275	0,308	0,831	0,299	10,2	215,4	3,9	165,6	13,4	2,028	99,4
		E	0,096	0,047	0,126	0,041	0,042	0,045	0,053	0,039	2,5	14,6	0,3	41,0	1,6	0,524	10,1
LA3	SS91	1	1,709	0,096	0,748	0,095	0,352	0,260	0,785	0,366	15,3	608,0	3,2	182,3	10,9	—	616,6
		2	1,536	0,107	0,746	0,127	0,288	0,251	0,778	0,305	11,9	1144,2	3,5	248,1	23,1	—	799,2
		3	1,512	0,085	0,801	0,120	0,362	0,125	0,782	0,279	13,3	320,1	3,0	152,2	17,4	—	406,6
		4	1,714	0,096	0,924	0,089	0,338	0,155	0,807	0,275	13,6	311,5	3,0	117,9	13,8	—	336,3
		M	1,618	0,096	0,805	0,108	0,335	0,198	0,788	0,306	13,5	596,0	3,2	175,1	16,3	—	539,7
		E	0,109	0,009	0,083	0,019	0,033	0,068	0,013	0,042	1,4	390,6	0,2	55,3	5,3	—	210,0
	SP91	1	1,852	0,104	1,533	0,069	0,250	0,190	0,915	0,252	10,2	142,3	4,6	78,7	11,3	1,880	120,9
		2	1,867	0,108	1,453	0,075	0,259	0,228	0,969	0,241	10,3	136,3	4,3	87,3	14,6	1,650	112,3
		3	1,794	0,107	1,276	0,092	0,252	0,337	0,895	0,272	9,7	226,3	4,2	88,0	15,7	1,380	100,3
		4	1,800	0,114	1,232	0,080	0,278	0,370	0,876	0,302	9,3	246,7	4,4	91,3	17,3	1,390	111,2
		M	1,828	0,108	1,374	0,079	0,260	0,281	0,914	0,267	9,9	187,9	4,4	86,3	14,7	1,575	111,2
		E	0,037	0,004	0,143	0,010	0,013	0,086	0,040	0,027	0,5	56,8	0,2	5,4	2,5	0,239	8,4

Les sols sulfatés acides et salés de Do Hoa, ne présentent pas de carence en azote, ni en saison sèche, ni en saison des pluies.

Ces résultats montrent que la teneur de l'azote change facilement en fonction des saisons, la pluviométrie ayant une action importante sur la nutrition azotée (COOMANS, 1974) .

En comparaison avec les teneurs en azote des sols alluviaux, les sols sulfatés acides ou sulfatés acides salés ne présentent pas de carence particulière liée aux facteurs acidité ou salinité.

Pour le phosphore

Par rapport au niveau critique de 0,12 , la situation est la suivante:

Sols sulfaté acides :

Long An 1, Long An 2 et Long An 3 présentent une carence en phosphore avec une teneur très faible (varie de 0,096 à 0,118%) en saisons sèches 91 et 92 et en saison des pluies 91. Par contre, il n'y a pas de carence en saison des pluies 92.

Sols sulfatés acides et salés, la même carence en phosphore est observée pour les mêmes saisons.

Cette carence s'explique par la teneur de P Olsen dans les deux types de sols sulfatés acides ou sols sulfatés acides salés qui est très faible.

Sur les sols alluviaux, la teneur en phosphore est élevée (varie de 0,124 à 0,137%).

D'autre part, en saison sèche, la teneur en phosphore est toujours plus faible qu'en saison des pluies du fait de l'augmentation de l'acidité pendant cette saison sèche où le phosphore soluble dans le sol est fixé par l'aluminium libéré par l'acidité.

Pour le potassium

Le niveau critique du potassium est de 0,8. Sur les deux sites, il n'existe pas de carence en potassium dont la teneur varie de 0,805 à 1,44.

Pour le calcium

Le niveau critique du calcium est de 0,5%.

Les sols sulfatés acides de Long An 1, Long An 2 et Long An 3 présentent une carence plus importante que les sols sulfatés acides salés de Do Hoa (0,089 et 0,144 %).

Cette carence est typique des sols sulfatés acides.

Même sur sols alluviaux, la teneur en calcium est inférieure au niveau critique (de 0,33 à 0,36%). On retrouve les symptômes visuels décrits par OLIVIN et al.(1983), les feuilles du cocotier présentent d'abord des taches jaunes isolées qui s'élargissent et se dessèchent (planche IX).

Planche IX:



Photo 1: Position du système racinaire dans la banquette en liaison avec le niveau de l'eau dans le canal

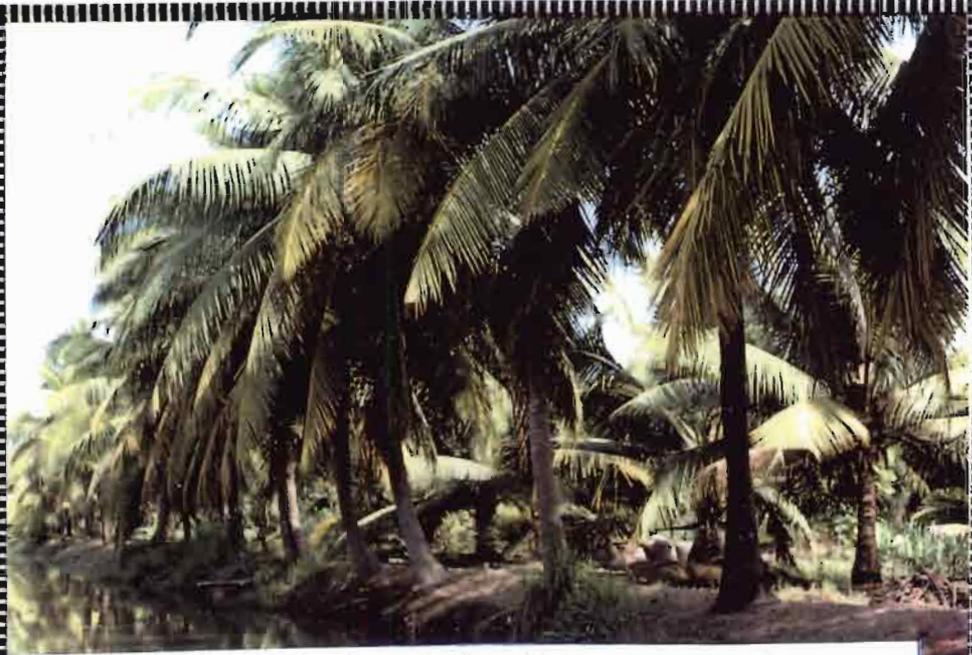


Photo 2: Long An: sols sulfatés acides, carence en calcium.



Photo 3: Signes de carence en calcium sur les folioles.

Pour le magnésium

Le niveau critique du magnésium est de 0,3.

Seul le site de Long An 2 présente une carence en magnésium.

A Do Hoa, la teneur en magnésium est plus élevée qu'à Long An ce qui s'explique par l'existence de cet élément dans l'eau de mer.

Pour le sodium

Le niveau critique du sodium est de 0,1%.

Sur tous les sites, la teneur de sodium est élevée par rapport au niveau critique.

- Sur sols sulfatés acides, à Long An, la teneur de sodium varie de 0,198 à 0,446% selon la saison.

- Sur sols sulfatés acides salés à Do Hoa, cette teneur varie de 0,172 à 0,326%.

- Sur sols alluviaux, la teneur en sodium est encore plus élevée 0,507%.

Pour étudier la résistance à la salinité, nous avons analysé la teneur en sodium de la couronne foliaire dans l'ordre de la spirale sur les cocotiers des deux sites.

Tableau 30: Teneur en sodium dans l'ordre de la spirale foliaire dans les deux sites.

Feuilles	Do Hoa	Long An 1
F1	0,27	0,26
F4	0,23	0,21
F9	0,22	0,32
F14	0,17	0,26
F19	0,14	0,24
F24	0,10	0,19
F29	pas de F29	0,22

Les résultats montrent qu'à Do Hoa, sols sulfatés acides salés, les feuilles jeunes présentent une quantité de sodium plus élevée que les feuilles âgées: il existe donc une stratégie de résistance du cocotier à la salinité pour survivre.

A Long An 1, ce phénomène ne se présente pas de façon nette.

Une étude plus approfondie de ce phénomène serait à entreprendre.

Ces résultats montrent que la teneur en sodium des feuilles du cocotier adulte n'est pas liée à la salinité du sol. Ce phénomène peut s'expliquer par :

- un niveau de sodium pour les cocotiers du Viet Nam dans le delta du Mékong beaucoup plus élevé que le niveau critique donné par MANCIOT et al.

- la résistance à la salinité du cocotier grâce à son système racinaire qui joue un rôle de sélection des éléments absorbés, comme le montrent les résultats du diagnostic racinaire (voir ci-après).

Pour le chlore

Le niveau critique du chlore est de 0,55.

Cet élément est abondant dans le diagnostic foliaire de tous les sites et il n'est pas question de carence (0,788 à 1,027). Ceci s'explique par la proximité de la mer et l'apport du chlore par la marée; c'est un intérêt pour le cocotier dans le delta du Mékong. Sur les sols alluviaux où la production est la plus élevée, la teneur en chlore est de 1,023% et il n'y a aucun symptôme de toxicité sur les feuilles.

Pour le cocotier du delta du Mékong, nous pouvons donc proposer pour le chlore, un niveau critique supérieur à 0,55.

Pour le fer

Normalement, le niveau critique du fer dans les feuilles du cocotier est de 40 ppm. Les teneurs observées sur les sols sulfatés acides et sulfatés acides salés qui sont riches en fer, sont toujours plus élevées que le niveau critique.

Sur les sites d'étude, la teneur de cet élément varie de 187 à 601 ppm ce qui dépasse: 5 à 15 fois le niveau critique proposé par MANCIOT et al , et 1,5 à 5 fois la teneur observée sur sols alluviaux.

Ce dernier point est remarquable et peut expliquer la diminution de la production des cocotiers entre les sols alluviaux et les autres sites.

Pour l'aluminium

Le niveau critique de l'aluminium sur le cocotier varie beaucoup, de 10 à 120 ppm. Les analyses foliaires sur les sites montrent que, sur sols sulfatés acides, à Long An, la teneur en aluminium est très élevée de 69 à 539 ppm. Par contre, à Do Hoa, cette variation est plus faible, de 60,2 à 118,6 ppm.

Par rapport à la teneur observée sur sols alluviaux (114 ppm), la teneur maximum de l'aluminium à Do Hoa ne semble pas présenter un risque de toxicité.

Il faut en effet souligner le rôle important du système racinaire qui bloque l'absorption de l'aluminium.

En résumé, le diagnostic foliaire du cocotier sur les deux types de sols , sulfatés acides et , sulfatés acides et salés permet de constater:

- *une carence importante en calcium.*
- *une carence en phosphore.*
- *une teneur élevée en fer .*
- *une teneur élevée en aluminium sur les seuls sols sulfatés acides.*

Après avoir étudié le diagnostic foliaire, il faut examiner les données du diagnostic racinaire.

2.3.2. Nutrition racinaire

(Annexes XXVII A et B, XXVIII A,B,C,D,E,F,G,H)

Pour les racines, il n'existe pas de niveaux critiques de comparaison et la référence peut être prise au niveau des teneurs des éléments contenus dans les racines des sols alluviaux pour étudier les différentes situations (tableau 31). Sont examinés les éléments qui posent des problèmes au niveau du diagnostic foliaire. Les tableaux 32 et 33 rassemblent les résultats d'analyse pour les grosses racines et les racines fines en fonction des profondeurs en saison des pluies 1991 sur les sites. Pour les autres saisons, les résultats sont regroupés dans les annexes mentionnées ci-dessus.

Pour le phosphore

La teneur en phosphore dans les racines des sols alluviaux est de 0,034%.

Sur les sols sulfatés acides, cette teneur varie de 0,023 à 0,033% ce qui ne présente pas une grande différence.

Sur les sols sulfatés acides salés, la teneur varie de 0,035 à 0,062% qui est plus forte que sur les sols sulfatés acides et les sols alluviaux.

Le phosphore se présente sous formes de complexes phosphatés ferriques ou aluminiques qui se fixent sur les racines et qui par voie de conséquence bloquent l'absorption du phosphore par les feuilles.

Pour le calcium

La teneur en calcium des racines des sols alluviaux est de 0,116 à 0,171% de la matière sèche.

Sur les sols sulfatés acides à Long An, la teneur en calcium varie:

- en saison sèche de 0,019 à 0,036% de la matière sèche soit 16 à 21%

- en saison des pluies de 0,036 à 0,059% de la matière sèche soit 21 à 35%

de la teneur observée sur les sols alluviaux ce qui traduit une forte carence en calcium au niveau des racines qui confirme les résultats du diagnostic foliaire.

Sur les sols sulfatés acides et salés de Do Hoa, la teneur en calcium des racines est également faible mais plus élevée qu'à Long An:

- en saison sèche, la teneur varie de 0,040 à 0,082% de la matière sèche soit 23 à 48%

- en saison des pluies, la teneur varie de 0,058 à 0,097% soit 34 à 57% de la teneur correspondante des sols alluviaux.

Pour le sodium

La teneur du sodium dans les racines varie de 0,420 à 0,444 % de la matière sèche sur sols alluviaux.

Sur les sols sulfatés acides, cette teneur varie de 0,291 à 0,672% en saison sèche et de 0,326 à 0,907% en saison des pluies.

Tableau 31 : Diagnostic racinaire sur les sites en saison sèche 1991

Sites		N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al
		%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
LUONG QUOI	< 5o/oo	0,363	0,034	0,394	0,171	0,135	0,420	0,951	0,093	6,5	1637,1	4,2	50,0	11,6	2944,8
BENTRE	5o/oo	0,365	0,030	0,257	0,116	0,195	0,444	1,108	0,119	7,0	1539,0	5,8	41,1	11,8	2714,7
BENTRE	10o/oo	0,412	0,038	0,540	0,080	0,215	0,613	1,468	0,140	9,1	2881,1	7,4	46,3	15,2	4524,4
BENTRE	15o/oo	0,381	0,038	0,368	0,080	0,230	0,718	1,559	0,140	8,2	2344,4	4,7	45,0	12,1	3210,9
BENTRE	20o/oo	0,361	0,038	0,256	0,079	0,269	0,735	1,467	0,229	9,7	5266,8	6,1	60,1	14,8	5304,4
DO HOA	SSAsalé	0,578	0,037	0,414	0,020	0,193	0,882	1,662	0,235	3,9	3229,8	6,2	11,1	8,6	3620,4
AN THANH	SSA	0,458	0,028	0,284	0,026	0,096	0,395	0,746	0,151	6,1	1610,1	18,6	10,8	10,0	3772,4
LUONG HOA	SSA	0,373	0,026	0,329	0,012	0,087	0,461	0,919	0,174	6,3	2236,4	9,0	12,3	11,2	4263,5

Tableau 32 : Diagnostic racinaire sur les sites en saison des pluies 1991 (grosses racines)

Site	Horizon	R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al
			%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DH	0_30	1	0,639	0,055	0,665	0,052	0,194	1,264	2,192	0,298	12,6	5859,7	9,3	18,3	21,4	10048,8
Racines	cm	2	0,540	0,043	0,698	0,060	0,235	1,231	2,339	0,263	11,9	3090,8	8,4	12,6	14,1	5398,1
grosses		3	0,607	0,049	0,641	0,062	0,244	1,304	2,486	0,297	19,5	4841,9	11,7	18,4	40,8	6603,2
		4	0,622	0,050	0,613	0,067	0,235	1,466	2,621	0,259	14,2	3776,0	14,5	19,4	71,6	6108,9
		M	0,602	0,049	0,654	0,060	0,227	1,316	2,410	0,279	14,6	4392,1	11,0	17,2	37,0	7039,8
		E	0,043	0,005	0,036	0,006	0,022	0,104	0,185	0,021	3,4	1215,1	2,7	3,1	25,7	2066,1
	30_60	1	0,815	0,077	0,561	0,089	0,291	1,847		0,573	41,0	12206,0	29,8	35,8	46,4	19350,0
	cm	2	0,603	0,036	0,485	0,069	0,344	1,215	3,606	0,440	14,4	3298,4	6,9	11,5	58,2	4809,0
		3	0,592	0,058	0,385	0,097	0,296	1,802	3,011	0,548	28,8	15515,6	14,6	28,5	26,4	8007,0
		4	0,868	0,094	0,574	0,116	0,382	1,237		0,623	45,3	21381,7	16,2	38,2	40,3	14011,6
		M	0,720	0,066	0,501	0,093	0,328	1,525	3,309	0,546	32,4	13100,4	16,9	28,5	42,8	11544,4
		E	0,143	0,025	0,087	0,019	0,043	0,346	0,421	0,077	13,9	7556,3	9,5	12,1	13,2	6452,2
LA1	0_30	1	0,461	0,031	0,611	0,035	0,095	0,517	0,935	0,148	8,6	1318,6	4,7	10,9	11,7	3944,6
	cm	2	0,400	0,039	0,846	0,012	0,072	0,479	1,146	0,132	6,9	1032,3	26,3	4,3	7,2	2775,0
		3	0,471	0,027	0,772	0,030	0,105	0,557	1,368	0,128	6,0	953,8	5,0	6,5	7,0	2200,0
		4	0,513	0,039	0,567	0,046	0,204	0,905	1,687	0,243	11,1	1993,1	5,9	11,2	9,7	5060,3
		M	0,461	0,034	0,699	0,031	0,119	0,615	1,284	0,163	8,2	1324,5	10,5	8,2	8,9	3495,0
		E	0,047	0,006	0,132	0,014	0,058	0,196	0,322	0,054	2,2	472,5	10,6	3,4	2,2	1271,2
	30_60	1	0,475	0,034	0,522	0,036	0,078	0,592	0,992	0,157	7,6	1477,2	3,9	7,0	9,2	4404,7
	cm	2	0,422	0,038	0,532	0,019	0,092	0,521	1,062	0,121	6,6	905,7	3,8	4,6	4,7	3183,3
		3	0,335	0,021	0,546	0,024	0,092	0,460	0,987	0,128	5,1	841,0	4,0	4,3	4,7	2278,5
		4	0,318	0,024	0,370	0,025	0,113	0,595	1,068	0,142	6,7	1042,3	5,7	5,2	6,1	2566,2
		M	0,388	0,029	0,493	0,026	0,094	0,542	1,027	0,137	6,5	1066,6	4,4	5,3	6,2	3108,2
		E	0,074	0,008	0,082	0,007	0,014	0,064	0,044	0,016	1,0	286,3	0,9	1,2	2,1	943,2

Tableau 33 : Diagnostic racinaire sur les sites en saison des pluies 1991 (racines fines)

Sites	Horizon	R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al
			%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DH	0_30	1	0,811	0,070	0,694	0,052	0,274	1,182	1,968	0,413	30,8	2228,5	39,9	26,7	36,2	3294,3
Racines	cm	2	0,720	0,053	0,611	0,060	0,267	1,279	2,312	0,343	17,8	1062,4	37,0	12,2	23,3	1375,1
fines		3	0,659	0,050	0,448	0,058	0,260	1,224	2,039	0,279	22,0	1364,4	27,5	18,6	22,9	2020,1
		4	0,834	0,058	0,534	0,067	0,277	1,282	2,114	0,321	21,7	7608,0	33,8	19,8	27,5	10290,0
		M	0,756	0,058	0,572	0,059	0,270	1,242	2,108	0,339	23,1	3065,8	34,6	19,3	27,5	4244,9
		E	0,081	0,009	0,105	0,006	0,008	0,048	0,148	0,056	5,5	3068,2	5,3	5,9	6,2	4108,2
	30_60	1	0,980	0,070	0,508	0,087	0,337	1,778		0,673	32,3	2583,5	34,5	28,1	35,9	3363,5
	cm	2	1,067	0,047	0,460	0,067	0,427	2,002		0,504	21,7	1018,4	25,3	13,6	23,9	1582,8
		3	0,727	0,058	0,347	0,081	0,270	1,623		0,615	28,2	14660,0	26,4	28,4	30,5	12080,0
		4	0,978	0,067	0,467	0,086	0,420	2,188			25,7	12014,0	16,0	27,0	22,0	8430,0
		M	0,938	0,061	0,446	0,080	0,364	1,898		0,597	27,0	7569,0	25,6	24,3	28,1	6364,1
		E	0,147	0,010	0,069	0,009	0,075	0,248		0,086	4,4	6777,6	7,6	7,1	6,4	4789,0
LA1	0_30	1	0,640	0,052	0,643	0,032	0,125	0,482	0,977	0,182	12,7	4709,3	75,3	9,4	26,6	7179,2
	cm	2	0,639	0,057	0,648	0,031	0,108	0,323	0,813	0,142	6,5	1204,2	65,5	6,1	16,9	2970,2
		3	0,606	0,041	0,694	0,030	0,139	0,407	1,031	0,165	7,3	1477,5	69,3	6,6	13,6	3028,4
		4	0,551	0,044	0,532	0,022	0,142	0,305	0,847	0,155	6,9	1692,8	95,1	5,7	14,9	3636,6
		M	0,609	0,049	0,629	0,029	0,129	0,379	0,917	0,161	8,4	2271,0	76,3	7,0	18,0	4203,6
		E	0,042	0,007	0,069	0,005	0,016	0,082	0,104	0,017	2,9	1637,8	13,2	1,7	5,9	2006,5
	30_60	1	0,786	0,042	0,492	0,033	0,123	0,693	1,101	0,183	12,1	2275,2	19,0	8,2	13,5	6558,3
	cm	2	0,617	0,043	0,430	0,060	0,135	0,425	0,774	0,124	9,0	1404,0	23,3	10,5	11,1	4261,5
		3	0,543	0,028	0,528	0,028	0,135	0,450	0,995	0,132	6,7	1325,5	41,7	5,4	9,4	3204,5
		4	0,601	0,033	0,348	0,026	0,186	0,474	0,961	0,150	7,0	1438,0	51,1	4,9	11,0	3311,7
		M	0,637	0,037	0,450	0,037	0,145	0,511	0,958	0,147	8,7	1610,7	33,8	7,3	11,3	4334,0
		E	0,104	0,007	0,079	0,016	0,028	0,123	0,136	0,026	2,5	445,5	15,2	2,6	1,7	1557,1

R: répétitions-M: moyenne-E: Ecart-type

Sur sols sulfatés acides salés, la teneur varie de 1,207 à 2,099 % en saison sèche et de 1,242 à 1,898 % en saison des pluies, ce qui correspond à un coefficient multiplicateur par rapport aux sols alluviaux

de 0,7 à 2,1 pour Long An

de 2,8 à 4,8 pour Do Hoa.

Dans la mesure où de telles variations n'existent pas sur les feuilles, on met en évidence le rôle de filtre des racines.

Pour le fer

Sur les sols alluviaux, la teneur en fer varie de 1539 à 1637ppm dans les racines.

Sur les sols sulfatés acides, cette teneur varie beaucoup:

- en saison sèche: de 2007 à 3525 ppm

- en saison des pluies de 1066 à 4302 ppm

Sur les sols sulfatés acides et salés; la teneur de fer est encore plus élevée:

- en saison sèche 2670 à 5740 ppm .

- en saison des pluies 3066 à 13100 ppm

Ce résultat confirme les données du diagnostic foliaire et peut expliquer la faible production des cocotiers de Do Hoa par rapport à ceux de Long An , le seuil de toxicité pouvant être dépassé.

Pour l'aluminium

La teneur de cet élément varie de 2715 à 2945 ppm dans les racines des sols alluviaux.

Sur les sols sulfatés acides:

- en saison sèche, la teneur varie de 3467 à 7815 ppm soit 1,3 à 3 fois plus que la zone favorable.

- en saison des pluies, cette teneur est inférieure à celle de la saison sèche (3098 à 6129 ppm), mais reste toujours plus élevée que celle des sols alluviaux.

Sur sol sulfatés acides salés, nous avons des résultats du même ordre:

- en saison sèche, de 4396 à 8155 ppm

- en saison des pluies, de 4244 à 7040 ppm

soit 1,6 à 3 fois plus que les sols alluviaux.

Ces résultats montrent le rôle important de sélection des racines : en présence d'une teneur très élevée d'un élément dans le sol, elles bloquent l'absorption de cet élément pour protéger la plante; pour déterminer à quel niveau se situe ce blocage, il faut étudier les différentes formes de fer et d'aluminium, conceptions sur l'épiderme ou accumulation dans le parenchyme pour connaître précisément le rôle des racines du cocotier.

2.4. ETUDE CYTOLOGIQUE DE LA RACINE

2.4.1. Introduction

L'étude cytologique a porté sur les deux types de sols, elle a été effectuée sur des plaquettes indurées (scanner) et sur des lames minces (examen microscopique).

L'examen cytologique a pour but d'observer l'état des racines dans les sols sulfatés acides et la localisation de l'aluminium et du fer au niveau des racines du cocotier afin de mieux comprendre pourquoi les teneurs de ces éléments dans les feuilles sont peu importantes par rapport à celles des racines en présence de la jarosite.

L'aluminium n'est pas considéré comme un élément essentiel pour la nutrition de la plante. Pourtant, l'absorption d'une faible dose peut parfois favoriser la croissance des plantes tels, le thé (27 ppm; MATSUMOTO et al, 1976), le maïs (3-5 ppm; CLARK, 1977), le blé (3ppm; FOY et FLEMING, 1978).

La différence du taux d'aluminium accumulé aux sommets de la partie aérienne, variable suivant les espèces, peut être due à des différences dans la fonction de barrière des racines. En effet, il semble que la translocation de l'aluminium soit régulée principalement par l'épiderme, l'hypoderme et l'endoderme et qu'elle soit augmentée par la destruction de la fonction de barrière des membranes cellulaires dans les racines (WAGATSUMA ,1984).

Selon les espèces, la localisation de l'aluminium peut être différente. Certaines accumulent l'aluminium principalement dans leurs racines, bloquant sa translocation vers les parties aériennes telles le riz, le blé, la pomme de terre; d'autres, au contraire sont des accumulateurs de l'aluminium au niveau des tiges et des feuilles tel le thé (FOY et al., 1978).

La connaissance de la toxicité aluminique passe par l'étude des mécanismes d'absorption de l'aluminium par les racines et de la translocation vers les parties aériennes de la plante.

2.4.2. Observation des racines par l'analyse d'image au scanner (planche X).

Les images composées montrent que les racines sur sols sulfatés acides sont plus nombreuses que sur sols sulfatés acides salés à la même profondeur de prélèvement.

2.4.3. Observation au microscope les lames minces

Sous le microscope, les racines sur sols sulfatés acides se présentent en bon état: l'épiderme, l'hypoderme et l'endoderme, montrent des cellules entières.

2.4.4. Observation des racines au microscope électronique à balayage (planche XI)

Dans le sol, il existe des taches jaunes de jarosite. Autour de l'épiderme des racines, se trouve une zone périphérique plus foncée que la zone du parenchyme, et pour l'analyser, nous avons utilisé une microsonde du Microscope électronique à balayage (MEB) au laboratoire de minéralogie de l'ORSTOM.

L'observation au MEB d'une lame mince d'un bloc non perturbé du sol sulfaté acide de Long An contenant de fortes teneurs en Al^{3+} et Fe^{3+} fait apparaître les phénomènes suivants:

- à la périphérie des grosses racines on constate de fortes teneurs en aluminium et fer (planche XI: photo 1 et figure 35A).

- la teneur de ces éléments est très réduite dans le parenchyme (figure 35B).

- dans la zone axiale, ces teneurs sont identiques à celles du parenchyme; de plus, à cet endroit de la racine, les teneurs en matière organique sont importantes (figure 35 C).

Le même phénomène peut être observé dans les racines fines (planche XI, photo 2 et figure 35 D): on enregistre de fortes teneurs en aluminium et fer dans l'épiderme et la présence de matière organique dans la zone axiale (figure 35 E).

La porosité du sol est occupée par de l'opale (planche XI, photo 3 et figure 35F).

Enfin des cristaux de jarosite sont visibles également dans le sol et autour des racines (figure 35G).

Discussion

Au niveau de la racine, l'aluminium est accumulé dans toutes les cellules épidermiques des extrémités racinaires, mais au niveau de la racine proximale une grande partie de l'aluminium est localisée dans les cellules épidermiques et hypodermiques ainsi que dans les cellules endodermiques adjacentes de chaque protoxylème (WAGATSUMA, 1984). Par des techniques de microscopie électronique à balayage, MATSUMOTO et al, (1976), NAÏDOO et al., (1978) ainsi que HUETT et MENARY (1980) ont déterminé un maximum d'accumulation d'aluminium dans les cellules épidermiques. Les analyses effectuées dans le cadre du diagnostic racinaire ont donné des teneurs en aluminium très élevées (> 7000 ppm) pour les racines des sols sulfatés acides. L'examen au microscope électronique à balayage a permis de localiser l'aluminium et le fer dans l'épiderme ce qui confirme le rôle des racines de cocotier pour le blocage des éléments toxiques.

Les deux éléments, aluminium et fer, sont piégés dans l'épiderme des racines qui constitue une barrière pour limiter leur absorption et leur transfert vers les feuilles .

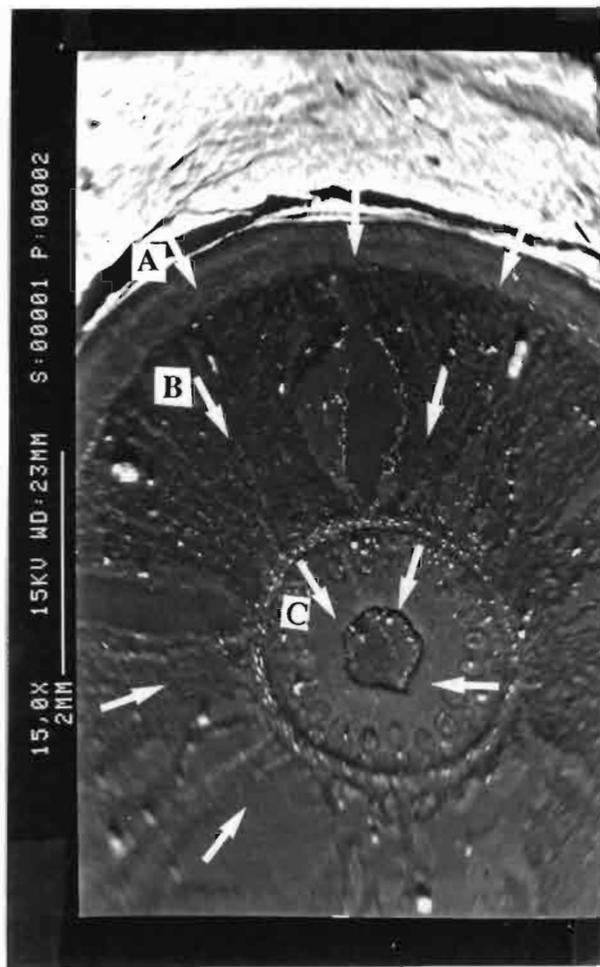


Photo 1 (S1P2): Coupe de racine sous le Microscope électronique à balayage.

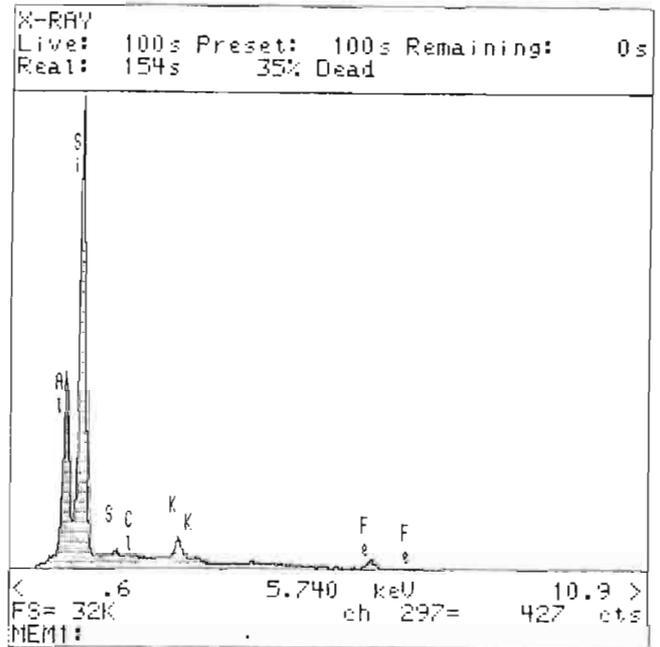


Figure 35A: dans la périphérie de la racine

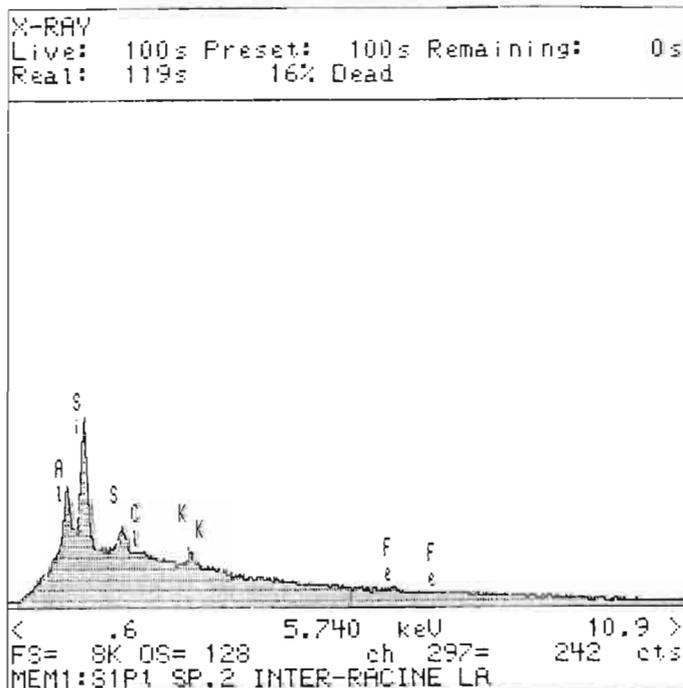


Figure 35B: dans le parenchyme

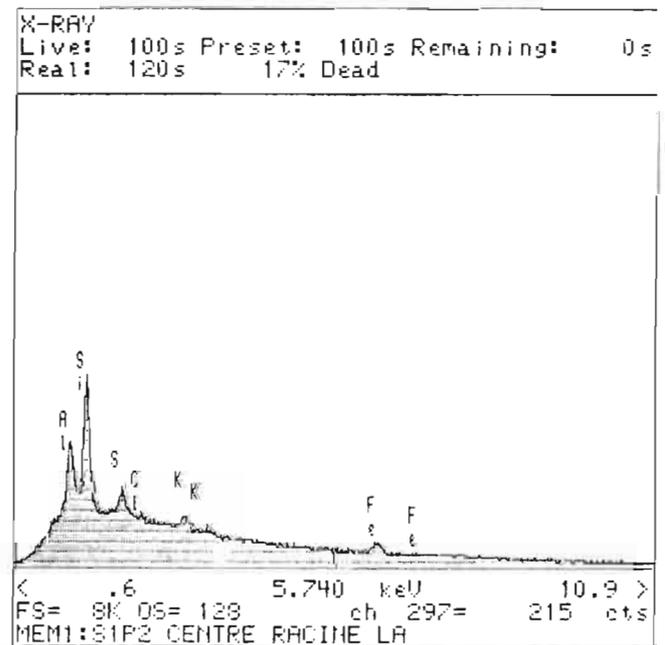


Figure 35C: dans la zone axiale de la racine

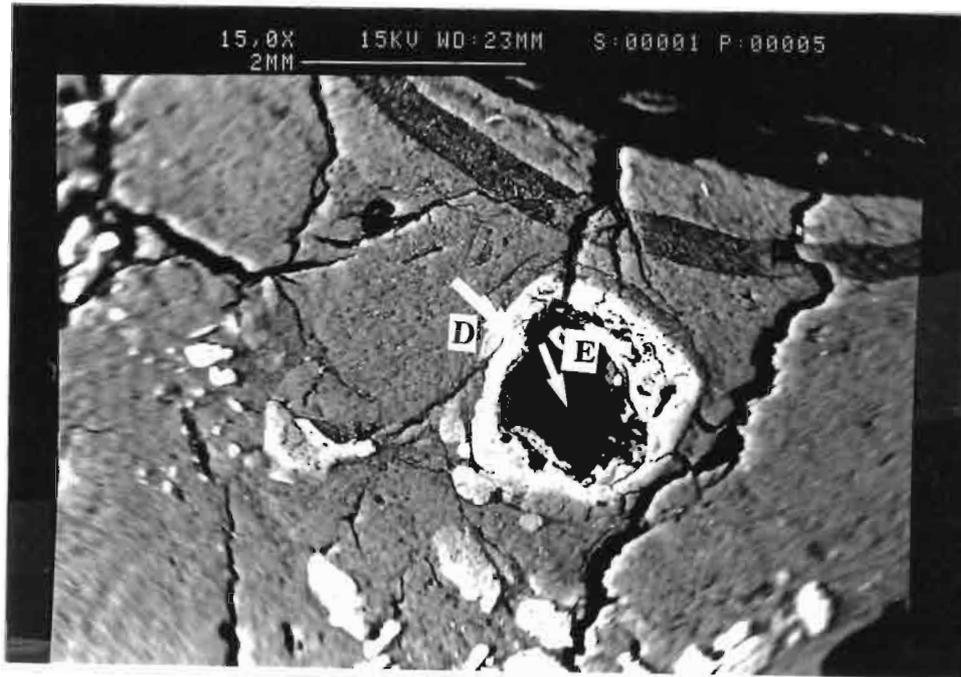


Photo 2: Observation de la localisation de Al et Fe dans la racine fine.

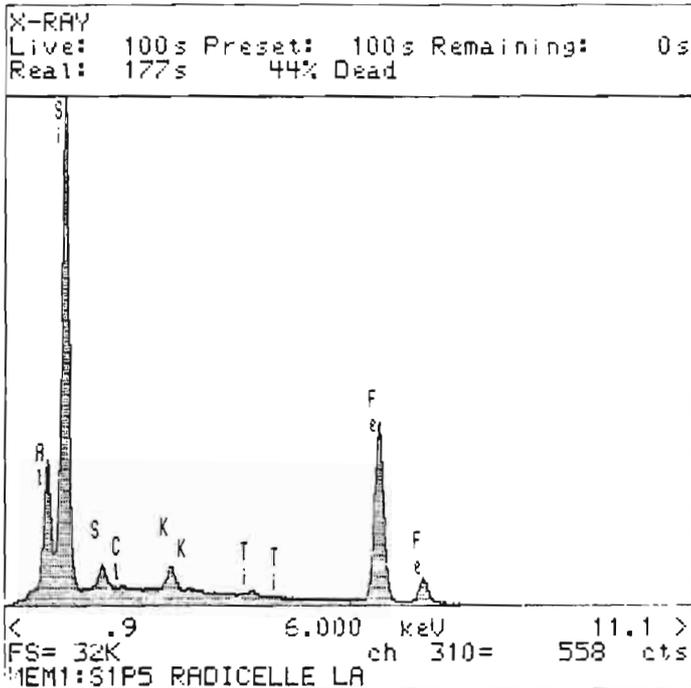


Figure 35 D: dans l'épiderme des racines fines

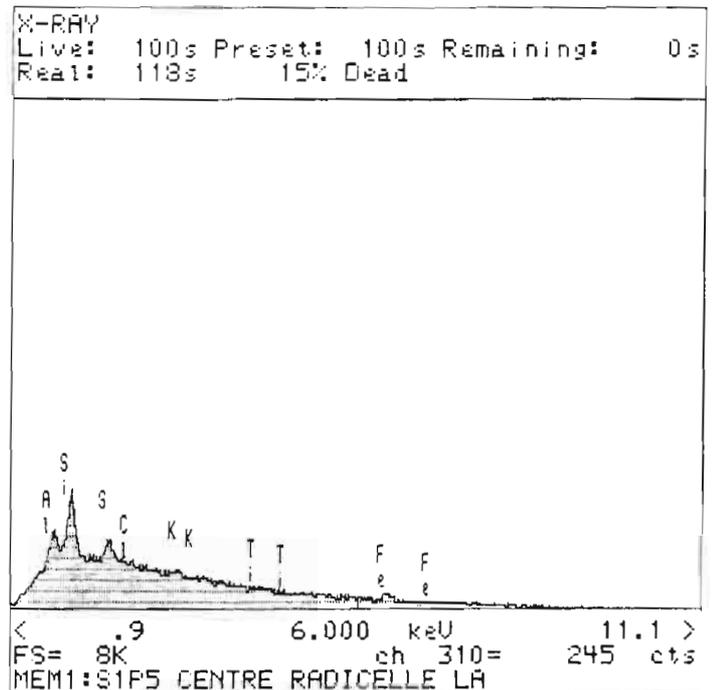


Figure 35 E: dans le centre de la racine fine

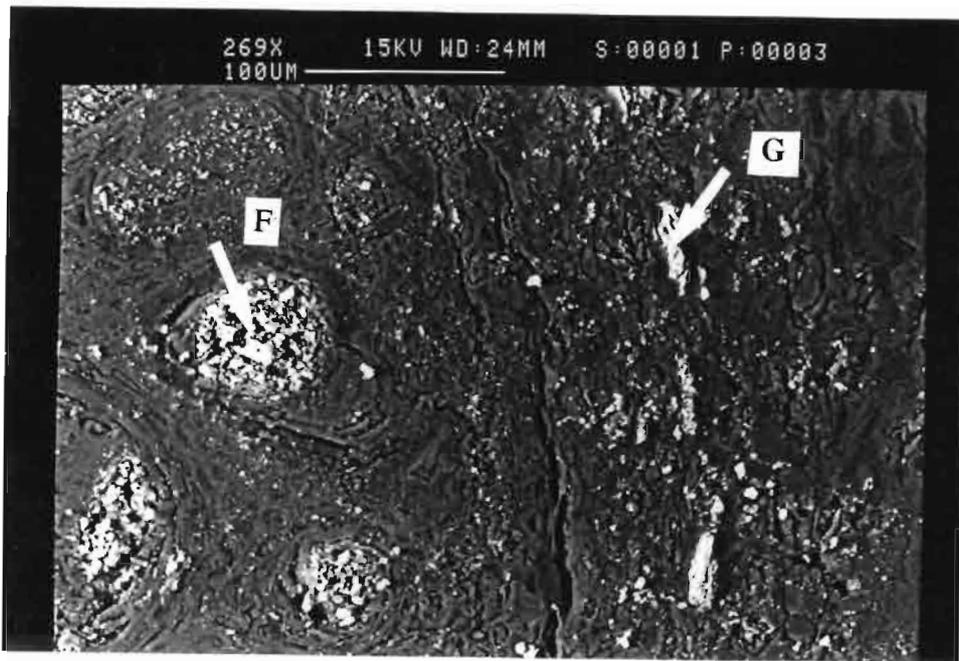


Photo 3: L'opale dans le sol.

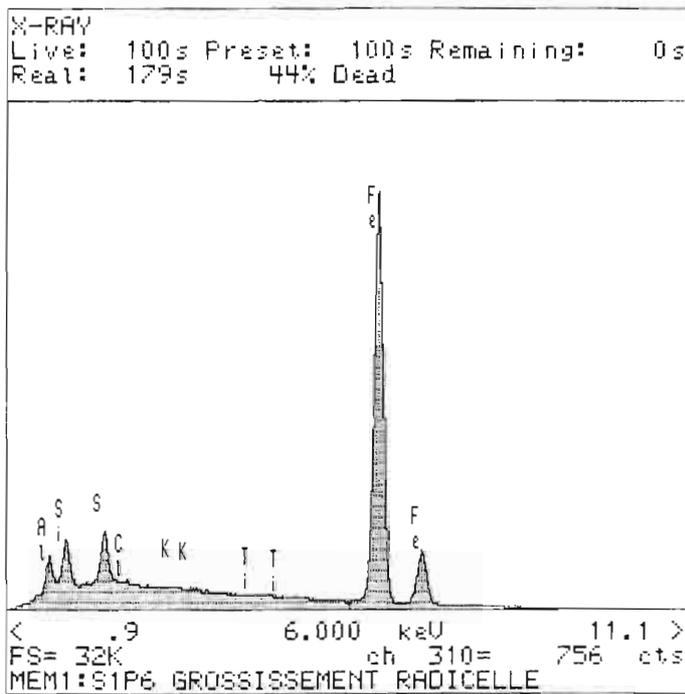


Figure 35F: dans l'opale du sol

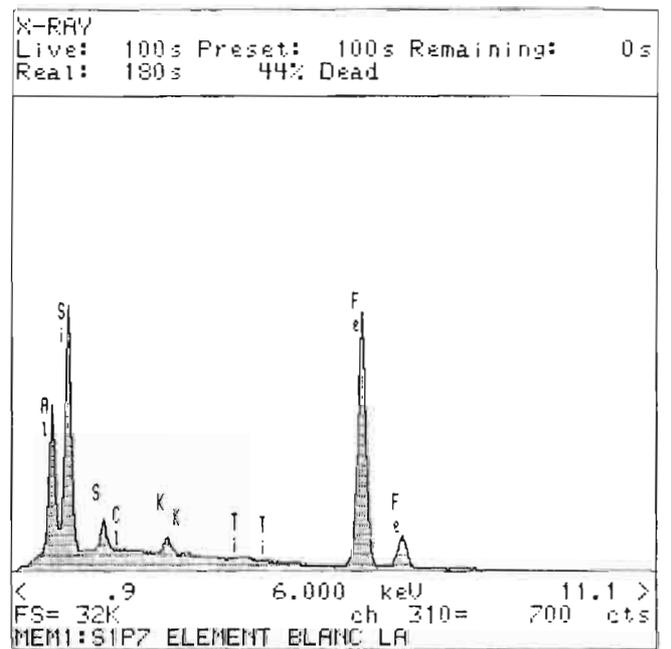


Figure 35G: dans les inclusions blanches du sol

Planche X: Analyse de l'image au scanner d'une plaque de sol avec ses racines

COCO.TIF

COCO6.TIF

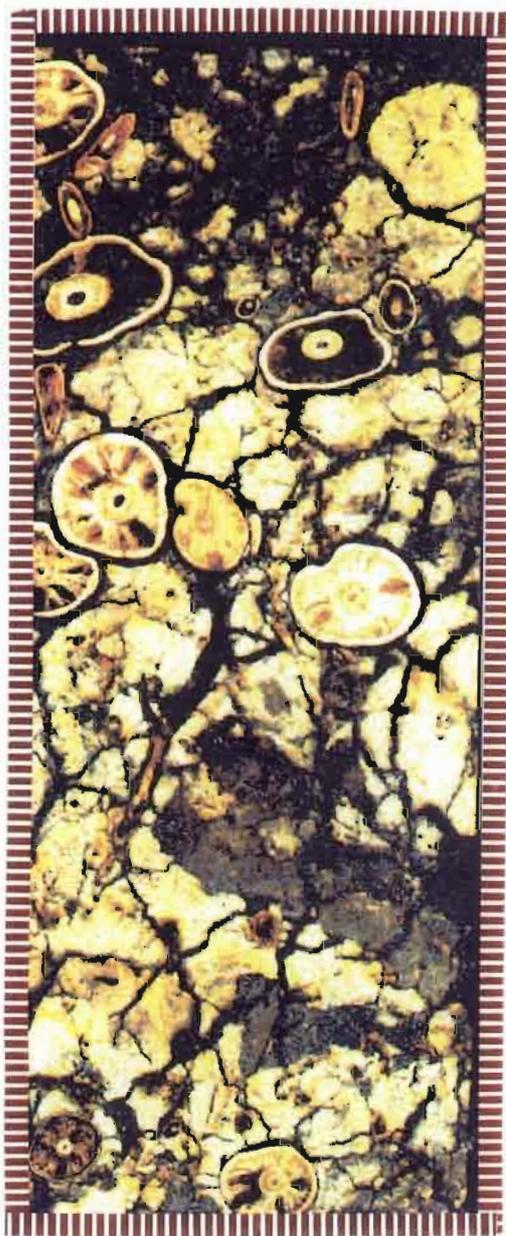


Photo 1: Long An



Photo 2: Do Hoa

2.5. EVOLUTION DE QUELQUES PARAMETRES HYDRIQUES

(Annexes XXIX A,B,C et XXXA et B)

2.5.1. Potentiel hydrique foliaire

Ce paramètre a été mesuré à 4 h du matin et 14 h, heures choisies pour les raisons suivantes:

4h du matin: avant le lever du soleil, on considère que le potentiel hydrique du sol est égal au potentiel hydrique foliaire.

14h: nous avons réalisé plusieurs mesures de 8h du matin jusqu'à 16h pour déterminer à quel moment le potentiel hydrique est le plus élevé dans la journée. Ces mesures effectuées à Binh Thanh pour des raisons pratiques montrent que le maximum est atteint à 14 h.

Les mesures réalisées pendant un an permettent les conclusions ci-après:

A Long An, les valeurs du potentiel hydrique varient entre :

- 0,11 MPa et - 0,38 MPa à 4 h du matin
- et - 0,27 MPa et -0,98 MPa à 14h (figure 36)

A Binh Thanh, les valeurs du potentiel hydrique varient entre:

- 0,15 MPa et - 0,44 MPa à 4 h du matin
- et - 0,20 MPa et -0,71MPa à 14h (figure 37)

A Do Hoa, ces valeurs varient entre:

- 0,23 MPa et - 0,68 MPa à 4h du matin
- 0,3 MPa et - 1,3 MPa à 14h .(figure 38)

Les plantes soumises à la salinité à Do Hoa présentent un potentiel hydrique inférieur à celui des plantes sur sols sulfatés acides non salés (Long An et Binh Thanh).

En fonction du temps, à Long An, sur sols sulfatés acides, entre la saison sèche et la saison des pluies, il n'existe pas de variation particulière du potentiel hydrique. Par contre, à Do Hoa, sous l'effet de la salinité, en saison sèche, le potentiel hydrique atteint la valeur minimum de -1,2 MPa.

En juillet, il existe un potentiel hydrique très faible à Do Hoa correspondant à une période sèche pendant la saison des pluies qui fait augmenter la salinité et abaisser le potentiel hydrique à la même valeur qu'en saison sèche .

Ces résultats confirment que dans le système de culture du cocotier dans les zones non salées, sur banquette avec canaux d'irrigation et drainage, les plantes ne souffrent pas de la sécheresse même pendant la saison sèche.

Dans les zones salées, c'est la salinité qui est le problème primordial.

Figure 36: Variation du potentiel hydrique foliaire selon la saison et l'heure de la journée à Long An

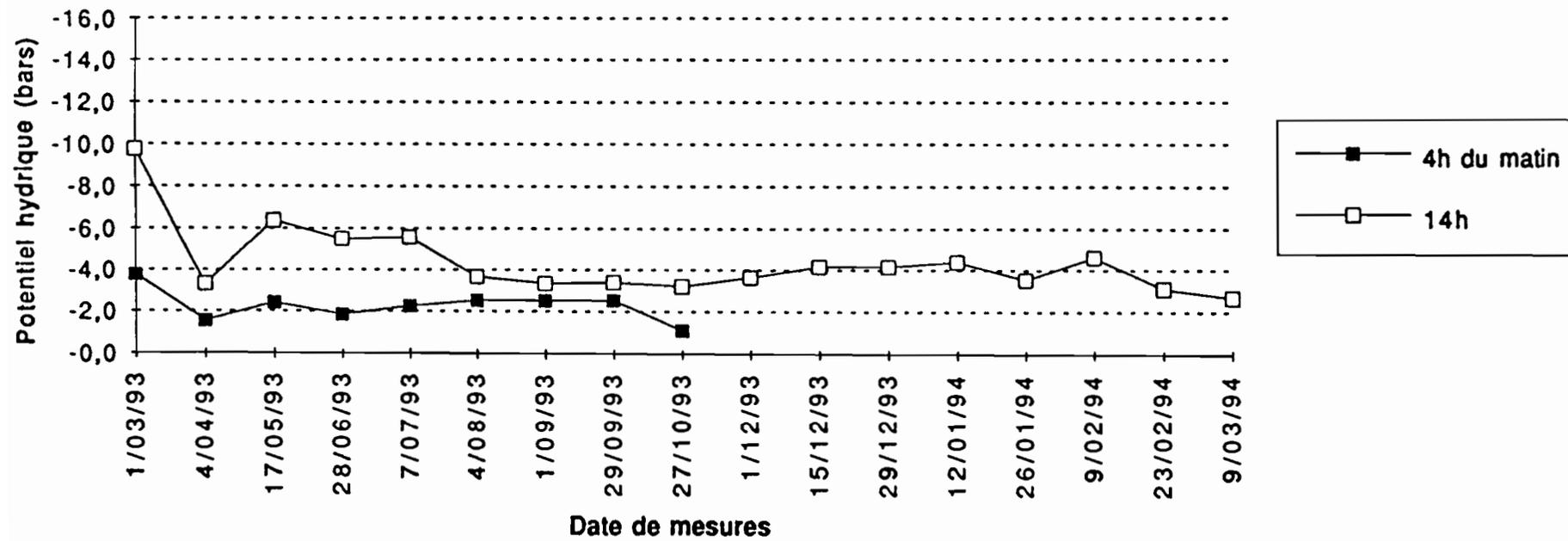


Figure 37: Variation du potentiel hydrique foliaire selon la saison et l'heure de la journée à Binh Thanh

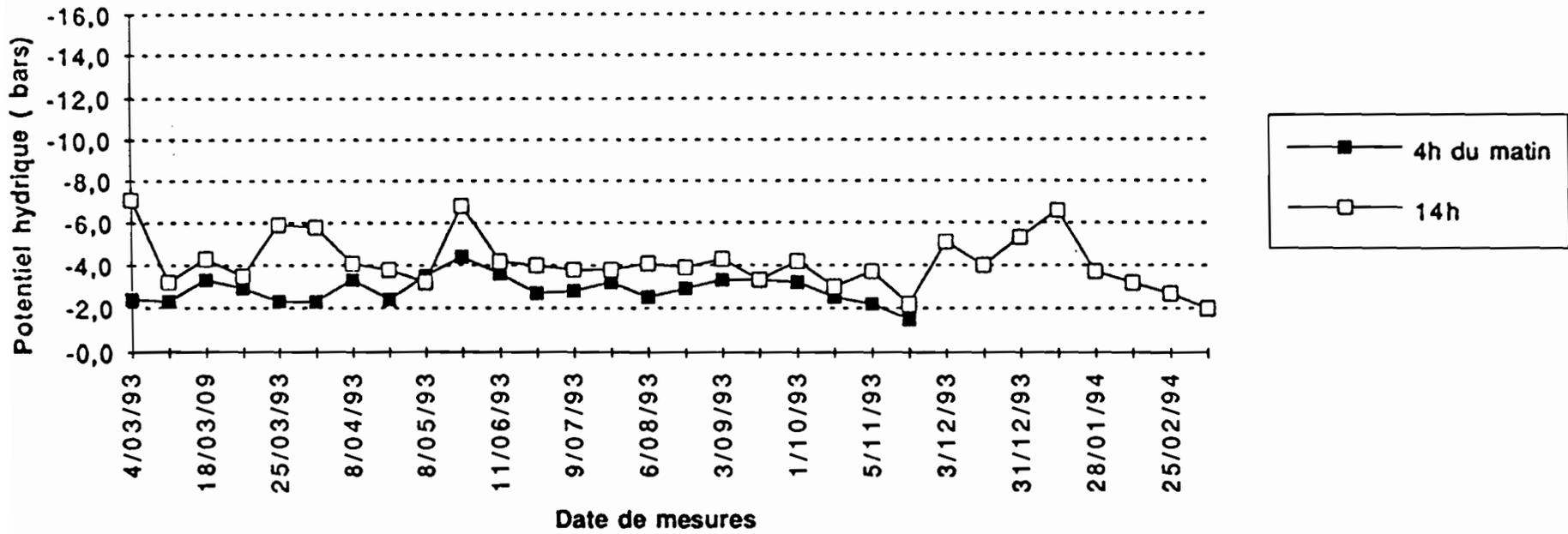
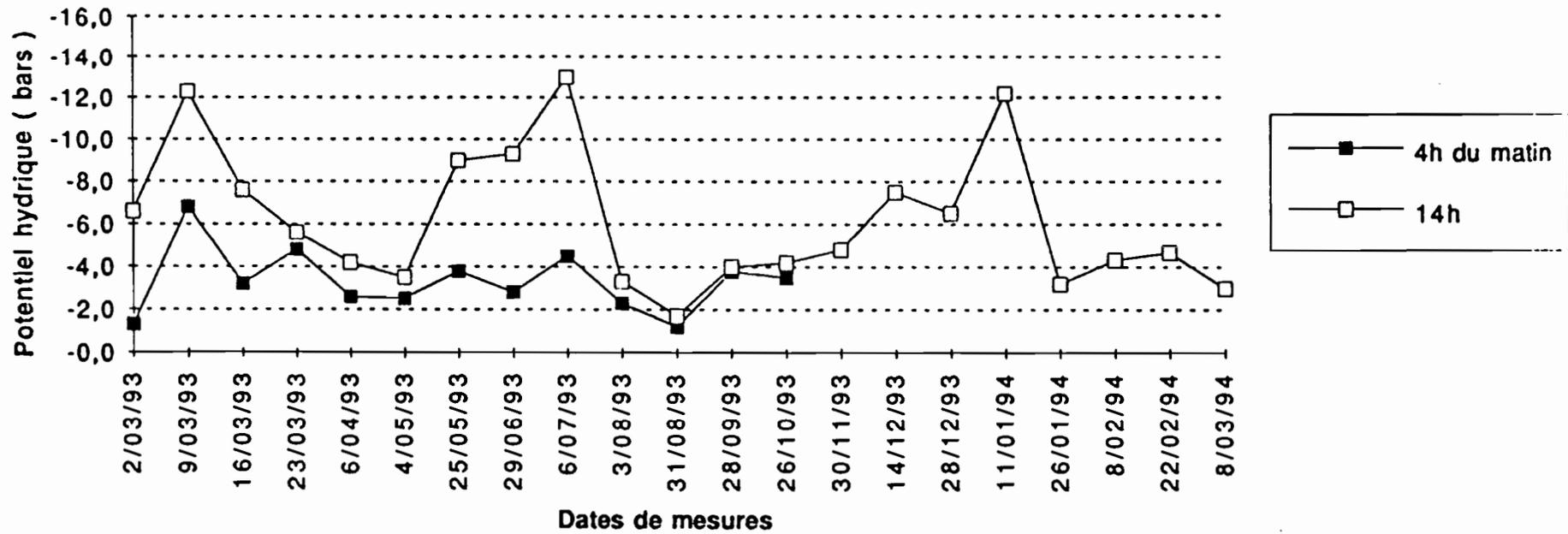


Figure 38: Variation du potentiel hydrique foliaire selon la saison et l'heure de la journée à Do Hoa



2.5.2. La conductance stomatique

La figure 39 montre les variations de la conductance stomatique sur les trois sites; elle varie:

- de 0,170 à 0,598 mol/m²/s sur le sol sulfaté acide à Binh Thanh.
- de 0,099 à 0,259 mol/m²/s sur sol sulfaté acide à Long An.
- de 0,008 à 0,054 mol/m²/s sur sol sulfaté acide salé à Do Hoa.

La faible valeur de la conductance stomatique à Do Hoa montre que sur ce sol, la résistance stomatique est très forte.

Pour étudier l'effet des contraintes hydriques, les cocotiers ont été arrosés pendant la saison sèche avec de l'eau disponible dans le canal sur les deux sites de Do Hoa et de Binh Thanh. A Do Hoa, la salinité augmente pendant la saison sèche (la conductance électrique varie de 12,3 à 21,4 mS/cm) tandis qu'à Binh Thanh et Long An, la salinité de l'eau dans le canal est très faible (de 1,4 à 5,7 mS/cm à Long An et de 1,6 à 3,5 mS/cm à Binh Thanh).

Les résultats sur la conductance stomatique montrent que l'arrosage avec l'eau salée ne diminue pas la résistance stomatique du cocotier sur sols sulfatés acides salés alors que l'arrosage à l'eau pratiquement douce ne modifie pas le fonctionnement stomatique ce qui prouve que toutes les plantes sont bien alimentées en eau pendant la saison sèche.

2.5.3. Relation entre le potentiel hydrique et la conductance stomatique:

Les mesures simultanées du potentiel hydrique et de la conductance stomatique sur la même feuille, dans les mêmes conditions montrent qu'il n'y a pas de corrélation entre les deux (figure 40).

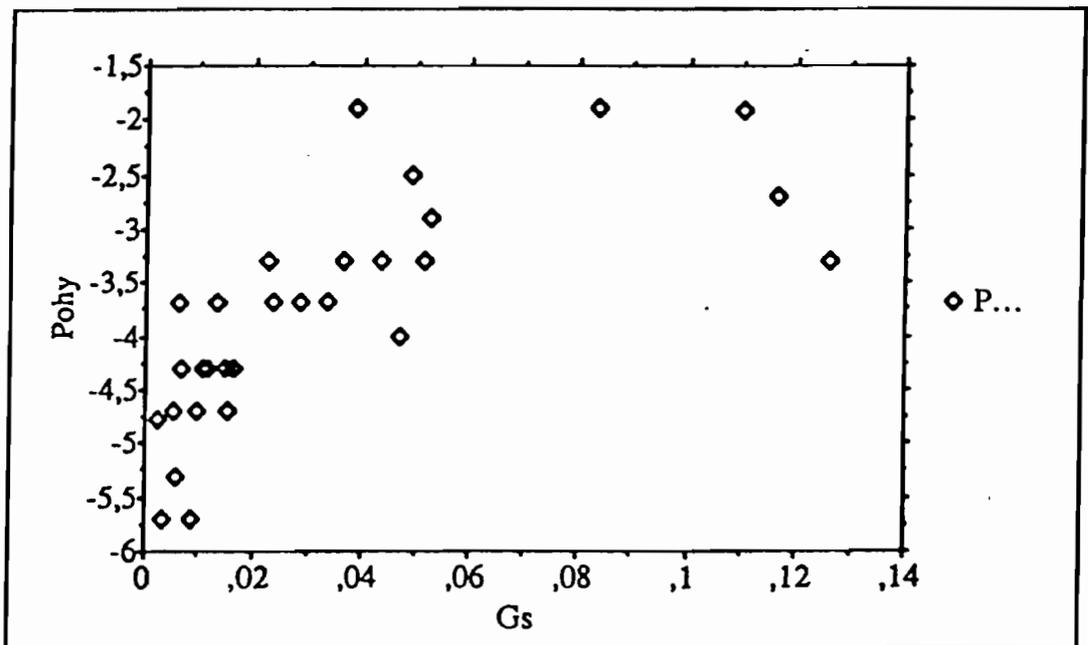
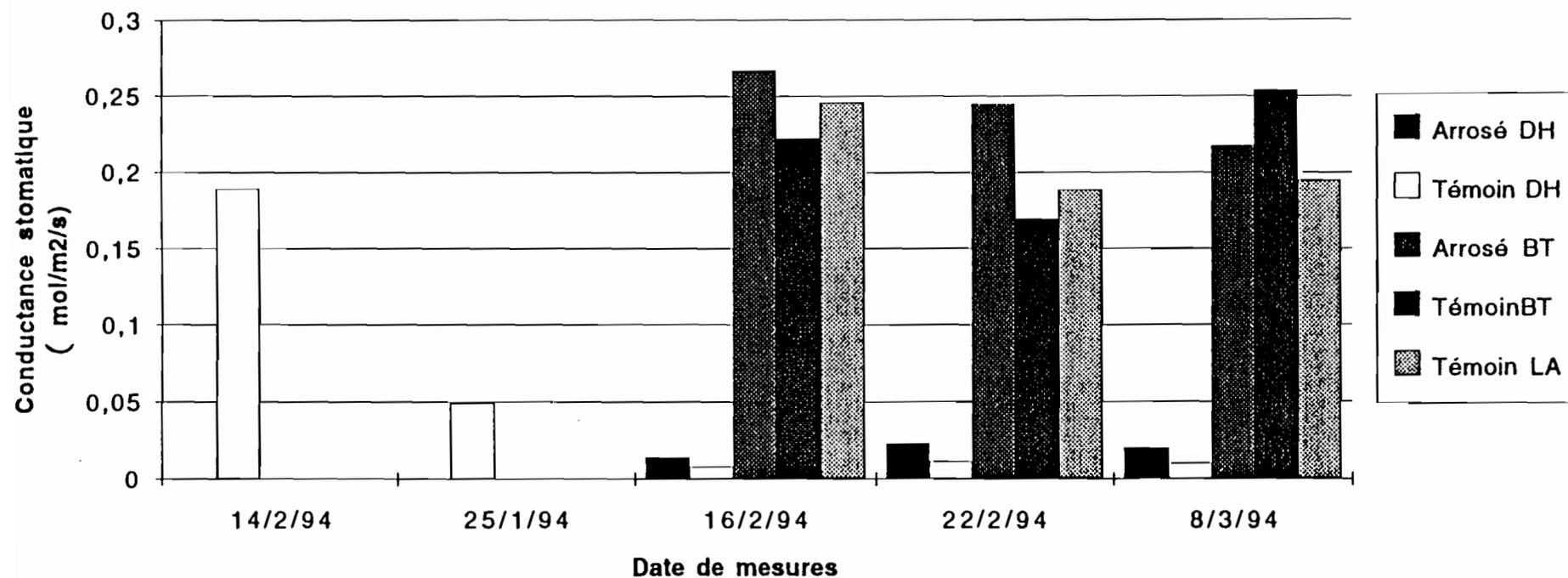


Figure 40: Corrélation entre le potentiel hydrique et la conductance stomatique

Figure 39 - Variation de la conductance stomatique moyenne sur les trois sites pendant la saison sèche



DH: Do Hoa BT: Binh Thanh LA: Long An

A Do Hoa: L'arrosage est fait avec de l'eau salée de 5 à 15‰

A Binh Thanh: l'arrosage est effectué avec de l'eau douce.

Discussion

A Do Hoa, les sols sulfatés acides et salés présentent de fortes teneurs en sodium (13,70 à 23,23 meq/100g), chlorures (16,57 à 23,90 meq/100g) et sulfates (4,75 à 17,02 meq/100g); le rapport Cl/SO₄ varie de 3,8 dans la cocoteraie à 9,04 dans la séquence. La salinité dans la nappe est très élevée en saison sèche avec un maximum atteignant 14‰.

A Long An, les sols sulfatés acides ont un pH très acide (3,05 à 3,56) pendant toute l'année avec un rapport Cl/SO₄ variant de 1,15 à 1,68; ils présentent des teneurs en aluminium dépassant le niveau toxique (77% de la somme des cations alors que le seuil de toxicité est de 40%, TRUONG BINH, 1994).

Les deux sites sont également pauvres en phosphore assimilable (20,57 à 39,47 ppm de P Olsen Dabin) contrainte majeure pour le développement végétal.

Dans la mesure où il n'y a pas de problème de déficit hydrique ou d'ensoleillement, les deux facteurs principaux qui influencent la production sont:

- pour les sols sulfatés acides, le pH qui varie entre la saison sèche et la saison des pluies; l'oxydation en saison sèche fait augmenter l'acidité surtout dans les couches superficielles; H⁺ se substitue à Ca⁺⁺, les teneurs en Al³⁺ et en Fe³⁺ sont très élevées et le P est bloqué: il y a carence en P et en Ca dans les sols et dans les feuilles.

- pour les sols sulfatés acides salés, la salinité varie d'une saison à l'autre et augmente en saison sèche (avancée du "coin salé"); corrélativement, le pH augmente et l'acidité diminue.

La grande quantité de Na⁺ présente dans la nappe se traduit par une faible teneur de Ca⁺⁺ dans le sol, Na⁺ ayant remplacé Ca⁺⁺; la teneur de ces sols en phosphore est faible et la combinaison, faiblesse en calcium et phosphore - abondance en sodium, se traduit par une baisse de production par rapport à celle des sols sulfatés acides.

La comparaison entre les deux situations permet de conclure que dans les sols sulfatés acides, en plus des carences en P et Ca, il est possible que s'exerce une toxicité aluminique, alors que dans les sols sulfatés acides et salés, il s'agit d'une toxicité sodique qui s'avère plus dépressive.

Pour la croissance végétative, Long An bénéficie d'un meilleur système racinaire que Do Hoa; plusieurs causes sont possibles soit une toxicité due au sel, soit une inhibition du développement racinaire liée à une remontée trop grande de la nappe phréatique qui limite les possibilités d'exploitation du sol par les racines, soit encore les carences en phosphore et en calcium.

A Do Hoa, le nombre de feuilles émises diminue montrant l'influence de la saison sèche liée à l'augmentation de la salinité. Le nombre de feuilles émises à Do Hoa est toujours inférieur à celui à Long An.

Sur sols sulfatés acides et salés, la longueur de la feuille 14 diminue de façon significative de la fin de la saison des pluies à la fin de la saison sèche. Par contre, à Long

An, sur sols sulfatés acides non salés, il n'existe pas de différence entre la saison des pluies et la saison sèche. Longueur et largeur de la foliole d'une part, nombre de folioles d'autre part, sont plus importants à Long An ce qui indique que les contraintes y sont plus faibles.

A Long An et, surtout à Do Hoa, le nombre de fleurs diminue en saison sèche et plus particulièrement en janvier; par contre, en saison des pluies, malgré le grand nombre de fleurs, l'importante du taux d'avortement réduit le nombre de noix dont la maturation est plutôt plus longue à obtenir: les récoltes de saison des pluies sont donc toujours plus limitées.

Par rapport à la production sur les sols alluviaux fertiles (60 noix/cocotier/an), la production sur les sols salés de Do Hoa est réduite de 45% (33 noix) et à Long An sur sols sulfatés acides de 25% (45 noix).

Si l'épaisseur de l'albumen sur sols sulfatés acides et salés ne diminue pas beaucoup par rapport aux sols sulfatés acides (- 5%), les noix sont nettement plus petites et finalement la production de coprah peut être évaluée par hectare à 700 kg à Do Hoa et 1835 kg à Long An. La salinité élevée a donc un effet dépressif sur tous les critères de croissance et de production du cocotier et représente la principale contrainte.

Le diagnostic foliaire des cocotiers cultivés sur les sols sulfatés acides et/ou salés traduit une carence en phosphore avec une teneur très faible (de 0,096 à 0,118%). La carence en calcium est plus marquée sur les sols sulfatés acides que sur les sols sulfatés acides salés (0,089 à 0,144 %). La teneur en sodium des feuilles du cocotier adulte n'est pas liée à la salinité du sol. La proximité de la mer se traduit par une teneur en chlore (0,9%) très sensiblement supérieure au niveau critique (0,55%). La teneur en fer varie de 187 à 601 ppm ce qui dépasse de 5 à 15 fois le niveau critique de carence et de 1,5 à 5 fois la teneur observée sur sols alluviaux. On peut se demander si ces teneurs en fer ne seraient pas toxiques.

Sur sols sulfatés acides, à Long An, la teneur en aluminium est très élevée de 69 à 539 ppm, par contre, à Do Hoa, cette teneur est plus faible, de 60,2 à 118,6 ppm, alors que celle observée sur sols alluviaux atteint 114 ppm: la teneur maximum de l'aluminium à Do Hoa ne semble pas présenter un risque de toxicité.

Les résultats du diagnostic racinaire, comparés à ceux des cultures sur sols alluviaux, confirment les résultats du diagnostic foliaire sur les deux types de sols pour la carence en calcium. Pour le phosphore, sur les sols sulfatés acides, la teneur est semblable à celle mesurée sur les sols alluviaux alors que sur les sols sulfatés acides et salés, elle peut atteindre le double(0,062%). La teneur en sodium par rapport à celle sur sols alluviaux est multipliée au maximum par 2 à Long An et par 4,8 à Do Hoa: le diagnostic foliaire ne présente pas de telles variations. Dans les racines, la teneur en fer et en aluminium est très élevée par rapport à celle des feuilles; les observations au microscope électronique montrent que ces éléments sont piégés à la périphérie des racines.

Le rôle du système racinaire du cocotier apparaît essentiel pour filtrer les éléments dont la teneur très élevée dans le sol pourrait s'avérer toxique.

Pour les paramètres hydriques, en fonction du temps, à Long An, sur sols sulfatés acides, entre la saison sèche et la saison des pluies, il n'existe pas de variation particulière du potentiel hydrique. Par contre, à Do Hoa, sous l'effet de la salinité, en saison sèche, le potentiel hydrique atteint la valeur minimum de -1,2 MPa. En saison des pluies, les valeurs sont plus élevées (- 0,4 MPa). Les mesures de conductance stomatique montrent que l'arrosage à l'eau salée ne diminue pas la résistance stomatique du cocotier sur sols sulfatés acides salés alors que l'arrosage à l'eau douce ne modifie pas le fonctionnement stomatique ce qui prouve que tous les cocotiers sont bien hydratés même pendant la saison sèche.

Dans le delta du Mékong, les besoins en eau du cocotier sont satisfaits en toutes saisons.

Dans les deux cas de contrainte, acidité ou salinité, la production de noix diminue en même temps que la biomasse de la partie aérienne. Sur sols alluviaux fertiles, le rapport du poids sec de la partie foliaire/ poids sec des racines par plante est de 23,9% ; à Long An, sol sulfaté acide, ce rapport ne représente que 10,4% et à Do Hoa, sol sulfaté acide salé, 9,5%.

Ainsi, le système racinaire du cocotier se développe pour s'adapter aux milieux contraignants, et en même temps, l'appareil foliaire responsable de la photosynthèse diminue. Nous pouvons imaginer que c'est la réponse au message de la racine qui produit de l'ABA responsable de la réduction de la biomasse aérienne en cas de stress hydrique.

L'effet sur les feuilles est donc un effet indirect qui mériterait une étude approfondie ultérieure pour prouver la présence de l'acide abscissique.

Ainsi, la production du système racinaire du cocotier se développe pour survivre dans les milieux contraignants, mais c'est l'appareil aérien qui joue le rôle photosynthétique qui entraîne une baisse de la production.

L'analyse des éléments nutritifs, montre des teneurs très élevées en sodium dans les racines qui pourraient être toxiques pour d'autres plantes, alors que les teneurs des feuilles ne dépassent pas le palier de 1,04%. Si ce sont les racines qui souffrent le plus, c'est la diminution de la partie aérienne qui est la plus importante.

Ces phénomènes nous permettent de proposer une hypothèse très particulière de résistance du cocotier à la salinité ou à l'acidité: en présence des facteurs contraignants, l'exploitation du sol par les racines peut être fortement inhibée (cas de Do Hoa) ou développée (Long An) mais sans que cela ne se traduise pas une production équivalente au témoin (Luong Quoi).

CHAPITRE 2

**ETUDE EXPERIMENTALE DES EFFETS DE LA
SALINITE ET D'UN AMENDEMENT
PHOSPHATE SUR LA PHYSIOLOGIE DU
COCOTIER SUR SOLS SULFATES ACIDES ET
SOLS SULFATES ACIDES SALES**

3 . EFFET DE L'ARROSAGE PAR L'EAU SALÉE

La réduction de la production de noix en saison sèche ne peut être imputée à un manque d'eau puisque la technique de culture du cocotier dans le delta du Mékong assure une alimentation en eau permanente par les canaux.

Par contre, en saison sèche, il y a une augmentation de la salinité des eaux de la nappe qui est influencée par la marée; les ions Na^+ et Cl^- sont prédominants.

Le cocotier est une plante tolérante à la salinité, mais dans certaines limites, influencées par la texture des sols qui peut en effet avoir une influence sur l'échange des ions Na^+ et Cl^- . Dans le delta du Mékong, les sols sont à prédominance argileuse.

La combinaison des facteurs texture et salinité peut être contraignante pour la croissance du cocotier. Pour l'analyser, des expérimentations ont été conduites sur le terrain et au laboratoire.

3.1. ETUDE SUR LE SITE DE BINH THANH

Il s'agit de déterminer les seuils de tolérance du cocotier à la salinité dans les conditions de culture du delta du Mékong.

3.1.1. Conditions de réalisation

- Des noix de la variété Grand DAU, récoltées au même état de maturité sur les cocotiers déjà choisis pour leur homogénéité, ont été mises en germe à la station de Binh Thanh. Après trois mois, au stade quatre feuilles, les plantules les plus semblables ont été sélectionnées pour l'essai.

- Les sacs de plastique sont remplis avec la terre de la couche superficielle de la station de Binh Thanh, sol potentiellement sulfaté acide, non salé.

- Le dispositif expérimental retenu est celui des blocs de Fisher, avec 6 traitements et 4 blocs. A l'intérieur d'un bloc, les traitements sont disposés au hasard, par la méthode du tirage au sort (GOMEZ, 1983). Chaque parcelle comprend 12 cocotiers soit pour 6 traitements et 4 blocs, 288 plantules.

- Traitements: l'eau d'arrosage est de salinité croissante, de 0 à 25 g de chlorure de sodium par litre suivant le dispositif du tableau 34.

Tableau 34: Dispositif expérimental de l'essai eau salée à la station de Binh Thanh

1. IV	4. IV	3. IV	5. IV	2. IV	T. IV
5. III	T. III	2. III	1. III	4. III	3. III
3. II	4. II	5. II	2. II	T. II	1. II
T. I	3. I	1. I	4. I	5. I	2. I

T = témoin 1 = 5 o/oo 2 = 10 o/oo 3 = 15 o/oo 4 = 20 o/oo 5 = 25 o/oo

I, II, III, IV: numéro des blocs.

- L'arrosage des plants a lieu tous les deux jours à raison de 2 litres par plant avec **drainage de la solution en excès**.

- Une fumure homogène est appliquée à chaque plantule suivant le programme et les doses précisées au tableau 35.

Tableau 35: Calendrier et doses d'application de l'engrais pour l'essai eau salée.

Temps	Urée (g)	Phosphate tricalcique (g)	Chlorure de potassium (g)
mois 2	25	100	25
mois 4	25	-	25

- Les observations sont conduites suivant le calendrier ci-après:

mois 1: circonférence du collet (cm) et nombre de feuilles

mois 2, 4, 6: circonférence du collet et nombre de feuilles émises,
symptômes de nécrose des folioles suivant l' échelle:

0: pas de nécrose

1: extrémité des folioles nécrosée

2: taches de nécroses s'étendant sur le limbe

3: taches coalescentes (tissus entièrement nécrosés)

mois 6: mortalité , longueur de la feuille 1 et prélèvement pour l'analyse foliaire: dans la mesure où les jeunes plantules n'ont que quelques feuilles, il n'est pas envisageable de travailler sur la feuille 14; sont en outre mesurés le poids frais des organes aériens, les poids frais et secs des racines avec séparation des racines primaires (supérieures à 10mm) et des racines secondaires ou tertiaires développées à partir des racines primaires.

- Des prélèvements de sol sont effectués dans les sacs pour analyser les éléments solubles et échangeables avec 4 échantillons en début d'essai correspondant aux 4 blocs, et 24 à la fin , 6 traitements sur 4 blocs.

- Les mesures du potentiel hydrique sont réalisées simultanément avec le contenu relatif en eau (CRE %) sur les plants des différents traitements à différentes heures de la journée.

- La résistance stomatique est mesurée au poromètre.

3.1.2. Résultats

A. *L'influence de l'eau salée sur la croissance du cocotier* (planche XII).

Les résultats (annexes XXXIA et B) obtenus après 6 mois d'observation montrent que la concentration croissante de la salinité de 5 à 25 o/oo a une influence sur les critères de croissance comme:

- la circonférence du collet.
- le nombre des feuilles vertes
- le poids frais de la partie aérienne
- les poids frais et sec des racines.

a. *Circonférence du collet* (figure 41)

Ce critère, est un critère important pour évaluer la puissance de la plantule.

A six mois, à 5 o/oo, la circonférence du collet est plus élevée que celle du témoin. La différence est significative, ce qui montre qu'en ajoutant du NaCl à faible teneur (5 o/oo), il y a une bonne influence sur cet important critère.

Par contre, à partir de 10 o/oo de salinité, la circonférence du collet diminue. Cette tendance se poursuit avec les teneurs plus élevées.

Ainsi, dans nos essais, par rapport au témoin, seul 5 o/oo correspond à une teneur favorable, les concentrations supérieures en sel sont néfastes pour le collet.

b. *Nombre de feuilles vertes* (figure 42)

L' appareil foliaire est important par son rôle dans la photosynthèse.

A partir d'un même nombre de feuilles identiques au début de l'essai (3,8 feuilles), nous constatons, après six mois de traitement, que le nombre de feuilles est différent dans chaque traitement. Cependant, il n'y a pas de différence significative entre le traitement 5 o/oo et le témoin.

Par contre, à partir d'une teneur de 10 o/oo, le nombre de feuilles vertes diminue de façon significative. La réduction est de plus en plus importante pour les teneurs croissantes de 10 à 25 o/oo.

Dans le traitement à 25 o/oo, il ne subsiste que les feuilles initiales (planche XII).

c. *Poids des parties aériennes ou racinaires*

Ce sont les critères d'évaluation de la production finale d'une plante qui est fonction des mécanismes de photosynthèse, de nutrition et d'évapotranspiration .

Pour le poids frais de la partie aérienne il n'y a pas de différence entre le témoin et le traitement à 5 o/oo.(figure 43)

Planche XII: Essai eau salée



Photo 1: Arrosage à l'eau salée à différentes concentrations



Photo 2: Concentration 5‰: une plantule bien développée



Photo 3: Concentration 25‰: une plantule qui souffre

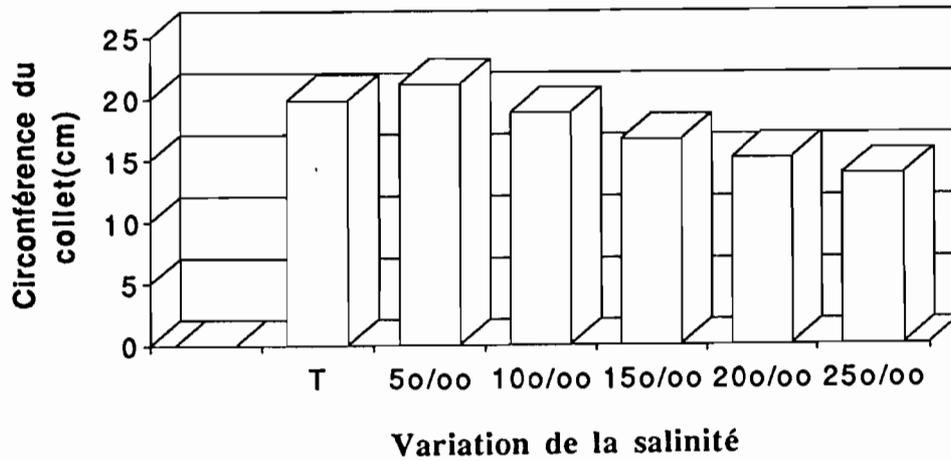


Figure 41 - Variation de la circonférence du collet des jeunes cocotiers en fonction de la salinité.

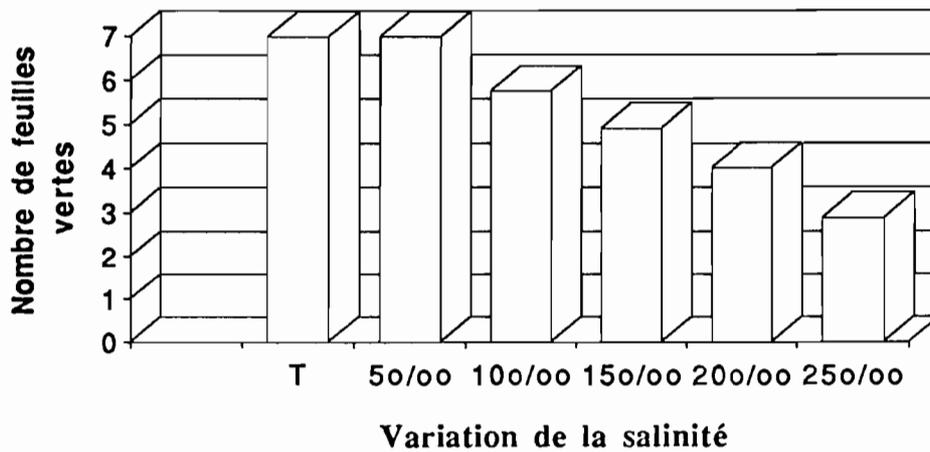


Figure 42 - Variation du nombre de feuilles vertes en fonction de la salinité.

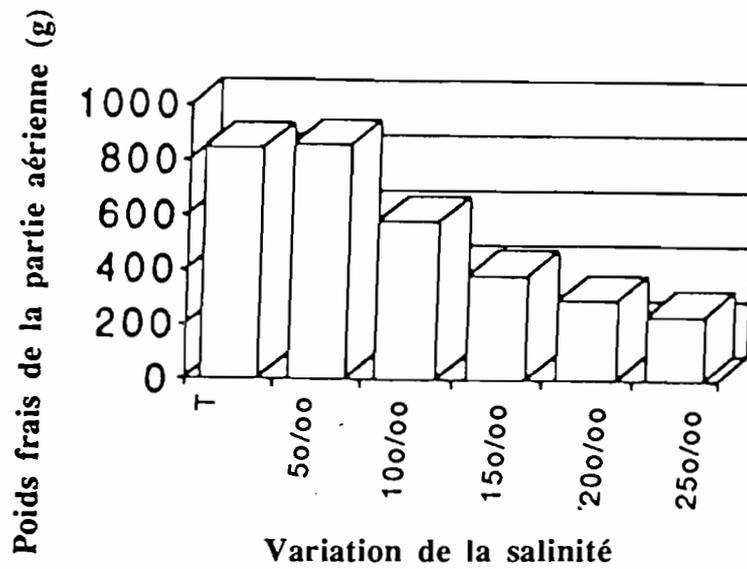


Figure 43 - Variation du poids frais de la partie aérienne en fonction de la salinité

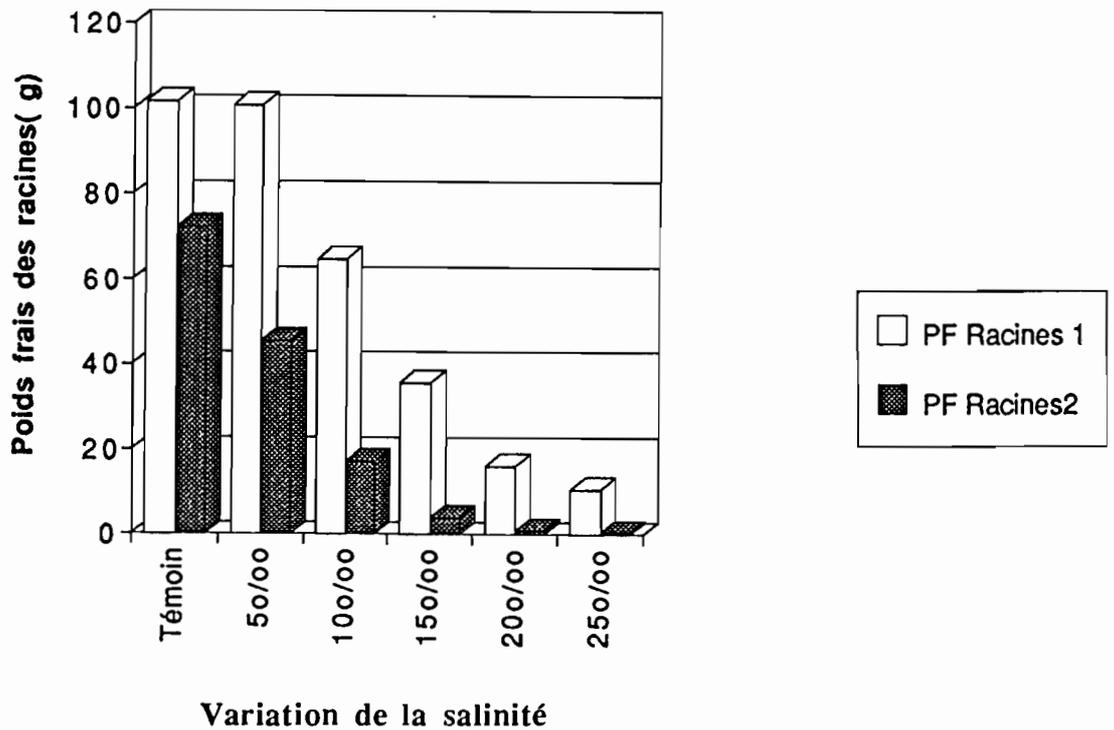


Figure 44 - Variation du poids frais des racines primaires (R1) et secondaires (R2) en fonction de la salinité

Par contre à partir de 10 o/oo la diminution de biomasse est très marquée. A 15 o/oo, il n'y a plus que 45% du poids par rapport au témoin. Entre le traitement 20 o/oo et 25 o/oo, il n'y a pas de différence, ce qui montre qu'à partir de 20 o/oo, le seuil de tolérance est dépassé, les plantes ont beaucoup souffert.

- Nous avons distingué 2 types de racines:

grosses racines : ce sont des racines primaires avec un diamètre de plus de 10 mm

racines fines : ce sont des racines secondaires ou tertiaires développées sur les racines primaires avec un diamètre de plus ou moins 3 mm.

On constate que les grosses racines ont moins souffert que les racines fines .

En poids frais, pour les grosses, témoin et traitement à 5 o/oo donnent le même résultat. A partir de 10 o/oo, la réduction de poids est significativement différente par rapport au témoin. La diminution se poursuit jusqu'au traitement 25 o/oo, où il ne reste que 10% du poids du témoin (figure 44).

Les racines fines sont des racines absorbantes qui sont très sensibles à la salinité. Dès 5 o/oo, il y a une diminution de poids très significative. **Ceci montre que les racines du cocotier sont sensible au milieu salé, même en présence de faible teneur en sel.** A 25 o/oo, il ne reste pas 1% du poids du témoin, d'où l'énorme perte de pouvoir absorbant tant pour l'eau que pour les éléments nutritifs.

En poids sec, nous obtenons les mêmes résultats pour les grosses racines et pour les racines fines.

La diminution du rapport des poids secs racines sur feuilles, traduit la diminution plus rapide du poids de racines par rapport au poids des feuilles. Il apparaît donc que sur sols sulfatés acides et salés, la salinité provoque une inhibition plus importante du développement des racines (tableau 36).

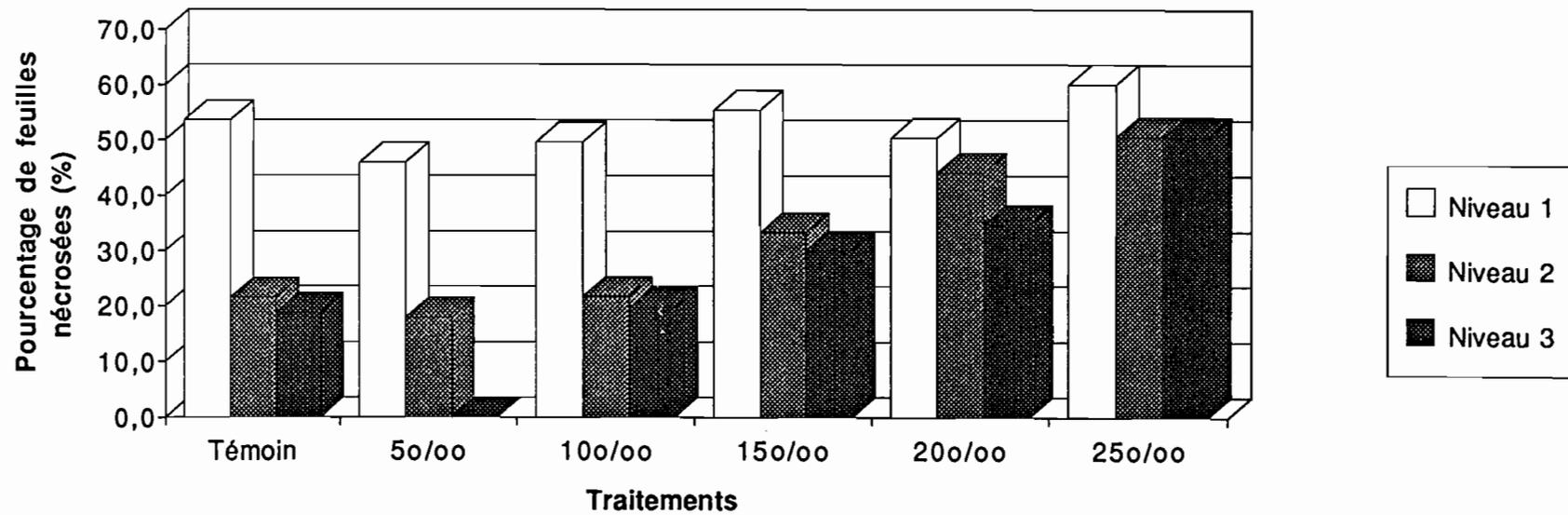
Tableau 36: Poids secs des feuilles et des racines et rapport racines /feuilles.
Poids secs en grammes.

Poids secs (g)	Témoin	5 o/oo	10 o/oo	15 o/oo	20 o/oo	25 o/oo
Feuilles (F)	116,7	120,7	70,7	50,7	46,7	21,3
Racines 1(R1)	18,9	14,8	9,1	4,9	2,3	1,4
Racines 2(R2)	11,5	6,4	2,3	0,5	0,2	0,1
Σ R1et R2	30,4	21,2	11,4	5,4	2,5	1,5
Σ (R1+ R2)/F	26%	18%	16%	11%	5%	7%

d. Nécrose des feuilles (annexes XXXII A et B)

Pour évaluer les dommages subis, qui se traduisent par la nécrose des folioles, nous comparons les pourcentages de feuilles nécrosées pour les divers traitements salés.

Figure 45 - Pourcentage de feuilles nécrosées pour différents degrés d'altération foliaire dans les traitements



Niveau 0: aucune feuille se présente le niveau 0- Niveau 1: extrémité des folioles nécrosées- niveau 2: taches de nécroses s'étendent sur le limbe- Niveau 3: taches coalescentes (tissus entièrement nécrosés)

En suivant l'échelle définie précédemment la figure 45 montre que:

- Le niveau 0 n'existe pas, sur aucun traitement.

- Le niveau 1 est trouvé pour tous les traitements, y compris le témoin: à l'extrémité des folioles existent des marques de nécrose. Le témoin, avec 53 % de feuilles présentant des nécroses, est plus atteint que le traitement 5 o/oo (45%) qui est donc bénéfique pour les feuilles. Avec le traitement à 10 o/oo, ce pourcentage reste encore inférieur à celui du témoin; au delà, de 15 à 20 o/oo et 25 o/oo, le nombre d'extrémités nécrosées augmente.

- Le niveau 2: nous avons observé que pour tous les traitements les taches de nécrose s'étendent sur le limbe. A partir d'une teneur de NaCl de 10 o/oo, plus la salinité augmente, plus le pourcentage de nécrose augmente et atteint environ 50% pour une salinité de 25 o/oo. Comme pour le niveau 1, le traitement de 5 o/oo apparaît comme un point remarquable.

- Le niveau 3 correspond à une feuille entièrement nécrosée; c'est ce qui arrive naturellement aux premières feuilles de cocotier qui se dessèchent; le traitement 5 o/oo confirme encore une fois son intérêt, le NaCl permettant de prolonger l'existence des premières feuilles de la plantule. A partir de 15 o/oo, le pourcentage de feuilles nécrosées augmente, il est très élevé dans les traitements 20 et 25 o/oo, ce qui entraîne la réduction de la biomasse.

Pour tous les critères végétatifs, nous trouvons une bonne corrélation avec la salinité à partir de 10 o/oo:

- pour la circonférence du collet: $y = -0,29x + 21,155$ avec $r = 0,913$

- pour le nombre de feuilles vertes: $y = -0,173x + 7,409$ avec $r = 0,954$

- pour le poids frais de la partie aérienne: $y = -28,06x + 881,732$ avec $r = 0,938$

- pour le poids frais de racines grosses : $y = -4,195x + 107,353$ avec $r = 0,961$

- pour le poids sec de racines grosses : $y = -0,739x + 17,817$ avec $r = 0,963$

- pour le poids frais de racines fines: $y = -2,891x + 59,635$ avec $r = 0,898$

- pour le poids sec de racines fines: $y = -0,442x + 8,999$ avec $r = 0,884$

** Pour les différents critères de croissance étudiés, l'arrosage à l'eau salée à la teneur de 5 o/oo peut être considéré comme bénéfique pour la partie aérienne du cocotier où les différents niveaux de nécrose des feuilles sont sensiblement diminués avec une circonférence du collet augmente.*

** Pour la partie racinaire il faut distinguer:*

- les racines secondaires (fines) très sensibles à la salinité.

- les racines primaires qui semblent insensibles à la teneur de 5 o/oo en frais alors que cette même teneur a une influence marquée sur le poids sec.

* Le taux de salinité de 10‰ n'a pas d'influence sensible sur les nécroses des feuilles par contre tous les autres indicateurs (circonférence du collet, nombre de feuilles vertes, poids des parties aériennes et souterraines) sont diminuées.

* Pour les taux de salinité supérieurs (15- 20 et 25‰) les dommages sont de plus en plus marqués et l'on peut fixer aux environs de 10‰ le seuil de tolérance sur sols argileux, ce qui permettrait de planter en cocotiers une partie des 586.000 ha définis par l'étude du PNUD de 1991 (Mekong delta master plan de NEDECO) et caractérisés comme modérément salés en saison sèche. Il faut noter que ces résultats ont été obtenus sur les jeunes plantules et que les réponses peuvent différer sur les cocotiers adultes.

Après avoir observé l'influence de la salinité sur les différents organes végétatifs de la plante, nous avons analysé les mécanismes d'absorption des éléments nutritifs en présence de NaCl, en étudiant les relations sols- racines- feuilles.

B. Etude de l'absorption des éléments nutritifs entre sols-racines et feuilles en présence de l'eau salée

a. Dans les sols:

Les résultats d'analyse du sol au début de l'essai et à la fin de l'essai dans les différents traitements sont regroupés dans le tableau 37.

Le pH du sol augmente en présence de l'eau salée et de l'engrais apporté.

Le sol utilisé avant fourniture des engrais est très acide avec un pH de 3,7.

Comme l'indique le tableau 37, à la fin de l'essai, pour les différents traitements, le pH a augmenté.

Tableau 37: Teneurs moyennes en éléments solubles et échangeables en meq/100g pour les divers traitements par l'eau salée à la fin de l'essai.

Elément	formes	Témoin	5 ‰	10 ‰	15 ‰	20 ‰	25 ‰
Ca	E (meq%)	12,13	7,60	5,92	6,34	4,64	5,27
	S (meq%)	0,36	0,16	0,19	0,25	0,24	0,27
Mg	E (meq%)	4,21	3,95	4,41	5,20	5,00	5,42
	S (meq%)	0,18	0,08	0,12	0,23	0,20	0,33
K	E (meq%)	1,93	0,81	0,71	0,60	0,52	0,58
	S (meq%)	0,43	0,07	0,07	0,08	0,05	0,10
Na	E (meq%)	0,40	6,57	9,17	9,50	11,75	10,72
	S (meq%)	0,63	7,85	11,08	15,96	18,14	22,46
Mn	E (meq%)	0,09	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01

Al	E (meq%)	0,03	0	0	0	0	0
Cl	S (meq%)	0,14	5,32	9,53	13,07	15,33	19,93
SO ₄	S (meq%)	0,33	0,66	0,60	0,81	0,73	0,96
NO ₃	S (meq%)	0,01	0,04	0,06	0,10	0,09	0,18
Σ cations	E (meq%)	18,66	18,91	20,20	21,64	21,92	21,98
CEC	meq%	21,72	24,52	25,68	27,45	26,35	27,71
pH eau		5,41	6,20	6,45	6,65	6,54	6,68
pH KCl		4,43	5,19	5,53	5,89	5,86	6,05
EC	mS/cm	4,19	6,89	9,92	14,54	16,77	20,53
pH(1:1)		5,86	6,62	6,83	7,03	6,94	7,07
P total	ppm	3537	3806	3312	4712	2856	4406
POlsen	ppm	491	827	629	897	417	1112

La conductivité électrique au début, la conductivité du sol sulfaté acide est très faible (1,61 mS/cm). Après 6 mois d'arrosage, la conductivité électrique augmente avec la salinité et l'apport des fertilisants de 4,19 mS/cm pour le témoin jusqu'à 20,53 mS/cm pour le traitement 25o/oo (figure 46).

Les ions solubles et le complexe absorbant des sols

Les teneurs en sodium soluble et échangeable augmentent ainsi que celles de chlorure dans les traitements en fonction de la salinité appliquée. Par contre, les teneurs de calcium et potassium diminuent. Ce phénomène s'explique par les échanges entre les ions Ca⁺⁺ et K⁺ avec le Na⁺ dans le sol (MOREL,1989).

Dans le sol sulfaté acide non traité, la teneur en aluminium échangeable est de 9,6 meq/100g de sol sec, ce qui représente 78 % de la somme des cations échangeables dans le sol (12,16 meq/100g). Après 6 mois d'arrosage:

- à l'eau douce, le témoin dont le pH a augmenté du fait de l'apport d'engrais ne comprend plus que 0,03 meq/100g d'aluminium.

- à l'eau salée, pour tous les traitements, il n'y a plus trace d'aluminium dans le sol.

b Dans les racines:

Les résultats d'analyses des grosses racines et des racines fines sont fournis dans les annexes XXXIIIA et B.

Pour les grosses racines, la teneur en sodium dans le témoin varie de 0,49 à 0,75% alors que dans les traitements, la teneur en sodium augmente avec la salinité croissante. Cette augmentation est présentée dans le tableau 38. A partir de 5 o/oo, la teneur en sodium dans les grosses racines augmente 3,6 fois plus que le témoin.

Figure 46 : Conductivité électrique du sol dans l'essai eau salée

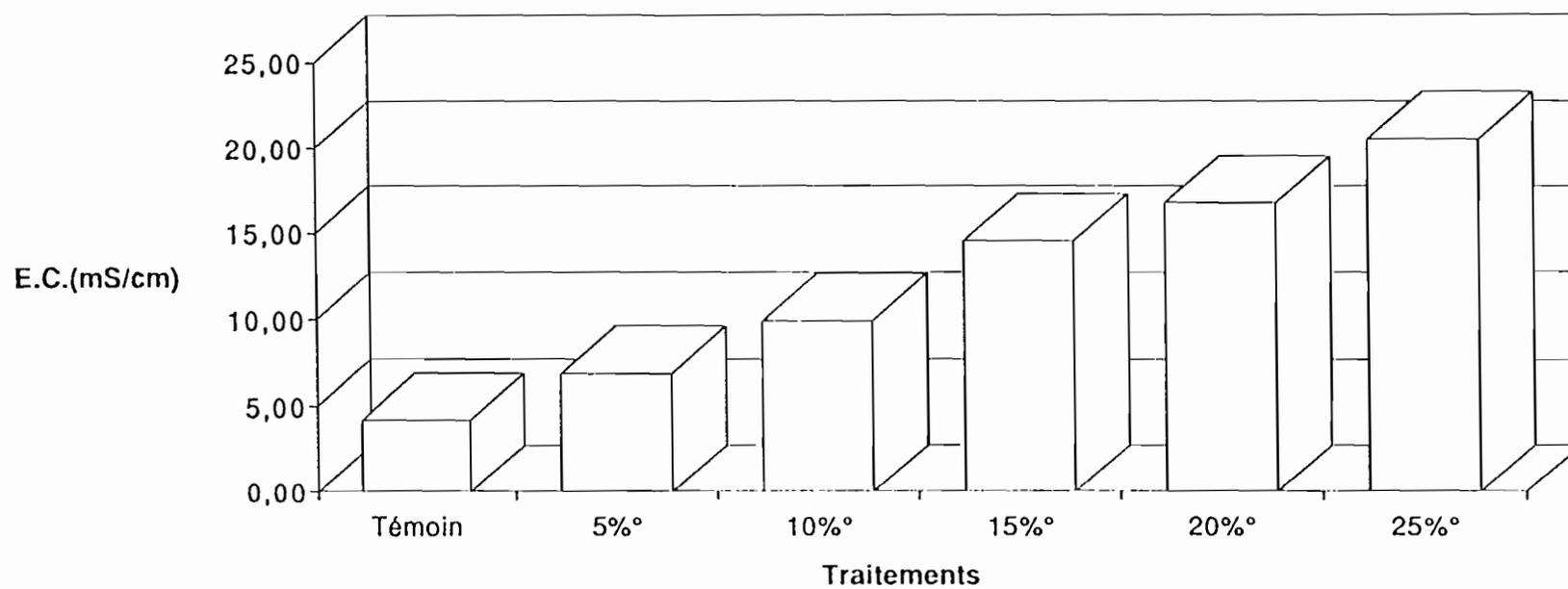


Tableau 38: Variation des teneurs en sodium et calcium des grosses racines pour les différents traitements , en % par rapport au poids de matière sèche.

Traitement	Sodium %	Augmentation	Calcium %	Diminution
Témoin	0,606	-	0,051	-
5 o/oo	2,165	x 3,6	0,033	- 35%
10 o/oo	2,808	x 4,6	0,031	- 39%
15 o/oo	3,589	x 5,9	0,036	-29%
20 o/oo	3,715	x 6,1	0,026	- 49%
25 o/oo	4,127	x 6,8	0,025	- 51%

Dans les racines fines, il existe une augmentation de la teneur en sodium correspondant à la salinité (données résumées dans le tableau 39). La teneur en sodium trouvée dans les racines fines est légèrement inférieure à celle trouvée dans les grosses. En présence du chlorure de sodium, les racines fixent une partie du sodium. Les teneurs en calcium diminuent avec l'augmentation de la salinité.

Tableau 39: Variation des teneurs en sodium et en calcium des racines fines pour les différents traitements, en % par rapport au poids de matière sèche.

Traitement	Sodium %	Augmentation	Calcium %	Diminution
Témoin	0,739	-	0,075	-
5 o/oo	2,042	x 2,8	0,046	- 39%
10 o/oo	2,558	x 3,5	0,041	- 45%
15 o/oo	2,796	x 3,8	0,045	- 40%
20 o/oo	3,421	x 4,6	0,048	- 36%
25 o/oo	3,764	x 5,0	0,038	- 49%

c. Dans les feuilles:

Les analyses foliaires dans les différents traitements sont résumées dans l'annexe XXXIV. La teneur de sodium dans le témoin est faible (0,413%) mais à partir du traitement 5 o/oo, l'augmentation ne varie plus en fonction de la salinité (tableau 40).

Tableau 40: Variation des teneurs moyennes en calcium et en sodium des feuilles en % de matière sèche.

Eléments	Témoin	5‰	10‰	15‰	20‰	25‰
Ca	0,170	0,147	0,155	0,165	0,131	0,148
Na	0,413	1,045	0,941	0,998	1,012	1,027

Il faut noter que le cocotier présente une grande différence de réponse entre les racines et les feuilles pour l'effet de la salinité: plus la salinité augmente dans le sol, plus la teneur en sodium dans les racines augmente ce qui n'est plus le cas des feuilles. En effet, le rapport des teneurs F/R diminuent avec la salinité (tableau 41).

Tableau 41: Rapport de la teneur en sodium des feuilles et des racines.

Rapport	Témoin	5‰	10‰	15‰	20‰	25‰
F/R1	0,68	0,48	0,33	0,27	0,27	0,23
F/R2	0,56	0,51	0,36	0,35	0,29	0,24

Cette rétention supérieure de NaCl dans les racines explique probablement sa toxicité plus importante sur la croissance racinaire comparée à l'appareil aérien. La teneur en sodium dans le traitement 5 ‰ est plus du double de celle du témoin, ce qui montre que le cocotier jeune absorbe de chlorure de sodium. Nous avons vu que les cocotiers adultes fixent moins de sodium (cf. chapitre 1, tableau 33).

L'augmentation du sodium dans les feuilles comme dans les racines se traduit corrélativement par la diminution du calcium.

Si le taux d'azote ne varie pas en fonction de la salinité, les teneurs en phosphore et potassium diminuent faiblement, mais les teneurs en ces éléments, pour tous les traitements, restent supérieurs aux niveaux de carence (tableaux 42 et 43).

Il faut souligner la valeur du rapport Cl/Na dans les feuilles qui est toujours supérieure à celle des racines alors que les teneurs en chlore et en sodium sont toujours supérieures dans les racines (tableau 44).

Tableau 44: Rapport Cl/Na dans les feuilles et les racines .

Rapport	Témoin	5‰	10‰	15‰	20‰	25‰
Cl/Na Feuilles	3,22	1,86	1,95	1,88	1,81	1,89
Cl/Na Racines 1	2,04	1,58	1,57	1,48	1,47	1,45

A partir du traitement à 10 ‰, nous avons une diminution de la biomasse tant pour les parties aériennes que souterraines. Pour se protéger, la plante résiste de deux façons:

- en diminuant le nombre de racines (cf 3.1.2).
- en accumulant le sodium dans les racines ce qui bloque son absorption .

La teneur en sodium trouvée dans les racines augmente en fonction de la salinité. Dans les racines fines, cette teneur est légèrement inférieure à celle trouvée dans les grosses racines, ce qui montre que chlorure de sodium est fixé par les racines.

La teneur en sodium dans les feuilles du cocotier ne varie pas en fonction de la salinité au delà de 5‰. Elle reste inférieure à celles des racines et le rapport Cl/Na est plus élevé dans les feuilles. En conséquence, on peut estimer que les racines jouent un rôle de

Analyses de la composition ionique foliaire dans les différents traitements
 Tableau 42 : de l'essai eau salée après 6 mois

	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	SiO ₂
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Témoin	2,258	0,2378	2,355	0,1703	0,187	0,413	1,331	0,169	11,65	94,2	5,5	87,4	20,4	47,7	0,195
5o/oo	2,1048	0,2183	1,8665	0,1468	0,1923	1,045	1,9485	0,1378	13,525	65,7	5,9	72,6	19,0	66,2	0,095
10o/oo	2,225	0,2013	1,8113	0,1553	0,2313	0,96	1,8805	0,147	11,45	89,9	5,7	77,2	17,7	69,5	0,28
15o/oo	2,283	0,203	1,8703	0,1648	0,2273	0,9668	1,8185	0,148	12,625	91,6	6,1	86,6	18,4	61,7	0,4225
20o/oo	2,1683	0,2043	2,1105	0,1305	0,1765	1,0115	1,838	0,1415	9,45	82,8	6,7	79,1	19,1	58,0	0,2875
25o/oo	2,138	0,2068	2,2153	0,1478	0,1713	1,0268	1,9428	0,1498	14,475	81,0	6,3	77,9	20,1	83,8	0,235

Analyses de la composition ionique des racines dans les traitements
 Tableau 43 : à l'eau salée

Traitement	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	SiO ₂
Racines 1	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Témoin	0,984	0,164	1,184	0,051	0,092	0,606	1,238	0,085	9,5	613,1	10,1	18,1	17,1	1121,6	0,355
5%o	0,908	0,146	1,146	0,033	0,087	2,165	3,427	0,088	9,4	476,4	4,8	6,4	13,5	903,7	0,158
10%o	1,134	0,171	1,291	0,031	0,097	2,808	4,436	0,101	11,0	604,0	5,7	6,8	16,8	873,3	0,183
15%o	1,441	0,227	1,502	0,036	0,093	3,589	5,321	0,133	10,0	844,4	8,3	8,8	19,0	1260,3	0,345
20%o	1,502	0,214	1,304	0,026	0,089	3,715	5,476	0,149	10,5	698,8	9,4	9,8	16,0	1179,6	0,100
25%o	1,556	0,240	1,460	0,025	0,127	4,302	6,259	0,179	11,0	1130,8	10,5	9,9	19,6	1310,3	0,303
Racines 2															
Témoin	1,050	0,217	1,163	0,075	0,107	0,739	1,420	0,129	6,2	1024,5	14,3	18,6	27,3	2096,2	0,503
5%o	1,038	0,154	0,602	0,046	0,136	2,042	3,088	0,178	6,6	736,4	10,2	9,4	14,8	1560,4	0,253
10%o	1,235	0,252	0,834	0,045	0,225	2,796	3,328	0,242	6,6	1048,7	12,1	18,1	21,4	1777,5	0,465
15%o	1,309	0,239	0,991	0,047	0,231	3,421	0,000	0,286	9,4	1376,3	14,6	26,5	25,7	2463,5	0,617
20%o	1,618	0,304	1,214	0,046	0,266	3,764	0,000	0,075	9,6	1290,1	13,8	24,7	89,6	2014,0	0,120

Résultats exprimés en % de la matière sèche- Chaque valeur est la moyenne de 4 analyses

filtre retenant une partie de NaCl. Le rapport Cl/Na supérieur dans les feuilles pourrait s'expliquer soit par un flux de sève plus riche relativement en Cl⁻ qu'en Na⁺ ou, si les teneurs en Cl⁻ et Na⁺ sont proches dans la sève, par une rétention relativement plus importante du Cl⁻ dans les cellules foliaires. Cette observation est en accord avec un besoin en Cl⁻ particulier chez le cocotier.

C. Effet sur les paramètres hydriques

Les mesures des paramètres hydriques ont été réalisées simultanément sur les mêmes échantillons des folioles dans chaque traitement.

A partir d'une foliole coupée sur la feuille n°1 d'un cocotier dans chaque traitement, on pratique une série de mesures grâce aux différents appareils suivants:

- La presse à membrane pour le potentiel hydrique.
- Le poromètre delta T, MK3 pour la résistance stomatique.
- La balance pour le contenu relatif en eau.
- Le congélateur pour l'échantillonnage des folioles à mesurer au laboratoire de physiologie végétale.

Les mesures ont été répétées 4 fois sur 4 cocotiers dans chaque traitement.

Les mesures ont été réalisées à 8h, 10h, 12h, 14h et 16h (heure solaire) pour tous les traitements.

a. Contenu relatif en eau

Les valeurs du contenu relatif en eau diminuent avec l'accroissement de la salinité et varient au cours de la journée (tableau 45).

Tableau 45: Variation moyenne du contenu relatif en eau pour les divers traitements à la fin de l'essai. Résultats exprimés en %.

Heure	Témoin	5‰	10‰	15‰	20‰	25‰
8h	95,5	95,4	94,3	93,3	87,9	86,9
10h	97,2	95,5	93,9	89,5	87,7	86,7
12h	95,3	94,5	87,5	85,6	84,9	81,7
14h	95,9	94,5	93,1	91,4	84,7	83,2
16h	95,1	93,9	91,3	91,1	90,9	85,7

b Le potentiel hydrique (annexe XXXV)

La valeur du potentiel hydrique varie en fonction du temps dans la journée et diminue avec le taux de salinité du traitement (figure 47 et tableau 46).

Tableau 46: Variations au cours de la journée des moyennes des potentiels hydriques (bars) et des conductances stomatiques (Gs en mol/m²/s) dans les divers traitements.

Heure		Témoin	5‰	10‰	15‰	20‰	25‰
8h	Ψ _H	- 1,9	- 1,9	- 1,9	- 2,5	- 3,3	- 3,6
	G _s	0,109	0,084	0,039	0,049	0,022	0,023
10h	Ψ _H	- 2,6	- 2,9	- 3,3	- 3,6	- 4,3	- 4,6
	G _s	0,034	0,007	0,007	0,003	0,006	0,004
12h	Ψ _H	- 3,6	- 3,6	- 4,3	- 4,6	- 5,3	- 5,6
	G _s	0,047	0,016	0,010	0,005	0,006	0,009
14h	Ψ _H	- 4	- 4,3	- 4,3	- 4,6	- 5,3	- 5,6
	G _s	0,126	0,051	0,036	0,013	0,012	0,015
16h	Ψ _H	- 3,3	- 3,3	- 3,3	- 3,6	- 4,3	- 4,6
	G _s	0,126	0,051	0,036	0,013	0,012	0,015

Variations journalières : la valeur du Ψ_H est la plus élevée pour le témoin à 14h, c'est également le cas pour le traitement 5 o/oo.

A 8h du matin, la valeur du potentiel hydrique est la plus faible dans tous les traitements ce qui correspond à la réhydratation nocturne attestée par les mesures du contenu relatif en eau.

Dans les traitements

A la fin de l'essai, le potentiel hydrique est pratiquement le même pour le témoin et les traitements 5 o/oo et 10 o/oo. A partir de 15 o/oo, la valeur diminue peu pour atteindre un minimum à 25 o/oo.(tableau 46). Donc on mesure des variations faibles, liées certainement aux valeurs des potentiels osmotiques des solutions (tableau 47).

Tableau 47 : Valeurs du potentiel osmotique des solutions (en bars)

Témoin	5‰	10‰	15‰	20‰	25‰
- 12,2	- 13,8	- 14,0	- 14,4	- 17,8	- 19,2

c. Conductance stomatique (annexe XXXVI)

Les mesures de la conductance stomatique réalisées simultanément avec celles du potentiel hydrique (tableau 46) montrent que la conductance stomatique varie également en fonction de l'heure de la journée et du traitement (figure 48).

Figure 47 - Variation du potentiel hydrique moyen en fonction de l'heure de la journée dans les traitements

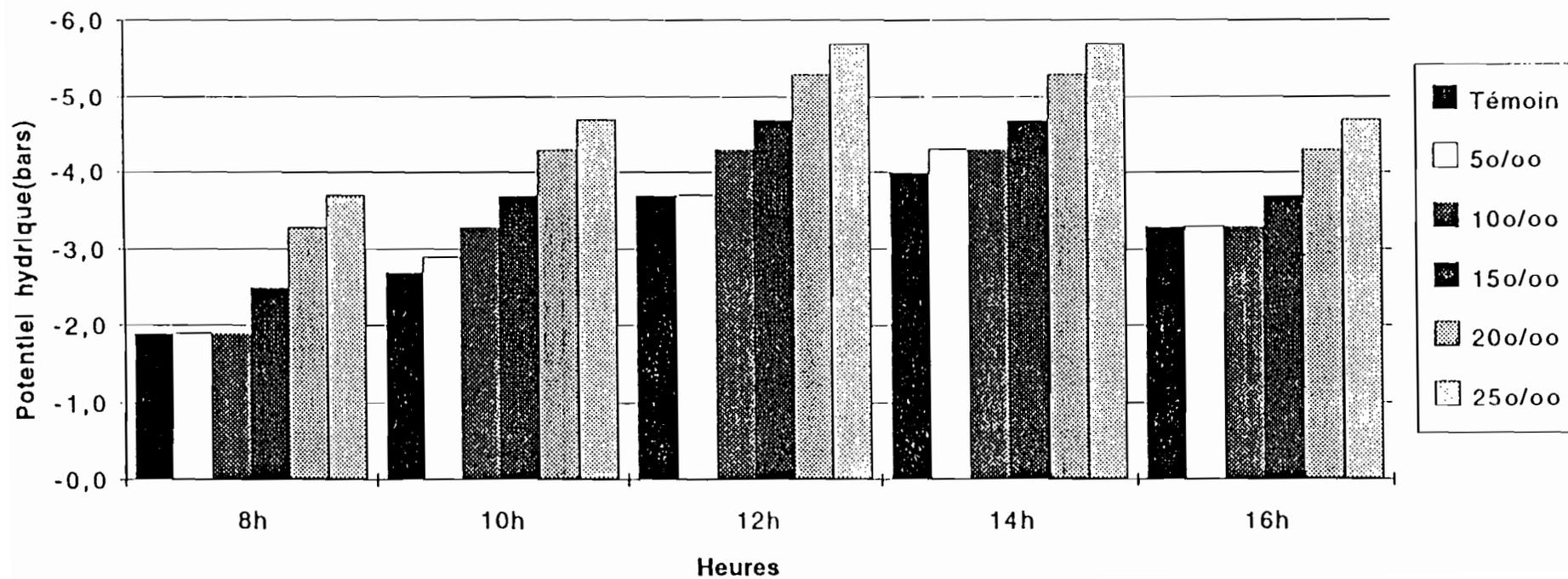
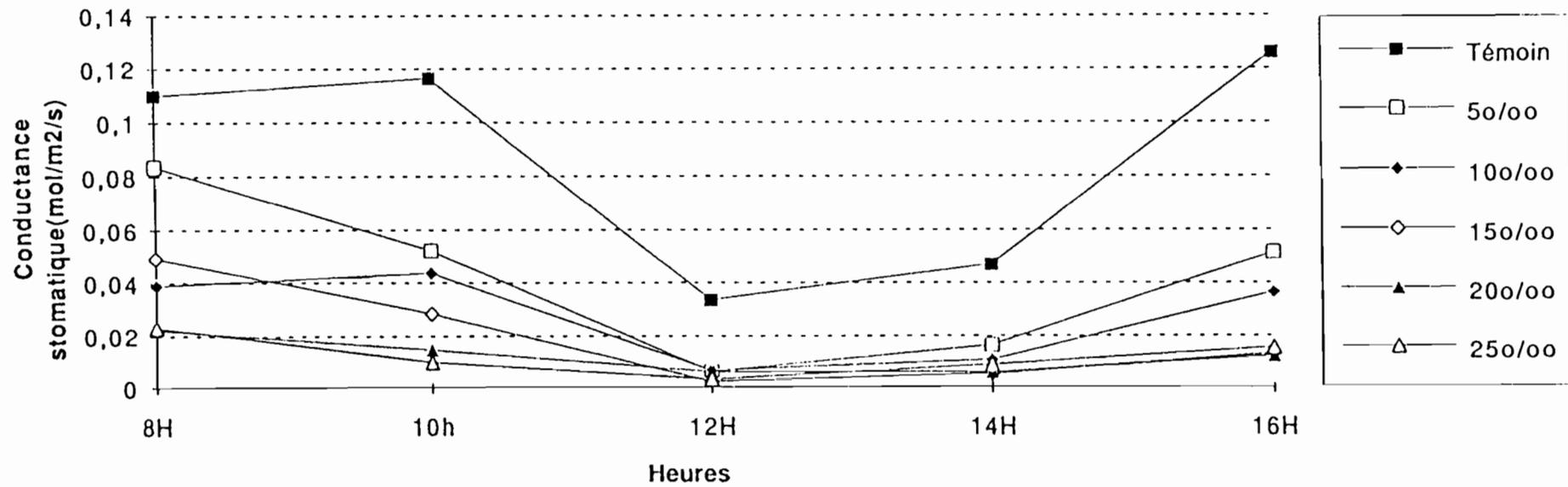


Figure 48 - Variation de la conductance stomatique moyenne au cours de la journée dans les traitements



En fonction du temps, entre 12 et 14h, la conductance est la plus faible dans tous les traitements; c'est l'indice d'une fermeture "de midi" *qu'on peut difficilement expliquer par les variations relativement faibles de Ψ_H et de CRE% et qui doit être liée à l'abaissement du VPD.*

Le témoin a toujours la conductance stomatique la plus élevée.

d. Transpiration des plantes

Les mesures réalisées en saison sèche ont été effectuées dans les conditions suivantes: dans chaque bloc, une plantule de chaque traitement a été arrosée dans son sac, à saturation, en fin de journée. Après une heure de ressuyage, le sac expérimental est enfermé dans un second sac de polystyrène pour éviter toute évaporation de la motte de terre; l'ensemble est pesé. Après 48 heures sans arrosage, on effectue une deuxième pesée. La différence entre les deux pesées indique le poids d'eau consommée par la plante. L'opération est recommencée cinq fois en changeant chaque fois le sac de polystyrène. Les résultats des 120 mesures sont donnés dans l'annexe XXXVII. Le tableau 48 résume la quantité d'eau transpirée par plante dans les traitements.

Tableau 48: Quantité d'eau transpirée (QET) par la plante dans les traitements. Résultats exprimés en grammes par plante.

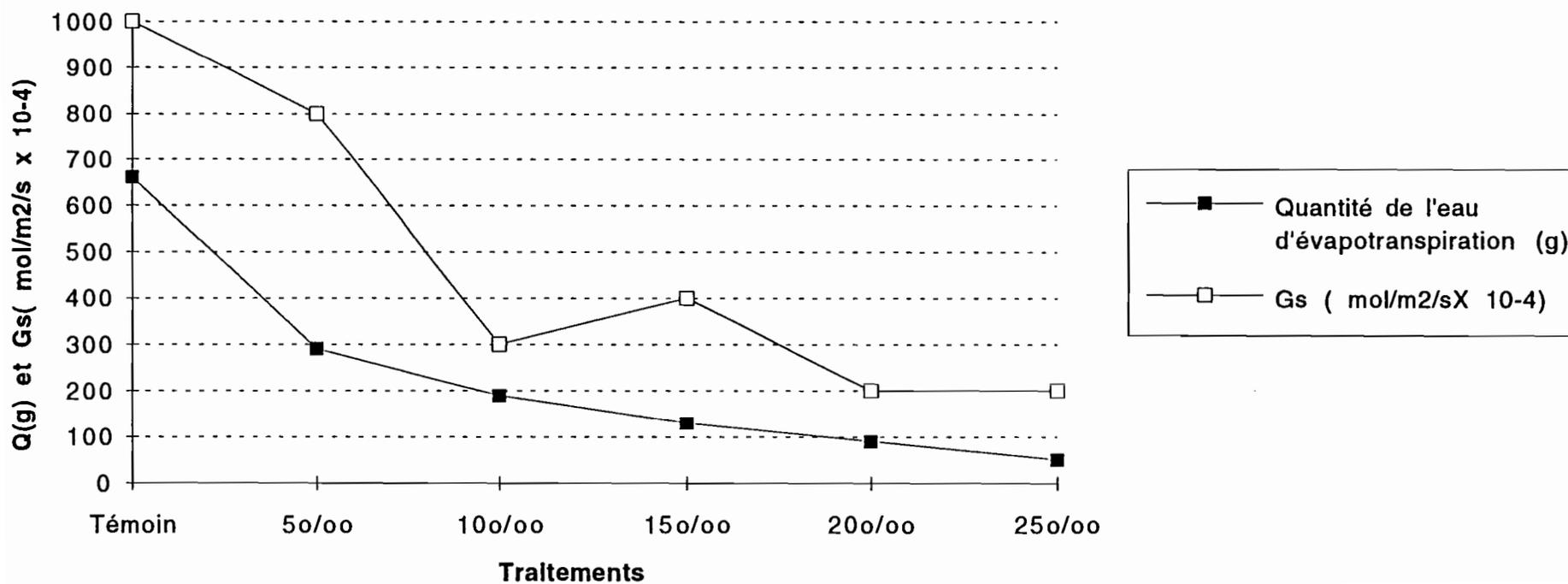
	Témoin	5‰	10‰	15‰	20‰	25‰
Q ET (g)	660	290	190	130	90	50
% par rapport au témoin	-	44%	29%	20%	14%	8%

Le témoin présente donc la plus forte transpiration avec 660 g d'eau consommée en 48heures. La consommation d'eau diminue avec l'augmentation de la salinité (figure 49). Les variations de la conductance stomatique en fonction de la salinité ont la même forme. La diminution de la transpiration suit celle de la conductance stomatique lorsque la salinité augmente. Ce résultat correspond au fait que l'ouverture des stomates est toujours la plus forte pour le témoin à toute heure (tableau 46).

e. Détermination de la surface foliaire

Pour déterminer les surfaces foliaires, on mesure la longueur et la largeur maximale de chaque foliole; le total des surfaces des rectangles correspondants donne une surface foliaire (S_e) en excès ; pour établir le coefficient de correction, on procède par pesée: une foliole détachée est décalquée sur un papier de qualité qu'on découpe suivant le dessin obtenu; on pèse et on divise le résultat par le poids d'un centimètre carré du papier ayant

Figure 49 - Comparaison des courbes d'évolution de la transpiration (g/plant/48h) et de la conductance stomatique ($\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) à 8h



servi au dessin: le quotient est égale à la surface effective (S_m) de la foliole en centimètres carrés.

Le rapport de cette surface à celle du rectangle longueur x largeur de la foliole correspond au coefficient de correction r par lequel il faut multiplier la surface mesurée d'une foliole pour avoir sa surface effective:

$$r = S_m / S_e$$

Les mesures ont été réalisées à la fin de l'essai eau salée sur toutes les folioles de la feuille 1 de trois plantules de chaque traitement (annexe XXXVIII), les coefficients de correction (r) qui s'en déduisent sont présentés dans le tableau 49.

Tableau 49: Coefficients de correction (r) dans les traitements.

Témoin	5‰	10‰	15‰	20‰	25‰
0,80	0,78	0,81	0,78	0,86	0,86

On retiendra $r = 0,8$ pour les salinités $\leq 15‰$

$r = 0,86$ pour les salinités $> 15‰$

Après les mesures de la surface, toutes les folioles des feuilles de la plantule ont été coupées et séchées. Le total du poids sec des folioles permet de calculer la surface d'une plantule. A partir des consommations d'eau en 48 heures, les évapotranspirations (ET) par mètre carré (m^2) et par secondes (s) ont été calculées selon la formule suivante:

$$ET \text{ mg/m}^2/\text{s} = ((QET_{(g)} \times 1000) \times (10000/S \text{ (cm}^2\text{)} \times 1/(48 \times 3600))$$

Les mesures détaillées sont fournies dans l'annexe XXXVIII et le tableau 50 résume les résultats de l'évapotranspiration dans les traitements.

Tableau 50: Evapotranspiration du cocotier dans les traitements (en $mg/m^2/s$)

Critères	Témoin	5‰	10‰	15‰	20‰	25‰
QET (g)	660	290	190	130	90	50
Surface F1(cm^2)	4116	3730	2576	1713	1561	713
Poids sec F1(g)	31,36	28,27	20,30	13,87	11,10	5,02
Poids foliaire/plant (g)	116,66	120,67	70,67	50,67	40	21,33
Surface plant (cm^2)	15311	15921	8967	6257	5625	3029
ET/plant ($mg/m^2/s$)	2,49	1,05	1,22	1,20	0,92	0,95

On constate que l'évapotranspiration par m² et par seconde est pratiquement constante quelle que soit la salinité et représente moins de la moitié de celle du témoin. Donc ce résultat est en accord avec la régulation de l'ouverture des stomates dans la figure 48.

3. 2. ETUDE EN CONDITIONS CONTRÔLÉES EN LABORATOIRE

Pour compléter ces résultats physiologiques de terrain des mesures ont été effectuées au laboratoire de Physiologie végétale de l'Université Paris XII avec le matériel végétal identique rapporté du Viet nam.

3.2.1. Etude de l'assimilation photosynthétique

Quatre plantules d'un an ont été rapportées du Viet Nam: deux cultivées sur sol sulfaté acide, arrosés à l'eau douce et servant de témoin; deux sur sol sulfaté acide et salé, arrosés sur le terrain au Viet Nam avec une solution à 20‰ de chlorure de sodium.

Les cocotiers arrosés à l'eau salée ont été dessalés par immersion dans l'eau pendant 24 heures, puis arrosés à l'eau douce pendant un mois. Après ce traitement préparatoire, ils ont été arrosés avec une eau salée à 5‰ et soumis à des mesures photosynthétiques.

- *Par la méthode Hansatech*

Les mesures photosynthétiques par la méthode Hansatech ont été effectuées sur les rondelles de 4 cm de diamètre prélevées à l'emporte-pièce sur les folioles de la feuille 1 des quatre cocotiers, deux témoins, deux arrosés à l'eau salée. Les mesures rassemblées sur la figure 50 montrent que l'assimilation photosynthétique sur les témoins est plus élevée que celle des cocotiers arrosés à l'eau salée; de même, la réponse à la variation d'intensité lumineuse est plus nette sur les témoins.

- *Par la chambre d'assimilation analytique à infrarouge (annexe XXXIX)*

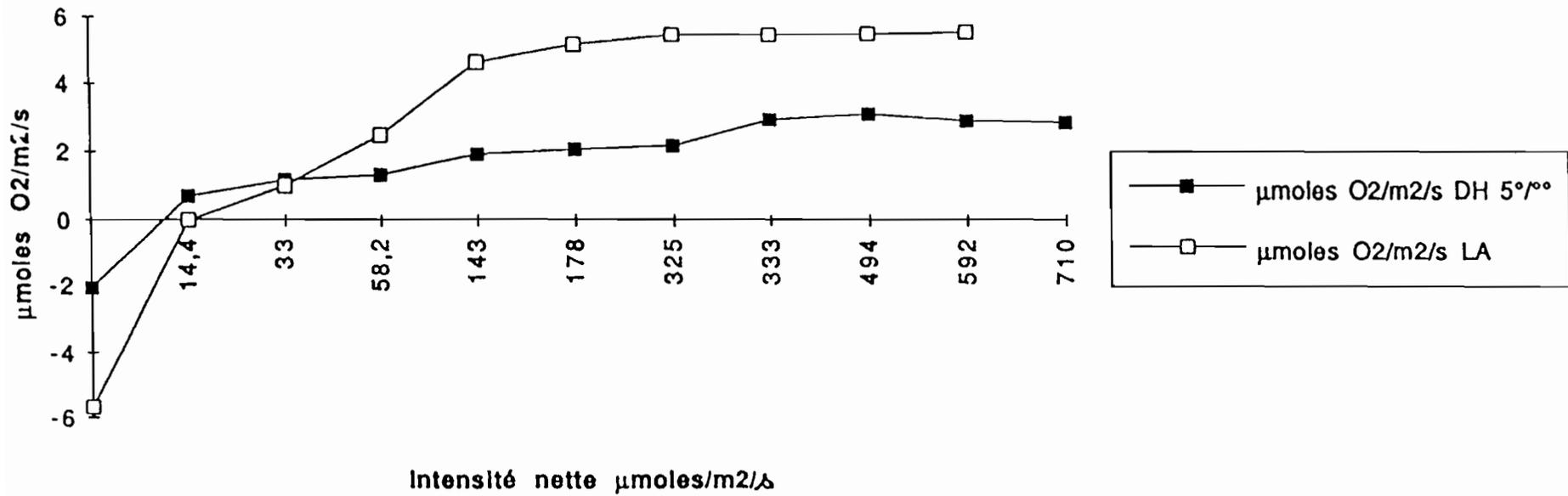
Comparaison de l'assimilation photosynthétique entre le témoin et le traitement à l'eau salée

Les cocotiers traités ont été arrosés à l'eau salée à 10‰ pendant deux semaines pour une première série de mesures, puis avec une solution à 20‰ pendant également deux semaines avant de nouvelles mesures.

Sur les témoins, on a comparé les résultats des mesures de photosynthèse sur les feuilles 1 et 2; c'est la 2 qui a été choisie pour l'ensemble des autres mesures pour les trois traitements: témoin, 10‰ et 20‰, parce que cette feuille donne la valeur plus élevée.

Sans être détachées du cocotier, les folioles sont placées dans la chambre de mesure et éclairées avec l'intensité nette de 710 μmoles/m²/s. Les mesures commencent après 15 minutes d'éclairage, chaque mesure dure deux minutes et se répète automatiquement; il faut attendre la stabilité, une heure ou plus, pour avoir un résultat utilisable. La foliole est alors retirée de la chambre pour mesurer immédiatement sa conductance stomatique au poromètre au même endroit où a été mesurée l'assimilation photosynthétique.

Figure 50 - Variation de l'assimilation photosynthétique potentielle en fonction de l'intensité lumineuse chez le témoin et avec le traitement 5‰ (méthode Hansatech)



Puis la foliole est détachée du rachis pour étudier l'évolution de la photosynthèse alors qu'elle n'est plus alimentée en eau. Les résultats exprimés sur les figures 51 et 52 montrent que la section de la foliole provoque une baisse immédiate de l'assimilation pour le témoin comme pour le sujet arrosé à l'eau salée, mais dans ce dernier cas, la pente de la courbe est plus faible. Après une heure, l'assimilation photosynthétique est pratiquement nulle dans les deux cas.

Comparaison des effets du stress hydrique et de stress salin sur l'assimilation photosynthétique

Un cocotier témoin a été déshydraté et les mesures de l'assimilation photosynthétique ont été effectuées au jour (J), après un jour d'arrêt de l'arrosage (J+1), après 7 jours (J+7) et après 15 jours (J+15); simultanément ont été mesurées le potentiel hydrique, le contenu relatif en eau et l'humidité du sol.

Les résultats dans le tableau 51 montrent que:

Au début (J), le sol du témoin a une humidité de 68% (68 grammes d'eau dans 100 grammes de sol sec), l'assimilation photosynthétique correspondante est de 8,8 $\mu\text{moles/m}^2/\text{s}$.

A J+1, l'humidité du sol est diminuée à 41,7%, l'assimilation photosynthétique chute à 6,87 $\mu\text{moles/m}^2/\text{s}$.

A J+7, l'humidité du sol est tombée à 24%, l'assimilation n'atteint que 0,9 $\mu\text{moles/m}^2/\text{s}$.

A J+15, le sol ne contient plus que 7,7% d'humidité et il n'y a plus d'assimilation bien que la respiration se poursuive avec une valeur - 1,5 $\mu\text{moles/m}^2/\text{s}$.

Pour les cocotiers dessalés un mois à l'eau douce, l'assimilation photosynthétique présente une valeur de 5 $\mu\text{moles/m}^2/\text{s}$. Dès que ce cocotier est soumis à l'arrosage à 10‰, l'assimilation n'atteint pas 3 $\mu\text{moles/m}^2/\text{s}$.

Les mesures simultanées de la conductance stomatique, du potentiel hydrique, du contenu relatif en eau montrent que dans le traitement de stress hydrique, la conductance stomatique diminue brutalement: 50% après un jour, 90% après 7 jours et 95% après 15 jours. Par contre, le traitement à l'eau salée présente une chute de la conductance stomatique après un jour d'arrosage avec eau salée à 10‰ mais cette valeur reste stable même après 7 jours.

Figure 51 - Variation de l'assimilation du cocotier témoin après section de la foliole

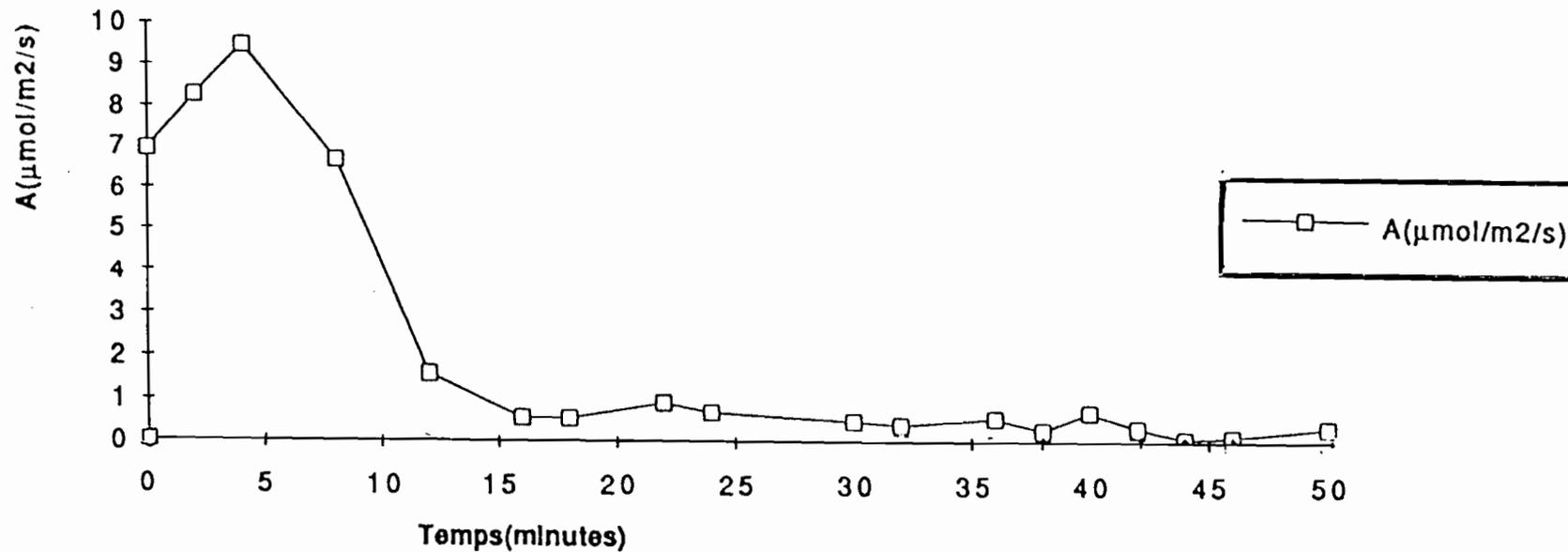
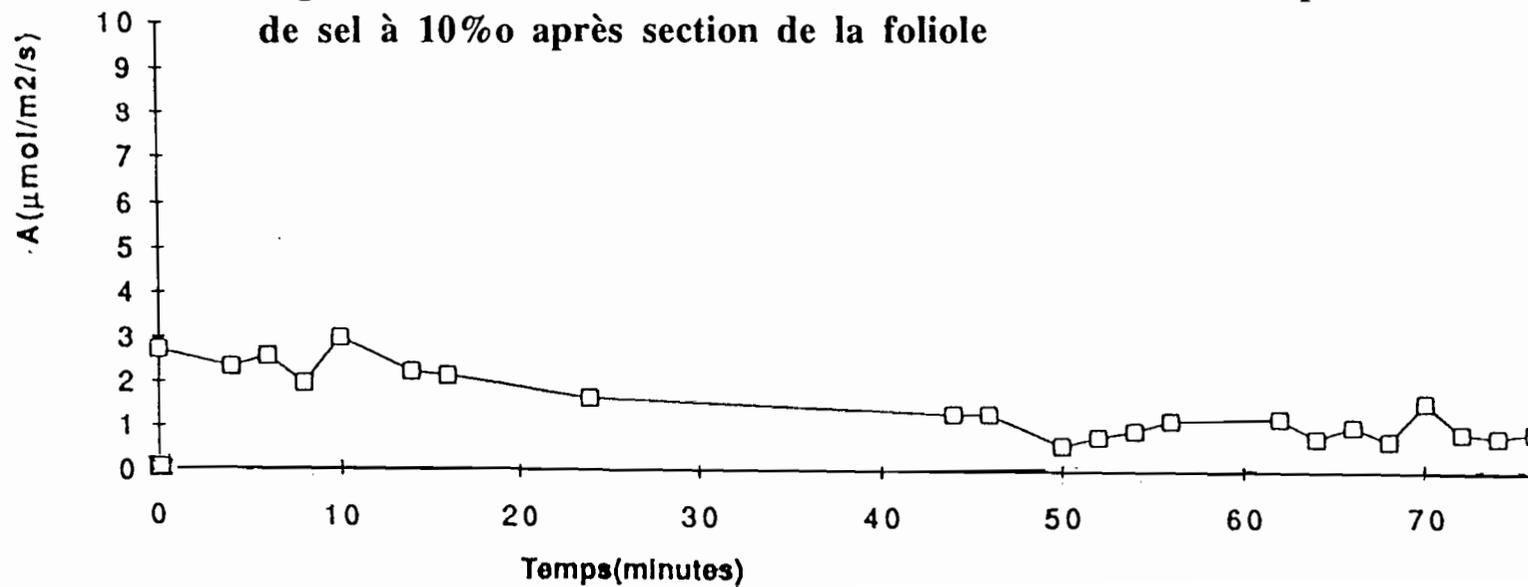


Figure 52 - Variation de l'assimilation du cocotier en présence de sel à 10% après section de la foliole



3.2.2. Relation entre la conductance stomatique et l'assimilation photosynthétique

La relation entre la conductance stomatique et l'assimilation est linéaire en cas arrosé à l'eau salée (figures 53 A et 53 B).

Les mesures simultanées (tableau 51) de l'évapotranspiration, de l'assimilation photosynthétique, de la conductance stomatique, du potentiel hydrique, du contenu relatif en eau et de l'humidité du sol montrent surtout l'inhibition de la photosynthèse liée à la régulation stomatique qui maintient un Ψ_H élevé > -5 bars.

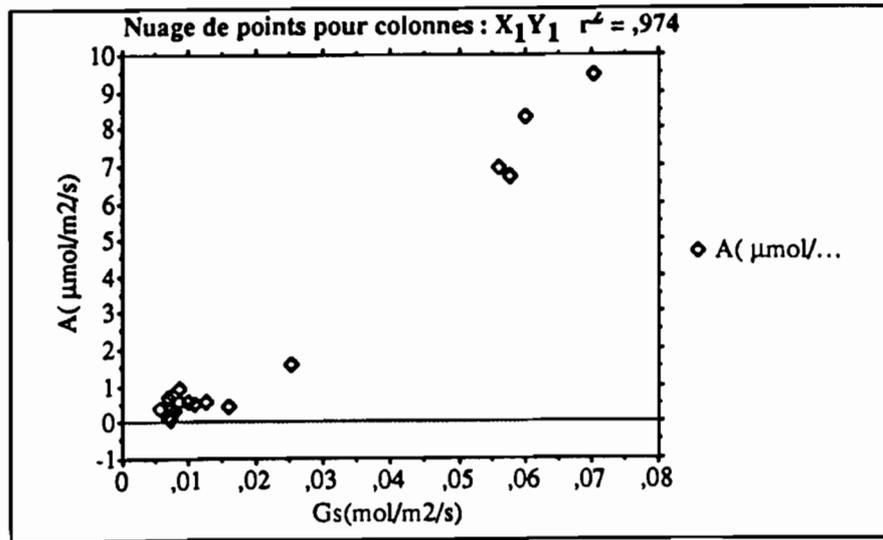


Figure 53 A: Corrélation entre la conductance stomatique et l'assimilation sur le cocotier témoin

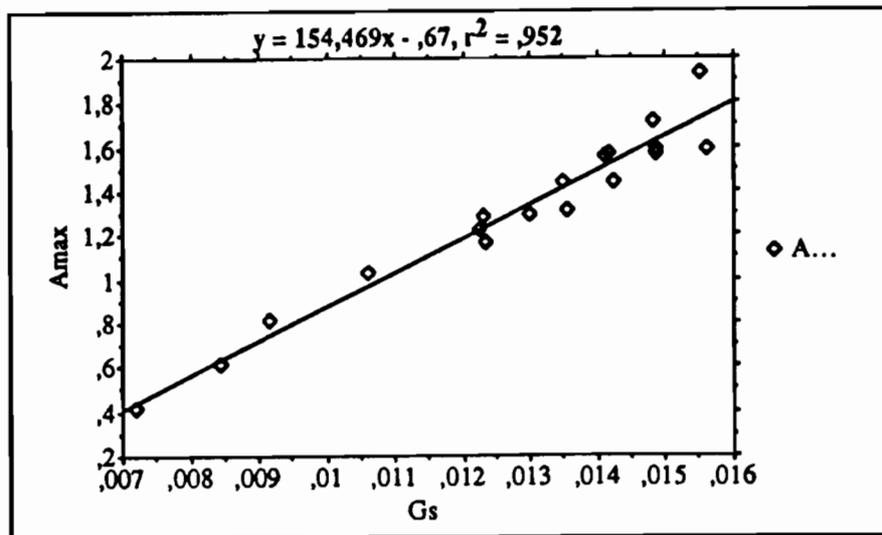


Figure 53 B: Corrélation entre la conductance stomatique et l'assimilation sur le cocotier à 10‰

Tableau 51 : Variation de quelques critères physiologiques en fonction de l'effet de la deshydratation du sol
ou de l'arrosage par de l'eau salée à 10‰

Traitement	Temps	E	A	Gs	ψ_H	CPE	Humidité du sol
		mol/m ² /s	μ mol/m ² /s	mol/m ² /s	bars	%	%
Sans arrosage	Au début	0,0011	8,80	0,0758	-2,5	95,1	68,8
	Après 1 jour	0,0004	6,87	0,0327	-3	93,1	41,7
	Après 7 jours	0,0001	0,92	0,00712	-4	92,2	24,1
	Après 15 jours	0,00004	-1,51	0,00317	-5	82,5	7,7
Dessalé	Après 1 mois	0,00059	5,05	0,03769	-3	90,2	
Arrosé 10 ‰	Après 1 jour	0,0002	2,19	0,0187	-4	89,9	
	Après 7 jours	0,0003	2,81	0,0259	-3,5	89,4	

Discussion

1. Sur l'absorption des éléments nutritifs:

En présence de sodium dans le sol, il existe une accumulation de sodium dans les racines mais aussi dans les feuilles. En présence de NaCl, les feuilles des jeunes cocotiers présentent une augmentation de leur teneur en sodium très différente de celle mesurée chez le cocotier adulte (chapitre 1.2).

Ce résultat montre l'originalité du comportement du cocotier en présence de NaCl; la teneur en sodium des racines, en particulier celle des racines primaires, augmente avec la salinité alors que celle des feuilles atteint un palier dès le taux de 5 ‰.

Dans le cas où le sol ne présente pas de carence en éléments nutritifs, la présence de sodium diminue nettement la teneur en calcium. La carence en calcium peut entraîner la réduction de la biomasse, surtout celle des racines, comme l'ont montré MENGEL et KIRKBY (1982).

Les teneurs en Na^+ racinaire et foliaire sont assez différentes entre les cocotiers jeunes et adultes dans nos expériences.

La substitution de Ca par Na est possible bien que non conforme au classement des forces ioniques: $\text{H}^+ > \text{Al}^{3+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ (BRIDE, 1989) car Na^+ est présent à des concentrations élevées.

2. Evolution des paramètres hydriques:

Les mesures du potentiel hydrique et du contenu relatif en eau en fonction du temps et du taux de la salinité des différents traitements font apparaître l'importance du facteur salinité sur les jeunes cocotiers.

Pour plusieurs auteurs, le potentiel hydrique foliaire est un paramètre important qui traduit l'état de l'eau dans la plante. En 1994, REPELLIN a montré que pour les jeunes cocotiers, le potentiel hydrique peut varier en fonction de l'génotype. Le cultivar Grand Ouest Africain présente le potentiel hydrique le plus élevé et la plus faible conductance stomatique.

Le potentiel hydrique diminue quand la salinité augmente et, avec le taux maximum de 25 ‰, nous obtenons la conductance stomatique la plus faible. La comparaison avec les résultats obtenus par REPELLIN en 1994 en présence d'un stress hydrique permet de conclure que la salinité comme la sécheresse joue un rôle important dans la fermeture des stomates.

La diminution de la conductance stomatique est liée à une réduction de l'assimilation photosynthétique qui se traduit par une limitation de la croissance à partir d'une salinité de 10 ‰. Par contre, le traitement 5 ‰, qui entraîne une diminution de la conductance stomatique par rapport au témoin, a cependant des conséquences positives sur tous les

critères de croissance végétative. En effet, il n'y a pas de différence entre le témoin et le traitement 5 ‰ pour les facteurs potentiel hydrique et contenu relatif en eau alors que la teneur en sodium et en chlore augmente dans les feuilles. Il est remarquable de constater que le rapport Cl sur Na diminue avec le taux de salinité mais reste toujours supérieur à 1,8 dans tous les traitements. La feuille exclut Na^+ efficacement et retient Cl^- . Ceci peut être mis en relation avec le besoin spécifique en Cl^- déjà signalé par divers auteurs (BRACONNIER et D'AUZAC, 1989). Ainsi, pour une teneur en NaCl de 5 ‰ l'effet favorisant de Cl^- sur la croissance l'emporterait sur la toxicité de Na^+ pour cette concentration.

BRACONNIER et D'AUZAC ont confirmé en 1990 le rôle de Cl^- dans l'abaissement du potentiel osmotique des cellules de garde qui conduit à l'ouverture stomatique après LAFFRAY et LOUGUET (1982), ZEIGER (1983), LAFFRAY et al (1984), LASCEVE et al. (1987).

HALL et al, 1976, FARQUHAR et SHARKEY, 1982 ont souligné le rôle des stomates dans le contrôle de la transpiration et de l'équilibre hydrique de la plante, et dans la photosynthèse foliaire. La fermeture des stomates provoque la réduction de la transpiration quand le taux de salinité est élevé et constitue l'une des premières réactions permettant à la plante d'éviter la déshydratation (HSIAO, 1973, BERGER, 1973, CHAVES, 1990).

Les potentiels hydriques seuils de début et de fin de fermeture stomatique sont très proches et ont des valeurs élevées (-0,19 à -0,29 MPa).

Il apparaît que les stomates du cocotier présentent une fermeture temporaire de "midi" correspondant à la période de la journée où le déficit de saturation en vapeur d'eau de l'atmosphère (VDP) est maximum. Cette réponse au VDP se fait pour des potentiels hydriques élevés et des teneurs relatives en eau importantes même en présence de NaCl. En conséquence, le cocotier présente donc une stratégie efficace d'évitement de la perte en eau qui est certainement contrariée par les teneurs en NaCl supérieures à 10 ‰ dont l'impact majeur semble être l'inhibition de la croissance et du fonctionnement des racines. La réponse du cocotier au VDP a été décrite également par DIAS DA SILVA (1994) au Brésil et REPELLIN (1994) en Côte d'Ivoire dans les conditions de terrain.

4. EFFET D'ENGRAIS PHOSPHATE NATUREL

Dans le delta du Mékong, avec des pH de 3,5 - 4, les conditions sont telles que les ions Al^{3+} et Fe^{3+} se libèrent du complexe argileux pour se recombinaer avec le phosphore et donner des phosphates d'aluminium et de fer qui provoquent le blocage du phosphore. Ces sols sulfatés acides et / ou salés présentent une carence en phosphore et en calcium, comme l'indiquent les résultats d'analyse sur les sites de Do Hoa (sols sulfatés acides et salés) et de Long An (sols sulfatés acides).

Sols:	Do Hoa	Long An
P Olsen Dabin (ppm)	37	20,6
Ca soluble (meq/100g)	0,39	0,10
Feuilles:		
P%	0,103	0,116
Ca%	0,122	0,103

Les niveaux critiques du diagnostic foliaire recommandés par MANCIOT et al. en 1979 avec $P\%=0,12$ et $Ca\%=0,5$ ne sont pas atteints surtout pour le calcium.

Dans les sols sulfatés acides du delta du Mékong, on peut également envisager d'utiliser des phosphates naturels dont la solubilisation lente permet d'assurer aux plantes une alimentation régulière en phosphore; on apporte en outre du carbonate de calcium qui assure les effets d'un chaulage progressif (réduction de l'acidité et de la toxicité de l'aluminium, diminution du pouvoir fixateur du sol) et apporte du magnésium ce qui enrichit le milieu en bases.

Normalement cet apport doit induire les effets suivants (TRUONG BINH, 1992):

- remontée du pH du sol
- amélioration de la nutrition phosphatée et calcique du cocotier.
- atténuation des toxicités aluminiques et ferriques.

Comme il existe au Viet Nam des mines de phosphates naturels contenant une quantité importante de calcium susceptible de remonter le pH, c'est ce minerai qui a été essayé comme engrais phosphaté et amendement calcique.

Les mesures du pH in situ et l'analyse foliaire permettront de confirmer ou d'infirmier les premiers points; pour le troisième, il faut procéder à l'étude des différentes formes de P et à leur évolution.

L'essai a été réalisé sur les deux sites de Do Hoa et de Long An avec le phosphate naturel de Lao Cai 1.

Pour analyser les échanges et les mécanismes de fixation du phosphore dans les sols argileux sulfatés acides, ont été conduits au laboratoire:

- un essai d'incubation pour l'étude de la réaction de différentes formes d'engrais phosphatés sur les sols et la détermination des mécanismes d'échanges.
- un essai de percolation pour l'étude comparative de l'évolution cinétique des transferts de bases échangeables avec un engrais phosphaté avec ou sans addition de calcium, la percolation étant assurée par l'eau distillée ou salée.

EFFET D'UN ENGRAIS PHOSPHATE NATUREL "IN SITU"

4.1 MATÉRIELS ET MÉTHODES

4.1.1. Les cocotiers

Les essais d'engrais phosphatés sont réalisés sur les deux sites de Do Hoa et Long An dans les conditions suivantes: compte tenu des observations antérieures, sur des lots de Grands TA de 15 ans, on a choisi les 9 cocotiers les plus homogènes quant à leurs caractéristiques de production.

4.1.2. L'engrais phosphate naturel

Le phosphate naturel utilisé est celui de Lao Cai 1 contenant 31,3% de P₂O₅, 40% de CaO, 0,63 % de MgO, 2,23% de Fe₂O₃, 2,56% de Al₂O₃, 14,5% SiO₂ et 0,13 de S. Il a été appliqué en une seule fois, en janvier 93, sur une superficie de 2 m de rayon autour de chaque cocotier.

4.1.3. Les traitements

L'essai comporte trois traitements:

Traitement T: c'est le témoin sans engrais.

Traitement I : adjonction de 2kg de phosphate naturel par plante.

Traitement II : adjonction de 4 kg de phosphate naturel par plante.

Chaque traitement est appliqué à 3 cocotiers.

4.1.4. Les observations

A. Croissance et production du cocotier:

Les observations relatives à la croissance et à la production du cocotier ont été réalisées:

* *tous les deux mois* sur les caractéristiques suivantes:

- Nombre de feuilles émises
- Longueur et largeur de la foliole médiane de la feuille 14
- Nombre de fleurs femelles

- Nombre de noix par régime

** après 12 mois:*

- Un an après l'application d'engrais, nous avons observé le développement racinaire. Pour cela, nous avons utilisé la tarière hollandaise cylindrique de diamètre 8 cm et hauteur de 14,5 cm, ce qui correspond à un volume de terre de 728,85 cm³.

Toutes les racines prélevées dans chaque carotte ont été lavées, séchées et pesées aux profondeurs suivantes : 0-15 , 25-40 et 70-85 cm.

- Par ailleurs, pour connaître l'effet de l'engrais sur le coprah, nous avons observé les composantes de la noix après les trois traitements, suivant la méthode d'analyse mise au point par l'IRHO /CIRAD, 1982 (cf. annexe IV).

B. Etude de l'absorption des éléments entre nappe-sol-plante:

Ce processus a été étudié à partir de l'analyse des principaux éléments chimiques dans la nappe, le sol, les racines et les feuilles.

Les prélèvements d'eau dans la nappe et le sol ont été exécutés simultanément à trois périodes :

- avant l'application: temps zéro (To: janvier 93)
- après 6 mois d'application (T6: juin 93)
- après 12 mois d'application (T12: janvier 94)

sur tous les prélèvements ont été effectués les analyses suivantes au laboratoire:

- pour les nappes: pH, EC, sels solubles (K, Na, Ca, Mg, Cl, SO₄)
- pour les sols: pH, P Olsen, les bases échangeables: K, Na, Ca, Mg et les solubles (K, Na, Ca, Mg, Cl, SO₄)

Les prélèvements de racines et de feuilles ont été effectués à deux périodes à To et T12, dans ce cas, les éléments suivants ont été analysés:

N, P, K, Ca, Mg, Na, Cl, B, Mn, Al, Fe

(Les méthodes d'analyse sont explicitées en annexe V.)

C. Détermination des différentes formes de P par la méthode de CHANG et JACKSON, 1957 (annexe VI). Les formes du phosphore ont été déterminées sur les échantillons de sols prélevés au début de l'essai (To), après 6 mois (T6) et après 12 mois (T12) pour le témoin, traitements avec 2kg et 4 kg.

4.2. RÉSULTATS

4.2.1. CROISSANCE ET PRODUCTION DU COCOTIER

A. Etude du nombre de feuilles émises, longueur et largeur de la foliole de la feuille 14 (annexes IIA et B, IIA et B, ILII A et B)

Sur les deux sites, durant l'essai, le nombre de feuilles émises varie selon la saison mais pas en fonction des traitements (figure 54). Ce nombre est toujours supérieur en saison des pluies sur les deux sites et toujours supérieur à Long An.

- La longueur et la largeur de la foliole ne varient ni avec la saison ni avec les traitements .

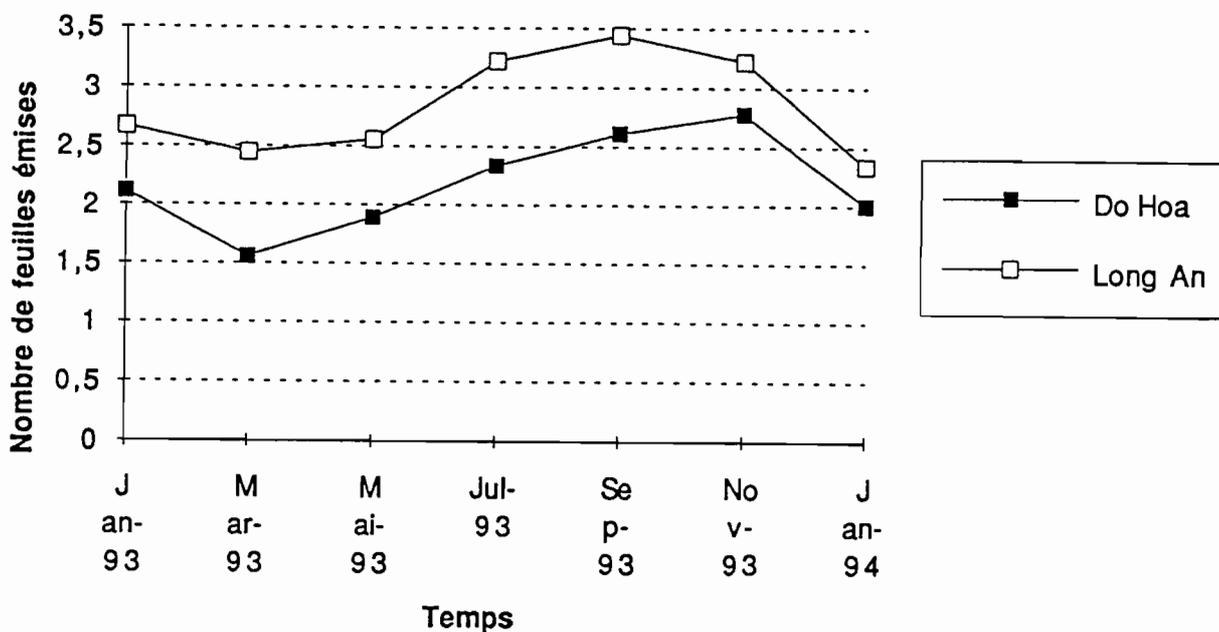


Figure 54- Nombre de feuilles émises par cocotier dans les deux sites avec l'engrais phosphaté

B. Développement racinaire

L'apport d'engrais phosphaté se traduit par un développement du système racinaire avec augmentation du poids des racines (figure 55)

A Do Hoa, le traitement 2 kg suffit pour augmenter ce poids de 50% , alors qu'à Long An, pour obtenir le même résultat, il faut 4 kg.

Ce sont essentiellement les racines de surface qui se développent; on sait par ailleurs qu'elles réagissent le plus vite et le mieux à la pluie et aux apports de fertilisants.

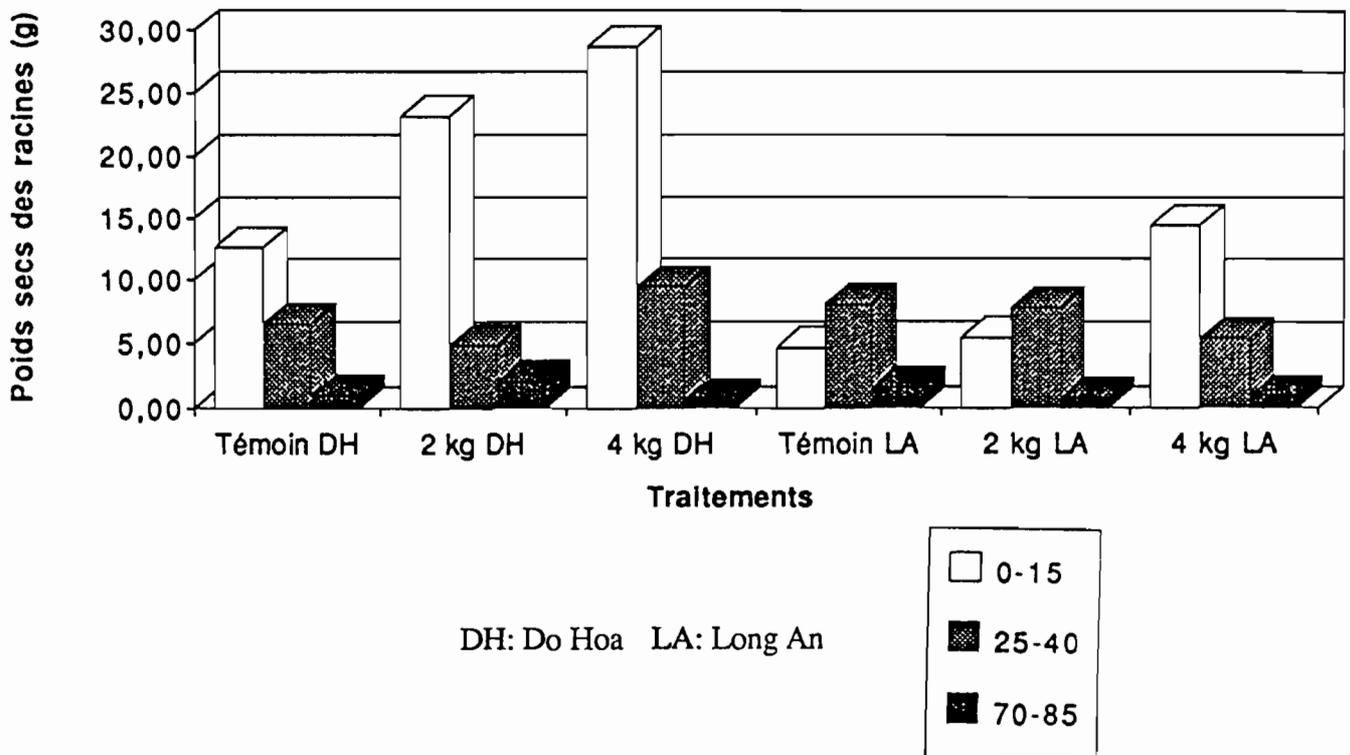


Figure 55 - Variation du poids sec des racines à différentes profondeurs en fonction des traitements 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté à Do Hoa et à Long An

C. Nombre de fleurs : (annexes ILIII A, B,C et ILIV A,B,C)

Lorsque les conditions sont favorables, à l'aisselle de chaque feuille, le cocotier porte une inflorescence dont l'ébauche est apparue 4 mois après l'ébauche foliaire.

L'inflorescence comprenant les fleurs mâles et femelles est contenue dans une spathe qui s'ouvre à maturité, 37 mois après l'apparition de l'ébauche foliaire. Les fleurs femelles existant au moment de l'ouverture de la spathe résultent donc de l'évolution pendant 33 mois de l'ébauche florale et les fleurs dénombrées en janvier 94 n'ont pas subi l'influence de l'amendement apporté en janvier 93 (tableau 52).

A partir du 3ème mois, après la fécondation, sauf conditions exceptionnelles, toutes les noix en place se développent jusqu'à maturité. Comme la disparition de la fleur femelle fécondée laisse une cicatrice sur l'épillet du régime, on peut, à tout moment, déterminer le taux d'avortement.

Sur un cocotier adulte, suivant les conditions écologiques, les fleurs femelles qui donneront des noix sont situées à partir des feuilles F9 à F11.

Les fleurs femelles ont été comptées sur la F11 à Long An et sur la F9 à Do Hoa .

Chaque mois, le cocotier émet de 0 à 2 feuilles et c'est toujours au niveau de la feuille de rang 9 ou 11 que les observations sont faites: réalisées tous les deux mois, elles doivent tenir compte du nombre de feuilles émises; aussi, pour repérer l'observation dans le temps et tenir compte du rajeunissement des feuilles depuis la mesure précédente, elles ont été notées successivement:

F(9-1) F(9-2) F(9-n).....ou F(11-1) F(11-2) F(11-n)....pour les fleurs;
simultanément le développement des noix sur les feuilles est observé sur les feuilles

F(9+1) F(9+2) F(9+n) ou F(11+1) F(11+2) F(11+n).....

La maturation complète d'un régime se fait en onze à douze mois.

L'engrais apporté en janvier 1993 a une influence sur le taux d'avortement de l'inflorescence ouverte observée à cette date et la production de noix récoltées en janvier 1994 (tableaux 53 et 54).

Tableau 53: Variations du nombre de fleurs et de noix, et du taux de nouaison en fonction des différents traitements à Do Hoa

Traitement	Témoin	2 kg de P	4 kg de P
Nombre de fleurs	8,0± 1,0	14,0 ± 3,0 *	14,3 ± 2,1*
Nombre de noix	1,7 ± 0,6	4,3 ± 1,2 *	5,7 ± 1,2*
Taux de nouaison %	20,3 ± 5,7	30,3 ± 4,2 *	39,3 ± 7,6*

*= différence significative à 95% par rapport au témoin.

Tableau 52 : Développement d'une feuille et son inflorescence associée

Evolution			
	de la feuille	de la fleur	
phase juvénile	ébauche décelable de la 1 ^{ère} feuille	to	
	élongation de la 1 ^{ère} juvénile (émission d'une feuille par mois)	4 mois	ébauche décelable
élongation rapide		14 mois	différenciation spathe externe
		20 mois	différenciation spathe interne
	24 ^e feuille juvénile	24 mois	
		26 mois	fleurs ♂ et ♀
phase adulte	1 ^{ère} feuille ouverte	28 mois	
		37 mois	ouverture de l'inflorescence
	8 ^e feuille ouverte	42 mois	début de formation de l'endosperme
		49 mois	noix matures
	fructification		
	feuilles 22 à 30 ouvertes, les plus anciennes séchées	52 à 58 mois	

Tableau 54: Variations du nombre de fleurs et de noix, et du taux de nouaison en fonction des différents traitements à Long An.

Traitement	Témoin	2 kg de P	4 kg de P
Nombre de fleurs	8,0± 1,7	10,7 ± 1,5	13,3 ± 2,1*
Nombre de noix	3,0 ± 1,0	5,0 ± 1,0	7,0 ± 1,0*
Taux de nouaison %	36,7 ± 6,4	46,3 ± 3,2	52,7 ± 2,5*

*= différence significative à 95% par rapport au témoin .

D. Nombre de noix (annexe ILIII A,B,C et ILIVA,B,C)

Les figures 56, 57, 58, 59, 60, 61 donnent le nombre de noix par régime, au niveau des feuilles successives, observées à partir de janvier 1993, date à laquelle ont été apportés 2 et 4 kg de phosphate naturel.

Les noix récoltées en janvier 94 correspondent aux fécondations de janvier 93, mais on peut décompter aussi les noix plus jeunes, pour déterminer dans quels délais l'apport de phosphate naturel commence à faire effet sur le pourcentage de nouaison.

E. Poids du coprah (annexe ILVA et B)

Le tableau 55 et la figure 62 montrent les variations du poids de coprah de la noix dans les traitements après un an d'apport d'engrais phosphaté.

Tableau 55: Composantes des noix récoltées dans les traitements à Do Hoa et à Long An 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté. Résultats exprimés en grammes.

Sites	Traitements	PN	PND	PCq	P eau	PAF	P Coprah
Do Hoa	Témoin	1100	523	150	160	213	106
	2 kg de P	1627	873	210	340	323	138
	4 kg de P	1747	807	187	390	240	118
Long An	Témoin	1490	933	207	310	417	246
	2kg de P	1493	900	197	260	443	253
	4 kg de P	1517	1083	225	410	448	258

Avec:

PN: poids de la noix

P Coprah: poids du coprah

PND: poids de la noix débourrée

PAF: poids de l'albumen frais

PCq: poids de la coque

P eau: poids de l'eau de la noix

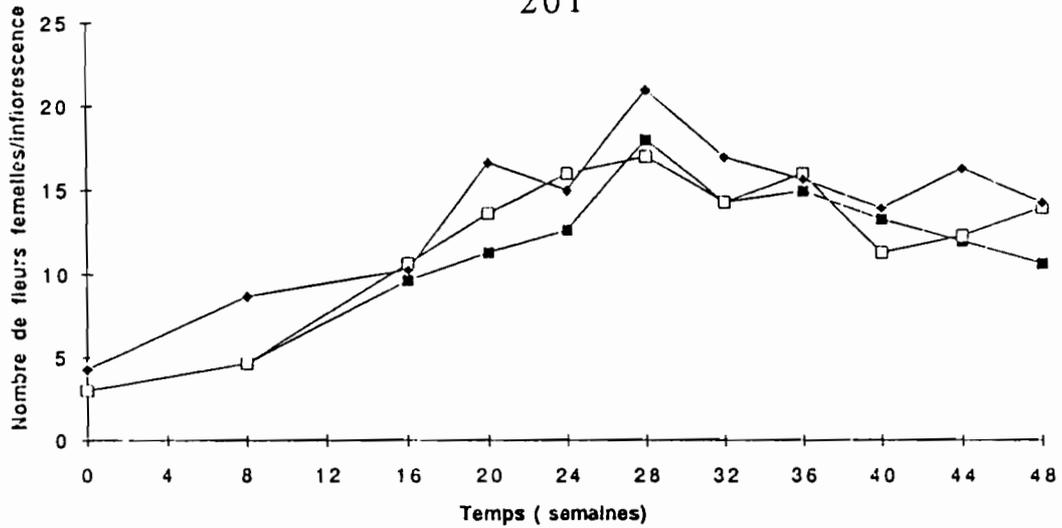


Figure 56 - Nombre de fleurs par cocotier en fonction de la quantité de phosphate à Do Hoa

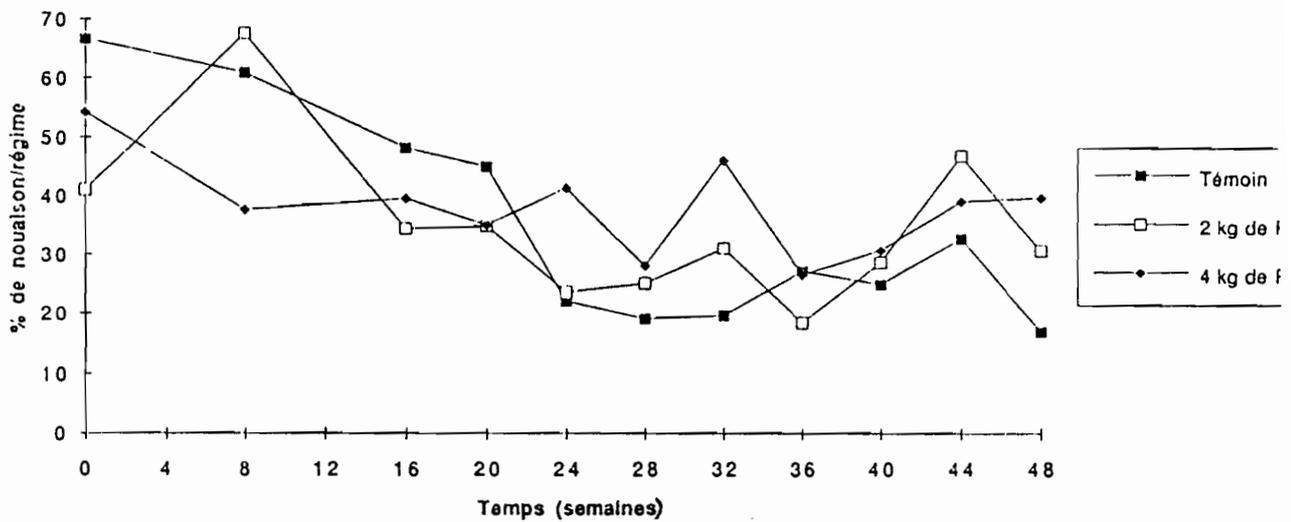


Figure 57 - Pourcentage de nouaison en fonction de la quantité de phosphate à Do Hoa

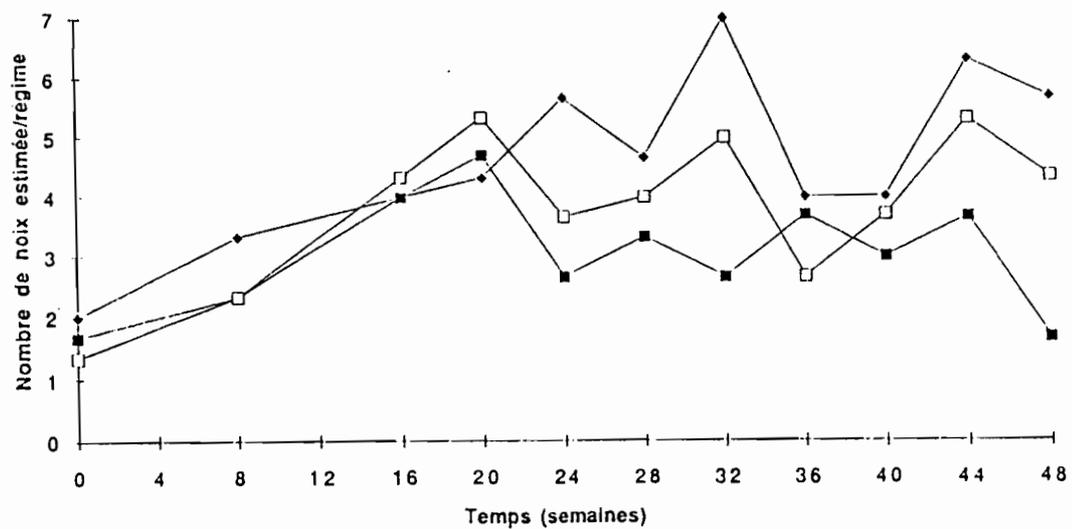


Figure 58- Nombre de noix en fonction de la quantité de phosphate à Do Hoa

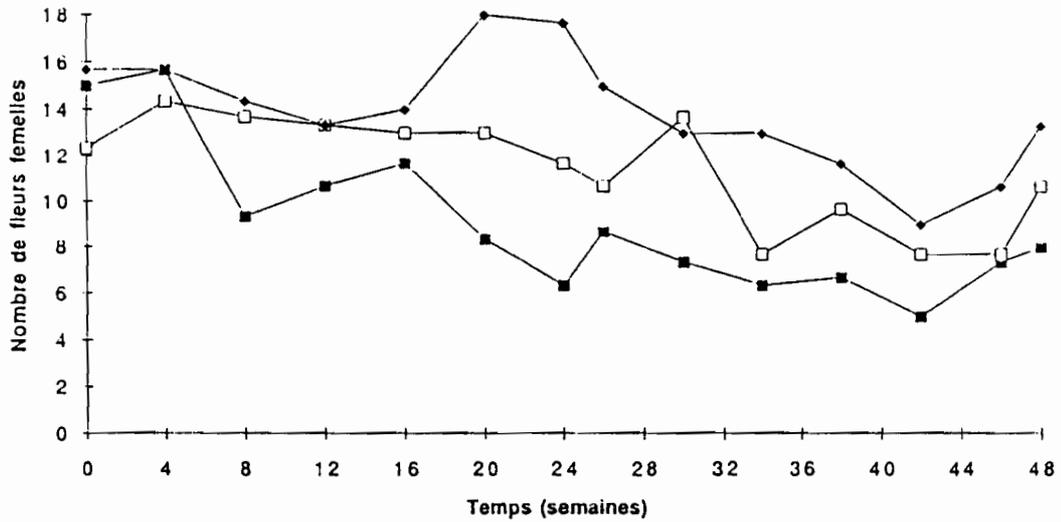


Figure 59 - Nombre de fleurs en fonction de la quantité de phosphate à Long An

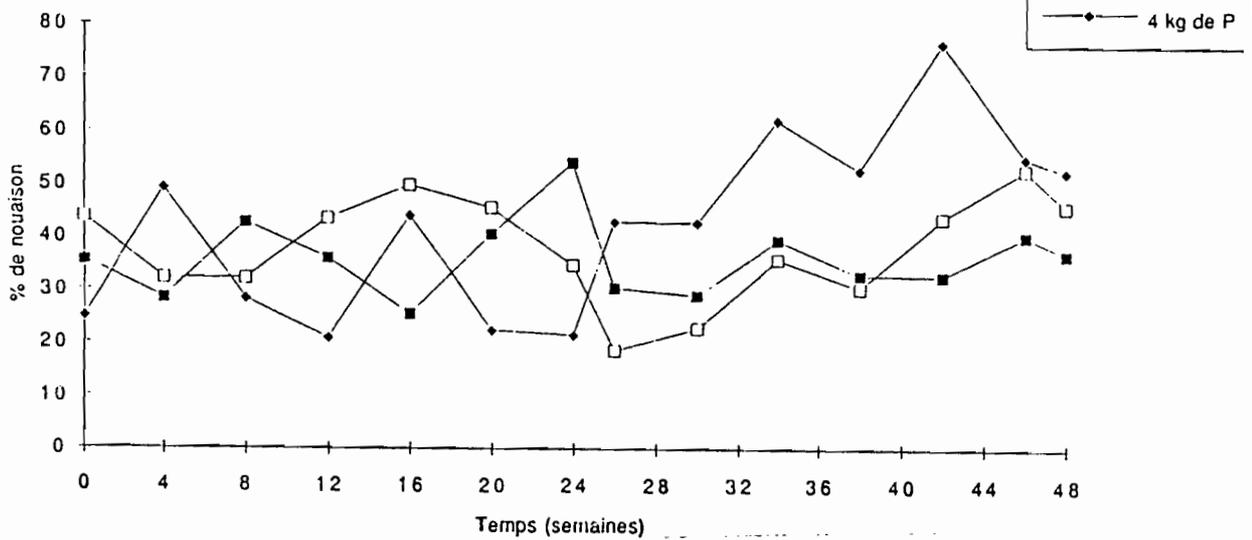


Figure 60 - Pourcentage de nouaison en fonction de la quantité de phosphate à Long An

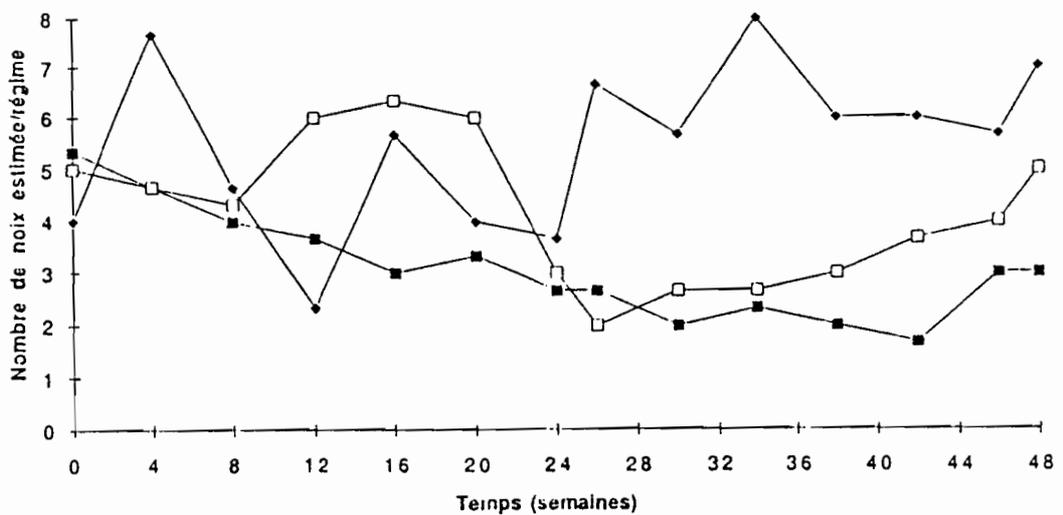


Figure 61 - Nombre de noix en fonction de la quantité de phosphate à Long An

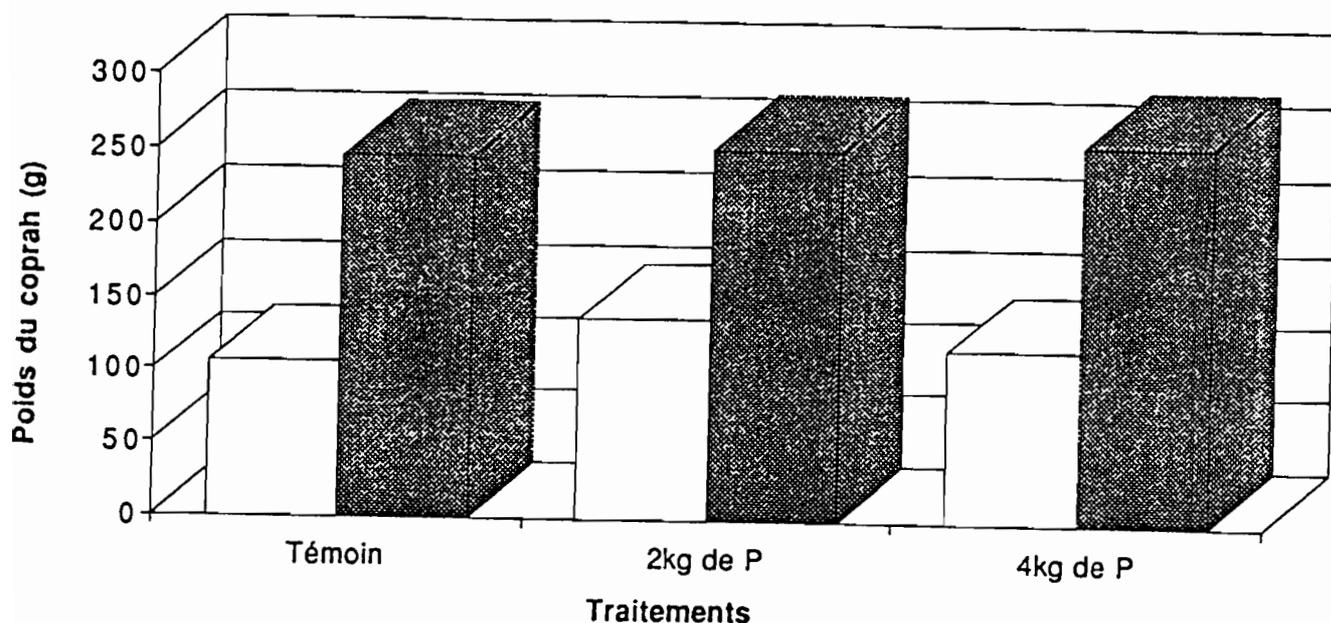
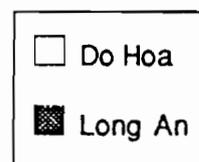


Figure 62 - Variations du poids de coprah en fonction de la quantité de phosphate



A Do Hoa, l'augmentation du coprah par noix est significative avec le traitement de 2 kg de phosphate naturel. Le traitement 4 kg n'apporte pas d'amélioration complémentaire.

Le traitement 2kg fait augmenter le nombre de noix de 2,6 par régime. Avec, sur cette zone, une production moyenne de 12 régimes par an et le poids du coprah de 32 g par noix, l'augmentation du coprah par cocotier peut être estimée à:

$$2,6 \text{ noix/régime} \times 12 \text{ régimes} \times 32 \text{ g/noix} = 998 \text{ g de coprah /cocotier/an.}$$

Cette estimation a simplement pour but de voir l'intérêt de l'apport d'engrais phosphaté. La production réelle par hectare doit faire l'objet d'observations sur des blocs expérimentaux pour avoir un chiffre représentatif.

Le traitement de 4kg ne présente pas d'augmentation par rapport au traitement 2kg.

A Long An, l'augmentation de la production de coprah n'est significative qu'avec 4kg de phosphate naturel. Avec 4 noix de plus par régime et 12g de coprah par noix, pour 13 régimes par an (moyenne à Long An) on peut estimer l'augmentation à:

$$4 \text{ noix/régime} \times 13 \text{ régimes} \times 12 \text{ g/noix} = 624 \text{ g de coprah/ cocotier/an}$$

La rentabilité de l'apport d'engrais phosphaté est donc à Long An le tiers de celle de Do Hoa.

4.2.2. LE MECANISME DE L'ABSORPTION DES ELEMENTS ENTRE NAPPE-SOL-PLANTE

Ce mécanisme est étudié à partir des mesures et analyses des sols, nappes, racines et feuilles du cocotier pour les différents traitements.

A. Effet du phosphate naturel sur le pH *in situ* du sol:

Pour les sols tropicaux sulfatés acides qui contiennent de la pyrite, il faut en outre mesurer le pH du sol sec pour savoir à quel type de sol on a à faire.

Pour les sols sulfatés acides actifs le pH du sol sec est très voisin du pH *in situ*, par contre pour les sols potentiellement sulfatés acides, l'assèchement provoque, par oxydation, la transformation de la pyrite en jarosite avec libération d'ions H⁺, donc acidification: le pH du sol sec sera donc nettement inférieur au pH *in situ*.

Le tableau 56 indique les différentes valeurs du pH *in situ* sur les 2 sites à différentes profondeurs au début de l'essai (To).

Tableau 56: pH *in situ* et pH du sol sec sur les deux sites au début de l'essai.

Sites	Profondeur(cm)	pH <i>in situ</i>	pH du sol sec(1:1)
Do Hoa	0-10	3,66	3,75
	25-35	3,31	3,84
	70-80	5,23	3,29
Long An	0-10	3,20	3,80
	25-35	3,32	4,09
	70-80	3,42	3,17

A Long An, il s'agit d'un sol sulfaté acide actif alors qu'à Do Hoa, l'horizon 70-80 correspond à un sol potentiellement sulfaté acide. Cependant, les horizons supérieurs de Do Hoa ont été oxydés et ils sont devenus sulfatés acides actifs comme l'ensemble du profil de Long An. L'analyse de l'évolution du pH avec l'apport du phosphate naturel se fait à partir du pH *in situ*.

La figure 63 montre la variation du pH *in situ* dans les traitements à Do Hoa et à Long An.

pH *in situ* à Do Hoa

Pour les horizons supérieurs, le pH *in situ* est très faible de l'ordre de 3,5 et l'évolution naturelle entre To et T12 se traduit par une augmentation d'un dixième de point de pH, augmentation qui peut s'expliquer par celle de la salinité liée au démarrage plus précoce de la saison sèche et à la pénétration du coin salé.

Planche XIII: Utilisation du phosphate naturel comme d'engrais phosphaté
(Photo Professeur LOUGUET, 1994)



Photo 1: Témoignage à Long An



Photo 2: Traitement avec 4kg à Long An

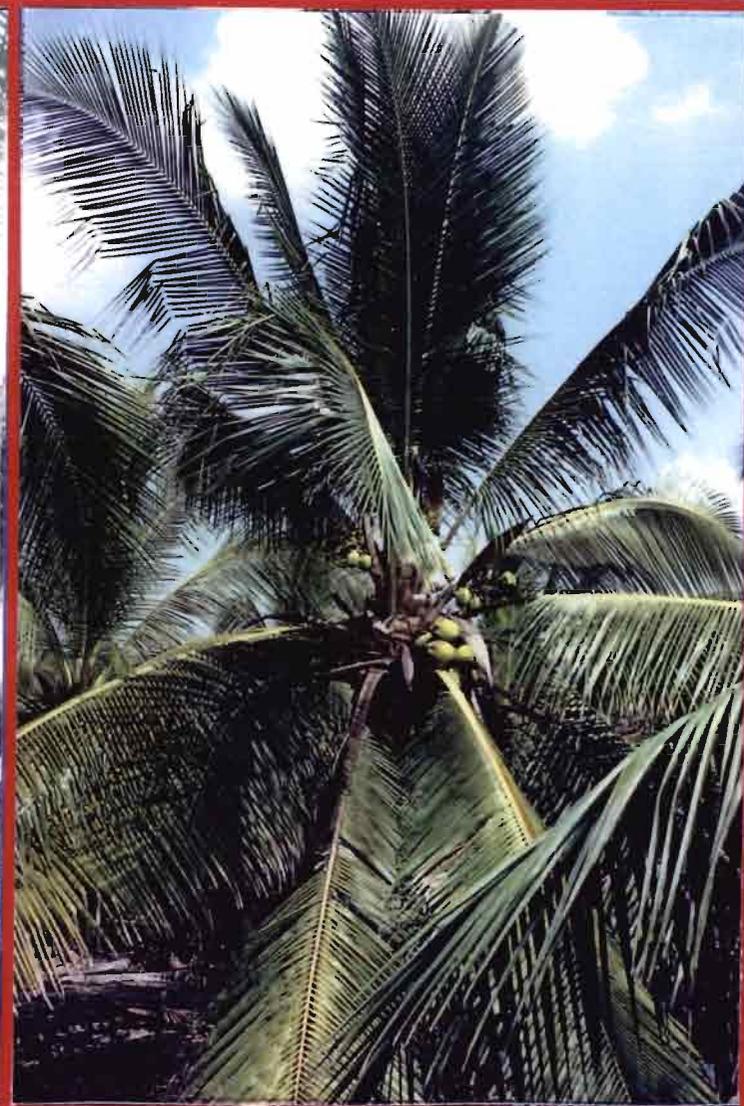
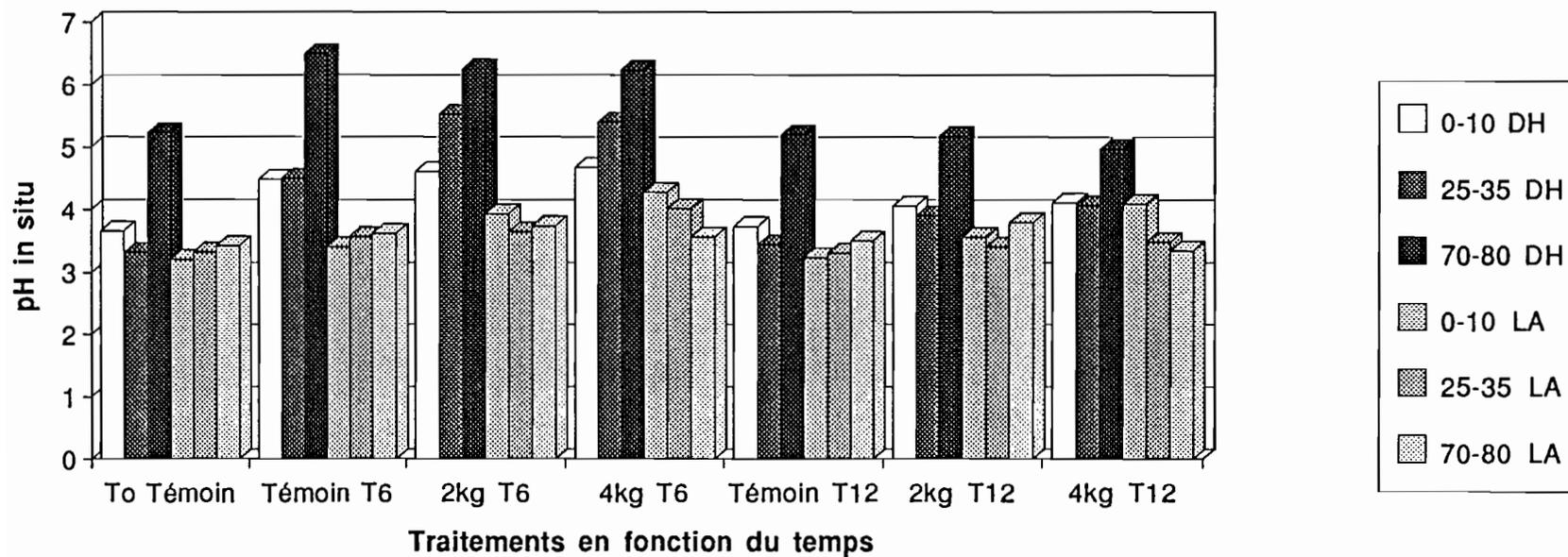


Photo 3: Traitement avec 2 kg à Do Hoa

Figure 63 - Variation du pH *in situ* en fonction de la quantité de phosphate



A T6, le pH augmente, ce qui peut expliquer par l'augmentation de la salinité liée à la fin de la saison sèche. L'apport de phosphate naturel contenant 40 % de CaO se traduit bien sûr par une augmentation du pH, plus important pour le traitement de 4 kg et augmentant de T6 à T12 du fait de l'action progressive du chaulage liée à la présence de CaO dans le minerai. L'apport de phosphate naturel n'a pas d'influence sur l'horizon 70-80 cm qui est toujours immergé dans la nappe.

pH *in situ* à Long An

C'est sur l'ensemble du profil y compris l'horizon 70-80 cm que le pH est faible ce qui s'explique par une nappe plus profonde qu'à Do Hoa.

L'évolution naturelle du pH entre To, T6 et T12 fait apparaître une légère remontée du pH au temps T6, ce qui s'explique par la dilution de l'acidité avec la saison des pluies. Comme à Do Hoa, l'apport de phosphate naturel se traduit par un relèvement des valeurs du pH dans les horizons supérieurs.

Il n'y a pas d'influence sur l'horizon inférieur, même 12 mois après l'application du phosphate naturel, ce qui traduit une faible vitesse de migration du calcium dans le sol.

En conclusion:

*Ces résultats montrent l'influence positive de l'application du phosphate naturel de Lao Cai 1 sur le pH *in situ* pour les horizons supérieurs 0-10 cm et 25-35 cm de Do Hoa et de Long An, horizons exploités par les racines fines du cocotier.*

B. L'effet sur l'échange des ions dans le système nappe-sol- plante

a. Dans la nappe

Le tableau 57 montre les variations de la nappe en fonction du temps et des traitements sur les deux sites de Do Hoa et Long An.

Tableau 57: Variation de la composition chimique de la nappe à Do Hoa dans les traitements en fonction du temps. Résultats exprimés en meq/l pour les ions solubles, en mS/cm pour EC.

Temps	Traitements	pH	EC	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO4
		D	O	H	O	A			
To	Au début	3,0	21,9	13,7	51,2	4,6	171	197	45,1
T6	Témoin	6,7	23,3	11,3	46,5	4,3	181	216	17,4
	2kg de P	4,5	24,6	11,8	52,9	0,2	187	199	25,7
	4 kg de P	3,2	26,8	14,7	62,0	0,2	211	237	36,9
T12	Témoin	3,2	19,7	9,5	41,9	1,6	169	198	20,9
	2kg de P	3,2	23,1	11,9	50,9	4,9	204	243	26,2
	4 kg de P	3,8	22,5	11,4	49,0	4,1	191	230	22,8

		L	O	N	G	A	N		
To	Au début	3,2	2,9	1,4	4,9	0,3	16,1	19,9	3,3
T6	Témoin	4,3	3,9	2,0	6,6	1,3	26,5	33,8	3,7
	2kg de P	3,6	3,0	1,9	5,5	0,8	19,6	23,8	2,4
	4 kg de P	3,7	2,7	1,5	4,5	0,8	16,5	19,6	3,0
T12	Témoin	3,2	1,3	0,7	2,3	0,3	7,4	11,1	6,1
	2kg de P	3,2	1,3	0,9	2,4	0,2	7,3	10,4	1,4
	4 kg de P	3,2	1,3	0,9	2,5	0,3	7,7	12,0	6,4

La nappe étant soumise à d'autres influences, il n'est pas possible de tirer des conclusions sur les variations en fonction du temps et du traitement sur les deux sites.

b. Dans le sol (annexe ILVI)

Pour le phosphore (figure 64 A et B)

A Do Hoa, la détermination de P total dans le sol montre que l'apport de phosphore sous la forme de phosphate naturel apporte un enrichissement en phosphore de la strate supérieure 0-10 cm de 135% pour 2 kg et de 192% pour 4 kg par plante.

A Long An, l'apport de phosphate naturel se traduit 12 mois après l'application par une augmentation du P total contenu dans l'horizon 0-10 cm, faible pour le traitement 2kg (plus 8%), plus important pour 4 kg (plus 94%). Il n'existe pas de variation sur les strates profondes de 25-35 cm et 70-80 cm pour les deux sites.

Ces résultats s'expliquent par la fixation immédiate du phosphore dans l'horizon d'application par les sesquioxydes de fer et d'aluminium.

Pour le calcium

Le tableau 58 récapitule les variations des teneurs en calcium soluble et échangeable pour les différents traitements en fonction du temps.

Calcium soluble

A Do Hoa:

- le témoin montre une augmentation de la teneur en calcium avec la profondeur, aux temps To, T6, T12. On peut considérer que cette évolution est le fait du lessivage naturel du calcium.

- les traitements 2 et 4kg :

- * en T6, sur les horizons 0-10 cm et 25-35 cm, se traduisent normalement par une augmentation de la teneur en Ca.

- * en T12, la teneur en calcium augmente avec les traitements seulement dans l'horizon 70-80 cm. Ce phénomène peut être expliqué par le lessivage après 6 mois de saison des pluies.

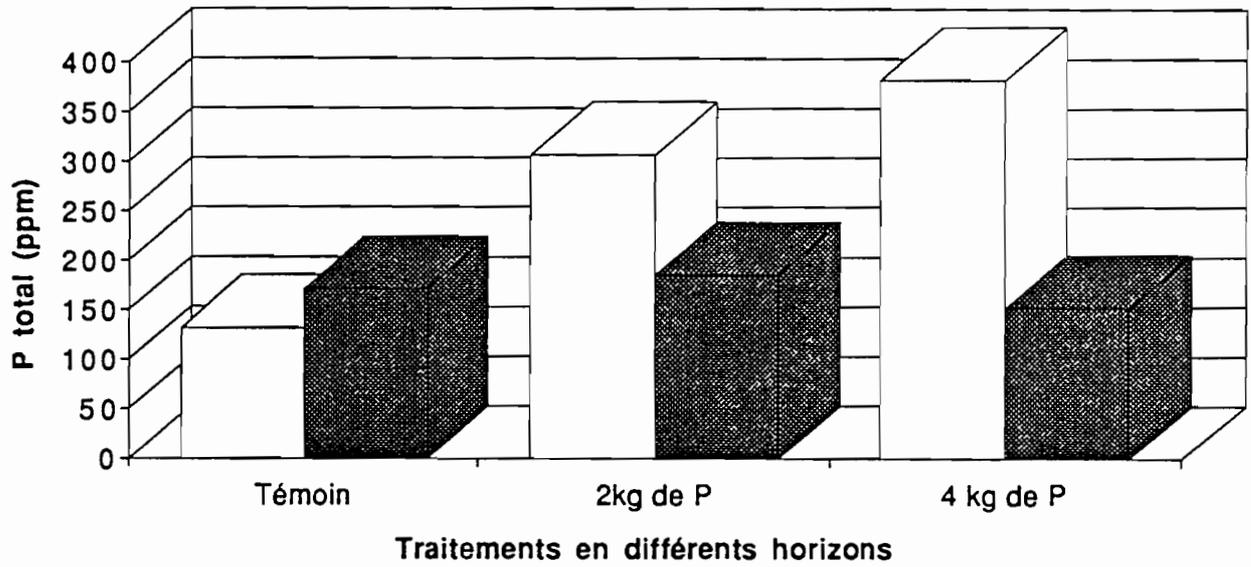


Figure 64 A: Variation du phosphate dans les sols 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel à Do Hoa

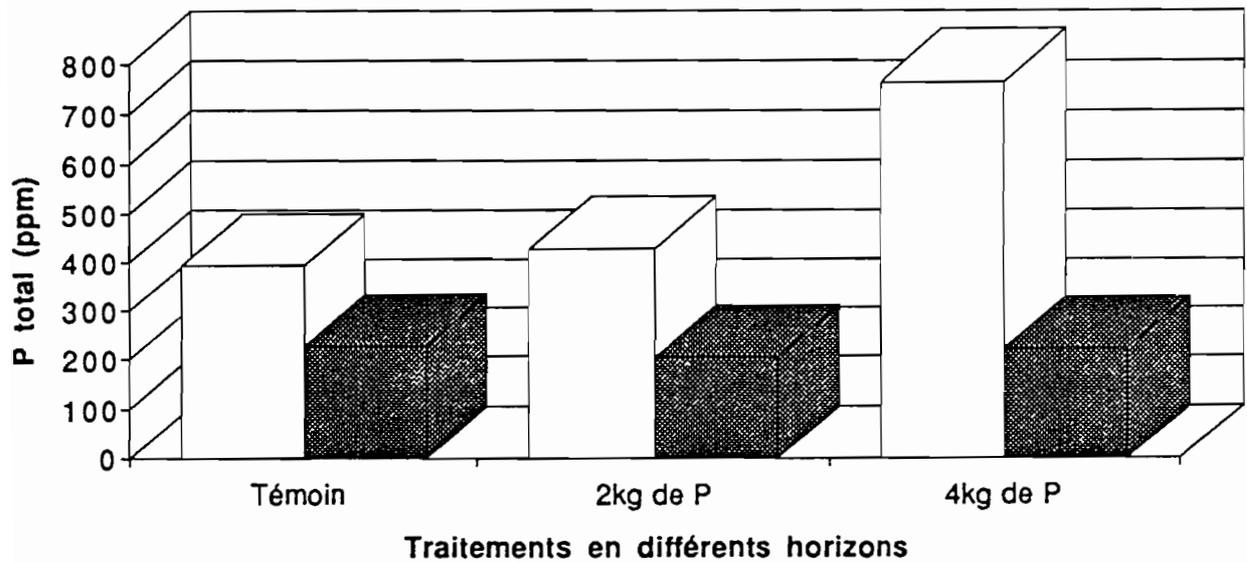
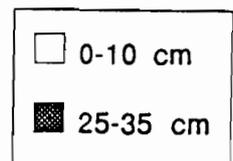


Figure 64 B: Variation du phosphate dans les sols 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel à Long An



A Long An:

- le témoin à To présente comme à Do Hoa une accumulation de calcium en profondeur. A T6 et T12, la teneur de l'horizon 70-80 cm est très sensiblement appauvrie.

- traitements 2 et 4 kg:

* en T6 par rapport au témoin, seul l'horizon 70-80 cm est enrichi et comme pour Do Hoa, cet enrichissement est supérieur avec le traitement 2kg.

* en T12, on ne trouve pas d'augmentation de la teneur en calcium soluble dans les traitements, ni en surface, ni en profondeur.

Tableau 58 : Variations des teneurs en Ca soluble et échangeable avec les traitements en fonction du temps.

			DO	HOA	LONG	AN
Temps	Traitements	Horizons (cm)	Ca solub.	Ca éch.	Ca solub.	Ca éch.
To	Au début	0-10	0,48	-	0,1	-
		25-35	0,35	-	0,08	-
		70-80	2,28	-	2,65	-
T6	Témoin	0-10	0,23	-	0,09	-
		25-35	0,31	-	0,16	-
		70-80	2,95	-	0,36	-
	2 kg de P	0-10	0,4	-	0,08	-
		25-35	0,37	-	0,09	-
		70-80	4,10	-	1,27	-
	4 kg de P	0-10	0,69	-	0,28	-
		25-35	0,51	-	0,08	-
		70-80	3,15	-	1,02	-
T12	Témoin	0-10	0,16	3,45	0,08	0,55
		25-35	0,19	3,01	0,04	0,79
		70-80	2,45	5,27	0,82	1,33
	2 kg de P	0-10	0,13	4,26	0,07	0,89
		25-35	1,79	9,97	0,05	1,27
		70-80	3,39	3,9	0,71	2,69
	4 kg de P	0-10	0,17	4,27	0,08	0,93
		25-35	0,32	2,84	0,05	0,98
		70-80	3,15	3,35	0,23	1,41

Calcium échangeable

A Do Hoa, après 12 mois, les traitements 2 kg et 4 kg entraînent la même augmentation de la teneur en calcium échangeable de l'horizon 0-10 cm (+23%).

Les mêmes résultats sont obtenus à Long An où après 12 mois la teneur en calcium échangeable augmente de plus de 60 % pour les deux traitements.

c. Dans les racines

Les résultats sont donnés après 12 mois d'observations (tableaux 59 A et 59B).

*Pour le phosphore**A Do Hoa :*

- pour le témoin: il n'y a pratiquement pas de variation en surface, alors que la teneur en phosphore des racines profondes est augmenté de 56%.

- les traitements 2 et 4 kg entraînent une augmentation sensible de la teneur en phosphore dans l'horizon 70-85 cm (+14%); cette situation peut s'expliquer par la capacité de stockage des racines profondes, les racines superficielles ayant essentiellement un rôle absorbant.(Il faut rappeler que la teneur en phosphore des sols de Do Hoa augmente seulement dans l'horizon superficiel 0-10 cm).

A Long An:

C'est au contraire sur les racines superficielles 0-15 cm que l'augmentation de la teneur en phosphore est la plus sensible (plus de 38% pour 2 kg, plus de 40% pour 4 kg).

Pour le calcium

A Do Hoa, pour les deux traitements, un an après l'application, il apparaît une augmentation de la teneur en calcium pour les horizons 0-15cm et 25-40 cm alors qu'en profondeur, il y a réduction.

A Long An, seul le traitement 4 kg est effectif.

Tableau 59 A: Analyses des racines dans les traitements à Do Hoa 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel

Traitement	Profondeur	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	Fe	Mn	Al
Do Hoa	cm	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm
Témoin	0_10	0,296	0,022	0,457	0,047	0,134	0,714	1,450	0,160	1416,9	4,8	1961,4
	25_35	0,316	0,024	0,383	0,055	0,203	0,859	1,628	0,270	5057,8	9,0	4664,4
	70_80	0,462	0,036	0,625	0,181	0,408	0,962	2,852	2,460	10545,6	35,0	12745,9
2kg de P	0_10	0,295	0,024	0,498	0,052	0,168	0,872	1,698	0,138	1410,6	7,7	2642,0
	25_35	0,311	0,025	0,377	0,063	0,234	1,149	2,075	0,247	5450,1	10,6	5078,4
	70_80	0,417	0,041	0,576	0,115	0,490	1,294	4,196	0,595	7181,1	24,9	12870,3
4Kg de P	0_10	0,398	0,03	0,457	0,073	0,194	0,927	1,664	0,165	1633,4	12,0	4067,4
	25_35	0,332	0,023	0,318	0,058	0,190	0,905	1,550	0,166	1654,2	9,4	3940,2
	70_80	0,471	0,041	0,591	0,139	0,561	1,178		0,764	6750,4	41,0	13766,3

Tableau 59B: Analyses des racines dans les traitements à Long An 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel

Traitement	Profondeur (cm)	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	Na%	Cl%	S%	Fe ppm	Mn ppm	Al ppm
Témoin	0-10	0,382	0,028	0,401	0,031	0,069	0,26	0,659	0,118	703,1	3,25	1145,1
	25-35	0,308	0,024	0,398	0,037	0,085	0,379	0,749	0,193	759	4,7	1252,1
	70-80	0,375	0,034	0,332	0,054	0,152	0,476	1,066	0,229	903,5	3,4	2422,9
2 kg de P	0-10	0,452	0,036	0,552	0,04	0,084	0,311	0,772	0,144	1173,1	9,5	1386,5
	25-35	0,298	0,019	0,199	0,034	0,076	0,384	0,788	0,114	814,05	3,7	1308,2
	70-80	0,504	0,032	0,263	0,066	0,243	0,357	1,257	0,324	1119,9	3,5	2404,4
4kg de P	0-10	0,55	0,045	0,502	0,14	0,103	0,243	0,626	0,139	1272,5	24,2	1374,3
	25-35	0,408	0,03	0,433	0,045	0,094	0,393	0,845	0,15	919,95	9,15	1357,2
	70-80	0,595	0,039	0,276	0,083	0,145	0,258	0,857	0,264	1406,9	11,7	2533

d. Dans les feuilles (tableau 60)

Le diagnostic foliaire est réalisé sur les échantillons de la feuille 14 recueillis au début de l'essai et après 12 mois d'apport d'engrais phosphaté.

A Do Hoa, l'évolution naturelle du *témoin* après 12 mois, donc dans des conditions climatiques analogues, se traduit par une légère augmentation des cations basiques K-Ca Mg- Na alors que azote et phosphore sont plutôt en réduction.

Avec les apports de phosphates naturels de 2kg et 4kg, on obtient essentiellement une augmentation de la teneur en P, Ca ce qui est parfaitement justifié par la composition du minerai de Lao Cai 1. La teneur en sodium subit une réduction plus importante avec le traitement 4kg comme c'est le cas pour l'aluminium.

Long An apparaît comme un site moins riche en calcium que Do Hoa. Par contre, pour P, K, Na, Cl, Fe et Al, les teneurs des feuilles de Long An sont supérieures à celles des feuilles de Do Hoa.

L'évolution naturelle du *témoin* se traduit par une baisse de la teneur en N et en K, Ca, Na, Cl, Fe, Mn et Al alors que P, Mg et S augmentent.

L'apport de phosphate naturel entraîne une augmentation de N,P,Ca, Mg, Fe et Mn pour 2 kg et 4 kg. Il y a une réduction de K comme à Do Hoa, ainsi que de Na et Cl.

L'augmentation de la teneur en azote est corrélée avec le nombre de noix et la production de coprah par cocotier sur ce site dans le traitement à 4 kg, ce qui correspond aux résultats trouvés par MAGAT et al., 1989.

Pour le phosphore (figure 65)

A Do Hoa, l'apport de phosphate se traduit par une augmentation de la teneur en phosphore des feuilles du même ordre de grandeur pour les traitements 2 et 4 kg.

A Long An, l'augmentation pour le traitement 2 kg n'est pas différente de l'évolution naturelle du témoin; par contre avec le traitement 4 kg il y a une augmentation de plus de 9% de la teneur en phosphore.

Pour le calcium: (figure 66)

Le calcium, qui a été apporté par le phosphate naturel (40% de CaO), se retrouve aux différents niveaux:

A Do Hoa, les augmentations sont respectivement de 28% pour 2kg et 33% pour 4 kg; en outre, on constate que la teneur en Ca des feuilles du témoin n'a pas évolué en 12 mois.

A Long An, les feuilles se montrent plus sensibles, avec une augmentation de la teneur en Ca de 39% pour 2 kg et 52% pour 4 kg.

Avec l'augmentation de la teneur en calcium des feuilles, il est normal de constater une baisse de la teneur en sodium.

On peut en conclure que les résultats sur les feuilles sont plus homogènes que dans les sols et les racines ce qui justifie la technique du diagnostic foliaire.

Tableau 60 : Analyses foliaires suivant les traitements avant et 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel

Sites		N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	Fe	Mn	Al
		%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm
DO HOA	Niveau critique	1,8	0,12	0,8	0,5	0,3	0,1	0,55	0,15	40	100	6 à127
	Traitements											
	Témoin To	1,8	0,103	1,14	0,122	0,3	0,17	0,9	0,24	305	134	81
	Témoin T12	1,765	0,1015	1,309	0,1235	0,327	0,219	0,875	0,29	326,8	112,8	85,9
	2KG T12	1,9635	0,11	0,9925	0,158	0,4355	0,203	0,6445	0,332	275	153,2	73,65
	4KG T12	1,8565	0,1075	0,883	0,1645	0,415	0,193	0,665	0,241	361,5	102,55	59
LONG AN	Traitements											
	Témoin To	1,625	0,1165	1,545	0,1035	0,29	0,3415	1	0,248	478	123	116
	Témoin T12	1,559	0,118	1,147	0,08	0,3105	0,334	0,8055	0,2555	193,15	107,95	110,8
	2KG T12	1,7875	0,1175	1,0615	0,1115	0,308	0,2905	0,734	0,2735	286,7	121,2	109,4
	4KG T12	1,8335	0,1265	1,098	0,1225	0,3535	0,255	0,7645	0,2615	329,2	138,6	114,75

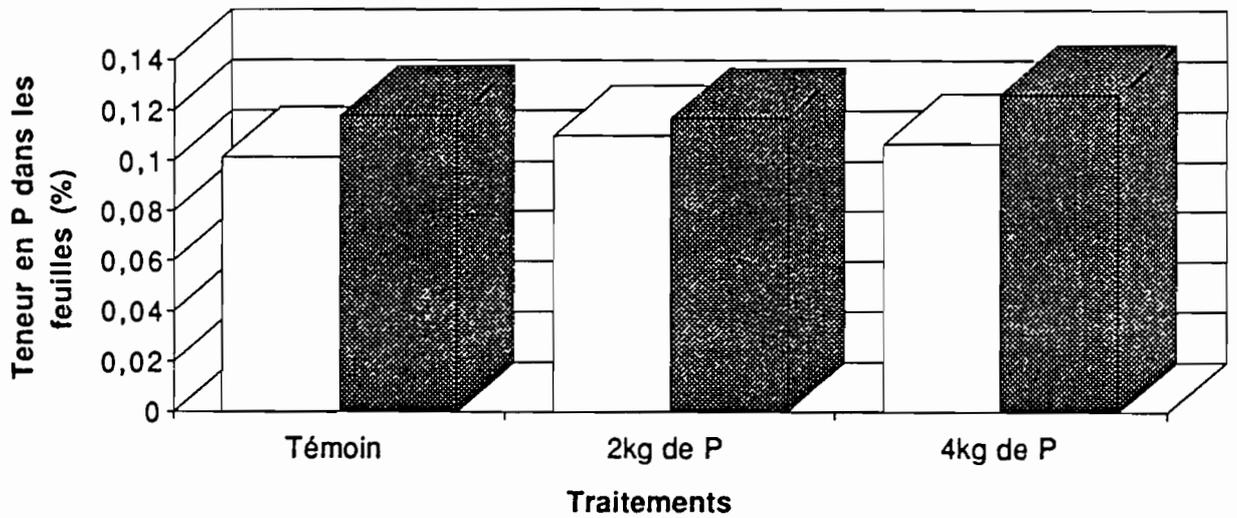


Figure 65 - Variation de la teneur en phosphore dans les feuilles 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel à Do Hoa et à Long An

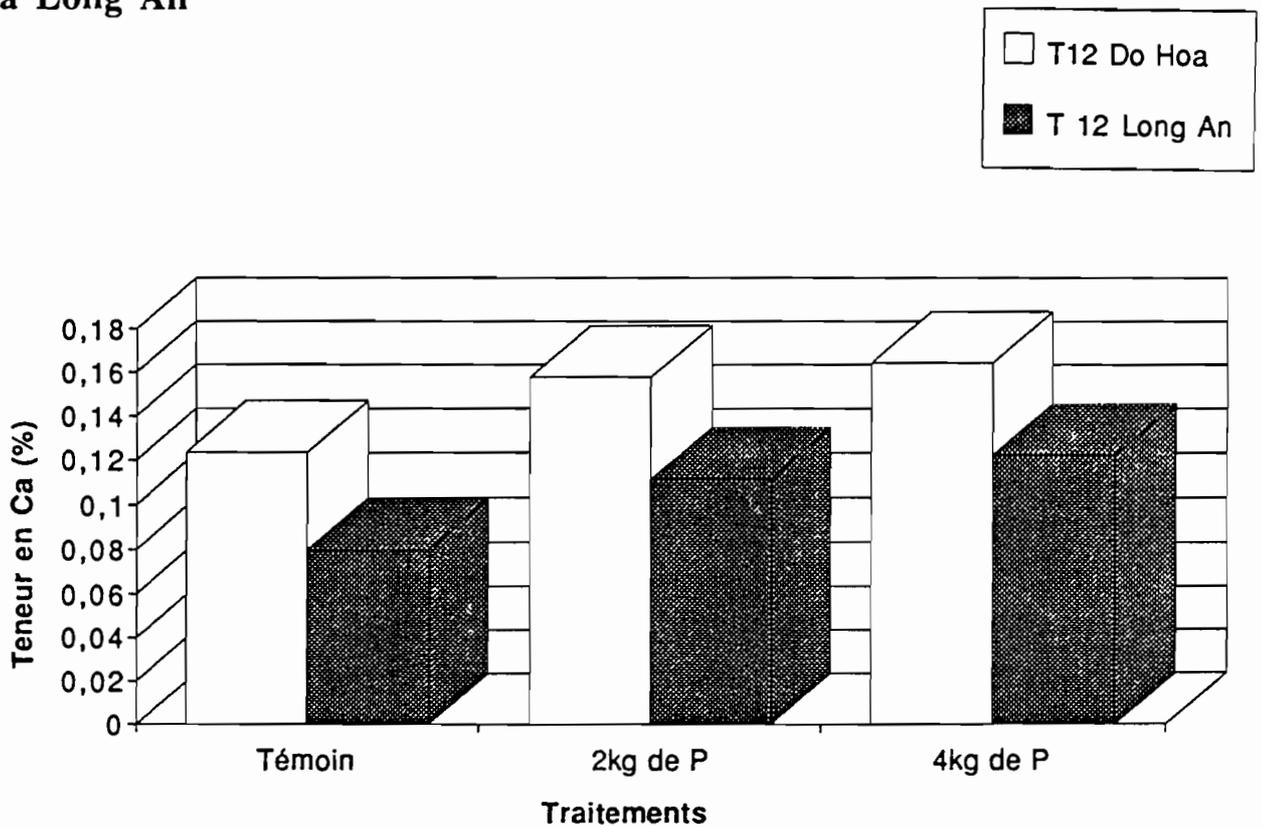


Figure 66 - Variation de la teneur en calcium dans les feuilles 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel à Do Hoa et à Long An

Discussion et conclusion

Lorsque l'on apporte des engrais phosphatés solubles dans l'eau, une faible partie de phosphore demeure comme ions phosphatés solubles dans la solution du sol. Les ions phosphatés sont rapidement adsorbés sur les surfaces des particules de sol et précipités sous forme de phosphate de calcium, fer et aluminium. Les réactions qui interviennent varient selon le type d'argile présent dans le sol et le pH de ce dernier. Une partie de P adsorbé peut cependant demeurer disponible pour être absorbé par les racines des plantes (BARBER, 1977). Le pH influence les formes de phosphore présentes dans les sols (LEYMONIE et al., 1986). Si dans les sols neutres ou alcalins, les phosphates apportés par les fertilisants tendent à précipiter sous forme d'hydroxyapatite ou fluoroapatite, dans les sols acides, les formes sont principalement associées à l'aluminium et au fer (KHANSAWNEH et DOLL, 1980). L'efficacité agronomique des phosphates naturels est maximum dans les sols acides (PEASLEE et al., 1962). Les résultats obtenus dans notre étude confirment cette efficacité.

Après 12 mois, l'apport de l'engrais phosphaté montre une augmentation du nombre de fleurs, une amélioration du taux de nouaison et une augmentation du poids du coprah par noix dans les cocotiers traités. Mais les délais de différenciation des fleurs étant de deux ans, les observations doivent être poursuivies pour obtenir des résultats significatifs à long terme. Un autre point remarquable dans cette étude est la mise en évidence de l'augmentation du poids de racines en surface et de la teneur en phosphore et en calcium dans les feuilles, qui sont des composantes de l'amélioration du rendement.

Planche XIV: Résultats du traitement d'engrais phosphaté sur les noix



Photo 1: à Do Hoa



Photo 2: à Long An

Essai d'amendement
LONG AN

ESSAIS D'INCUBATION SUR SOLS SULFATES ACIDES ET SOLS SULFATES ACIDES SALES

L'étude de l'effet du phosphate naturel sur les sites de Do Hoa et de Long An a montré que cet apport induisait trois effets:

* sur la nutrition foliaire:

- amélioration de la nutrition phosphatée et calcique du cocotier.
- atténuation de la teneur en aluminium en particulier à Long An.

* sur les sols:

- amélioration des caractéristiques chimiques des sols (pH, Ca ,P).

L'essai d'incubation a pour objet l'étude de la réaction de différentes formes d'engrais phosphatés sur les sols et la détermination des mécanismes d'échange des ions selon le type de solubilité du phosphore.

5.1.MATERIELS ET METHODES

1.Les sols

Deux types de sols ont été utilisés pour cet essai:

-Sols sulfatés acides: l'échantillon est prélevé sur un sol non cultivé à côté du canal Bo Bo dans la plaine des Joncs (province de Long An) sur l'horizon de 0-20 cm.

-Sols potentiellement sulfatés acides et salés: l'échantillon a été prélevé dans les mêmes conditions à Do Hoa, dans la mangrove de la zone côtière de la rivière de Saigon sur l'horizon de 0- 20 cm. Les échantillons ont été séchés à l'air, broyés, tamisés à 2mm et bien mélangés.

2. Les engrais phosphatés:

Les engrais phosphatés utilisés ont les caractéristiques suivantes:

- Engrais E: est un engrais fabriqué avec 20,8% de phosphate naturel d'Algérie (DJEBEL ONK) enrichi avec 12,2% de MAP et 23,9% d'urée. Il contient en outre 33,6% de carbonate de calcium et 9% de dolomie qui apporte du magnésium.

- Engrais M: est du phosphate de Lao Cai 2 avec attaque partielle à 60% de H₂SO₄

- Superphosphate Long Thanh 1 (SSP LT1): est un engrais fabriqué à partir du Lao Cai 1, par attaque totale avec H₂SO₄ qui contient 17,68% de P₂O₅, 22,77% de CaO et 0,38% de MgO.

Les quantités d'engrais phosphatés mises en oeuvre correspondent à un apport de 100 ppm de P (20 mg de P dans 200 g de sol) compte tenu de la composition des engrais dans le tableau 61.

Tableau 61: Composition des engrais utilisés dans l'essai d'incubation

Type d'engrais	P2O5 %	CaO %	MgO %	Fe2O3	Al2O3	S	Quantité utilisée (mg/200 g)
Engrais E	13	33	2,6			-	352,36
Engrais M	14,56	22	2,5			6,0	314,56
Engrais SSP	17,68	22,77	0,38		-	11,90	259,06
Lao Cai 2	25,6	39,5	5,21	1,50	1,48	0,14	176,22

(Source: Réunion de synthèse du projet phosphate du Viet Nam, 1991).

D'autre part, deux traitements ont été réalisés avec un apport de calcium seul pour pouvoir différencier les effets du phosphore par rapport à ceux du calcium, certains des engrais utilisés contenant du calcium. La calcite brute provient de la mine de Ha Tien.

Calcite brute	40% de Ca	160 mg
Calcite brute	40% de Ca	300 mg

Compte tenu de la composition des engrais les apports en ppm des différents éléments sont résumés dans le tableau 62.

Tableau 62: Apports en ppm des différents éléments par les engrais phosphatés.

Quantité des éléments apportés en ppm	Engrais E	Engrais M	Engrais LT1	Engrais LC2 meq/100	Calcite brute 160 mg	Calcite brute 300 mg
P	100	100	100	100	-	-
Ca	415	247	211	248	320	600
Mg	28	24	3	5	-	-
Fe	-	-	-	1,8	-	-
Al	-	-	-	5,0	-	-
S	-	94	154	1,2	-	-

3. Méthodes:

7 traitements sont effectués:

1. Témoin, sans engrais.
2. Engrais E
3. Engrais M
4. Super phosphate de Long Thanh 1 (SSP LT1)
5. Lao Cai 2 (LC2)
6. Calcite brute de 160 mg (Cal 160)
7. Calcite brute de 300 mg (Cal 300)

Chaque traitement comprend 3 répétitions.

Les échantillons sont contenus dans des béchers de verre de 600 ml fermés avec des couvercles de plastique pour éviter l'évaporation.

A chaque échantillon a été ajouté de l'eau distillée tous les deux jours pour obtenir 66% de l'humidité de la capacité maximum de rétention du sol (CMR) définie par la méthode suivante:

Peser 100 gr de sol sec tamisé à 2mm. et les mettre dans un entonnoir de verre sur un papier filtre mouillé à l'eau distillée. On verse ensuite 100ml d'eau distillée sur ce sol et on récupère le filtrat dans un bécher sous l'entonnoir. La quantité d'eau récupérée soustraite de 100 g sol donne la capacité maximum de rétention du sol (CMR %).

Les échantillons de chaque traitement ont été prélevés pour effectuer les analyses un mois et trois mois après le mélange.

Les analyses ont été réalisées au CIRAD à Montpellier qui comprennent les bases échangeables : les teneurs en Ca , Mg , K , Na , Mn , Al , Fe, H. Puis on détermine la somme des cations et la capacité d'échange. Enfin, les analyses du P Olsen et les mesures du pH eau, pH KCl ont été réalisées

Toutes les données ont été calculées statistiquement avec le logiciel STATVIEW.

5.2.RESULTATS (annexes ILVII, ILVIII, ILIX)

L'examen critique des résultats est conduit de la façon suivante:

- évolution du témoin avec le temps.
- effet de l'engrais et son évolution avec le temps.

5.2.1.Sur sols sulfatés acides salés Do Hoa

Evolution naturelle du témoin

Les résultats d'analyse exprimés en meq/100g sol sec dans le tableau 63 permettent les observations suivantes:

Après un mois, on peut noter que :

- Le pH de ce sol est nettement acide (pH=5) avec une quantité d'H⁺ assez faible (0,08).
- La somme des cations est élevée (30,9 meq/100g) avec Ca, Mg, K et Na qui représentent l'essentiel (99,6%), Mg et Na étant particulièrement importants : 35% pour Mg et 49% pour Na ce qui s'explique par le fait que le sol est dominé par l'effet de la marée.
- La capacité d'échange (C.E.C = 22,9 meq/100 g) est nettement inférieure à la somme des cations ce qui prouve que des cations solubles ont été comptabilisés: il s'agit probablement des ions Na⁺ en forte concentration et plus mobiles que Mg⁺⁺.

Tableau 63 : Evolution des caractères chimiques dans l'essai d'incubation après un mois et trois mois sur deux types de sols
 Résultats exprimés en meq/100g

Eléments	Temps	Témoïn		Engrais E		Engrais M		Engrais SSP		Lao Cai 2		Calcite brute 160		Calcite brute 300	
		Do Hoa	Long An	Do Hoa	Long An	Do Hoa	Long An	Do Hoa	Long An	Do Hoa	Long An	Do Hoa	Long An	Do Hoa	Long An
Ca	1 mois	2,96	0,253	4,18*	1,92*	4,31*	1,91*	4,06*	1,37*	3,82*	0,57	5,49*	3,02*	8,117*	5,637*
	3 mois	3,15	0,35	4,96*	1,67*	4,07*	1,15*	4,26*	1,37*	3,36*	0,65	5,71*	2,78*	7,676*	4,61*
Mg	1 mois	10,94	0,48	11,30*	0,71*	11,62*	0,84*	11,2	0,48	11,45*	0,53	11,1	0,53	11,017	0,583*
	3 mois	11,93	0,7	11,85	0,84*	12,08	1,01*	11,85	0,72	11,57*	0,69	11,49*	0,7	11,26*	0,68
K	1 mois	1,75	0,103	1,77	0,13	1,79	0,097	1,73	0,067	1,76	0,06*	1,76	0,06*	1,763	0,037*
	3 mois	2,51	0,506	1,97*	0,51	2,03*	0,5	2,3	0,5	1,92*	0,36*	1,98*	0,49	1,83*	0,47
Na	1 mois	15,23	0,22	15,63*	0,213*	15,77*	0,227	15,59	0,217	15,87*	0,223	15,32	0,223	15,79*	0,22
	3 mois	15,64	0,346	15,55	0,35	15,55	0,32	15,36	0,37	15,15*	0,31	15,38	0,33	14,966*	0,326
Mn	1 mois	0,03	0,01	0,01*	0,01	0,05*	0,023*	0,05*	0,02	0,05*	0,027	0,01*	0,01	0,01*	0,01
	3 mois	0,053	0,01	0,03*	0,01	0,053	0,02*	0,063*	0,02*	0,05	0,03*	0,02*	0,01	0,006*	0,01
Fe	1 mois														
	3 mois	0	0,026	0	0,013*	0	0,03	0	0,03	0	0,026	0	0,02	0	0,01*
Al	1 mois	0	6,26	0	4,11*	0	5,93	0	5,89	0	5,88	0	4,31*	0	2,683*
	3 mois	0,023	7,28	0,01	5,003*	0,043	7,203	0,05*	7,083	0,043	7,253	0,006	5,396	0	3,97*
H	1 mois	0,077	0,257	0,02*	0,187*	0,067	0,28*	0,08	0,297*	0,067	0,273*	0,023*	0,2*	0,01	0,133*
	3 mois	0,02	0,213	0,016	0,166*	0,036*	0,203	0,036*	0,206	0,04*	0,216	0,02	0,166*	0,01	0,14*
Σ cations (4 cations)	1 mois	30,88	1,57	32,87*	3,01*	33,49*	2,96*	32,58*	2,14*	32,89*	1,38	33,66*	3,84*	36,68*	6,463*
	3 mois	33,22	1,903	34,33*	3,386*	33,68	2,986*	33,77	2,973*	32,01*	2,02	34,58*	4,313*	35,74*	6,19*
Σ cations (tous)	1 mois	30,99	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58
	3 mois	33,33	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43
CEC	1 mois	22,91	9,45	24,93	9,37	23,48	9,997*	23,06	9,977*	23,63*	9,883	24,83*	10,31*	26,49*	11,35*
	3 mois	24,42	9,63	24,82	9,98	23,6*	10,09	23,86	10,19	23,6*	9,73	24,78	10,52*	25,66*	10,66*
pH H2O	1 mois	5	3,77	5,52*	4,03*	5	3,8	4,95	3,75	5,17	3,8	5,47*	4,05*	5,883*	4,267*
	3 mois	5,4	4,13	5,61	4,36*	5,68*	4,11	5,76*	4,13	5,7*	4,11	5,96*	4,38*	5,98*	4,51*
P Olsen	1 mois	13,55	15,57	30,16*	53,3*	63,22*	92,62*	48,52*	62,89*	15,53	27,42	13,63	13,41	13,05	12,643
	3 mois	20,75	14,16	41,73*	60,1*	40,9*	62,78*	61,33*	83,5*	20,8	25,85	16,95*	12,26	13,8*	13,03

La valeur de la C.E.C. est importante (pour un sol tropical, en principe, on ne dépasse pas 10 meq/100g) ce qui s'explique par la richesse en matière organique (8,6%) car les caractéristiques de l'argile de Do Hoa avec 47% de kaolinite ne sont pas favorables à une CEC élevée.

La teneur du sol de Do Hoa en phosphore Olsen est de 13,5 ppm ce qui est faible.

Après trois mois:

Pendant ces trois mois d'incubation, on maintient l'humidité du sol à 66% de la capacité maximum de rétention (CMR) en ajoutant de l'eau distillée. L'évolution de la situation est la suivante:

- Le pH a augmenté de 5 à 5,4, nettement supérieur au pH *in situ* au début de l'essai (3,7).
- La somme des cations a augmenté de 7,5% passant de 30,9 à 33,3 meq/100g mais ce sont les ions K^+ et Mn^{++} qui augmentent dans les plus grandes proportions respectivement plus 43 et plus 77%; Mg^{++} se trouve dans la moyenne (plus 9%) alors que Ca^{++} et Na^+ augmentent faiblement, (+ 6,4 et + 2,7%).

Les teneurs de tous les cations sont en augmentation sauf H^+ .

On peut en effet considérer qu'avec l'apport d'eau en milieu confiné il y a solubilisation et augmentation du nombre d'ions échangeables.

Pour Mg, Ca et Na il y a peu de changement; pour Mn et K, l'augmentation est importante en proportion mais les teneurs restant faibles, le blocage de ces ions reste important.

Pour la diminution des H^+ on peut penser que c'est une conséquence de l'hydromorphie avec $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

Malgré un pH assez faible, 5 et 5,4, la faible teneur en H^+ traduit un faible pouvoir solubilisant.

La capacité d'échange n'augmente que de 6,6% ce qui traduit un plus grand nombre de cations solubilisés: il pouvait effectivement rester du chlorure de sodium non solubilisé.

La teneur de phosphore Olsen augmente de 53%: cette amélioration est liée à l'addition d'eau distillée et aux conditions d'hydromorphie maintenues dans l'essai d'incubation.

Effet des engrais et évolution avec le temps

Pour l'engrais E:

Après un mois, cet engrais entraîne :

- une augmentation de pH de 5 à 5,5.
- une augmentation de la somme des cations de 6,4%.
- une augmentation de la CEC de 8,8%.

La capacité d'échange augmente plus que la somme des cations mais elle reste inférieure à cette somme. L'apport d'engrais E apportant 415ppm de Ca, l'augmentation de la somme des cations est essentiellement due à Ca qui augmente de 41%.

La teneur en POlsen augmente de 13,5 à 32,2ppm pour un apport de 100 ppm de P: le phosphate naturel qui entre dans la composition de l'engrais E est facilement solubilisé et le MAP est entièrement soluble.

Après trois mois:

- le pH augmente encore légèrement à 5,6.
- la somme des cations augmente de 4,4%.
- la capacité d'échange ne change pas.

L'augmentation de la somme des cations est due à celle de la teneur en calcium qui augmente encore de plus de 18,7%.

Après trois mois, la teneur en P Olsen augmente de 38 % ce qui s'explique par la solubilisation progressive de P.

Engrais M:

Après un mois:

- la somme des cations augmente de 8,5%, augmentation due essentiellement à celle du Ca.
- la CEC augmente de 2,5%.et reste du même niveau que la CEC du témoin.
- la teneur en phosphore est en nette augmentation.

Après trois mois:

- le pH augmente à 5,7.
- la somme des cations comme la CEC n'est pas modifiée.
- le P Olsen est en nette diminution par rapport à la teneur à un mois: c'est le seul élément notable.

Engrais SSP LT1:

Après un mois:

- la somme des cations est en légère augmentation (5,5%), due essentiellement au calcium dont la teneur augmente de 37%.
- la CEC est en très légère augmentation (0,6%).
- le POlsen augmente de façon très importante, intermédiaire entre les engrais E et M.

Après trois mois: alors que la somme des cations et la CEC augmentent parallèlement de 3,5%, le pH atteint 5,8 et la teneur en K augmente de près de 33%.

Engrais Lao Cai 2:

Après un mois:

- le pH augmente très légèrement (+ 0,2).

- la somme des cations augmente légèrement de 6,5% alors que la CEC n'augmente que de 3,1%; c'est encore l'augmentation du calcium qui domine, même si c'est de façon plus modeste que pour les trois engrais précédents.
- le P Olsen augmente peu (+ 14,6%), ce qui s'explique par la faible solubilité de l'engrais naturel de Lao Cai 2.

Après trois mois:

Le pH augmente à 5,7 et la somme des cations ainsi que la CEC restent sans changement malgré une variation encore importante de K (plus 9,1%).

Le P Olsen augmente sensiblement par rapport à la situation à un mois mais au total l'augmentation par rapport au témoin est faible: il n'y a pratiquement pas de changement par rapport à l'évolution naturelle: ceci est dû à la très faible solubilité du minerais de phosphate de Lao Cai 2.

Calcite brute

Avec 160 mg de calcite brute, la teneur en Ca augmente tout de suite de façon importante alors que la somme des cations et la CEC augmente de moins de 10%.

Le pH augmente de 0,5 point.

La teneur en POlsen ne varie pas dans un premier temps.

A trois mois: on constate une variation significative de K(+ 12,5%) et de P Olsen: les taux des autres éléments sont pratiquement inchangés.

Avec 300mg de calcite brute, après un mois

- le pH augmente de 0,9 .

- la somme des cations augmente de 18,5% essentiellement du fait de l'augmentation de la teneur en calcium qui augmente deux fois plus que pour l'apport de 160 mg. Les autres cations varient peu. La capacité d'échange augmente un peu moins que la somme des cations.

Ces résultats se retrouvent après trois mois, les données n'étant pas différentes significativement.

En résumé, tous les traitements se traduisent par une augmentation :

- du pH.
- de la somme des cations échangeables.
- de la CEC.

Pour le P Olsen, seuls les engrais phosphatés ont une action significative; pour le phosphate naturel de Lao Cai 2, l'action augmente avec le temps ce qui s'explique par sa faible solubilité initiale.

L'engrais M fabriqué à partir du phosphate naturel de Lao Cai 2 avec attaque partielle à l'acide sulfurique présente les meilleurs résultats en matière d'augmentation de la teneur en Ca, Mg et P Olsen.

Il faut noter l'évolution naturelle du témoin qui rend difficile certaines interprétations lorsque l'évolution correspond à l'ordre de grandeur de l'action des engrais; lorsque l'action de l'engrais est très marquante il n'y a pas de difficulté à dépasser l'évolution naturelle; enfin lorsque l'évolution naturelle a un effet important, exemple du potassium pour lequel la teneur augmente naturellement de 43,4%, les effets de l'engrais qui sont sensiblement plus faibles sont difficiles à interpréter.

5.2.2. Sur sols sulfatés acides à Long An

Evolution naturelle du témoin

Après un mois:

- le pH du sol est très acide (3,8).
- la somme des cations = 7,6meq/100g. La somme des quatre cations principaux Ca, Mg, K, Na ne présente que 1,06 meq/100g alors que Al représente seul 6,3 meq/100g soit 83% de la somme des cations ce qui dépasse largement le seuil de toxicité d'aluminium (en principe 40% de la somme des cations).
 - la CEC(= 9,5 meq/100g) est supérieure à la somme des cations (=7,6 meq/100g). Cette valeur de CEC correspond bien à la capacité d'échange d'un sol tropical.
 - la teneur en P Olsen du sol de Long An est de 15,6 ppm ce qui est faible.

Après trois mois:

- l'augmentation du pH de 3,8 à 4,1 s'explique par le maintien de l'humidité à 66% de la CMR avec phénomène d'hydromorphie.

Ce caractère d'hydromorphie explique également l'augmentation de la somme des cations qui dépasse 24,4%, celle de Al^{3+} étant supérieure à 16,3%. Il y a donc augmentation du nombre d'ions Al^{3+} alors que le pH a augmenté: il reste encore suffisamment bas pour permettre cette augmentation d' Al^{3+} qui traduit l'importance de la quantité d' Al^{3+} sur le complexe argileux à l'origine: pendant l'incubation il y a tout à la fois libération d'ions Al^{3+} et Fe^{3+} comme de OH^- ; ces derniers se lient à H^+ pour faire remonter légèrement le pH alors que la teneur en ions Al^{3+} est également en augmentation.

Les autres cations augmentent également de façon sensible 38,3% pour Ca, 45,8% pour Mg, 57,3% pour Na.

Le sol de Long An qui a un bon pouvoir solubilisant et son maintien pendant deux mois dans des conditions d'hydromorphie libère relativement beaucoup d'ions échangeables.

La capacité d'échange n'augmente pratiquement pas (1,9%) mais la capacité d'échange après trois mois d'incubation correspond pratiquement à la somme des cations: on a donc la situation idéale où $CEC = \sum \text{cations}$.

La quantité de P Olsen n'évolue pratiquement pas.

Effets des engrais:**Engrais E:***Après un mois:*

- le pH augmente de 0,2 point avec baisse correspondante du nombre d'H⁺. Cette évolution répond à l'apport de 415 ppm de Ca (soit 2,075 meq/100g) contenu dans l'engrais E et on mesure une augmentation de 1,67 meq/100g de Ca.
- la somme des cations diminue un peu de 7,58 à 7,28 et on pourrait considérer qu'il n'y a pas de changement notable; si les augmentations de Ca, Mg et K sont de peu d'importance en valeur absolue, comme la faible baisse de Na, il y a par contre une très nette diminution d'Al qui baisse de plus de 34%: il y a donc bien baisse de la somme totale des cations.
- la capacité d'échange diminue également cela s'explique car ce sol a un comportement idéal avec une CEC équivalente à la somme des cations.
- le P Olsen augmente de plus de 200% ce qui traduit une bonne solubilité de l'engrais E dans ce sol à pH acide.

Après trois mois d'incubation, les effets de l'engrais E se traduisent par:

- une augmentation du pH de 0,3 avec baisse correspondante de la quantité d'ions H⁺ de 0,01 meq/100g. Comme la quantité de Ca n'a pas augmenté, ce sont les augmentations des autres bases Na et K qui peuvent expliquer cette remontée du pH.
- une augmentation de 17,6% de la somme des cations qui correspond à une solubilisation des ions échangeables.
- la capacité d'échange augmente également et avec 9,98 meq/100g dépasse légèrement la somme des cations (8,56 meq/100g).
- le P Olsen augmente encore un peu ce qui s'explique par l'augmentation de la solubilité avec le temps.

Engrais M:*Après un mois:*

- il n'agit pas sur le pH alors que la quantité d'H⁺ augmente de près de 10%. Les différents cations augmentent sauf K et Al dont la baisse est de l'ordre de 5%.
- la somme des cations augmente globalement de 22% ce qui correspond à l'augmentation de la quantité de Ca.
- la capacité d'échange augmente corrélativement.
- l'augmentation de P Olsen est très importante (500%) d'où l'intérêt d'un phosphate partiellement solubilisé dans des sols à pH<5.

L'évolution d'un à trois mois se traduit par:

- une augmentation du pH de 0,3 avec baisse de 0,08 meq/100g d'ions H⁺.
- une augmentation de la somme des cations et de la capacité d'échange: c'est l'augmentation du nombre d'ions Al qui explique cette augmentation. On peut la rapprocher

de la baisse de P Olsen qui est importante puisqu'après avoir atteint 92,6 ppm au début du traitement, après trois mois d'incubation, la quantité de P descend à 62,8 ppm.

Engrais SSP

Après un mois:

- la somme des cations augmente de 10% ceci est dû à l'augmentation du Ca puisque K et Na ont diminué comme Al (-5%).
- la capacité d'échange augmente également, mais plus légèrement et elle se trouve supérieure à la somme des cations.
- la quantité de P Olsen augmente de 300%.

Après trois mois:

Après trois mois d'incubation les effets de l'engrais SSP sont les suivants:

- augmentation du pH de 0,3 avec baisse de la quantité d'ions H⁺.
- tous les cations sont en augmentation, sauf Ca qui ne varie pas et la somme des cations augmente de 23%. L'Al est en augmentation de plus de 20%.
- la capacité d'échange augmente également mais beaucoup plus faiblement et on retrouve la situation théorique idéale $CEC = \sum \text{cations}$.
- la quantité de P Olsen qui avait déjà augmenté est encore en augmentation de près de 33%.

Engrais Lao Cai 2:

Après un mois:

Nous avons trouvé que l'engrais LC2 est sans effet sur le pH malgré une quantité d'H⁺ en augmentation de 0,02 .

Il y a une légère baisse d'Al et de K alors que les autres cations augmentent, mais la somme des cations reste égale à celle du témoin.

D'autre part, la CEC augmente mais de façon non significative.

Après trois mois:

L'augmentation de la somme des cations et la CEC sont équivalentes à l'évolution naturelle ainsi l'égalité $CEC = \sum \text{cations}$ est conservée.

Pour le P Olsen, il y a une augmentation moyenne de plus de 75% alors que l'évolution naturelle se traduit plutôt par une réduction.

Calcite brute:

Deux apports de calcite brute ont été testés 160 et 300 mg: l'évolution est toujours du même ordre (0,3) mais elle est plus marquée avec calcite 160 qu'avec calcite 300.

La somme des cations est également en augmentation pour arriver à la même valeur 9,89 meq/100g en trois mois qu'avec l'évolution naturelle.

La valeur de la CEC en augmentation plus marquée, nous amène à la situation $\Sigma \text{cations} = \text{CEC}$. Naturellement il n'y a pas d'influence sur le P Olsen.

Discussion

1.Effet des engrais:

Il a été signalé que le diagnostic foliaire à Do Hoa traduisait un excès de Fe, Na, Cl, Mn et S alors que P et Ca sont plutôt en déficit (cf.chapitre 1) ce qui a orienté nos essais pour résoudre ces problèmes. Les résultats sur les deux types de sols, avec les différents engrais, montrent une amélioration significative par rapport au témoin ce qui permet de confirmer l'influence de l'engrais phosphaté.

Nous avons remarqué deux points importants dans l'évolution des ions dans le sol:

- les conditions d'hydromorphie du sol pour réaliser les échanges entre les ions.
- le temps nécessaire à l'amélioration de la solubilité.

Sur le pH:

L'augmentation du pH s'explique par la diminution des teneurs en H^+ et par la dilution de la solution qui tend à diminuer l'acidité. Le pH du sol sec obtenu par extrait 1:1 du sol à Do Hoa qui est de 5 pour le témoin à un mois est relativement élevé par rapport aux données de terrain où le pH est plus couramment < 4 .

A un mois, les traitements par les engrais E et calcite brute augmentent significativement le pH ; cette augmentation est liée naturellement à l'apport de Ca^{++} qui existe dans les différents types d'engrais. Mais il faut signaler que l'amélioration du pH n'arrive qu'avec l'engrais E et la calcite qui apportent une quantité de Ca^{++} importante.(415 ppm dans l'engrais E et de 320 à 600 ppm dans la calcite). Donc l'effet du calcium sur l'augmentation du pH n'existe qu'à partir d'un certain niveau que l'on peut fixer dans notre cas à environ 320 ppm.

L'abaissement du pH constaté un mois après l'application de SSP peut s'expliquer par un excès d'acide sulfurique à la fabrication de cet engrais; l'augmentation, après trois mois d'incubation, a pour origine la dilution résultant de l'apport d'eau tous les deux jours. Le maximum d'augmentation de pH à Do Hoa est obtenu avec les 300mg de calcite brute.

A Long An, après un mois comme après trois mois, le pH n'augmente que dans les traitements E et calcite, il ne varie pas dans les traitements M, SSP, LC2.

A l'origine, le pH à Long An est plus acide qu'à Do Hoa; après trois mois d'incubation, l'augmentation du pH sur ces deux sols est différente et sauf pour l'engrais E , l'action des engrais est moitié moindre à Long An qu'à Do Hoa (tableau 64).

Tableau 64: Augmentation du pH (Δ pH) dans les traitements à la fin de l'essai.

Sols	Témoin	Engrais E	Engrais M	Engrais SSP	Engrais LC2	Calcite brute 160	Calcite brute 300
Do Hoa	+ 0,4	+ 0,6	+ 0,7	+ 0,8	+ 0,7	+ 1	+ 1
Long An	+0,36	+ 0,6	+ 0,34	+ 0,36	+ 0,34	+ 0,6	+ 0,7

Sur le P assimilable (figures 67 et 68)

Pour une même quantité de phosphore apporté (100 ppm), sur Do Hoa et Long An, les teneurs en P Olsen diffèrent en fonction du temps.

L'engrais M après un mois d'incubation a l'effet le plus marquant sur la teneur en P Olsen (+ 49 ppm à Do Hoa et + 77 ppm à Long An par rapport au témoin). Cet engrais correspondant à une attaque partielle du minerai de Lao Cai 2, avec 60% d'acide sulfurique est nettement plus efficace que le minerai brut sur ces deux types de sols. Son évolution dans le temps est également comparable sur les deux sites, la teneur en P Olsen est beaucoup plus importante après un mois d'incubation qu'après trois mois: il doit être appliqué par fractions successives.

Les résultats montrent également que l'évolution de la teneur en P Olsen dans le sol dépend du degré de solubilité du type d'engrais phosphaté apporté et du type de sol.

Tableau 65: Pourcentage de P solubilisé pour les différents engrais (%)

Sites	Temps	Engrais E	Engrais M	Engrais SSP	Lao Cai 2
Do Hoa	1 mois	16,6	49,7	34,9	2,0
	3 mois	20,9	20,1	40,6	0,05
Long An	1 mois	37,7	77,1	47,3	10,8
	3 mois	45,9	48,6	69,3	11,7

La plus grande efficacité des engrais phosphatés naturels dans les sols acides (Long An) provient de l'acidité qui augmente la solubilité.

Pour le calcium: (figures 69 et 70)

Sur les deux sols, tous les engrais phosphatés utilisés contenant du calcium font augmenter la teneur de cet élément.

Figure 67 - Variation des teneurs en phosphore assimilable en fonction des types d'engrais dans les sols salés (Do Hoa)

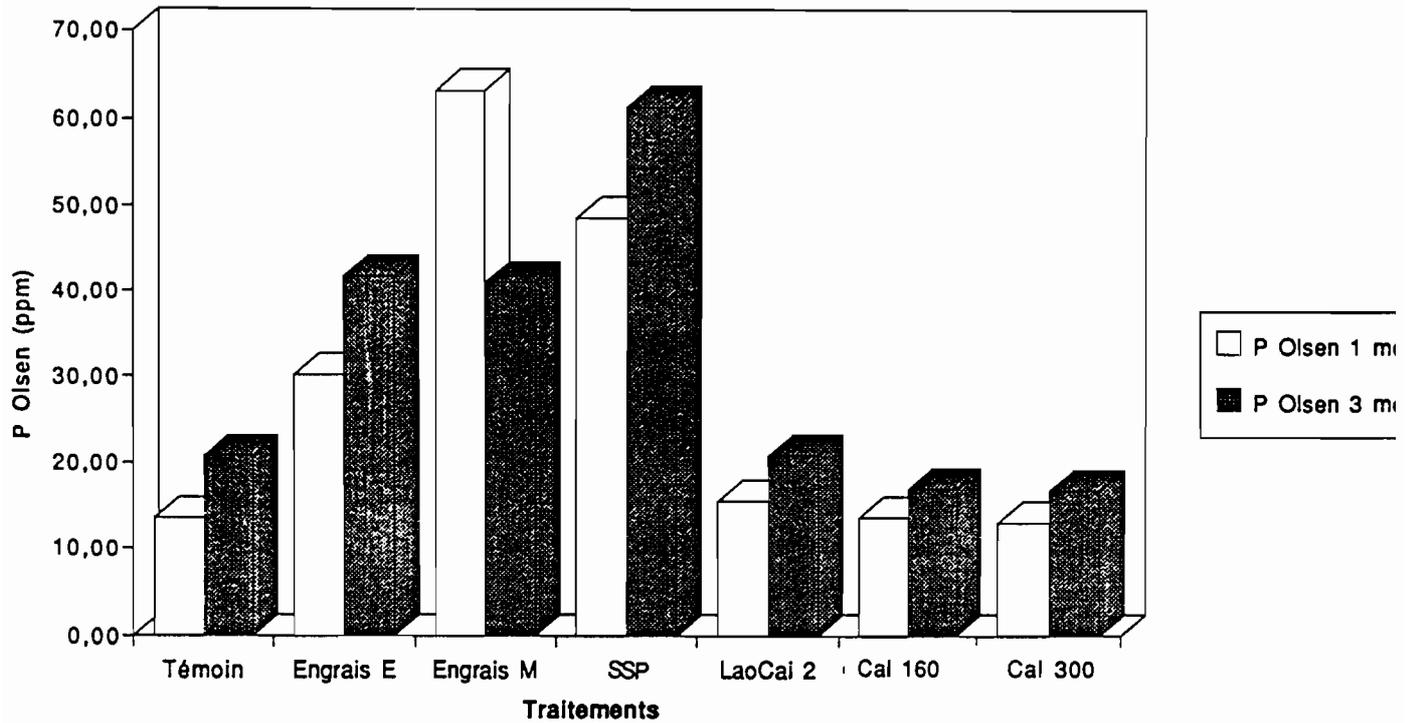


Figure 68 - Variation des teneurs en phosphore assimilable en fonction des types d'engrais dans les sols acides (Long An)

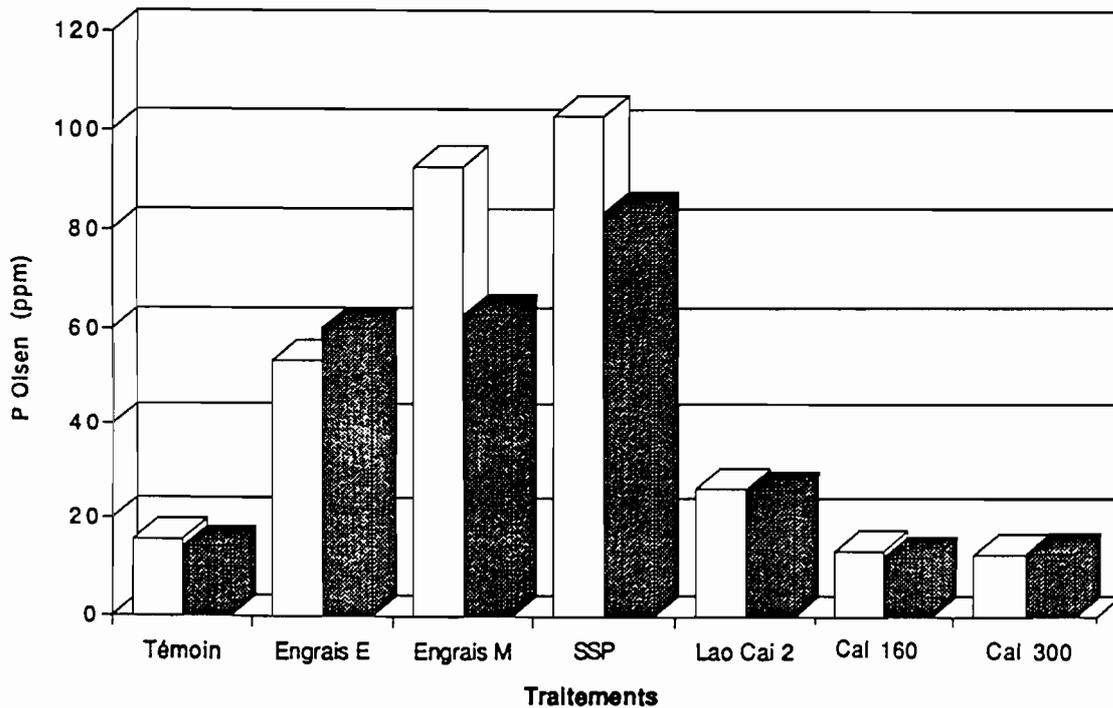


Figure 69 - Variation des teneurs en calcium en fonction des types d'engrais dans les sols salés (Do Hoa)

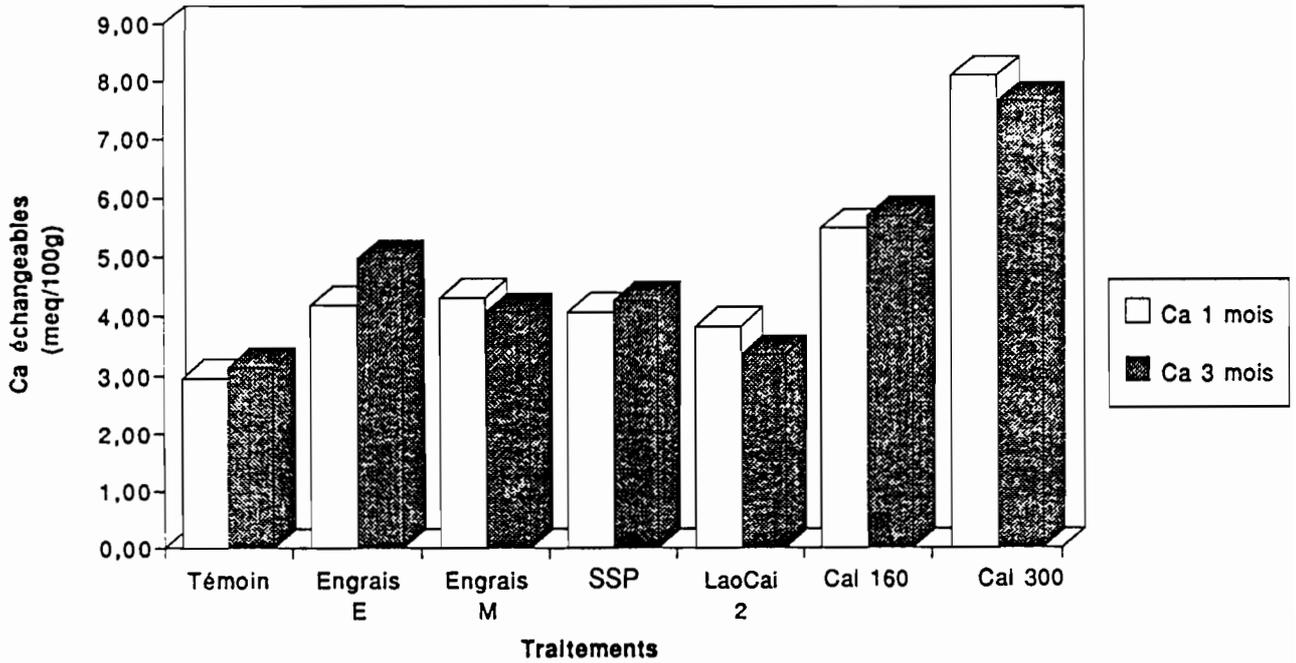
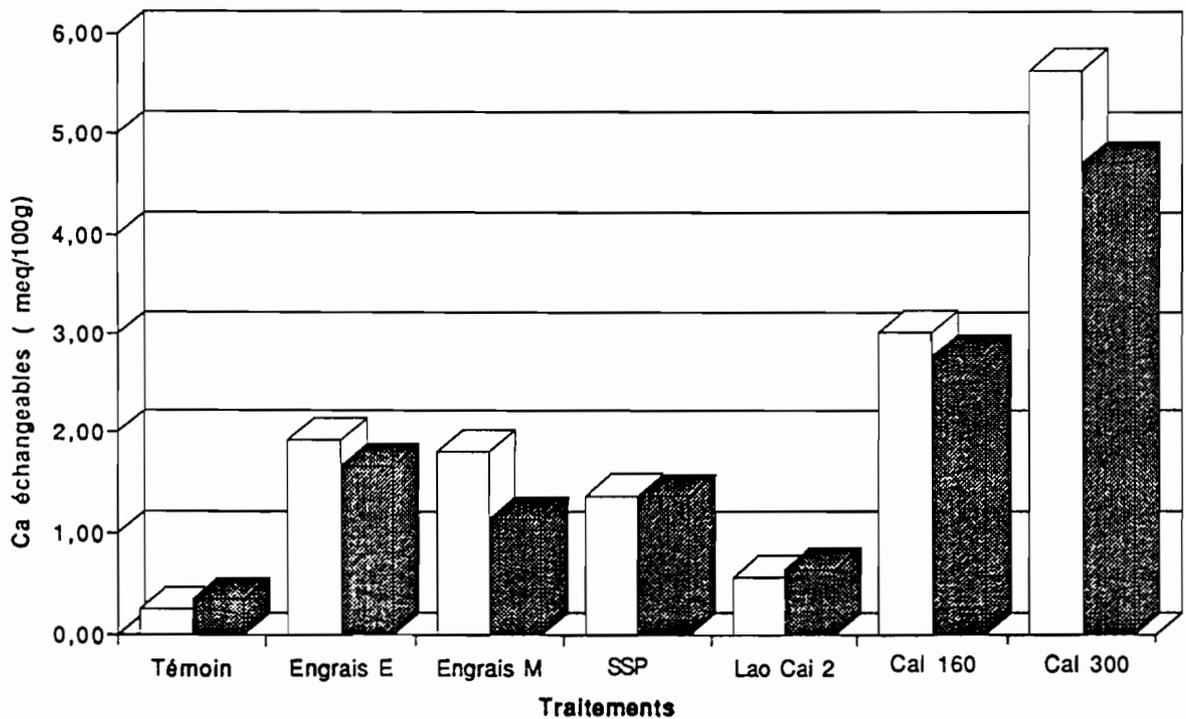


Figure 70 - Variation des teneurs en calcium en fonction des types d'engrais dans les sols acides (Long An)



Après un mois comme après trois mois, la teneur en calcium des différents traitements est toujours supérieure au témoin mais c'est pour le minerai de Lao Cai 2 que l'augmentation est la plus faible (non significative).

A Do Hoa, l'effet de Lao Cai 2 sur la teneur en Ca du témoin après un mois est équivalent à l'action de 54,4 mg de calcite brute. En effet pour 160 mg d'apport de calcite brute la teneur passe de 2,96 à 5,49 alors qu'avec Lao Cai 2 on passe de 2,96 à 3,82.

Alors que le témoin voit sa teneur en calcium augmenter entre un mois et trois mois, il est remarquable que pour la plupart des traitements l'augmentation de la teneur en calcium est plus importante après un mois qu'après trois mois; cette diminution de la teneur en Ca avec le temps s'explique par:

- le fait que l'ion Ca^{++} est un élément d'échange avec les éléments nutritifs
- la substitution du Ca^{++} au H^+ qui se traduit par l'augmentation du pH.

Magnésium

L'apport des engrais E et M fait augmenter la teneur en magnésium après un mois ce qui s'explique par la teneur de magnésium de ces engrais (27,6 ppm pour l'engrais E et 23,7 ppm pour l'engrais M).

L'influence négative de la calcite sur la teneur en magnésium s'explique par l'action du Ca^{++} dans le sol: l'ion Ca^{++} est un élément d'échange aux interfaces des colloïdes minéraux et organiques, permettant au sol de créer des réserves en éléments nutritifs et l'ion Ca^{++} se substitue au Mg^{++} (MOREL, 1989).

Potassium

L'augmentation significative de la teneur en potassium du témoin entre un et trois mois s'explique par la solubilité des ions en fonction du temps alors qu'avec les traitements, en présence de calcium, la teneur de K diminue du fait de l'échange entre Ca^{++} et K^+ .

Tableau 66: Somme de cations Ca et Mg et le rapport K/ Ca+Mg dans les traitements

Do Hoa	Témoin	Engrais SP	Engrais M	Calcite brute 160	Engrais E	Calcite brute 300
Ca+Mg	15,08	16,11	16,146	17,203	16,81	18,93
K/ Ca+Mg	0,64	0,56	0,50	0,47	0,47	0,42

De ce tableau de données, on peut déduire la corrélation:

$$y = - 5,225x + 15,954 \quad \text{avec } r = 0,87$$

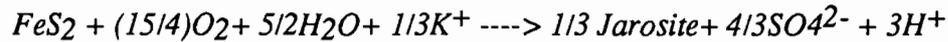
traduisant l'échange entre calcium et potassium.

Nous avons trouvé également que plus le (Ca + Mg) augmente, plus la teneur de K échangeable diminue:

$$y = -4,517x + 26,206$$

$$\text{avec } r = 0,866$$

Une autre cause possible de la diminution de K^+ vient de la transformation de la pyrite en jarosite (CHAMAYOU et LEGROS, 1989), nous avons en effet:



et les pH mesurés à Long An correspondent effectivement à la présence de jarosite

Sodium

La teneur en sodium diminue dans tous les traitements phosphatés et calciques, surtout dans les traitements Lao Cai 2 et calcite brute 300 après trois mois parce que ces traitements sont riches en calcium et qu'il existe entre Na et Ca la corrélation négative:

$$y = -0,135x + 16,068$$

$$\text{avec } r = 0,901$$

Ainsi dans les sols salés riches en sodium, la teneur en calcium est faible.

Fer

Sur le sol de Do Hoa, le fer n'a pas été détecté, il peut s'agir de la sensibilité de la méthode d'analyse.

Sur les sols séchés, le fer se présente sous forme de fer ferrique qui est peu soluble. Il est combiné avec le potassium pour former la jarosite. Il existe bien dans le sol mais l'analyse n'en donne que des traces. A Long An, les analyses de Fe à trois mois montrent un effet de diminution significatif aux seuls traitements E et calcite brute 300 qui ont relevé sensiblement le pH.

Aluminium (tableau 67)

Le sol sulfaté acide salé de Do Hoa ne contient que des teneurs très faibles d'aluminium après trois mois d'incubation avec les différents traitements: on peut penser que le sodium s'est substitué naturellement à l'aluminium. Par contre, à Long An il y a beaucoup d'aluminium.

Tableau 67: Teneur en Al dans les traitements après un et trois mois d'incubation.

Teneur en Al meq%	Témoin	Engrais E	Engrais M	Engrais SP	Engrais LC2	Calcite brute 160 mg	Calcite brute 300 mg
un mois	6,26	4,11	5,93	5,89	5,88	4,31	2,68
trois mois	7,28	5,003	7,20	7,08	7,25	5,39	3,97

Tous les traitements font baisser la teneur en Al dans le sol mais seuls les traitements E, calcite brute 160 et calcite brute 300 entraînent une diminution significative.

Il y a ensuite une réaugmentation de la teneur en aluminium qui à trois mois rejoint le niveau du témoin sauf les trois traitements E, calcite brute 160 et calcite brute 300.

Ces résultats peuvent s'expliquer par l'importante quantité de Ca apporté par ces trois traitements (415-320 et 600ppm). Il faut donc dépasser un certain niveau de calcium pour obtenir une diminution de l'activité de Al^{+++} . Sur les sites considérés, il faut compter plus de 320 ppm. Une étude plus fine serait intéressante à réaliser dans la gamme de 250 à 320 ppm pour déterminer l'apport subsceptible d'assurer une amélioration stable et durable. L'engrais M correspond à l'apport de 250ppm étant inactif sur Al.

Le mécanisme naturel de substitution du sodium à l'aluminium peut être proposé pour diminuer la teneur en aluminium des sols sulfatés acides avec arrosage en saison sèche avec l'eau salée qui remonte dans les canaux puis lessivage du sodium par les eaux de pluie.

Ceci doit être réalisé avec un système de vannes permettant de maîtriser le niveau de la marée et de la nappe pour éviter l'oxydation de la couche de pyrite.

H⁺:

A Do Hoa comme à Long An, seuls les traitements E et calcite brute 300 entraîne la diminution de H⁺ ce qui montre la nécessité d'une importante quantité de calcium pour agir sur les échanges avec les H⁺ et diminuer l'acidité du sol.

Somme des cations et capacité d'échange

Tableau 68: Somme de tous les cations et capacité d'échange sur deux types de sols.

	Témoin	Engrais E	Engrais M	Engrais SP	Engrais LC2	CaO 160 mg	CaO 300 mg
	D	O	H	O	A		
CEC	24,42	24,82	23,60	23,87	23,62	24,78	25,66
Σ cations	33,326	34,386	33,862	33,919	32,133	34,606	35,748
	L	O	N	G	A	N	
CEC	9,626	9,976	10,093	10,196	9,726	10,523	10,66
Σ cations	9,43	8,56	10,44	10,11	9,53	9,89	10,22

Sur les deux sites pour la capacité d'échange comme pour la somme des cations, l'effet des différents engrais est faible.

Ce tableau rappelle que les deux sols sont nettement différents avec, à Long An, une égalité de la somme des cations avec la capacité d'échange à un niveau caractéristique des sols tropicaux alors qu'à Do Hoa, la capacité d'échange apparaît deux fois plus élevée pour

une somme de cations trois fois supérieure. La différence constatée entre la somme des cations et la CEC prouve que des cations solubles ont été comptabilisés dans la somme des cations: l'influence de la marée à Do Hoa permet de préciser que ce sont les Na^+ et Mg^{++} qui sont à l'origine de cette différence.

2. Comparaison de l'effet du complexe P+Ca et calcite brute

Le phosphate naturel apporte en même temps le phosphore et le calcium pour améliorer les carences en ces cations dans les sols sulfatés acides et ou salés du delta du Mékong.

Dans les autres engrais utilisés, c'est le calcium qui joue le rôle dominant tous les échanges se réalisent avec lui.

A Long An, sols acides, un apport de calcium diminue le taux d'insaturation qui répond à l'expression ESPIAU, PEDRO, 1980:

$$\frac{T-S/T}{100}$$

$$\text{Avec: } T = \underset{S}{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+ + \text{Na}^+} + \underset{A}{\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}} = S + A$$

ce qui s'explique par la proportion des protons et des ions Al^{3+} .

Témoin	Engrais E	Engrais M	Engrais SP	Engrais LC2	Calcite brute 160	Calcite brute 300
75,75	60,55	71,30	71,12	78,79	56,39	40,30

ESSAI EN COLONNE DE PERCOLATION

Après avoir étudié par incubation les effets de l'engrais phosphaté sur les échanges d'ions des sols, nous complétons cette étude par l'analyse des variations de la composition des solutions de percolation en fonction:

- du temps de contact du sol avec les engrais
- de la profondeur du sol.

Cet essai permet de mieux comprendre:

- le phénomène et le mécanisme d'échange d'ions dans les sols sulfatés acides dans les conditions suivantes :

- * apport d'engrais phosphaté naturel (P + Ca).
- * apport d'engrais P (sans Ca), sous forme de DAP
- * percolation à l'eau distillée et à l'eau salée.
- l'activité des ions Al^{3+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} dans les conditions précédentes.

6.1. CONDITIONS DE REALISATION

6.1.1. Le sol:

Le sol utilisé est le sol sulfaté acide, le long du canal de Bo Bo de la plaine des Joncs, province de Long An où l'on trouve la plus grande surface de sols sulfatés acides ou potentiellement sulfatés acides du delta du Mékong. Deux profils 0-20 cm et 50-70 cm ont été prélevés, séchés à l'air, broyés, tamisés à 2 mm, mélangés et envoyés au laboratoire de CIRAD Montpellier pour réaliser l'essai en colonne.

Ces deux profils sont de caractéristiques différentes:

- Profil 0-20 cm: riche en matière organique (7,4%). Le pH *in situ* est de 4 à 4,3 , Eh = 174,1 à 155,7 mV. Après séchage , le pH devient plus acide (3,75).
- Profil 50-70 cm: ce niveau est toujours dans l'eau, présence de plusieurs taches brunes d'oxyde de fer , le pH *in situ* est très acide (3,23 à 3,62). En séchant il prend la couleur jaune de la jarosite. Le sol est très argileux, pauvre en matière organique (1,7%).

L'expérimentation sur deux couches différentes a pour but d'analyser les échanges de phosphore et de calcium en présence ou en absence de jarosite.

L'analyse des caractères physico- chimiques de ces sols donne:

- texture argilo-limoneuse
- pH du sol sec très acide (3,75 et 3,30)
- teneur en aluminium élevée .
- la capacité d'échange cationnique mesurée avec la méthode du chlorure de cobaltihexamine correspond aux normes pour un sol tropical: 9,5 et 12,2 meq/100 (FALLAVIER et al, 1985).

- le phosphore assimilable mesuré par la méthode Olsen-Dabin est faible: 13,4 et 6,1ppm suivant le niveau.

6.1.2. Les engrais:

Deux engrais phosphatés ont été utilisés:

- Le phosphate naturel d'Algérie de Djebel Onk, il contient: $P_2O_5 = 28,65\%$, $CaO = 44,45\%$, $MgO = 1,6\%$

Solubilité formique (temps= 2h: 78,7%)

- Le DAP: c'est le phosphate pur du commerce: diammonium hydrogénophosphate de formule $(NH_4)_2HPO_4$.

6.1.3. La colonne:

La colonne est un tube en PVC de 20 cm de hauteur et 11 cm de diamètre . L'extrémité inférieure de la colonne est munie d'un orifice permettant de récupérer les percolats.

6.1.4. Les traitements:

Trois traitements ont été réalisés:

- Témoin : pas d'engrais.
- PN: traitement avec le phosphate naturel de Djebel Onk.
- DAP: traitement avec l'engrais DAP.

La quantité d'engrais ajouté est calculée pour être équivalente à 100 ppm de P dans les deux traitements, soit:

PN= 1,998 g par 2,5 kg de terre

DAP= 1,063 g par 2,5 kg de terre.

Les mélanges à sec sont réalisés en deux étapes en utilisant des échantillonneurs-diviseurs adaptés .

- Dans un premier temps, la totalité de l'engrais est ajouté à 100 g de terre. L'homogénéité du mélange est assuré par 15 passages successifs à l'aide de l'échantillonneur diviseur.

- Dans un deuxième temps, on ajoute le mélange précédent aux 2,4 kg de terre restante. On utilise un échantillonneur- diviseur adapté et on réalise 15 nouveaux passages (AVENTURIER, 1994).

Les colonnes sont arrosées soit avec de l'eau distillée, soit avec l'eau salée à 15o/oo, maximum compatible avec le développement du cocotier.

Donc, nous avons:

3 traitements x 2 profils x 2 types l'eau d'arrosage x 2 répétitions = 24 colonnes

6.1.5. Réalisation des colonnes:

Les colonnes ont été réalisées au laboratoire de l'Unité de recherches et d'analyses du CIRAD à Montpellier (URA).

Dans chaque colonne, on introduit 15 cm de terre. Cette terre est placée entre deux couches de sable de Fontainebleau de 1 cm chacune, destinées à faciliter la répartition uniforme de la solution percolante sur toute la section de la colonne dans le tube. Le sol est introduit en six couches successives- séparées les unes des autres par un papier filtre.

6.1.6. Dispositif des colonnes et des percolats:

Le dispositif des colonnes est présenté dans les tableaux 69A et 69B :

Tableau 69A: Dispositif des colonnes arrosées avec l'eau distillée

Arrosage avec l'eau distillée			
100 ml quotidien			
Profil 0-20 cm		Profil 50-70 cm	
N° colonne	Traitement	N° colonne	Traitement
Répétition 1:		Répétition 1:	
1	Témoin	13	Témoin
2	PN	14	PN
3	DAP	15	DAP
Répétition 2		Répétition 2	
4	Témoin	16	Témoin
5	PN	17	PN
6	DAP	18	DAP

Tableau 69B: Le dispositif des colonnes arrosées avec l'eau salée

Arrosage avec l'eau salée			
100 ml quotidien			
Profil 0-20 cm		Profil 50-70 cm	
N° colonne	Traitement	N° colonne	Traitement
Répétition 1:		Répétition 1:	
7	Témoin	19	Témoin
8	PN	20	PN
9	DAP	21	DAP
Répétition 2		Répétition 2	
10	Témoin	22	Témoin
11	PN	23	PN
12	DAP	24	DAP

59 arrosages ont été réalisés pendant 8 semaines.

Les percolats récupérés quotidiennement sont cumulés dans un même flacon pendant 7 jours aux fins d'analyses.

Le spectromètre ICP a permis de déterminer les teneurs en Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, P et S. Le Cl a été dosé par colorimétrie.

Après la dernière percolation, les colonnes ont été découpées en 6 tranches et chacune d'elles a été analysée.

Un extrait à l'eau (rapport 1:1) appelé "solution du sol" correspondant à chaque colonne a été également analysé pour déterminer les éléments solubles qui restent dans les sols après la percolation.

A partir de tous les résultats d'analyse, un calcul d'équilibre des ions échangeables et solubles a été fait pour interpréter les mécanismes d'échange.

Le calcul de l'activité de Al^{3+} a été effectué avec le programme GEOCHEM.

Les calculs statistiques ont été réalisés par le logiciel STATVIEW.

6.2.RESULTATS

6.2.1. EVOLUTION DES IONS SOLUBLES DANS LES PERCOLATS (annexes L et LI)

L'examen des tableaux de résultats obtenus chaque semaine puis du cumul des sept semaines permet d'analyser l'évolution cinétique des transferts d'ions et l'action globale de l'application des engrais.

Les résultats dans les tableaux 70 et 71, concernent l'horizon 0-20 cm, ils sont identiques pour l'horizon 50-70cm. Ils montrent l'effet des trois traitements sur le pourcentage de solubilisation de chacun des ions par rapport à la quantité totale de chaque ion cumulé sur 7 semaines. D'une façon générale on peut étudier deux évolutions :

- L'évolution des contenus des percolats du témoin suivant l'arrosage à l'eau distillée ou à l'eau salée à 150/00.

- L'évolution dans les mêmes conditions , eau distillée et eau salée, des deux traitements:

- . phosphate naturel (PN) qui contient P et Ca.

- . diammonium hydrogénophosphate (DAP) qui ne contient pas de Ca

Tableau 70 : Comparaison de la solubilité des éléments dans le percolat des traitements sans NaCl en fonction du temps (profil 0-20 cm)

	Semaine	S	Fe	Mg	Al	Ca	Na	K	P	Mn
Témoin	0,3	8,8	0,0	9,4	10,2	9,6	12,7	8,4	8,5	9,4
% solubilisé	2	26,0	0,3	26,9	30,3	25,9	35,7	24,3	23,1	25,4
	3	20,8	3,3	23,6	26,2	22,5	26,7	21,5	22,4	22,2
	4	15,6	7,4	16,5	17,1	16,4	14,9	15,5	15,1	16,5
	5	11,3	13,4	10,5	9,2	11,3	6,5	15,8	7,2	11,0
	6	8,1	27,9	6,7	4,2	7,4	2,4	8,4	10,1	7,4
	7	9,4	47,7	6,5	2,7	6,9	1,2	6,0	13,6	8,1
PN	0,3	1,8	0,0	2,3	3,0	1,7	2,7	2,7	2,0	2,4
% solubilisé	2	22,8	2,5	27,2	38,8	24,0	31,9	22,1	23,1	26,4
	3	21,4	14,2	24,4	29,9	24,2	27,9	21,8	24,6	23,6
	4	20,5	20,8	18,9	18,3	19,8	20,1	16,1	18,5	19,3
	5	15,3	20,5	13,1	8,2	14,1	10,7	17,9	10,0	13,3
	6	8,9	19,8	7,5	1,6	8,4	4,3	10,2	10,3	7,5
	7	9,3	22,3	6,6	0,1	7,8	2,3	9,2	11,4	7,5
DAP	0,3	3,4	0,0	3,5	3,8	4,1	5,1	4,6	4,7	3,7
% solubilisé	2	26,6	3,9	29,8	38,7	29,6	39,7	24,4	27,3	28,9
	3	23,8	14,3	27,1	32,9	26,5	33,2	22,4	26,7	25,9
	4	19,1	20,6	18,0	17,1	18,1	14,9	15,4	16,6	18,3
	5	12,2	18,9	10,7	6,3	11,3	5,3	15,5	7,4	10,9
	6	7,3	19,0	5,9	1,2	5,9	1,2	8,1	8,3	6,2
	7	7,6	23,3	5,0	0,0	4,4	0,6	9,6	8,9	6,0

T: témoin-PN: phosphate naturel-DAP: diammonium hydrogénophosphate

Tableau 71 : Comparaison de la solubilité des éléments dans le percolat des traitements avec NaCl en fonction du temps (profil 0-20 cm)

	Semaine	S	Fe	Mg	Al	Ca	Na	K	P	Mn
Témoin+NaCl	0,3	11,6	0,0	16,9	8,3	14,4	3,8	4,0	2,9	14,1
% solubilisé	2	26,0	2,6	36,7	22,5	32,7	10,4	11,2	7,1	30,8
	3	17,0	3,9	19,6	17,6	19,5	11,7	7,1	20,1	19,4
	4	15,4	9,7	15,4	16,5	16,1	13,4	15,4	13,7	16,8
	5	11,7	15,1	8,3	13,8	11,3	15,1	19,8	11,7	10,4
	6	7,2	20,8	2,0	8,3	3,7	15,9	14,6	15,4	4,7
	7	7,4	34,5	0,4	9,0	0,2	26,4	22,2	29,0	3,8
	8	3,8	13,5	0,8	4,0	2,1	3,3	5,8	0,0	0,0
PN + NaCl	0,3	4,0	0,0	5,4	2,7	3,2	2,6	1,7	1,1	4,8
% solubilisé	2	27,8	2,8	38,7	18,1	26,4	7,4	7,7	5,9	31,8
	3	25,0	10,0	36,6	23,8	31,8	10,5	7,3	25,6	33,8
	4	18,3	12,4	15,4	20,9	21,2	14,8	17,6	16,8	18,8
	5	10,2	11,4	3,7	13,4	10,0	16,2	20,2	9,4	6,8
	6	5,7	16,0	0,0	7,8	4,0	16,6	13,5	14,8	2,3
	7	6,0	34,7	0,0	9,1	2,5	28,4	26,4	26,5	1,7
	8	2,9	12,6	0,2	4,1	1,0	3,5	5,7	0,0	0,0
DAP+ NaCl	0,3	7,8	0,0	12,3	6,3	10,2	3,2	2,8	3,4	10,3
% solubilisé	2	23,4	5,8	33,6	18,5	27,4	9,9	8,9	6,7	28,0
	3	23,4	11,7	31,3	19,7	28,2	10,7	6,5	24,2	28,9
	4	18,9	17,5	16,5	20,1	20,7	14,1	17,8	17,4	19,5
	5	10,7	13,5	5,2	13,4	9,5	15,4	20,4	7,6	7,7
	6	6,0	13,6	0,8	7,9	2,2	15,8	13,7	14,0	3,1
	7	6,5	26,2	0,0	9,4	0,2	27,0	23,7	26,7	2,6
	8	3,5	11,7	0,3	4,7	1,6	3,9	6,2	0,0	0,0

T: témoin-PN: phosphate naturel-DAP: diammonium hydrogénophosphate

A. Evolution des sols sulfatés acides, arrosé avec l'eau distillée pour les deux horizons (tableaux 72 et 73)

A.1. Etat naturel: cas du témoin sans application d'engrais:

Evolution en profondeur

La teneur de tous les éléments augmente avec la profondeur, sauf le fer. Nous avons trouvé qu'en profondeur, en présence de la couche de pyrite, la teneur d'aluminium soluble augmente . Par contre , on trouve une teneur en fer en surface plus élevée que celle de la couche profonde.

Evolution en fonction du temps

- La teneur en Fe présente une augmentation croissante chaque semaine avec un maximum entre 5 et 6 semaines (figure 71). Ce phénomène peut s'expliquer par l'état oxydé du fer après le séchage du sol, il est sous forme de fer ferrique non soluble. Avec le temps et l'eau ajoutée, le fer ferrique est réduit en fer ferreux qui devient soluble.

- Pour les autres éléments (S, Mg, Al, Ca, Na, K, P, Mn), le pourcentage de solubilité commence par augmenter pendant deux à trois semaines, puis il diminue de 4 à 7 semaines (cas de Al, figure 72).

A.2. Evolution des sols sulfatés acides avec le traitement phosphate naturel (PN) et eau distillée

En présence de l'engrais phosphaté naturel, le cumul des percolats montre que les teneurs des différents éléments ne sont vraiment modifiées que pour:

Fe: teneur multipliée par 3 dans les deux profils.

Ca: teneur multipliée par 4,5 à 0-20 cm et 3,4 fois à 50-70 cm.

Ces résultats s'expliquent par la formation d'un complexe ferrophosphaté et par l'apport du calcium contenu dans le phosphate naturel.

Par contre, la teneur de l'aluminium diminue dans le percolat ce qui montre qu'il existe une fixation de cet élément dans le sol.

Enfin, il n'y a pas d'augmentation de la teneur en phosphore dans le percolat après traitement: tout le P apporté a été fixé par les argiles du sol.

A.3. Evolution des sols sulfatés acides avec l'engrais DAP et l'eau distillée

L'application d'un engrais phosphaté sans calcium, entraîne la même variation des différents éléments que l'engrais phosphaté naturel.

Nous avons trouvé également dans le percolat une augmentation du fer de 2 à 4 fois suivant le profil. Pour le calcium, DAP est sans effet sur les deux profils.

Le cumul des percolats ne présente pas d'augmentation de la teneur du phosphore ce qui permet de confirmer la fixation du P dans le sol quand on apporte un engrais phosphaté.

Tableau 72 . Comparaison des éléments dans le percolat des traitements sans NaCl en fonction du temps (profil 0-20 cm)

	Semaine	S	Fe	Mg	Al	Ca	Na	K	P	Mn
Témoin	0,3	1,37	0,00	0,72	2,18	0,34	0,45	0,06	1,30	27,81
Moyenne	2	4,02	0,02	2,04	6,49	0,90	1,27	0,16	3,54	75,60
	3	3,22	0,18	1,79	5,61	0,78	0,95	0,14	3,43	66,00
	4	2,41	0,42	1,25	3,66	0,57	0,53	0,10	2,31	48,90
	5	1,75	0,75	0,79	1,97	0,40	0,23	0,11	1,11	32,69
	6	1,25	1,56	0,51	0,91	0,26	0,08	0,06	1,54	21,93
	7	1,45	2,66	0,50	0,57	0,24	0,04	0,04	2,08	24,14
	Cumul	15,46	5,59	7,58	21,38	3,49	3,56	0,66	15,31	297,07
FN	0,3	0,35	0,00	0,17	0,40	0,27	0,12	0,01	0,29	6,42
Moyenne	2	4,36	0,38	2,02	5,12	3,76	1,44	0,12	3,35	70,35
	3	4,11	2,13	1,82	3,94	3,79	1,26	0,12	3,58	63,00
	4	3,94	3,12	1,41	2,41	3,10	0,91	0,09	2,69	51,42
	5	2,93	3,08	0,98	1,08	2,21	0,48	0,10	1,45	35,46
	6	1,70	2,97	0,56	0,22	1,32	0,19	0,06	1,50	20,04
	7	1,77	3,35	0,49	0,02	1,22	0,10	0,05	1,66	19,92
	Cumul	19,15	15,03	7,45	13,18	15,66	4,51	0,55	14,52	266,60
DAP	0,3	0,60	0,00	0,26	0,63	0,14	0,19	0,04	0,61	10,75
Moyenne	2	4,74	0,42	2,21	6,37	0,99	1,51	0,19	3,56	83,00
	3	4,24	1,52	2,02	5,42	0,89	1,26	0,17	3,47	74,50
	4	3,40	2,19	1,34	2,81	0,61	0,57	0,12	2,16	52,74
	5	2,18	2,01	0,80	1,03	0,38	0,20	0,12	0,96	31,39
	6	1,30	2,01	0,44	0,19	0,20	0,04	0,06	1,09	17,76
	7	1,35	2,47	0,37	0,00	0,15	0,02	0,07	1,16	17,38
	Cumul	17,81	10,62	7,44	16,44	3,34	3,80	0,77	13,00	287,52

Résultats exprimés en meq/100g

T: témoin-PN: phosphate naturel-DAP: diammonium hydrogénophosphate

Tableau 73 : Comparaison des éléments dans le percolat des traitements sans NaCl (profil 50-70 cm)

Colonne	Temps	S	Fe	Mg	Al	Ca	Na	K	P	Mn
Moyenne	0,3	2,129	0,0065	1,237	4,342	0,5815	0,7845	0,1145	2,717	41,668
Témoïn	2	6,82	0,013	4,1005	13,032	1,8065	2,5825	0,446	7,2005	132,017
	3	4,99	0,015	3,2535	9,561	1,4175	1,813	0,3875	5,461	102,175
	4	2,77	0,038	1,9255	4,607	0,843	0,736	0,2765	2,4855	62,006
	5	1,7075	0,1005	1,1455	2,0985	0,507	0,254	0,25	1,018	36,511
	6	1,0755	0,181	0,7075	0,9785	0,298	0,0365	0,1715	1,1775	22,1835
	7	1,1245	0,3995	0,7385	0,7695	0,2805	0,0155	0,226	1,45	24,1985
	8	0,171	0,069	0,111	0,1165	0,049	0,008	0,039	0	0
	Cumul	20,7875	0,8225	13,219	35,505	5,783	6,23	1,911	21,5095	420,759
PN	0,3	4,221	0,0105	2,2225	6,669	3,5665	1,5435	0,216	5,18	67,95
	2	7,3725	0,013	3,823	10,1635	6,94	2,555	0,423	7,365	113,803
	3	3,9525	0,0575	2,2075	4,952	3,9305	1,17	0,291	3,3145	64,881
	4	2,2255	0,329	1,2525	2,2375	2,2825	0,41	0,192	2,101	38,251
	5	1,424	0,5045	0,7295	0,991	1,339	0,137	0,183	0,7145	22,0565
	6	0,893	0,6185	0,428	0,393	0,804	0	0,0895	0,7845	12,9355
	7	0,989	0,8835	0,4425	0,255	0,8355	0	0,1625	0,943	14,416
	8	0,144	0,0915	0,0655	0,0495	0,1195	0,0015	0,025	0	0
Cumul	21,2215	2,508	11,171	25,7105	19,8175	5,817	1,582	20,4025	334,293	
DAP	0,3	3,8165	0,0125	2,0915	6,928	1,1395	1,3345	0,2375	6,531	69,2725
	2	7,694	0,0165	4,209	12,7865	1,9465	2,5775	0,5535	9,8615	135,758
	3	4,129	0,0725	2,376	6,0275	1,0575	1,078	0,374	3,8715	75,1655
	4	2,104	0,4855	1,1545	2,1475	0,513	0,267	0,2235	1,641	38,3535
	5	1,361	0,711	0,628	0,8315	0,279	0,0805	0,207	0,6855	20,505
	6	0,8235	0,769	0,3385	0,224	0,1275	0	0,106	0,8085	11,083
	7	0,9265	1,032	0,33	0,0755	0,1	0	0,171	0,9795	11,859
	8	0,465	0,4705	0,1655	0,0825	0,0775	0	0,086	0	0
Cumul	21,3195	3,5695	11,293	29,103	5,2405	5,3375	1,9585	24,3785	361,9965	

Résultats exprimés en meq/100g

T: témoin-PN: phosphate naturel-DAP: diammonium hydrogénophosphate

Figure 71 - Variation de la teneur en Fe des percolats en fonction du temps pour les divers types d'engrais

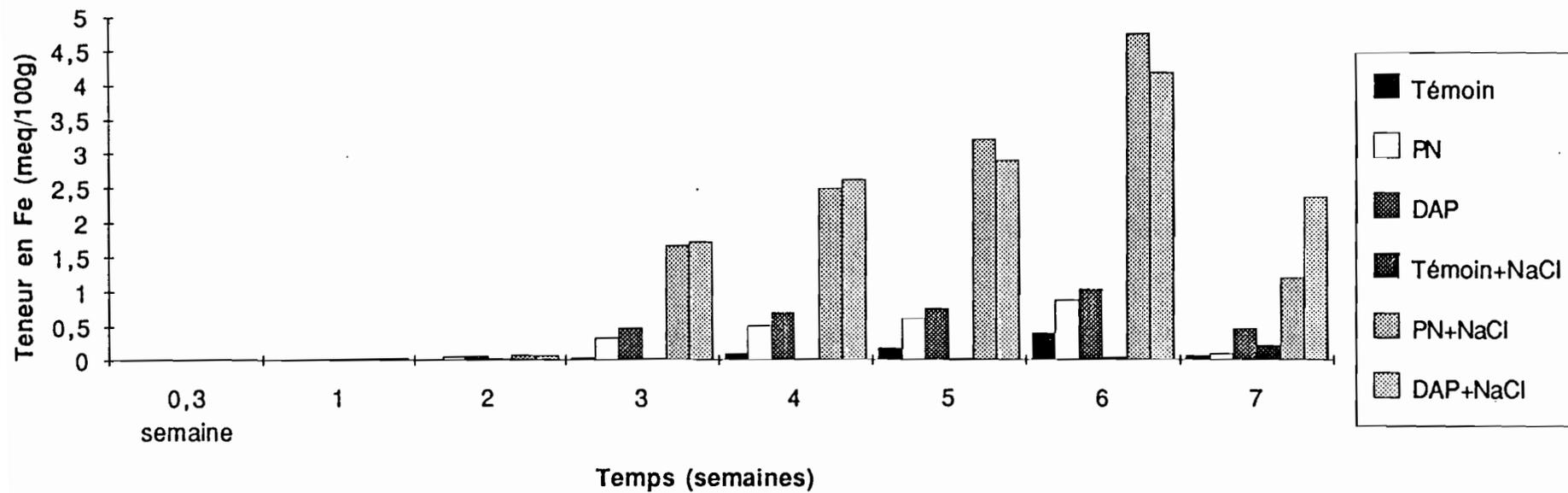
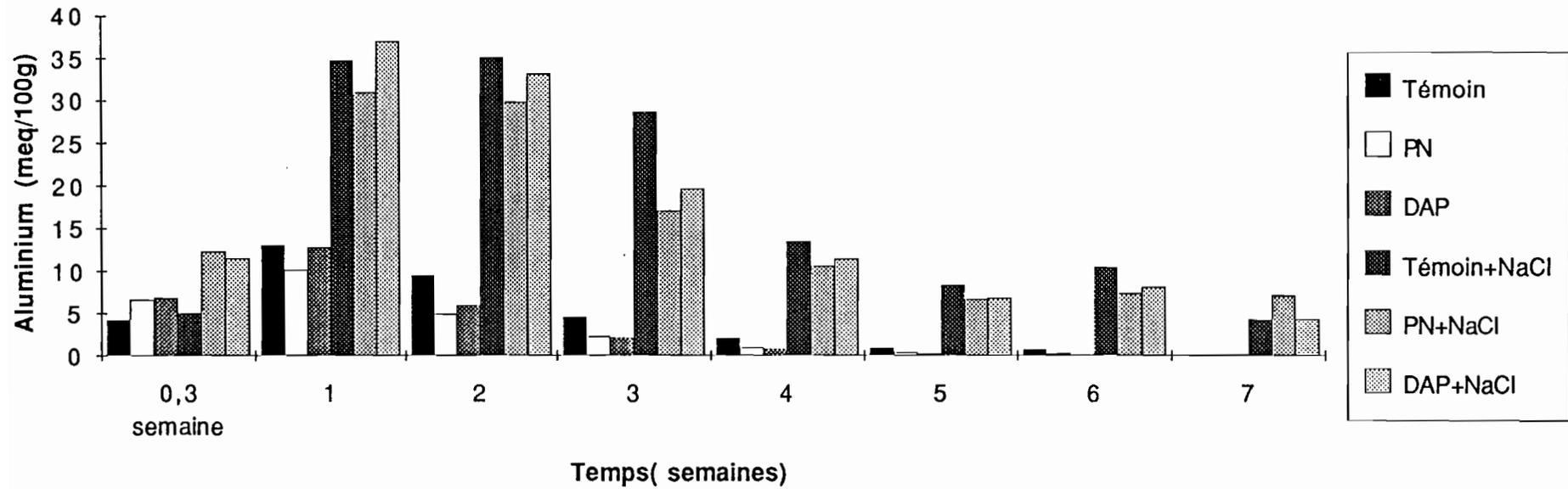


Figure 72 - Variation de la teneur en Al des percolats en fonction du temps pour les divers types d'engrais



B. Evolution des sols sulfatés acides arrosé avec l'eau salée à 150/00 (tableaux 74 et 75)

B.1. Etat naturel: cas du témoin, en présence de NaCl

L'effet de l'eau salée sur le sol sulfaté acide se traduit par une augmentation de la teneur pour tous les éléments dans les percolats par rapport au témoin arrosé avec l'eau distillée:

- Le fer augmente de 2 et 3 fois.
- Les éléments P, K, Ca, Al, augmentent de 2 à 7 fois .

Tous les éléments présentent des teneurs plus élevées en surface qu'en profondeur .

Ces augmentations s'expliquent par la présence de Na avec une teneur très élevée qui modifie l'équilibre du sol.

B.2. Evolution des sols sulfatés acides avec le traitement phosphate naturel (PN) en présence de NaCl

L'effet de l'eau salée sur le traitement PN se traduit également par l'augmentation de toutes les teneurs:

- Pour le Ca: on multiplie pratiquement par 2 la teneur les deux profils alors que l'action sur le témoin n'avait augmenté la teneur en Ca que de 50%.

- Pour le P, on a un effet du même ordre de grandeur (x 3,7 et 3 par rapport 3,9 et 2,9) alors que l'apport de PN n'avait pratiquement pas eu d'effet sur P.

- Pour Al: le coefficient multiplicateur est plus important que dans le cas de l'eau salée sur le témoin (6,4 et 4,7 au lieu de 4,5 et 3,9) mais PN avait eu un effet dépressif sur la teneur en Al (- 40% à 0-20cm et - 30% à 50-70cm).

- Pour le Fe, il faut remarquer que cette augmentation est faible pour le profil 0-20cm (+6%) alors que l'eau salée, sur le témoin, multipliait la teneur par 3, il faut souligner que le seul traitement PN a multiplié la teneur en Fe sur ce profil par 2,7.

On peut dire que pour Fe, pour le profil 0-20cm, l'action du PN est du même ordre de grandeur que l'action de l'eau salée et il n'y a pas cumul des effets.

Pour le profil 50-70 cm, par contre, la teneur du témoin avait déjà été multipliée par 3 du fait de l'apport du PN; l'eau salée entraîne une nouvelle multiplication par 5,3. Il faut souligner que sur le témoin, l'eau salée avait une action réductrice qui semble tout à fait aberrante.

- On trouve le même phénomène avec le K où le coefficient multiplicateur est supérieur à l'action de l'eau salée seule (9,5 et 5,3 au lieu de 7 et 3,6) alors que le traitement PN avait eu un effet légèrement dépressif (- 20%).

Tableau 74 Comparaison des éléments dans le percolat des traitements avec NaCl en fonction du temps (profil 0-20 cm)

	Semaine	S	Fe	Mg	Al	Ca	Na	K	P	Mn
Témoin+NaCl	0,3	2,4215	0,002	1,5005	7,953	0,785	37,0025	0,1945	1,6615	57,76
Moyenne	2	5,435	0,5205	3,264	21,521	1,785	100,358	0,549	4,047	126,491
	3	3,5435	0,7765	1,7425	16,8575	1,0625	113,325	0,347	11,3785	79,5885
	4	3,2105	1,9435	1,366	15,8425	0,879	129,132	0,759	7,788	69,086
	5	2,445	3,017	0,7395	13,2505	0,618	145,662	0,9735	6,648	42,6875
	6	1,5055	4,165	0,175	7,92	0,1995	153,148	0,716	8,742	19,3555
	7	1,555	6,918	0,0345	8,5995	0,0115	255,265	1,092	16,414	15,7915
	8	0,7875	2,704	0,0675	3,7935	0,1165	32,126	0,283	0	0
	Cumul	20,9035	20,0465	8,8895	95,7375	5,457	966,017	4,914	56,679	410,76
PN + NaCl	0,3	0,921	0,0005	0,5735	2,3565	1,0055	23,5865	0,093	0,606	20,5635
Moyenne	2	6,367	0,512	4,083	15,9515	8,42	67,527	0,4295	3,356	136,75
	3	5,7325	1,835	3,857	20,9325	10,1345	95,475	0,4055	14,6025	145,444
	4	4,2045	2,275	1,6245	18,4125	6,776	135,037	0,984	9,5875	80,652
	5	2,346	2,0845	0,3945	11,796	3,1965	147,08	1,1275	5,336	29,3235
	6	1,309	2,9255	0	6,862	1,275	151,132	0,7575	8,4235	9,944
	7	1,384	6,3495	0	8,0245	0,7955	258,253	1,4745	15,144	7,1145
	8	0,673	2,3045	0,017	3,615	0,3035	32,2935	0,319	0	0
	Cumul	22,937	18,2865	10,5495	87,9505	31,9065	910,382	5,5905	57,0555	429,791
DAP+ NaCl	0,3	1,882	0,0025	1,2065	5,983	0,6385	30,586	0,1785	1,997	47,0365
Moyenne	2	5,6695	1,4095	3,2945	17,48	1,7235	94,0205	0,564	3,8805	127,62
	3	5,6765	2,8425	3,071	18,665	1,775	100,936	0,417	14,066	132,039
	4	4,5775	4,2585	1,6125	19,0205	1,298	133,077	1,135	10,108	89,1565
	5	2,5925	3,299	0,506	12,673	0,599	145,176	1,303	4,4355	34,9695
	6	1,4575	3,311	0,0735	7,504	0,136	149,762	0,8705	8,1635	13,9285
	7	1,5705	6,3865	0	8,947	0,015	254,684	1,508	15,542	11,7285
	8	0,8395	2,8635	0,0325	4,4485	0,0985	36,723	0,396	0	0
	Cumul	24,2655	24,373	9,7965	94,721	6,2835	944,964	6,372	58,1925	456,478

Résultats exprimés en meq/100g

T: témoin-PN: phosphate naturel-DAP: diammonium hydrogénophosphate

Tableau 75 Comparaison des éléments dans le percolat des traitements avec NaCl (profil 50-70 cm)

Colonne	Temps	S	Fe	Mg	Al	Ca	Na	K	P	Mn
Témoin+NaCl	0,3	1,4585	0,0105	1,0925	5,105	0,528	11,638	0,123	1,1535	35,551
	2	8,6605	0,029	7,0265	34,832	3,318	80,348	0,8695	6,0965	215,161
	3	6,485	0,0255	5,6355	35,224	2,7675	101,404	0,9145	22,3155	180,371
	4	3,5475	0,0325	3,0635	28,655	1,6635	130,743	1,5805	11,5695	99,637
	5	1,327	0,0205	0,8465	13,504	0,5315	111,935	1,2325	5,414	28,091
	6	0,8025	0,0215	0,2065	8,392	0,1115	119,801	1,06	8,3625	9,788
	7	0,8785	0,045	0,022	10,44	0,0085	170,396	0,8075	10,644	6,3555
	8	0,4105	0,2215	0,026	4,287	0,0385	22,5795	0,381	0	0
	Cumul	23,57	0,406	17,919	140,439	8,967	748,843	6,9685	65,5555	574,9545
PN+NaCl	0,3	4,316	0,017	3,07	12,3355	5,3795	34,881	0,349	4,04	89,919
	2	9,5455	0,022	7,305	31,007	13,98	91,8145	0,8845	8,862	206,794
	3	6,2685	0,0775	5,223	29,864	10,717	117,87	0,9325	20,0745	155,0535
	4	2,6855	1,673	1,5995	17,068	4,269	129,034	1,4965	6,8715	50,4685
	5	1,5245	2,4915	0,3975	10,607	1,5205	131,708	1,576	3,75	13,4705
	6	0,8555	3,2025	0,007	6,7075	0,412	136,22	1,333	6,797	3,8275
	7	0,839	4,747	0	7,4135	0,05	203,134	1,1255	10,121	2,245
	8	0,7805	1,1975	0,064	7,147	0,1055	32,4895	0,6845	0	0
	Cumul	26,815	13,428	17,666	122,1495	36,4335	877,15	8,3815	60,516	521,778
DAP+ NaCl	0,3	3,786	0,021	2,626	11,508	1,3755	25,281	0,3185	8,1305	84,0035
	2	9,6845	0,034	7,586	36,9945	3,6655	87,644	1,0825	13,6335	232,6645
	3	5,8545	0,07	4,6255	33,2105	2,435	119,897	1,086	21,265	149,107
	4	2,771	1,716	1,369	19,704	0,8425	138,606	1,6745	6,9	48,275
	5	1,5415	2,619	0,3045	11,404	0,232	135,325	1,614	2,835	12,4255
	6	0,8245	2,8905	0	6,839	0	137,198	1,3885	7,2555	3,3965
	7	0,8705	4,1785	0	8,151	0	221,462	1,1075	10,662	2,384
	8	0,5455	2,3645	0,013	4,311	0,06	31,774	0,5295	0	0
	Cumul	25,878	13,8935	16,524	132,122	8,6105	897,185	8,801	70,6815	532,256

Résultats exprimés en meq/100g

T: témoin-PN: phosphate naturel-DAP: diammonium hydrogénophosphate

B.3. Evolution des sols sulfatés acides pour le traitement DAP en présence de la salinité

- Pour le Fe: il y a à nouveau, pour chacun des profils, respectivement multiplication par 2 et 3,9 de la teneur en fer qui avait déjà été multipliée par 2 et 4 du seul fait du traitement DAP.

- Pour le Ca: l'effet de DAP étant plutôt dépressif mais faiblement, avec l'eau salée, on a une augmentation avec DAP sans NaCl un peu supérieure à celle de l'eau salée sur le témoin et on a finalement une teneur légèrement supérieure sur le profil 0-20cm (+15%).

- Pour Al: le coefficient multiplicateur est de 5,5 pour le profil 0-20cm et 4,5 pour le profil 50-70cm par rapport au traitement DAP avec l'eau distillée; il est supérieur à l'effet de l'eau salée sur le témoin, mais le DAP a eu un effet légèrement dépressif sur le témoin à l'eau distillée.

Globalement, la teneur en Al en présence de DAP et NaCl est inférieure au témoin à l'eau salée de 2% à 0-20 cm et de 6% à 50-70 cm ce qui montre que l'action combinée DAP + eau salée diminue la teneur en Al du percolat par rapport au témoin arrosé à l'eau salée

- Pour le P, l'augmentation due à l'ensemble DAP - eau salée est plus importante que le traitement DAP- eau distillée. Mais cette augmentation est faible par rapport au témoin traité à l'eau salée ce qui s'explique par l'augmentation de la teneur en P dans le percolat provoquée par l'action du NaCl et non par l'engrais phosphaté apporté.

Sur le cumul des percolats de tous les traitements, nous pouvons donc souligner les points principaux suivants:

- Sur les sols sulfatés acides, sans NaCl, sans apport d'engrais, le fer se présente sous forme de fer ferrique qui est difficile à solubiliser, il a besoin de temps et d'eau pour être réduit à la forme de fer ferreux, soluble, que nous avons dosé la dernière semaine de percolation.

L'aluminium est plus soluble que le fer dans le sol; en présence d'eau, il apparaît dès les premiers percolats comme les autres éléments.

- Sur ce type de sol, en présence du NaCl, la teneur de tous les éléments a été augmentée. L'apport important de NaCl provoque l'échange de Na avec Ca, K et Al.

L'action du Na sur l'Al est remarquable par l'augmentation de la teneur de l'Al soluble dans le percolat.

- En présence de l'engrais PN ou DAP, la teneur de P n'augmente pas dans le cumul des percolats ce qui montre que l'application de P, seul ou sous forme du complexe P- Ca, se traduit par une fixation de P dans le sol sous formes P-Al ou P-Fe comme démontré par la méthode Chang et Jackson.

Avec le traitement PN, l'eau salée entraîne une augmentation plus importante que l'eau distillée. Ce phénomène s'explique également par l'échange entre Na et Ca.

Pour le traitement DAP, il n'y a pas de différences importantes avec le témoin pour les cations basiques.

Après la dernière percolation, les sols humides ont été découpés en 6 tranches et analysés ainsi qu'un extrait à l'eau (1: 1), appelé solution du sol, pour étudier l'état résiduel de chaque tranche de sol après essai.

6.2.2. EVOLUTION DES CATIONS ECHANGEABLES DANS LES SOLS

Les résultats détaillés du complexe d'échange, tranche par tranche, sont regroupés dans l'annexe LII.

A. Colonnes arrosées avec l'eau distillée

Le tableau 76 montre les résultats, par traitement et par colonne, et les différences entre traitements et témoin.

Horizon 0-20cm:

Dans le cas du traitement PN, il n'y a pas de variation significative par rapport au témoin, du pH et de la CEC. La diminution de Al échangeable s'explique par l'échange Al-Ca. En effet, le PN contient 44,5% de CaO, ce qui correspond à un apport de 1,27 meq% de Ca.

Dans le cas du traitement DAP, il n'y a pas de variations par rapport au témoin du pH, ni de Ca, Mg, K, Na. La variation de Al échangeable est compensée par une variation équivalente de CEC et par un échange avec l'ion NH_4^+ apporté par le DAP (0,64 meq/100g).

Horizon 50-70cm:

Dans le cas du PN, on constate une situation analogue à celle de l'horizon supérieur. Il n'existe pas de variation de la CEC et du pH. Ceci s'explique également par l'échange entre Al et Ca contenus dans l'engrais PN.

Dans le cas du DAP, la variation de Al échangeable est très faible (0,09 meq%). Le bilan de l'échange global est très équilibré.

B. Colonnes arrosées avec l'eau salée à 150/00

Le tableau 77 montre la moyenne des résultats, par traitement et par colonne, et rassemble les différences entre le témoin et les traitements à la fin de l'arrosage avec le NaCl à 150/00.

La CEC de l'horizon 0-20cm ne présente pas de différence significative entre les traitements. Par contre, elle est plus faible qu'à la profondeur de 50-70cm ce qui s'explique par sa teneur en matière organique comme dans le cas précédent.

Tableau 76 : Analyse du complexe d'échange dans le sol. Colonnes percolées avec l'eau distillée . Résultats exprimés en meq/100g

Horizons	Traitement	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	CEC	pH	
	Eau									
0-20cm	Témoin	0,33	0,19	0,06	0,07	6,98	0,1	9,23	4,27	
	PN	0,88	0,26	0,07	0,07	6,07	0,17	9,16	4,6	
	DAP	0,23	0,21	0,06	0,08	6,48	0,19	8,93	4,34	
50-70 cm	Témoin	0,27	0,36	0,16	0,11	8,77	0,21	11,85	3,92	
	PN	0,85	0,38	0,18	0,07	8,29	0,27	11,88	4,2	
	DAP	0,28	0,35	0,14	0,07	8,68	0,38	11,83	4,16	
		dif Ca	dif Mg	dif K	dif Na	dif Al	dif Fe	dif CEC	dif H+	Somme des dif
0-20cm	PN	0,55	0,07	0,007	-0,002	-0,91	0,07	-0,06	-0,03	-0,02
	DAP	-0,10	0,02	0,004	0,005	-0,50	0,09	-0,30	-0,01	-0,49
50-70cm	PN	0,58	0,03	0,011	-0,04	-0,47	0,06	-0,03	-0,06	-0,10
	DAP	0,01	0	-0,022	-0,05	-0,09	0,18	-0,02	-0,05	-0,03

dif= différence par rapport au témoin

T: témoin-PN: phosphate naturel-DAP: diammonium hydrogénophosphate

Tableau 77 : Analyses du complexe d'échange dans le sol. Colonnes percolées avec l'eau salée

Horizons	Traitement	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	CEC	pH	
	NaCl									
0-20cm	Témoin	0,08	0,05	0,05	2,89	3,95	0,06	11,49	4,31	
	PN	0,1	0,05	0,05	2,91	3,78	0,04	11,53	4,35	
	DAP	0,07	0,05	0,05	2,96	3,71	0,06	11,48	4,31	
50-70 cm	Témoin	0,1	0,04	0,17	4,53	4,48	0,07	13,06	3,99	
	PN	0,15	0,05	0,19	5,25	3,72	0,23	13,24	4,13	
	DAP	0,11	0,04	0,14	5,38	3,91	0,13	13,46	4,1	
		dif Ca	dif Mg	dif K	dif Na	dif Al	dif Fe	dif CEC	dif H+	Somme des dif
0-20cm	PN	0,02	0,00	0,004	0,024	-0,17	-0,02	0,04	-0,00	-0,16
	DAP	-0,01	0,00	-0,001	0,067	-0,24	-0,01	-0,01	0,00	-0,20
50-70cm	PN	0,05	0,01	0,023	0,719	-0,76	0,16	0,17	-0,03	0,18
	DAP	0,01	0,00	-0,028	0,855	-0,57	0,07	0,4	-0,02	0,31

dif= différence par rapport au témoin

T: témoin-PN: phosphate naturel-DAP: diammonium hydrogénophosphate

En outre, avec l'arrosage à l'eau salée, la CEC augmente dans tous les traitements pour les deux horizons ce qui explique sa teneur élevée de 21% pour l'horizon 0-20cm et 11% pour 50-70 cm . C'est le Na^+ et Cl^- qui constituent une force ionique sur les solutions.

En effet, en présence des teneurs élevées des ions chlorures et sodium, tous les cations échangeables ont diminué mais la CEC augmente. La présence de NaCl provoque également une diminution importante de Al échangeable: 40% pour l'horizon 0-20 cm et 53% pour l'horizon 50-70cm.

C. L'effet de l'apport de phosphore

L'effet de l'apport de phosphore sur le sol se trouve dans le tableau 78.

Tableau 78: Variation de P assimilable dans les deux horizons du sol (Olsen-Dabin) sous l'effet des traitements. Résultats exprimés en ppm.

Traitements	Arrosage eau distillée		Arrosage eau salée	
	0-20 cm	50-70 cm	0-20 cm	50-70 cm
Témoin	13,40	6,10	13,40	4,80
PN	87,20	35,30	84,20	50,20
DAP	88,90	44,00	85,70	49,40

Dans les deux horizons du témoin la teneur en P assimilable est très faible par rapport au seuil de carence (30ppm) .

En présence de PN et DAP, la teneur de P dans le sol augmente mais pas dans les percolats pour les deux traitements avec arrosage à l'eau distillée et à l'eau salée. La correction par l'apport de P est donc très efficace. L'absence du P apporté dans le percolat permet de confirmer qu'il se fixe dans le sol pour corriger la carence.

L'augmentation de la teneur en P en surface est plus élevée qu'en profondeur car il n'a pas le temps de migrer et parce que le pouvoir fixateur du sol peut être augmenté par la matière organique .

6.2.3. EVOLUTION DES IONS SOLUBLES DANS LE SOL

Avec les différentes tranches de sol humide qui restent après la percolation, nous avons fait également un extrait à l'eau dans le rapport 1:1. Tous les résultats d'analyses, tranche par tranche sont rassemblés dans l'annexe LIII. Le tableau 79 montre les ions solubles qui restent dans le sol après la percolation et le tableau 80 présente la différence entre le témoin et les traitements.

Avec l'eau distillée et le traitement PN, il reste une teneur en Ca soluble plus élevée que celle du témoin et du traitement DAP. Par contre, dans les colonnes arrosées à l'eau salée, la teneur en Ca restant est minimum ce qui s'explique par l'effet ionique de Na dans la solution.

Tableau 79: Composition ioniques de l'extrait à l'eau du sol dans les différents traitements. Rapport sol / eau = 1/ Moyennes des résultats pour chaque colonne. Unité: meq/100g sol

Horizon cm	*	Trait	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Cl	S	pH
0 - 20	Eau	T	1.46E-02	1.72E-02	3.23E-03	3.44E-03	3.74E-02	3.13E-04	8.70E-03	1.26E-01	3.83
		PN	4.05E-02	1.39E-02	3.09E-03	3.58E-03	9.85E-03	2.20E-02	7.08E-03	1.47E-01	4.11
		DAP	1.17E-02	1.38E-02	4.28E-03	5.46E-03	1.57E-02	1.08E-02	1.33E-02	1.28E-01	3.80
50 - 70	Eau	T	6.85E-03	4.66E-03	6.30E-03	3.28E-03	4.66E-03	1.39E-04	2.26E-02	5.69E-02	3.91
		PN	1.32E-02	4.83E-03	3.34E-03	2.73E-03	1.50E-03	3.24E-03	1.87E-02	4.01E-02	4.07
		DAP	3.20E-03	6.44E-03	4.22E-03	2.25E-03	4.49E-04	6.31E-03	6.87E-03	4.56E-02	3.51
0 - 20	NaCl	T									
		PN	2.62E-03	9.00E-04	1.14E-02	9.72	2.09E-02	8.67E-04	14.85	5.61E-02	3.91
		DAP	4.60E-03	6.00E-04	1.43E-02	9.98	2.04E-02	9.41E-04	22.28	4.78E-02	4.11
50 - 70	NaCl	T									
		PN	8.70E-03	1.32E-03	1.77E-02	10.40	3.25E-02	2.70E-03	24.55	6.27E-02	3.90
		DAP	1.82E-03	2.00E-04	2.86E-02	9.26	2.95E-02	7.12E-05	26.11	3.83E-02	3.94
70	NaCl	DAP	1.65E-03	1.87E-04	1.69E-02	8.97	1.46E-02	7.94E-03	24.93	2.30E-02	4.12
			2.00E-03	2.27E-04	1.97E-02	8.19	4.75E-03	5.95E-03	24.43	2.25E-02	3.84

* : type d'arrosage des colonnes

- eau distillée
- NaCl 15g/litre

Traitements : T témoin

- PN phosphate naturel 100 ppmP
- DAP 100 ppmP

Tableau 80: Différences des teneurs en ions dans les traitements par rapport au témoin.

Horizon cm	*	Trait	Dif Ca	Dif Mg	Dif K	Dif Na	Dif Al	Dif Fe	Dif Cl	Dif S	dif H+
0	Eau	PN	2.6E-02	-3.3E-03	-1.3E-04	1.4E-04	-2.8E-02	2.2E-02	-1.6E-03	2.1E-02	7.0E-02
20		DAP	-2.8E-03	-3.3E-03	1.1E-03	2.0E-03	-2.2E-02	1.1E-02	4.6E-03	2.0E-03	-1.1E-02
50		PN	6.3E-03	1.7E-04	-3.0E-03	-5.4E-04	-3.2E-03	3.1E-03	-3.9E-03	-1.7E-02	4.0E-02
70		DAP	-3.6E-03	1.8E-03	-2.1E-03	-1.0E-03	-4.2E-03	6.2E-03	-1.6E-02	-1.1E-02	-1.9E-01
0	NaCl	PN	2.0E-03	-3.0E-04	2.9E-03	0.25	-4.6E-04	7.3E-05	7.43	-8.3E-03	4.6E-02
20		DAP	6.1E-03	4.2E-04	6.3E-03	0.68	1.2E-02	1.8E-03	9.70	6.6E-03	-2.9E-03
50		PN	-1.7E-04	-1.3E-05	-1.2E-02	-0.29	-1.5E-02	7.9E-03	-1.19	-1.5E-02	4.0E-02
70		DAP	1.8E-04	2.7E-05	-8.9E-03	-1.07	-2.5E-02	5.9E-03	-1.68	-1.6E-02	-2.8E-02

dif= différence par rapport au témoin.

6.2.4. VARIATIONS DE AL ÉCHANGEABLE DANS LES SOLS

Colonnes arrosées avec l'eau distillée

Les variations de l'Al échangeable sont représentées par la figure 73, la teneur en Al échangeable en profondeur 50-70 cm est plus élevée qu'en surface ce qui s'explique par la présence de la couche de pyrite en profondeur.

Pour l'horizon 0-20 cm, en fonction des traitements, la teneur en Al échangeable diminue significativement avec le traitement PN alors que le traitement DAP ne provoque qu'une faible diminution.

En profondeur (50-70 cm), l'effet des traitements est plus faible.

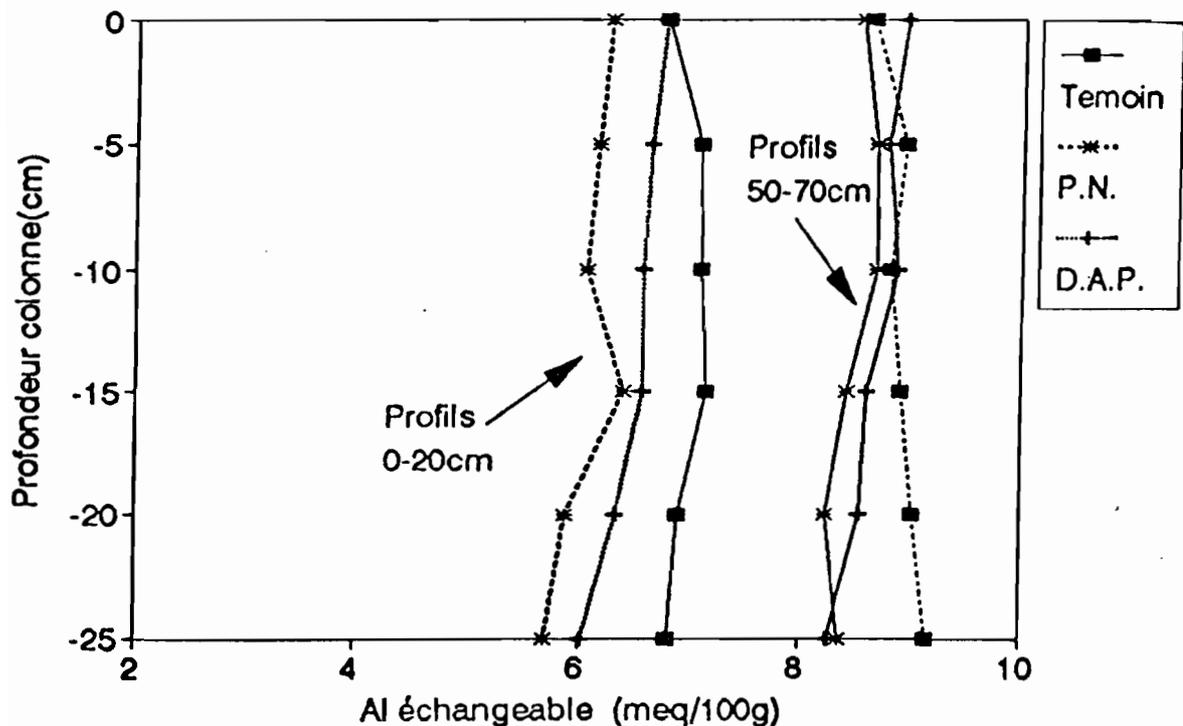


Figure 73: Teneur en Al échangeable dans les colonnes arrosées avec l'eau distillée.

Colonne arrosée avec l'eau salée à 150/00

Les variations de l'Al échangeable sont présentées dans les figures 74 et 75 qui font apparaître également les variations de Na et Ca échangeables (tableau 81).

Pour les deux horizons et pour les trois traitements, les courbes varient de la même façon. Ceci s'explique par la présence du NaCl.

Par contre, par rapport à la teneur en Al échangeable du sol initial, il y a une forte diminution en profondeur 50-70 cm.

**Tableau 81: Variation des teneurs en Al-Ca- Na échangeables suivant les traitements
Résultats exprimés en meq/100g.**

Horizons 0-20 cm		Al éch.		meq%		Ca éch.		Na	
Traitement	Témoin	PN	DAP	Témoin	PN	DAP	Témoin	PN	DAP
Tranche supérieure	2,64	2,19	2,19	0,07	0,07	0,07	3,65	5,84	3,33
Tranche inférieure	4,75	4,60	4,10	0,13	0,14	0,06	2,28	3,14	1,38
Moyenne colonne	3,95	3,78	3,71	0,08	0,1	0,07	2,89	2,91	2,96
Horizons 50-70 cm		Al éch.		meq%		Ca éch.		Na	
Traitement	Témoin	PN	DAP	Témoin	PN	DAP	Témoin	PN	DAP
Tranche supérieure	2,23	1,87	2,12	0,08	0,18	0,25	6,72	7,35	7,58
Tranche inférieure	5,75	5,05	4,66	0,13	0,09	0,09	4,62	5,04	4,24
Moyenne colonne	4,48	3,72	3,91	0,1	0,15	0,11	4,53	5,25	5,38

T: témoin-PN: phosphate naturel-DAP: diammonium hydrogénophosphate

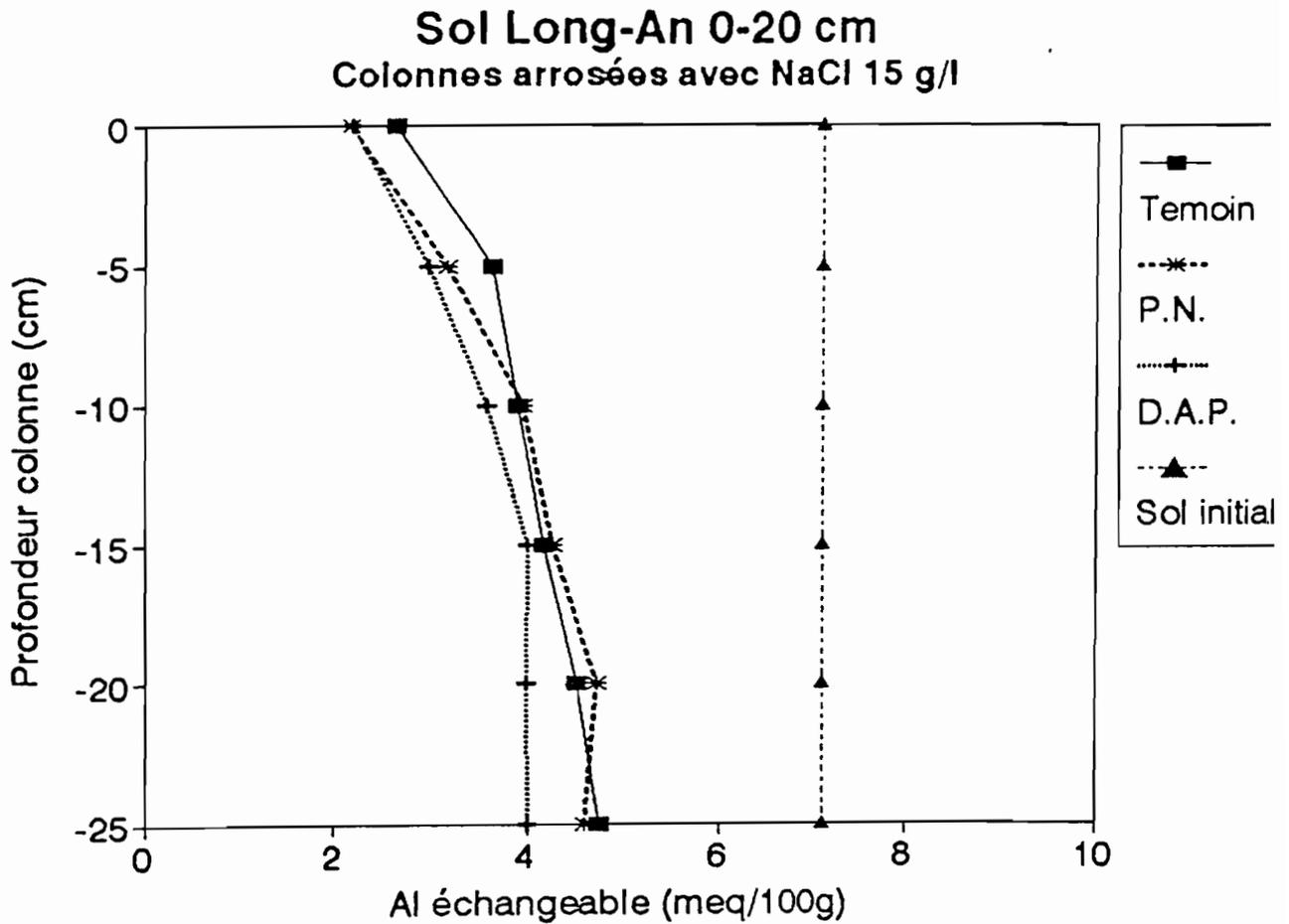


Figure 74 - Teneur en Al échangeable dans les colonnes percolées avec l'eau salée (horizon 0-20 cm)

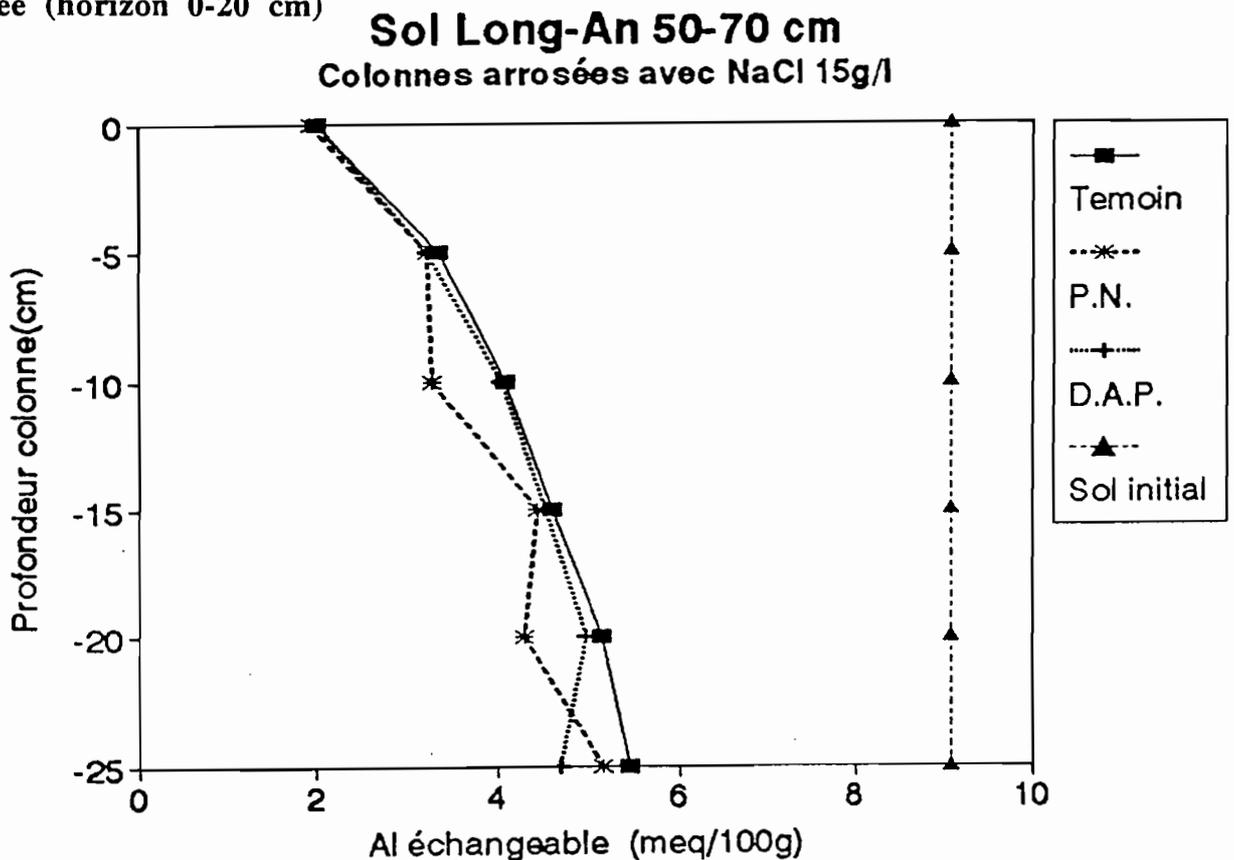


Figure 75 - Teneur en Al échangeable dans les colonnes percolées avec l'eau salée (horizon 50-70 cm)

6.2.5. VARIATIONS DE L'ACTIVITE DE Al^{3+} EN FONCTION DE Al ECHANGEABLE DANS LA SOLUTION DU SOL

Le calcul de l'activité de l' Al^{3+} a été effectué avec le programme GEOCHEM (1986). L'activité de l' Al^{3+} est exprimée en mole/l (tableau 82).

Tableau 82: Variation de l'activité de Al^{3+} (en moles/l) en fonction de Al échangeable (en meq/100g) dans les traitements.

	Horizons	0-20 cm		50-70 cm	
		Al éch.	10^{**4} Act	Al	10^{**4} Act
Traitement eau	Rép.	meq%	Al^{3+}	meq%	Al^{3+}
Témoin	n°1	7,29	2,04	8,87	0,172
FN		6,05	0,54	7,90	0,004
DAP		6,78	1,31	8,78	0,160
Témoin	n°2	6,87	1,78	8,83	0,219
FN		6,06	0,16	8,70	0,005
DAP		6,34	1,22	8,88	0,110
Traitement NaCl					
Témoin	n°1	4,01	0,61	5,14	0,270
FN		4,71	0,95	4,30	0,150
DAP		3,99	0,85	4,97	0,140
Témoin	n°2	4,51	0,89	6,05	0,630
FN		4,30	0,26	4,74	0,090
DAP		4,52	1,21	4,65	0,260

Colonnes arrosées avec l'eau distillée

L'évolution de l'activité de Al^{3+} en fonction de l' Al échangeable est représentée dans la figures 76.

De manière générale, l'activité de l'ion Al^{3+} augmente avec la concentration de Al échangeable.

Dans tous les cas, les valeurs de l'activité sont importantes, comparées au seuil de toxicité généralement admis qui se situe entre 20 et 50 μ moles/l (AVENTURIER et al, 1994).

Pour l'horizon 0-20 cm, l'effet de PN est fortement dépressif sur l'activité de Al^{3+} qui passe en moyenne de $1,91 \cdot 10^{-4}$ à $0,35 \cdot 10^{-4}$ mol/l tandis que la diminution simultanée de l' Al échangeable est moindre puisque sa teneur varie de 7,08 à 6,05 meq/100g.

Pour la profondeur 50-70 cm, les diminutions de l'activité sont encore plus importantes, Al^{3+} varie en moyenne de $0,196 \cdot 10^{-4}$ à $0,5 \cdot 10^{-6}$ mole/l.

Par contre, l'effet de DAP sur l'activité de l' Al^{3+} est plus faible que celui du PN.

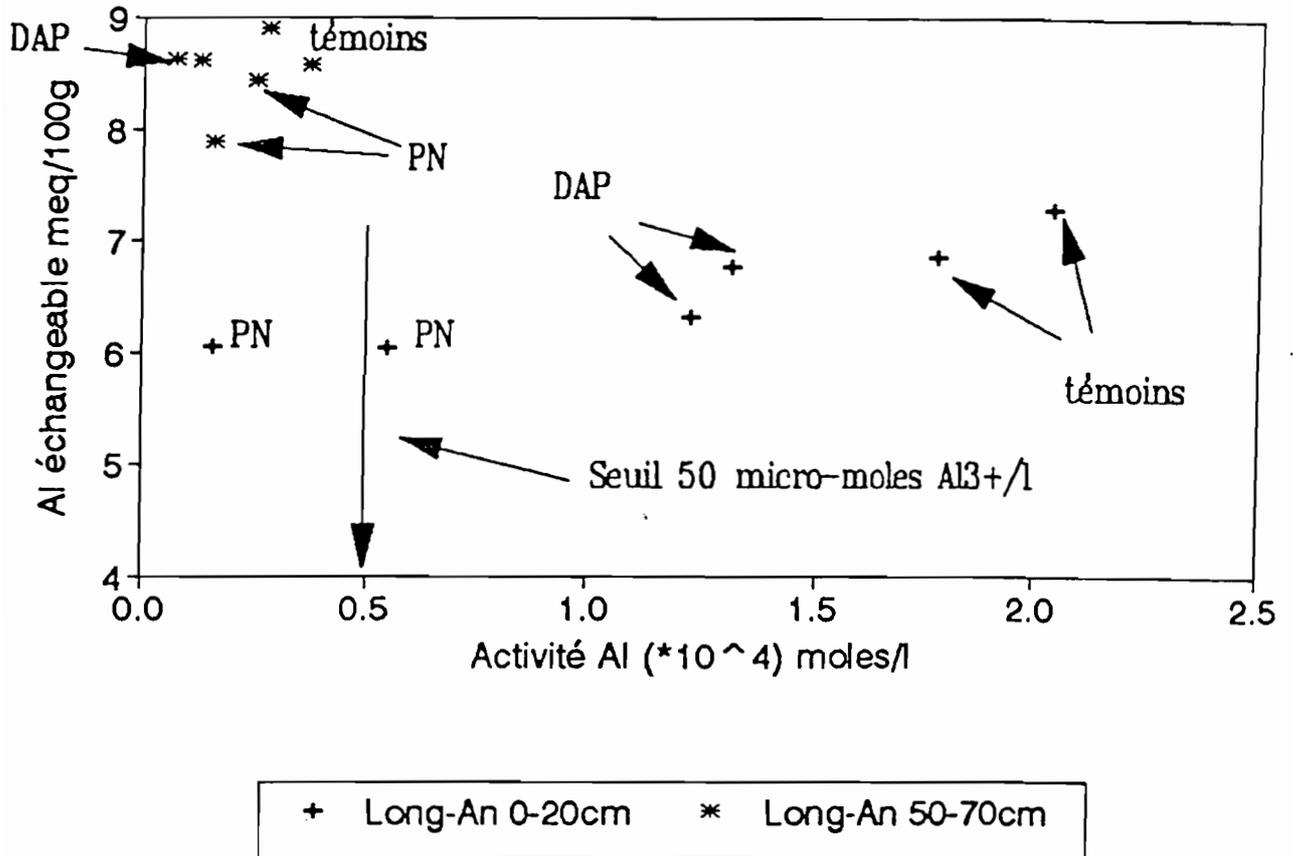


Figure 76: Evolution de l'activité de l'ion Al^{3+} en fonction de la teneur en Al échangeable (eau distillée)

Colonnes arrosées avec l'eau salée à 150/00

L'évolution de l'Al échangeable en fonction de l'activité de Al^{3+} est représentée dans la figure 77.

On note une diminution de l'Al échangeable importante due à la présence de NaCl.

Dans l'horizon 0-20cm, les activités de Al^{3+} sont en moyenne de 35% plus faibles que dans le cas des colonnes arrosées avec l'eau distillée. Cette diminution est proportionnelle avec celle de Al échangeable (-34%).

Par contre, à la profondeur de 50-70 cm, la diminution de l'activité de l' Al^{3+} est plus importante que celle obtenue avec l'eau distillée.

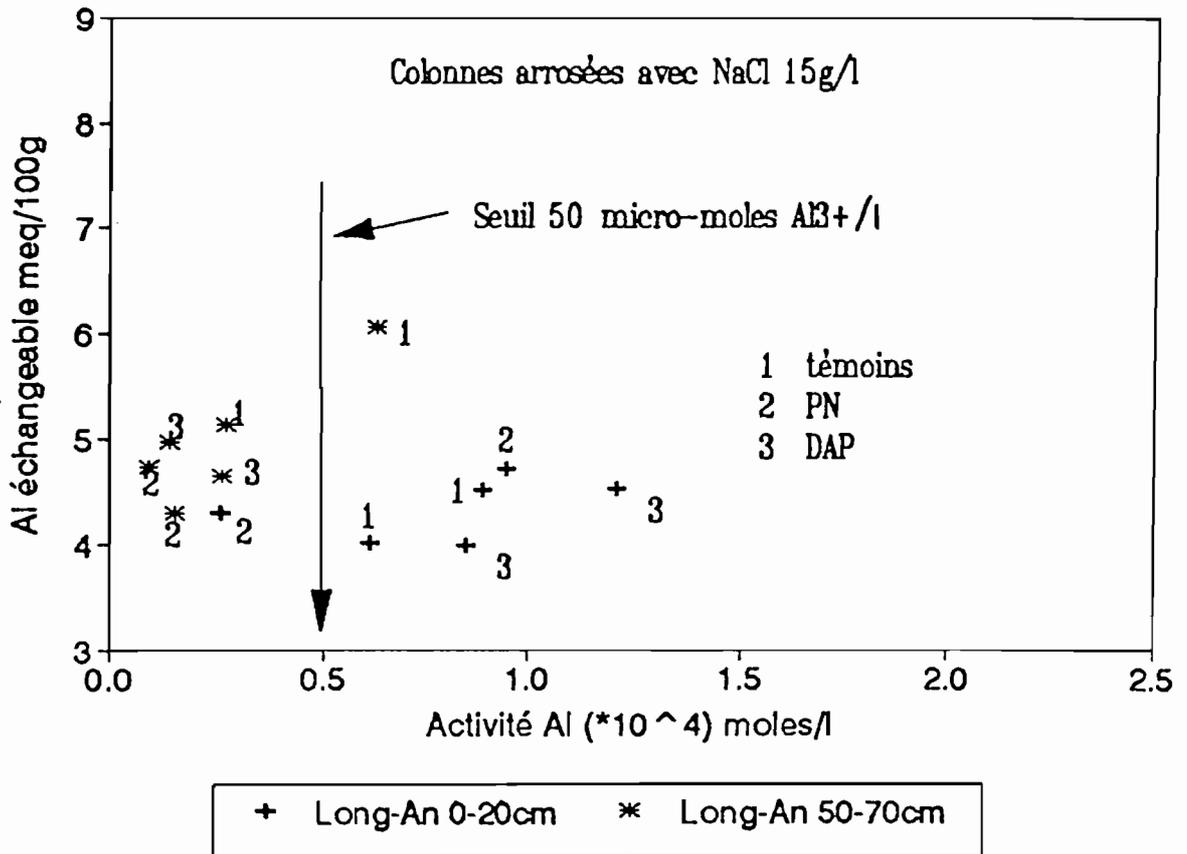


Figure 77: Evolution de l'activité de l'ion Al^{3+} en fonction de la teneur en Al échangeable (eau salée)

6.2.6. CALCUL DE SPECIATION DE L'ALUMINIUM DANS LA SOLUTION DU SOL

On appelle:

- I= la force ionique qui est exprimée en mole/l
 - Al^{3+} : l'Al sous forme de l'ion aluminium libre.
 - $AlSO_4^+$: Al sous forme de complexe sulfate aluminique
 - Les pourcentages sont relatifs à une des formes par rapport à l'aluminium total.
- Les résultats sont exprimés dans le tableau 83 .

L'activité de l'ion Al^{3+} est étroitement corrélée au pH et à la force ionique de la solution.

Ainsi, dans le cas des colonnes arrosées avec NaCl, avec une force ionique élevée de 0,2 mole/l, l'aluminium est à 88% sous forme libre Al^{3+} .

Avec l'eau distillée, pour une force ionique 100 fois plus faible, $5,2 \cdot 10^{-3}$ mole/l, Al^{3+} représente 38% en moyenne de l'aluminium total.

On constate que pour les forces ioniques faibles, la part de Al^{3+} complexée avec les ions SO_4^{2-} pour former le complexe $AlSO_4^+$ est plus élevée (46% en moyenne) dans le cas de l'eau distillée qu'avec l'eau salée (8,3% en moyenne).

Tableau 83: Force ionique et pourcentages des formes de l'aluminium par rapport à l'aluminium total.

Horizons	Colonne arrosée avec l'eau				Colonne arrosée avec NaCl			
	0-20cm				50-70 cm			
	I	pH	Al^{3+} %	$AlSO_4^+$ %	I	pH	Al^{3+} %	$AlSO_4^+$ %
Témoin	0,0062	3,82	40	58	0,0021	3,58	50	48
FN	0,005	4,14	34	63	0,0057	3,76	44	55
DAP	0,0045	3,75	39	59	0,002	3,45	55	44
	0-20cm				50-70 cm			
Témoin	0,002	3,89	88	11	0,0017	3,56	93	6
FN	0,0017	4,08	87	11	0,0014	3,88	93	5
DAP	0,0023	3,82	89	10	0,0015	3,89	91	7

T: témoin-PN: phosphate naturel-DAP: diammonium hydrogénophosphate

SPECIATION DU PHOSPHORE

Le devenir de phosphore dans le sol est intéressant à connaître dans la mesure où les différentes formes du phosphore dans le sol, son pH, sa richesse en hydroxydes et en calcium et fournissent des informations sur la quantité des ions phosphoriques liés plus ou moins étroitement aux cations calcium, fer et aluminium.

En présence d'un sol acide, l'enrichissement en phosphore minéral se manifeste surtout au niveau de la fraction P-Al (GACHON, 1973) et une telle analyse est particulièrement importante pour caractériser le fonctionnement des sols sulfatés acides riches en aluminium sous les conditions du piégeage du phosphore.

Les analyses des sols ont été faites (à 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100 cm), mais il apparaît que les bilans analytiques donnent des résultats trop hétérogènes pour pouvoir tirer des conclusions significatives et il est préférable de reporter ces essais à une publication ultérieure dans le cadre des futures perspectives de recherches.

au début et après 6 et 12 ans

des différentes formes de phosphore

DISCUSSION GENERALE

Pour satisfaire les besoins du pays en lipides d'origine végétale, le gouvernement du Viet Nam a retenu le principe de développer la culture du cocotier dans le delta du Mékong. Malgré l'importance des moyens mis en oeuvre, plantation de 98.000 ha entre 1978 et 1989, les résultats sont assez décevants avec des productions très irrégulières qui varient d'un site à l'autre, de 600 kg à 1300 kg de coprah /ha.

Les trois principales contraintes édaphiques pour la culture dans le delta sont :

- l'asphyxie des racines liée à l'engorgement des terres inondées.
- l'acidité provoquée par l'oxydation d'une couche de pyrite qui existe sur l'ensemble du delta, comme dans toutes les zones de mangroves, à plus ou moins grande profondeur.

- la salinité dont le taux varie en fonction des saisons, de la proximité de la mer, et des possibilités de pénétration de la marée dans le réseau de cours d'eau qui sillonnent le delta.

Pour éviter l'asphyxie, particulièrement contraignante, des aménagements drainants ont été réalisés; ils ont été parfois catastrophiques en facilitant l'oxydation de la couche de pyrite et en provoquant une acidification stérilisante des sols: si des recommandations pratiques peuvent être données pour éviter de tels échecs à l'occasion de nouvelles plantations, il faut s'efforcer d'améliorer les conditions de production des cocoteraies existantes.

Les analyses foliaires montrent un déficit en calcium et en phosphore, et pour remédier à cette situation, l'utilisation du minerai de phosphate de la région de LAO CAI a été proposée et des essais d'amendement ont été conduits avec le minerai brut et avec d'autres engrais phosphatés. Avec ces apports, on espère en outre remonter le pH du sol et, de ce fait, limiter l'activité des ions Al^{3+} favorisés par l'acidité des sols sulfatés acides et connus pour leur toxicité chez les végétaux.

A partir des études de contraintes édaphiques sur la croissance, le développement et la production du cocotier sur sols sulfatés acides et sols sulfatés acides et salés dans le delta du Mékong, nous souhaitons définir une stratégie rationnelle pour le développement de la culture du cocotier dans ce milieu et améliorer la production de coprah par l'apport d'engrais phosphaté.

Les contraintes édaphiques et leurs effets sur la physiologie du cocotier dans les conditions naturelles

Les conditions climatiques sont favorables: température, hygrométrie, pluviométrie, ensoleillement correspondent aux demandes physiologiques du cocotier; en effet, les insuffisances pluviométriques saisonnières sont largement compensées par la présence à faible profondeur de la nappe phréatique. Il n'y a pas de risque de déficit hydrique pour la culture du cocotier dans le delta du Mékong mais parfois un risque d'engorgement.

Cependant, en saison sèche la salinité de la nappe peut augmenter du fait de l'intrusion de l'eau de mer dans les canaux.

Le delta du Mékong enrichi par les alluvions fines du fleuve, comprend des sols argilo-limoneux, très riches en matière organique qui présentent une couche de pyrite située à une profondeur variable, ce qui permet de distinguer:

- des sols alluviaux riches dont la couche de pyrite se situe à plusieurs mètres de profondeur;

- des sols potentiellement sulfatés acides avec un pH *in situ* de 5 à 6, la proximité de la couche de pyrite pouvant entraîner son oxydation à la suite d'un assèchement naturel (sécheresse) ou artificiel (drainage);

- des sols sulfatés acides actifs dans lesquels la pyrite a été transformée en jarosite de couleur jaune caractéristique (2,5Y.8/6), avec des pH *in situ* pouvant être inférieurs à 3,5.

En outre, du fait de l'influence de la marée dans le réseau des canaux et des rivières, ces sols peuvent être salés (rapport Cl/SO₄ élevé).

Les sols sulfatés acides actifs sont issus des sols potentiellement sulfatés acides à la suite de travaux d'aménagement réalisés sans tenir compte de la proximité de la couche de pyrite. Pour éviter l'hydromorphie, des banquettes de culture ont été constituées à 0,60 m au dessus du niveau du réseau hydrographique, ce qui peut être suffisant pour oxyder la couche de pyrite.

Les argiles constitutives sont essentiellement de la kaolinite à faible pouvoir absorbant et les sols non salés ont une capacité d'échange inférieure à 10 meq/100g, caractéristique des sols tropicaux (FALLAVIER et al, 1985) et présentent des carences en phosphore et en calcium.

Sur les sols sulfatés acides actifs, l'acidité du sol peut être telle que l'activité des ions Al³⁺ et Fe³⁺ augmente avec risque de toxicité. Ces facteurs influencent le développement et la production du cocotier dont les diagnostics foliaires et racinaires confirment la carence en phosphore et en calcium.

A Do Hoa, les sols sulfatés acides et salés présentent de fortes teneurs en sodium (13,70 à 23,23 meq/100g), chlorures (16,57 à 23,90 meq/100g) et sulfates (4,75 à 17,02 meq/100g); le rapport Cl/SO₄ varie de 3,8 dans la cocoteraie à 9,04 dans la séquence. La salinité dans la nappe est très élevée en saison sèche avec un maximum atteignant 14‰.

A Long An, les sols sulfatés acides ont un pH très acide (3,05 à 3,56) pendant toute l'année avec un rapport Cl/SO₄ variant de 1,15 à 1,68; ils présentent des teneurs en aluminium dépassant le niveau toxique (77% de la somme des cations alors que le seuil de toxicité est de 40%, TRUONG BINH, 1994).

Les deux sites sont également pauvres en phosphore assimilable (20,57 à 39,47 ppm de P Olsen Dabin) contrainte majeure pour le développement végétal.

Dans la mesure où il n'y a pas de problème de déficit hydrique ou d'ensoleillement, les deux facteurs principaux qui influencent la production sont:

- pour les sols sulfatés acides, le pH qui varie entre la saison sèche et la saison des pluies; l'oxydation de la pyrite en saison sèche fait augmenter l'acidité surtout dans les couches superficielles; H^+ se substitue à Ca^{++} , les teneurs en Al^{3+} et en Fe^{3+} sont très élevées et le phosphore est bloqué: il y a carence en phosphore et en calcium dans les sols et dans les feuilles.

- pour les sols sulfatés acides salés, la salinité qui varie d'une saison à l'autre et augmente en saison sèche (avancée du "coin salé"); corrélativement, le pH augmente et le facteur acidité diminue.

La grande quantité de Na^+ présente dans la nappe se traduit par une faible teneur de Ca^{++} dans le sol, Na^+ ayant remplacé Ca^{++} dans le complexe absorbant ; la teneur de ces sols en phosphore est faible et la combinaison, faiblesse en calcium et phosphore - abondance en sodium, se traduit par une baisse de production par rapport à celle des sols sulfatés acides.

La comparaison entre les deux situations permet de conclure que dans les sols sulfatés acides, nous avons à faire à une toxicité aluminique alors que dans les sols sulfatés acides et salés, il s'agit d'une toxicité sodique qui s'avère plus dépressive.

Pour la croissance végétative, Long An bénéficie d'un meilleur système racinaire que Do Hoa où la salinité de saison sèche et/ou la faible profondeur moyenne de la nappe inhibent son développement.

A Do Hoa, le nombre de feuilles émises est réduit montrant l'influence de la saison sèche liée à l'augmentation de la salinité; il est toujours inférieur à celui de Long An.

Sur sols sulfatés acides et salés, la longueur de la feuille 14 diminue de façon significative de la fin de la saison des pluies à la fin de la saison sèche. Par contre, à Long An, sur sols sulfatés acides non salés, il n'existe pas de différence entre la saison des pluies et la saison sèche. Longueur et largeur de la foliole d'une part, nombre de folioles d'autre part, sont plus importants à Long An ce qui indique que les contraintes y sont plus faibles.

A Long An, et surtout à Do Hoa, le nombre de fleurs diminue en saison sèche et plus particulièrement en janvier; par contre, en saison des pluies, malgré le grand nombre de fleurs, l'importance du taux d'avortement réduit le nombre de noix dont la maturation est plus longue à obtenir: les récoltes de saison des pluies sont donc toujours plus limitées.

Par rapport à la production sur les sols alluviaux fertiles (60 noix/cocotier/an), la production sur les sols salés de Do Hoa est réduite de 45% (33 noix) et à Long An sur sols sulfatés acides de 25% (45 noix)

Si l'épaisseur de l'albumen sur sols sulfatés acides et salés ne diminue pas beaucoup par rapport aux sols sulfatés acides (- 5%), les noix sont nettement plus petites et finalement la production potentielle de coprah peut être évaluée par hectare à 700 kg à Do Hoa et 1835 kg à Long An.

La salinité élevée a donc un effet dépressif sur tous les critères de croissance et de production du cocotier et représente la principale contrainte.

Le diagnostic foliaire des cocotiers cultivés sur les sols sulfatés acides et/ou salés traduit une carence en phosphore avec une teneur très faible (de 0,096 à 0,118%). La carence en calcium est plus marquée sur les sols sulfatés acides que sur les sols sulfatés acides salés (0,089 à 0,144 %). La teneur en sodium des feuilles du cocotier adulte n'est pas liée à la salinité du sol. La proximité de la mer se traduit par une teneur en chlore (0,9%) très sensiblement supérieure au niveau critique (0,55%).

Sur sols sulfatés acides, à Long An, la teneur en aluminium dans les feuilles est très élevée de 69 à 539 ppm, par contre, à Do Hoa, cette teneur est plus faible, de 60,2 à 118,6 ppm, alors que celle observée sur sols alluviaux atteint 114 ppm: *la teneur maximum de l'aluminium à Do Hoa ne semble pas présenter un risque de toxicité.*

Les résultats du diagnostic racinaire, comparés à ceux des cultures sur sols alluviaux, confirment les résultats du diagnostic foliaire sur les deux types de sols pour la carence en calcium. Pour le phosphore, sur les sols sulfatés acides, la teneur est semblable à celle mesurée sur les sols alluviaux alors que sur les sols sulfatés acides et salés, elle peut atteindre le double (0,062%). La teneur en sodium par rapport à celle des sols alluviaux est multipliée au maximum par 2 à Long An et par 4,8 à Do Hoa: le diagnostic foliaire ne présente pas de telles variations. Dans les racines, la teneur en fer et en aluminium est très élevée par rapport à celle des feuilles; les observations au microscope électronique montrent que ces éléments sont piégés dans le rhizoderme des racines.

Le rôle du système racinaire du cocotier est ainsi mis en évidence et paraît essentiel pour filtrer les éléments dont la teneur très élevée dans le sol pourrait s'avérer toxique pour les feuilles mais les teneurs observées dans les racines peuvent expliquer l'inhibition de la croissance des racines (cas de Na^+).

Il n'existe pas de variation particulière du potentiel hydrique en fonction du temps, à Long An, sur sols sulfatés acides, entre la saison sèche et la saison des pluies,. Par contre, à Do Hoa, sous l'effet de la salinité, en saison sèche, le potentiel hydrique atteint la valeur minimum de - 1,2 MPa. En saison des pluies, les valeurs sont plus élevées (- 0,4 MPa) Les mesures de conductance stomatique montrent que l'arrosage à l'eau salée ne diminue pas la résistance stomatique du cocotier sur sols sulfatés acides et salés (Do Hoa) de même l'arrosage à l'eau douce à Binh Thanh n'a aucun effet significatif sur le fonctionnement stomatique ce qui prouve que tous les cocotiers sont bien hydratés même pendant la saison sèche.

Dans le delta du Mékong, les besoins en eau du cocotier sont satisfaits en toutes saisons.

Pour les deux contraintes, acidité ou salinité, la production de noix diminue en même temps que la biomasse de la partie aérienne. Sur sols alluviaux fertiles, le rapport du poids sec de la partie foliaire au poids sec des racines par plante est de 23,9% ; à Long An, sol sulfaté acide, ce rapport ne représente que 10,4% et à Do Hoa, sol sulfaté acide et salé, 9,5%.

Ainsi, le système racinaire du cocotier se développe pour s'adapter aux milieux contraignants, et en même temps, l'appareil foliaire responsable de la photosynthèse est réduit: nous pouvons imaginer qu'il s'agit d'une réaction hormonale comparable à la production par le système racinaire de l'ABA, responsable de la fermeture stomatique et de la réduction de la biomasse aérienne, en cas de stress hydrique.

L'effet sur les feuilles serait donc un effet indirect qui mériterait une étude approfondie ultérieure pour déterminer le rôle éventuel de l'acide abscissique.

En matière de biomasse foliaire, il y a diminution du nombre de folioles et la surface d'une feuille passe de 7,9 m² à 5,5 m² soit moins 30% entre les sols alluviaux et les sols sulfatés acides pour le cocotier TA. On peut rapprocher ces chiffres des mesures effectuées par RAJAGOPAL et al. (1991) qui donnent des surfaces de 4,5 à 6,8 m² par feuille suivant les génotypes étudiés.

Le nombre de noix / cocotier / an diminue de 25% alors que la production de coprah n'est réduite que de 20% ce qui traduit une plus forte teneur en coprah sur les sols sulfatés acides par rapport aux sols alluviaux.

Par contre, le poids sec des racines a augmenté de 60% et il semble donc que le cocotier réagit à la contrainte acidité en développant son système racinaire. En effet, nous avons montré que les racines sont le siège d'accumulation de l'aluminium et du fer et qu'elles jouent un rôle de filtre sélectif.

RENEVOT (1990) dans l'étude de la localisation cytologique de l'aluminium chez la fève (*Vicia faba*) a montré qu'au niveau des racines, l'accumulation de l'aluminium se fait selon un gradient, de la périphérie de la racine vers le cylindre central et de l'extrémité vers la naissance des racines latérales. La répartition de l'aluminium dans le parenchyme s'interrompt brutalement au niveau de l'endoderme, donne à ce dernier une fonction de filtre vis à vis de l'intoxication. C'est le rôle habituellement dédié à cette structure vis à vis des produits toxiques. Ce mécanisme complète le blocage de l'aluminium par le phosphore et s'oppose au transfert de l'aluminium vers le xylème et dans le flux d'eau de transpiration. A cause de cette immobilisation de l'aluminium au niveau des racines, il n'est pas surprenant que les accumulations dans la partie aérienne (tige et feuille) soient limitées sinon nulles.

RASMUSSEN (1969), sur le maïs, a montré que l'aluminium reste localisé à l'extérieur des cellules de la surface racinaire sans pénétrer dans le cortex, quand les cellules sont encore intactes. Des accumulations significatives sont détectées au niveau de la coiffe. Par ailleurs, le phosphore est localisé aux mêmes endroits que l'aluminium, ce qui conduit cet auteur à émettre l'hypothèse d'une précipitation de l'aluminium par le phosphore. Il mesure cependant de faibles quantités d'aluminium dans la partie aérienne de la plante.

Notre étude cytologique des racines sur sols sulfatés acides par l'observation de lames minces au microscope montre que les racines résistent bien au milieu acide. En présence des taches de jarosite, nous n'observons aucune déformation des cellules racinaires

et les racines sont abondantes. En outre, à la périphérie du rhizoderme des racines existe une accumulation d'aluminium et de fer confirmée par la microanalyse.

Sans tenir compte des stipes ni des noix, les moyennes des poids secs des feuilles et des racines mesurées à un instant donné sont estimées comme suit:

- sur sols alluviaux: 96,5 kg dont 77,9 kg de racines
- sur sols sulfatés acides 139,6 kg dont 126,5 kg de racines

Bien qu'il ne s'agisse pas d'une évaluation de la production annuelle, il est intéressant de constater qu'à un instant donné, la biomasse foliaire et racinaire est plus importante (plus 30 %) sur sols sulfatés acides que sur sols alluviaux sans que l'on puisse conclure à une augmentation de la photosynthèse; par contre, le rapport des poids secs des feuilles par rapport aux racines diminue de 56 % entre les sols alluviaux et les sols sulfatés acides ce qui montre que l'appareil foliaire a souffert indirectement de l'altération du fonctionnement du système racinaire.

Un des principaux effets de la salinité sur sols argileux est l'effondrement de la structure par dispersion des argiles (phénomène de battance); il y a en outre des phénomènes de toxicité liés à la présence des ions Cl^- et Na^+ ; la salinité peut également augmenter la pression osmotique de l'eau interstitielle et entraîner des modifications dans l'absorption par les racines.

Les sols sulfatés acides et salés cumulent les contraintes acidité et salinité, les comparaisons ont été effectuées par rapport aux sols sulfatés acides; le pH de sols sulfatés acides et salés, supérieur à celui des sols sulfatés acides (5 contre 3,5) est suffisamment élevé pour que les ions Al^{3+} ne soient pas libérés: ils n'apparaissent pas dans les analyses de sol qui en outre traduisent une carence en phosphore et en calcium.

Le nombre et la longueur des folioles sont réduits et la surface d'une feuille ne dépasse pas $3,5 \text{ m}^2$.

La production annuelle de noix est réduite de 45 %; en effet, malgré la réduction du nombre de feuilles, on constate une augmentation du nombre de fleurs femelles mais le taux d'avortement est important et la fructification limitée. Contrairement à l'effet de l'acidité, la salinité entraîne une baisse de la teneur des noix en coprah dont la production à l'hectare est réduite des deux tiers.

Le manque de produits photosynthétiques, qui modifie le rapport C/N est probablement l'une des causes de nombreux symptômes de réaction à la sécheresse, comme le changement du sex-ratio, dans le sens d'une plus grande quantité d'inflorescences mâles (BEIRNAERT, 1953; SPARNAAIJ, 1960; CORLEY, 1976).

Effets de l'eau salée sur les jeunes cocotiers

L'effet le plus marquant de la salinité concerne le développement racinaire dont le poids sec est diminué de 43%. Cette valeur est à comparer aux taux de réduction de la

biomasse racinaire de plantules de 6 mois: moins 30 % pour une salinité de 5 o/oo et moins 64 % pour une salinité de 10 o/oo.

Comme pour les sols sulfatés acides, il y a accumulation de l'aluminium et du fer au niveau des racines où l'on trouve également une importante teneur en sodium: il faut noter que le diagnostic foliaire ne traduit pas complètement la toxicité du milieu.

La réduction de la photosynthèse est confirmée par les mesures effectuées sur des plants de cocotiers arrosés à l'eau salée: à partir de 10 o/oo de salinité, la fermeture des stomates est continue entraînant la réduction de la biomasse de tous les organes; par contre à 5 o/oo, le développement du cocotier est supérieur à celui obtenu par arrosage à l'eau douce; ceci est probablement lié à l'action du chlore comme l'ont démontré BRACONNIER et D'AUZAC (1989). Il faut noter que les capacités métaboliques de fixation du CO₂ sont altérées en même temps que la conductance stomatique est réduite, ce qui est prouvé grâce à l'utilisation conjointe des méthodes Hansatech (3% CO₂) et de la chambre d'assimilation en air normal.

Pour des salinités plus élevées, la diminution de la photosynthèse peut être provoquée indirectement par l'acide abscissique comme cela a été observé pour d'autres plantes soumises à un stress hydrique. La confirmation d'une telle stratégie de défense du cocotier à la contrainte salinité nécessite cependant des études ultérieures.

En définitive la salinité s'avère nettement plus contraignante que l'acidité et le taux de 10o/oo ne doit pas être dépassé au moins pour des jeunes cocotiers: cela peut correspondre à une fraction importante des 586.000 ha du delta du Mékong temporairement et modérément salés, seulement en saison sèche (Mekong Delta Master Plan, 1991).

Les carences en phosphore et en calcium ont été soulignées tant au niveau des sols que du diagnostic foliaire: la correction correspondante est nécessaire pour améliorer la production du cocotier.

En présence de sodium dans le sol, il existe une accumulation de sodium dans les racines, c'est également le cas pour les feuilles. En présence de chlorure de sodium, les feuilles des jeunes cocotiers présentent une augmentation de leur teneur en sodium très différente de celle constatée chez le cocotier adulte, elle est marquée dès que la salinité atteint 5o/oo et varie peu avec l'augmentation ultérieure de la salinité.

Ceci montre que le comportement du cocotier en présence de chlorure de sodium est très particulier: la teneur en sodium des racines, spécialement des grosses, augmente avec la salinité alors que la teneur des feuilles atteint un palier dès que la salinité atteint 5o/oo et n'augmente plus avec les taux croissant jusqu'à 25 o/oo.

Dans le cas où le sol ne présente pas de carence des principaux éléments nutritifs (NPK), la présence de sodium diminue nettement la teneur en calcium; s'il y a carence, il y a réduction de la biomasse, surtout au niveau des racines, comme l'ont montré MENGEL et KIRKBY (1982).

Les mesures du potentiel hydrique et du contenu relatif en eau en fonction du temps, et de la salinité des différents traitements, font apparaître l'importance du facteur salinité sur les jeunes cocotiers.

Pour plusieurs auteurs, le potentiel hydrique est un paramètre important qui traduit l'état de l'eau dans la plante. En 1994, REPELLIN a montré que pour les jeunes cocotiers, le potentiel hydrique est fonction du génotype. Le Grand Ouest Africain apparaît comme un cocotier qui présente le potentiel hydrique le plus élevé et la plus faible conductance stomatique.

Le potentiel hydrique diminue quand la salinité augmente et, avec le taux maximum de 25‰ nous avons la conductance stomatique la plus faible: ceci est à comparer aux résultats obtenus par REPELLIN en présence d'un stress hydrique et permet de conclure que la salinité joue un rôle important dans la fermeture des stomates, comme la sécheresse.

La diminution de la conductance stomatique est liée à une réduction de l'assimilation photosynthétique qui se traduit par une limitation de la croissance à partir d'une salinité de 10‰.

Par contre, le traitement 5‰ qui entraîne une diminution limitée de la conductance stomatique par rapport au témoin, a des conséquences positives sur tous les critères végétatifs aériens. En effet, il n'y a pas de différence entre le témoin et le traitement 5‰ pour les facteurs potentiel hydrique et contenu relatif en eau alors que la teneur en sodium et en chlore augmente dans les feuilles.

BRACONNIER et D'AUZAC ont confirmé en 1990 le rôle de Cl^- dans l'abaissement du potentiel osmotique des cellules de garde qui conduit à l'ouverture stomatique après LAFFRAY et LOUGUET (1982), ZEIGER (1983), LAFFRAY et al (1984) LASCEVE et al. (1987).

On peut penser que la teneur en Cl^- dans le traitement 5 ‰, avec un CRE élevé augmente l'assimilation photosynthétique et la croissance végétative. La fermeture des stomates provoque la réduction de la transpiration quand le taux de salinité est supérieur à 5‰ et constitue l'une des premières réactions permettant à la plante d'éviter la déshydratation (HSIAO, 1973, BERGER, 1973, CHAVES, 1990).

L'application des traitements 10 ‰ et au dessus entraîne une fermeture permanente des stomates. Cette fermeture est corrélée davantage à la teneur en sodium dans les racines plutôt que dans les feuilles. Les jeunes cocotiers répondent plus que les adultes à la présence de sodium dans le milieu ce qui se traduit par la diminution de leur croissance.

Sur les sols sableux, les essais d'irrigation avec l'eau de mer diluée (15‰) sur la variété Grand du Brésil montrent, comme sur le témoin, un abaissement du potentiel hydrique foliaire en saison des pluies et une augmentation en saison sèche (DIAS DA SILVA JUNIOR, 1994). Pour cet auteur, les jeunes plants n'ont pas la capacité d'extraire suffisamment d'eau de la nappe ce qui est prouvé par la chute de la conductance stomatique. Chez ces plantes, le degré d'ouverture stomatique est plus faible que celui des plantes

arrosées avec l'eau douce. Une forte réduction de la conductance stomatique en saison sèche a également été mise en évidence sur les plantes arrosées avec l'eau de mer diluée, qui est corrélée à l'augmentation de l'ETP, de la température et du déficit de saturation en vapeur d'eau de l'atmosphère (VPD). L'irrigation par l'eau de mer diluée a amélioré sensiblement le pourcentage de survie de jeunes plantes soumises à une saison sèche marquée.

Dans les conditions de nos essais, nous avons montré qu'il n'y avait pas de stress hydrique, les mesures du potentiel hydrique montrant la même diminution avec ou sans arrosage à l'eau salée: cette réduction n'est donc pas directement liée à l'augmentation de la concentration en chlorure de sodium. Par contre, nous avons trouvé que la conductance stomatique diminue dans les traitements dès 5‰ et qu'à partir de 10‰, cette conductance est très faible. La photosynthèse diminue avec les traitements 5‰ et 10‰, en corrélation avec la diminution de la conductance stomatique. Le rôle déterminant du VDP se traduit par une " fermeture de midi " des stomates chez les cocotiers adultes comme chez les jeunes.

Effets d'engrais phosphatés naturels

Plusieurs types d'engrais peuvent être utilisés pour corriger les carences constatées, le plus économique dans le delta du Mékong étant le phosphate naturel qui contient à la fois du phosphore et du calcium.

L'effet du phosphate naturel introduit dans les sols se traduit par l'augmentation du nombre de fleurs femelles, du taux de nouaison et du nombre de noix par plante, ainsi que des teneurs en phosphore et en calcium de la feuille 14 au dessus du niveau critique. Notons cependant que la dose de phosphate naturel doit être deux fois plus forte pour les sols sulfatés acides que pour les sols sulfatés acides et salés. L'essai avec l'engrais phosphaté naturel conduit sur cocotiers adultes a montré l'effet bénéfique de cet apport un an après son application; le gain en coprah a été évalué à 1 kg par plante avec 2 kg de phosphate naturel à Do Hoa et 600 g par plante à Long An avec 4 kg de phosphate. Sur le plan économique et donc sur le plan de la rentabilité, compte tenu des prix respectifs du phosphate naturel 700 dongs/kg et du coprah 2700 dongs/kg, l'opération n'apparaît a priori rentable que pour Do Hoa. Mais il est trop tôt pour formuler une conclusion définitive: il faut étudier les effets à plus long terme du phosphate naturel et des autres types d'engrais, en particulier l'engrais M pour apprécier quels seront les effets des apports successifs sur le rendement.

Les sols sulfatés acides à pH <4 ont une teneur en aluminium supérieure à 40% de la somme des cations: le seuil de toxicité semble donc dépassé. L'essai de percolation montre que l'activité de Al^{3+} est diminuée en présence de phosphore, de calcium ou des deux; l'apport de phosphate naturel est donc particulièrement bénéfique sur l'équilibre des cations échangeables. De plus, il y a augmentation du pH du fait de l'apport de calcium, ce qui est une autre cause d'insolubilisation de l'aluminium. KAMPRATH, 1979, a montré que la présence d'aluminium dans les sols tropicaux diminuait la croissance des légumineuses, diminution due à sa toxicité directe et à son effet inhibiteur dans le transfert et l'absorption du

calcium; la toxicité est caractérisée par le blocage du phosphore qui ne peut pas être absorbé par la plante (FOY et FLEMING,1978, HAYNES et LUDECKE, 1981b). Ainsi, dans un sol acide, les effets de la toxicité de l'aluminium et de la déficience en phosphore sont difficiles à distinguer (HAYNES,1984).

Le sol de Do Hoa est nettement différent de celui de Long An par sa capacité d'échanges de cations supérieure alors que les argiles qui les composent sont de même nature et en quantités comparables, seule les colloïdes organiques peuvent expliquer cette différence de capacité.

A Do Hoa, les différents engrais phosphato- calciques ou calciques augmentent le pH, la capacité d'échange et la somme des cations; seuls les engrais phosphatés ont une action significative sur la teneur du sol en phosphore assimilable; elle est fonction de la solubilité de l'engrais phosphaté considéré. La calcite n'a pas d'effet sur la teneur en phosphore assimilable.

A Long An, les mêmes augmentations sont enregistrées pour le pH, la capacité d'échange et la somme des cations. Pour ces deux derniers paramètres, les augmentations sont relativement plus fortes qu'à Do Hoa.

Bien que la force ionique du sodium soit inférieure à celle de l'aluminium sur le plan des transferts, on remarque qu'en présence d'une grande quantité de sodium, ce dernier se substitue à l'aluminium.

On pourrait donc penser diminuer la teneur en aluminium dans ces sols en provoquant une telle substitution par un arrosage à l'eau salée suivi d'un lessivage par les eaux de pluie pour éliminer les ions Na^+ , mais ceci nécessite une grande maîtrise des opérations d'arrosage et de drainage et ne se justifie que pour un sol ayant une toxicité aluminique marquée; en effet dans les sites étudiés, les sols salés s'avèrent moins productifs et la teneur en aluminium des sols sulfatés acides, pourtant élevée, semble bien supportée par le cocotier. L'effet finalement plus contraignant du sodium peut avoir aussi son origine dans la déstructuration des argiles rendant les sols plus compacts et plus asphyxiques.

Pour corriger la déficience des sols en phosphore , le degré de solubilité de l'engrais phosphaté est essentiel. Pour une même quantité de phosphore apporté (100ppm), l'engrais M préparé avec du minerai de Lao Cai 2 ayant subi une attaque partielle à l'acide sulfurique, donne le pourcentage de solubilité le plus élevé dès le premier mois. Mais l'efficacité d'un engrais phosphaté dépend aussi des caractéristique du sol (LEYMONIE et WEBER, 1986). Sur sols sulfatés acides salés, la solubilité des engrais est plus faible que sur sols sulfatés acides: c'est le pH qui oriente la solubilité de l'engrais phosphaté.

L'action de l'engrais phosphate naturel de Lao Cai 2 est très lente du fait de sa faible solubilité. Il peut conserver un intérêt à long terme sur les sols les plus acides en particulier du fait de son apport progressif en calcium. L'évolution de l'engrais M dans le temps est également comparable sur les deux sites, la teneur en phosphore est beaucoup plus importante après un mois d'incubation qu'après trois mois: on a donc intérêt à appliquer

l'engrais M par fractions successives. Enfin, non seulement ce minerai améliore les déficiences en phosphore et en calcium mais du fait de la relation positive entre le phosphore et l'azote, il permet également une augmentation de la teneur en azote (MANCIOT et al, 1979).

Lorsqu'on apporte des engrais phosphatés solubles dans l'eau, une faible partie de phosphore demeure comme ions phosphatés solubles dans la solution du sol. Les ions phosphatés sont rapidement adsorbés sur les surfaces des particules de sol et précipités sous forme de phosphates de calcium, de fer et d'aluminium. Les réactions qui interviennent varient beaucoup avec le type d'argile présent dans le sol et le pH de ce dernier. Une partie du phosphore adsorbé peut cependant demeurer disponible pour être absorbé par les racines des plantes (BARBER, 1977). Rappelons qu'il y a corrélation entre le pH et les différentes formes de phosphates dans les sols. Si dans les sols neutres ou alcalins, les phosphates apportés par les fertilisants tendent à précipiter sous forme d'hydroxyapatite ou fluoroapatite, dans les sols acides, les formes sont associées à l'aluminium et au fer (KHANSAWNEH et DOLL, 1980). L'efficacité agronomique des phosphates naturels est accélérée dans les sols acides (PEASLEE et al., 1962). Les résultats positifs trouvés dans les sols sulfatés acides confirment donc cette action et permettent d'affirmer que dans les sols du delta du Mékong la forte acidité enregistrée influence le devenir des différentes formes du phosphore.

Après 12 mois, l'apport d'engrais phosphaté au sol se traduit chez le cocotier par une augmentation du nombre de fleurs, une amélioration du taux de nouaison et une augmentation du poids du coprah par noix. Mais les délais de différenciation des fleurs étant de deux ans, les observations doivent être poursuivies pour une meilleure appréciation de l'effet bénéfique des phosphates. Un autre point remarquable est l'augmentation du poids des racines en surface et de la teneur en phosphore et en calcium dans les feuilles qui sont des composantes de l'amélioration du rendement.

Il a été signalé que le diagnostic foliaire des cocotiers de Do Hoa et Long An traduisait un excès de fer, de chlore, de manganèse et de soufre, (de sodium essentiellement à Do Hoa), alors que les taux de phosphore et de calcium sont en déficit. Les résultats sur les deux types de sols, avec les différents engrais, montrent une amélioration significative de la production par rapport au témoin ce qui permet de confirmer l'influence bénéfique de l'engrais phosphaté et calcique.

Nous avons étudié deux points spécifiques de l'évolution des ions dans le sol:

- les conditions d'hydromorphie du sol pour réaliser les échanges entre les ions,
- le temps nécessaire à l'amélioration de la solubilité.

L'augmentation du pH s'explique par la diminution des teneurs en ions H^+ et par la dilution de la solution ; l'acidité tend donc à diminuer. L'examen des pH *in situ* dans les sols témoins montre une augmentation, en l'absence d'engrais, d'environ une unité pH.

Les traitements par les engrais E et la calcite brute augmentent significativement le pH; cette augmentation est liée naturellement à l'apport de Ca^{++} qui est contenu dans les

différents types d'engrais. Mais il faut signaler que l'amélioration du pH n'est observée qu'avec l'engrais E et la calcite brute, qui apportent une quantité de Ca^{++} importante (415 ppm dans l'engrais E et de 320 à 600 ppm dans la calcite brute). Donc l'effet du calcium sur l'augmentation du pH n'est significative qu'à partir d'un certain niveau que l'on peut fixer dans notre cas à environ 300 ppm.

L'abaissement du pH constaté un mois après l'application du phosphate supersimple (SSP) peut s'expliquer par la présence d'un excès d'acide sulfurique résultant de la fabrication de cet engrais; l'augmentation, après trois mois d'incubation, a pour origine la dilution résultant de l'apport d'eau tous les deux jours. Le maximum d'augmentation de pH à Do Hoa est obtenu avec la calcite brute à 300 mg(5,8).

A partir de la même quantité de 100 ppm de P apporté au début, l'effet varie avec le type d'engrais et le sol. L'engrais M a l'effet le plus marquant sur la teneur en P Olsen, il est nettement plus efficace que Lao Cai 2 brut dans ces deux types de sols. Son évolution dans le temps est également comparable sur les deux sites, la teneur en P est beaucoup plus importante après un mois d'incubation qu'après trois mois: on a donc intérêt à appliquer l'engrais M par fractions successives.

Pour les autres types d'engrais, la teneur en P Olsen Dabin augmente avec le temps d'incubation; cette augmentation est très faible avec le minerai Lao Cai 2 à Long An; pour Do Hoa, on peut considérer que Lao Cai 2 est sans effet.

L'évolution du phosphore dans le sol dépend du degré de solubilité du type d'engrais phosphaté apporté. L'égalité de l'efficacité entre M et E permet de recommander l'utilisation de l'engrais M dont la fabrication est bien plus simple que celle de l'engrais E.

La plus grande efficacité des engrais phosphatés naturels utilisés dans les sols acides (Long An) par rapport aux sols sulfatés acides salés (Do Hoa) provient de l'acidité qui rend la solubilité du phosphate naturel plus élevée à Long An qu'à Do Hoa.

Sur les deux sols, tous les engrais phosphatés utilisés contenant du calcium font augmenter la teneur de cet élément. Il est remarquable que dans la plupart des traitements l'augmentation de la teneur en calcium est plus importante après un mois qu'après trois mois.

Le taux de sodium diminue dans tous les sols ayant subi un traitement phosphaté et calcique; inversement dans les sols salés, en présence de sodium, la teneur en calcium est faible.

Sur le sol sulfaté acide salé de Do Hoa, nous avons trouvé que l'aluminium est totalement absent après un mois; il est présent dans presque tous les traitements après trois mois mais à des taux très faibles. On peut considérer qu'à Do Hoa, il y a naturellement substitution de Na^+ à Al^{3+} .

Par contre, les sols de Long An renferment une forte quantité d'aluminium; tous les traitements font baisser la teneur en aluminium dans le sol mais seuls les traitements E, calcite brute de 160 mg et calcite brute de 300 mg entraînent une diminution significative.

Ces résultats peuvent s'expliquer par l'importante quantité de calcium apportée par ces trois traitements. Il faut donc dépasser un certain niveau d'ions Ca^{++} pour obtenir la diminution de l'activité de Al^{3+} . Sur les sites considérés, il faut compter plus de 320 ppm. Une étude plus fine serait intéressante à réaliser dans la gamme de 250 à 320 ppm pour déterminer la quantité optimale pour assurer une amélioration stable et durable, l'engrais M très intéressant n'apporte que 247 ppm de Ca et s'avère sans effet sur l'activité de Al^{3+} .

A Do Hoa et à Long An, la diminution des ions H^+ dans les traitements avec l'engrais E et la calcite 300 mg montre l'importante quantité de calcium nécessaire pour que les échanges avec les ions H^+ s'effectuent. Ce qui confirme encore une fois la nécessité du calcium pour améliorer le pH du sol et sa structure.

Le phosphate naturel apporte en même temps le phosphore et le calcium pour améliorer les carences en ces cations dans les sols sulfatés acides et / ou salés du delta du Mékong.

Nos résultats sont en accord avec les conclusions du rapport de l'office Allemand des Sciences de la Terre et des matières premières de 1984 qui a montré que les phosphates naturels tendres sont capables de satisfaire les besoins des plantes sur les sols acides, riches en fer et en aluminium. De plus, l'efficacité du phosphate naturel est améliorée par l'apport complémentaire de calcium, de silice et de soufre pour certains essais.

L'analyse des percolats montre l'importance de l'action du sel qui provoque l'échange de l'ion sodium avec le calcium, le potassium et l'aluminium. L'apport de phosphate naturel augmente les quantités de calcium dans les percolats en particulier en présence d'eau salée. Avec le DAP (diammonium hydrogénophosphate), il y a une diminution de l'aluminium et du fer, probablement par l'échange entre Al^{3+} , Fe^{3+} et NH_4^+ .

Les extraits à l'eau dans le rapport 1:1 ont permis d'étudier les variations de l'aluminium échangeable en fonction des traitements. Avec l'eau distillée, seul le traitement phosphate naturel diminue significativement la teneur en aluminium échangeable. Avec l'eau salée, on constate une prééminence de l'effet du sel sur celui des traitements.

L'effet dépressif du phosphate naturel déjà constaté sur la teneur en aluminium échangeable, est également marqué pour l'activité de Al^{3+} alors que le DAP est pratiquement sans effet sur l'aluminium échangeable et sur l'activité Al^{3+} . La diminution de la teneur en aluminium échangeable s'accompagne toujours de l'échange aluminium- calcium dans le cas des traitements phosphate naturel ou calcite.

La méthode de percolation a été utilisée au CIRAD Montpellier sur différents types de sols mais c'est la première fois qu'on a appliqué cette technique à des sols sulfatés acides avec plusieurs traitements d'engrais phosphatés simples ou des complexes phosphato-calciques, en présence d'eau douce ou d'eau salée. Ces résultats permettent de confirmer le double rôle de l'engrais phosphaté naturel, d'une part, rôle d'amendement car il contient du calcium, d'autre part, rôle d'apport phosphaté.

Depuis très longtemps, on a estimé que les besoins en phosphore sont généralement assurés pour le cocotier grâce à une réserve suffisante en phosphore dans le sol: il a fallu attendre 26 ans au Sri Lanka et 12 ans en Côte d'Ivoire pour obtenir un effet significatif du phosphore sur la production de noix (MANCIOT et al., 1979). En matière de fertilisation, on utilise très souvent des engrais complexes de type NPK, cette association ne permet pas de déterminer avec précision le rôle exact de chaque élément. LOGANATHAN et ATPUTHARAJAH ont montré en 1984, au Sri Lanka, sur sols sableux, l'intérêt d'un apport de phosphate naturel sur la production du coprah avec des sols contenant de 3 à 15 ppm de phosphore assimilable.

Dans notre essai, les résultats positifs obtenus un an après l'apport d'engrais phosphaté naturel peuvent être expliqués par la forte acidité qui règne dans les sols et qui augmente la solubilité des phosphates et du calcium ce qui permet de corriger la forte carence en calcium des feuilles.

Il est encore trop tôt pour mesurer l'impact de cet apport sur la productivité en noix et en coprah et apprécier son intérêt économique.

**CONCLUSION GENERALE
ET
PERSPECTIVES DE RECHERCHES**

CONCLUSION

Ces travaux ont été réalisés dans le but d'étudier l'influence de la salinité et de l'acidité des sols sur la croissance et la production du cocotier. Ils intègrent quelques réponses physiologiques des génotypes locaux Grands Ta et Dau.

Une première partie des travaux a permis de caractériser dans les conditions écologiques du delta du Mékong, les comportements des cocotiers adultes sur sols sulfatés acides et sur sols sulfatés acides salés.

Dans une deuxième phase, la détermination du seuil de tolérance à la salinité du jeune cocotier a été recherchée; des noix mises en germination ont été arrosées avec de l'eau salée avec des teneurs croissantes en sel de 5 ‰ à 25 ‰.

La troisième partie a permis d'étudier l'effet améliorateur sur la production du cocotier par la correction des carences en phosphore et en calcium avec de l'engrais phosphaté naturel.

La quatrième partie de nos travaux décrit quelques mécanismes expliquant l'effet du phosphore et du calcium ou du complexe P- Ca dans l'amélioration des sols sulfatés acides et sulfatés acides salés. Cette étude a permis de caractériser l'importance de la solubilité du P sur l'échange des ions Al^{3+} . L'analyse des formes du P dans le sol permet de comprendre sous quelles formes le P est fixé sur les éléments du sol pour améliorer la nutrition minérale. Enfin, les échanges d'ions dans les sols sulfatés acides ont été étudiés avec de l'eau douce et de l'eau salée. Cette étude explique l'effet du chlorure de sodium sur l'activité des ions Al^{3+} et finalement le mode de correction de la teneur en phosphore et en calcium dans le sol.

L'ensemble des résultats permet de dégager des points importants pour le développement de la culture du cocotier dans le delta du Mékong grâce à l'amélioration de la disponibilité en phosphore et en calcium dans les sols.

1. Dans le delta du Mékong, il n'existe pas de problème de déficit hydrique pour le cocotier, rivières et canaux alimentent suffisamment la nappe. Cependant, le déficit de saturation en vapeur d'eau de l'atmosphère (VDP) joue un rôle important en fermant partiellement les stomates et en limitant la photosynthèse. Par rapport à des sols alluviaux placés dans des conditions climatiques proches de celles des sols que nous avons étudiés, la production du cocotier a été influencée par deux facteurs principaux:

- l'acidité qui provoque une baisse de production du coprah de 20%.
- la salinité à 15 ‰ qui la diminue de 70%.

2. La diminution de la production en milieu acide (Long An) est la conséquence de la réduction de la surface foliaire, de l'accumulation de Al^{3+} et Fe^{3+} dans les racines et de l'adaptation du cocotier aux conditions du milieu: le système racinaire se développe, l'appareil aérien est inhibé et le rapport des biomasses foliaire/racinaire diminue d'autant. Corrélativement, la carence en phosphore et en calcium est également une cause de réduction de la production.

3. Lorsque la contrainte salinité s'ajoute à l'acidité, la baisse de production se traduit également par la réduction de la surface foliaire, l'accumulation de Al^{3+} , Fe^{3+} et Na^+ dans les racines et par une carence plus marquée en phosphore et en calcium. Cependant, la teneur importante en ion Na^+ dans les sols sulfatés acides salés diminue la teneur en Al échangeable. La racine du cocotier joue un rôle de filtre très important dans le milieu au détriment de sa croissance ce qui se traduit par une diminution encore plus importante du rapport feuilles / racines. Ce résultat montre les limites du diagnostic foliaire qui ne permet pas d'identifier l'ensemble des contraintes; l'analyse des racines est indispensable pour compléter les conclusions du diagnostic foliaire.

4. Avec une eau d'arrosage salée à 10 ‰, il y a diminution de la photosynthèse chez les jeunes cocotiers et inhibition de la croissance des organes végétatifs comme chez le cocotier adulte au même niveau de salinité. Néanmoins, la croissance initiale rapide sur ces sols salés des jeunes cocotiers, ajoutée au bon comportement dans nos expériences des jeunes cocotiers soumis à un arrosage par l'eau salée à 5 ‰, sont en faveur d'une résistance plus élevée au stress salin des jeunes plantes comme on l'observe pour d'autres espèces et pour d'autres types de contraintes de l'environnement. Le stress salin risque cependant de provoquer à terme une diminution de la durée de la phase productive des plantes par activation de la sénescence.

5. L'utilisation du phosphate naturel augmente les teneurs en P et Ca dans les feuilles et diminue l'activité de Al^{3+} dans le sol. Corrélativement, on observe une augmentation du nombre de fleurs femelles, du taux de nouaison, du nombre de noix par plante et du poids de coprah/noix.

PERSPECTIVES DE RECHERCHES

Parmi les nombreuses perspectives de recherche, il nous semble important de souligner les points suivants:

* Au point de vue agronomique

- Les premiers résultats obtenus avec le phosphate naturel doivent être confirmés par les essais à long terme sur les deux types de sols sulfatés acides et sulfatés acides salés.

- Les essais de laboratoire ont montré la supériorité de l'engrais M, fabriqué à partir du minerai de Lao Cai partiellement solubilisé, sur les autres formes d'engrais phosphatés utilisés: il convient de procéder à une expérimentation raisonnée de ce produit en particulier en procédant à des apports fractionnés.

- L'étude comparée de la production et du comportement des sols alluviaux, sulfatés acides et / ou salés devra être poursuivie pour connaître la longévité des plantations dans ces différents sites.

- La mise en place d'un essai d'irrigation, avec un drainage modulable et contrôlé, permettra d'étudier les modalités d'élimination de l'aluminium en arrosant avec de l'eau salée à différents degrés de salinité inférieurs aux seuils de toxicité.

*** Au point de vue physiologique**

- Il convient de déterminer de façon précise le seuil de salinité moyen ou/et maximum des sols acceptable pour les plantations de cocotiers entre 5 ‰ où le développement des jeunes plantes s'est avéré optimum et 10 ‰ qui a un rôle dépressif sur le développement. L'étude des effets de ces différents taux devrait également faire l'objet d'un essai à long terme pour déterminer la production et la longévité des cocotiers en présence d'eau salée pour quantifier le coût métabolique de ce procédé qui peut se traduire par une accélération de la sénescence.

- Les modalités d'absorption par les racines et leur rôle de filtre vis à vis des cations dont la teneur peut dépasser le seuil de toxicité doivent être précisés.

- La diminution de la surface foliaire des cocotiers sur sols sulfatés acides et ou/salés doit être liée à des mesures de photosynthèse en particulier sur des sujets plantés sur sols alluviaux pour établir les interrelations entre l'inhibition du développement et l'activité photosynthétique dans les divers sites étudiés.

- Le rôle des ions sodium et chlorure en interaction avec le potassium sera étudié pour mieux comprendre la régulation stomatique du cocotier.

L'augmentation des connaissances sur cet ensemble de facteurs devrait permettre d'établir le coût métabolique des contraintes acidité et salinité, de préciser les seuils de tolérance à ces contraintes et d'orienter les travaux de sélection pour l'amélioration génétique.

Des recherches plus fondamentales pourront être envisagées dans l'avenir, si les moyens en matériel et en chercheurs sont disponibles, comme l'étude des hormones impliquées dans les mécanismes d'adaptation aux stress telles que l'acide abscissique. L'analyse de la toxicité des ions Al^{3+} , Fe^{3+} et Na^{+} et des formes du phosphore dans les sols présente aussi un grand intérêt pour l'amélioration et le maintien de la fertilité du sol.

Enfin, des méthodologies modernes telles que la culture d'embryons *in vitro* permettront d'affiner les études sur les mécanismes de la toxicité de certains cations et de sélectionner les génotypes les plus tolérants à cette contrainte.

En définitive, nous souhaitons que nos travaux de recherches apportent des informations utiles pour permettre la mise au point des techniques d'amélioration et de maintien de la fertilité des sols pour la culture du cocotier au Viet Nam dans le delta du Mékong car déjà deux leçons peuvent être tirées, à partir d'exploitations effectuées sans réflexion préalable approfondie. Les contraintes fortes subies par les cocotiers sur les sols récupérés à partir des mangroves montrent qu'à l'avenir il faudra être très prudent avant

d'entreprendre la destruction de ressources naturelles qui ont leur richesse propre. De plus, nous avons pu expliquer les effets néfastes de certaines pratiques culturelles (drainage et formation de banquettes) qui, appliquées sans précaution, ont provoqué une altération des propriétés physico-chimiques du sol (acidification).

BIBLIOGRAPHIE

ADJAHOSSOU. F., 1983. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le palmier à huile. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paris VII, 203p.

ADJAHOSSOU F., LOUGUET P. et VIEIRA DA SILVA J.B., 1984 . Corrélations entre les résistances stomatiques de divers croisements de Palmier à Huile (*Elaeis guineensis* Jacq) et la tolérance à la sécheresse. *Oecologia Plantarum*, 5, p. 163-178.

ANDERSON H.R., 1969. Artesian aquifers in the lower region of the Mekong Delta . US Agency for Internat. Development, Saigon, Viet Nam.

ALONZO J.C., PALOMAR M.K., 1980. Effect of seawater and seaweed salt on coconut gray leaf spot disease. *Phl. J. Coco. Stud.*, V, p. 27-31.

AVENTURIER A., BREYSSE M., FALLAVIER P. et SZWARC M., 1994. Etude du complexe d'échange et de la solution du sol de deux sols de la vallée du Mékong. Rapport CIRAD, 31p.

BARBER S.A., 1958. Relation of fertilizer placement to nutrient uptake and crop yield. Interaction of rock phosphate and the soil level of phosphorus. *Agronomy Journal*, 50, p. 535- 539.

BARBER.S.A.,1977. Application des engrais phosphatés: méthodes, doses et époque d'application en fonction de l'état phosphorique des sols. Purdue University, Lafayette, Indiana, USA.

BEIRNAERT A., 1953. Introduction à la biologie florale du palmier à huile (*E.guineensis*.Jacq.) Publ. Inst. Nat. Etude Agron. Congo Belge. Série sci. n°5, 42 p.

BEN SALEM M., DEGHAIS M., VIEIRA DA SILVA J., LAFFRAY D. et LOUGUET P., 1992. Paramètres agrophysiologiques de sélection pour la résistance à la sécheresse des céréales : cas du Blé. *Rev. Amélior. Prod. Agr. Milieu aride*, ACCT Ed., Paris, 4, p. 83-101.

BERRYMAN C., 1984. Soil chemistry. In: Tropical Soil manual. Edited by J.R. Landon. Booker Agriculture International Methods, p. 106-156.

BINSACK R., 1988. Le point des connaissances sur la disponibilité et l'utilisation des phosphates naturels comme engrais en Afrique de l'Ouest. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit G.T.Z. FB 151, Postfach 5180, 6236 Eschborn.

BONNEAU X., 1992. Appui au programme de recherche sur la culture du cocotier sur les sols salins et sulfatés acides du delta du Mékong (Viet Nam). CIRAD/CP Doc. n° 2484, 20p.

BOSC, M., 1978. Dynamique de l'alimentation phosphato-potassique de la plante dans le sol. In : CULTIVAR. INRA, p. 31-35.

BOURDEIX R., 1989. La sélection du cocotier (*Cocos nucifera* L.). Etude théorique et pratique. Optimisation des stratégies d'amélioration génétique. Thèse de Doctorat. Université d'Orsay, 196 p.

BRADFORD K.J. and HSIAO T.C., 1982. Physiological responses to moderate water stress. In: Encyclopedia of Plant Physiology, vol. 1213, ch. 9. Ed. by LANGE O. L., NOBEL P.S., OSMOND C.B. and ZIEGLER H., Springer- Verlag, Berlin, p. 264-312.

BRIDE Mc. MB., 1989. Chapitre 2. Surface chemistry of soil. In: DIXON, J.B, and Weed, SB. (eds) . Minerals in soil environments: Soil Science Society of America, Madison, USA, 1244 p.

BRUNIN C., 1968. Phosphore et cocoteraie adulte. *Oléagineux*, vol. 23, n° 5, p. 303-307.

BRUNIN C., 1970. La nutrition magnésienne des cocoteraies en Côte d'Ivoire. *Oléagineux*, vol. 25, n° 5, p. 269-274.

CARBONEL J.P., 1970. Le Quaternaire Cambodgien. Structure et stratigraphie. Mémoire ORSTOM, Paris, 297p.

CECIL S.R., 1987. Effet de N, P, K, Ca et Mg sur la teneur foliaire en éléments minéraux et le rendement des jeunes cocotiers. In: Proceedings of the sixth symposium on plantation crops: PLACROSYM, p. 331-351.

CHAPMAN G. W., GRAY H. M., 1949. Leaf analysis and the nutrition of oil palm. *Ann. Bot., G.B.*, 13, n° 2, p. 415- 433.

CLARK R.B., 1977. Effect of aluminium on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn. *Plant Soil*, 47, p. 653-662.

COMHAIRE M., 1968. En clima tropical y subtropical conviene el abono fosfatado. In: *la Hacienda*, vol 63., n° 7, p. 56-60.

COOMANS P., 1977. Premiers résultats expérimentaux sur la fertilisation des cocotiers hybrides en Côte d'Ivoire. *Oléagineux*, vol. 32, n° 4, p. 155-166.

COSTER M. et CHARMANT J.L., 1989. Précis d'analyse d'image. Presses du CNRS, p. 6-10.

COUDRET A. et LOUGUET P., 1980 - Etude comparée de l'action du NaCl sur les mouvements stomatiques de *Plantago maritima* L. var. *graminea* et *Plantago lanceolata* L. *Physiol. Vég.*, 18, p. 55-68.

COUOT-GASTELIER J., LAFFRAY D. et LOUGUET P., 1984 - Etude comparée de l'ultrastructure des stomates ouverts et fermés chez le *Tradescantia virginiana*. *Can. J. Bot.*, 62, p. 1505-1512.

DABIN B., 1961. Les facteurs de la fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée. In: Bulletin spécial AFES, p. 108-130.

DABIN B., 1963a. Appréciation des besoins en phosphore dans les sols tropicaux. Les formes du phosphore dans les sols de Côte d'Ivoire. *Cahiers ORSTOM, Sér. Pédol.*, 3, p. 27-42.

DABIN B., 1963b. Sur une méthode d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux. Document de l'ORSTOM. Services Scientifiques Centraux- Bondy, 14p.

DANIEL C. et MANCIOT R., 1973. La nutrition en chlore des jeunes cocotiers aux Nouvelles - Hébrides. *Oléagineux*, vol. 28, n° 2, p. 71- 72.

DAVIES W. J. et MEINZER F.C., 1990. Stomatal responses of plants in drying soil. *Biochem. Physiol. Pflanze*, 186, p. 357-366.

DAVIES W.J. et ZHANG J., 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 42, p. 55-76.

DELMAS R., DJOUKA A., 1983. Etude des apports de chlore aux sols de Basse Côte d'Ivoire. *Oléagineux*, vol. 38, n°7, p. 413-418.

DIAS DA SILVA JUNIOR C., 1994. Effet du déficit hydrique et de l'irrigation avec l'eau de mer diluée sur le comportement physiologique des plants de cocotier (*Cocos nucifera*, Linn.) Grand du Brésil en conditions naturelles. Thèse doctorat. Paris VII, 152p.

DIAS DA SILVA Jr. C., NUNES DE PINHO J.L., LAFFRAY D. et LOUGUET P., 1990. Effets d'une contrainte hydrique contrôlée sur divers paramètres hydriques et physiologiques de cultivars de Mil et de Sorgho sensibles et résistants à la sécheresse. *Rev. Rés. Amélior. Prod.Agr. Milieu Aride*, Agence de Coopération Culturelle et Technique Eds, Paris, 2, p. 79-92.

DIEP THI MY HANH, 1986. Le cocotier et son milieu: Etude de l'arrosage à l'eau salée sur sol sableux et développement du système racinaire du cocotier PB 121 en zone drainée ou engorgée. Rapport de stage à l'IRHO en Côte d'Ivoire et au CIRAD, 122p.

DIEP THI MY HANH, 1991. Etude de la culture du cocotier sur sols sulfatés acides et les différents types de sols dans le delta du Mékong. Facteurs agrologiques. Rapport de stage à IRHO/ CIRAD, 45p.

DOWNTON W.J.S., LOVEYS B.R. and GRANT W.J.R., 1988. Non-uniform stomatal closure induced by water stress causes putative non - stomatal inhibition of photosynthesis. *New Phytol.*, 110, p. 503-509.

DUFOUR F.O., QUILLEC G., OLIVIN J. et RENARD J.L., 1984. Mise en évidence d'une carence en calcium sur cocotier. *Oléagineux*, vol. 39, n°3, p.133- 140.

ECONOMOU E., CHOULIARAS N., JACKIN F. et SDOUKOS A., 1980. Interférence entre minéralisation du carbone et assimilabilité des phosphates naturels en sols acides. *Bull. ENSAIA.*, Nancy, XXII, p. 119-123.

ESCHBACH J.M. et MANCIOT R., 1981. Les oligoéléments dans la nutrition du cocotier. *Oléagineux*, vol. 36, n° 6, p. 291- 300.

F.A.O., 1979. Carte mondial des sols. 1: 5.000.000. Edition de la FAO, UNESCO.

FALLAVIER P., BABRE D. et BREYSSE M., 1985. Détermination de la capacité cationique des sols tropicaux acides. *Agronomie Tropicale* , vol. 40, n°4, p. 298-308.

FAYARD C. ,1991. Réunion de synthèse du projet phosphate HANOI: Caractérisation des phosphates de LAO CAI.

FOY C.D. and FLEMING A.L., 1978. The physiology of plant tolerance to excess available aluminium and manganese in acid soil. In: G.A. Jung (ed) . Crop tolerance to suboptimal land conditions . *Am. Soc. Agron. Spec. Publ.* n° 32, Madison, Wisconsin, p. 301-328

FOY C.D., CHANEY R.L. and WRITE M.C., 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 29, p. 511-566.

FREMOND Y., ZILLER R. et de NUCE de LAMOTHE M., 1966. Le cocotier . Collection Techniques Agricoles et Production Tropicales. G.P. Maisonneuve et Larose, Paris, France.

FREMOND Y. et GONCALVES A.J.L., 1967. Nutrition minérale et carence azotée dans les cocoteraies du Mozambique. *Oléagineux*, vol. 22, n° 10, p. 601-606.

FREMOND Y. et de NUCE de LAMOTHE M., 1968. Nutrition minérale du cocotier. *Oléagineux*, n°2, p. 93- 97.

FREMOND Y. et OUVRIER M., 1971. Importance pour le cocotier d'une nutrition minérale convenable dès la plantation sur sable côtier. *Oléagineux*, vol. 26, n° 10, p. 609-616.

GACHON L., 1973. Vieillessement de divers engrais phosphatés en relation avec le type de sol, étudié par la méthode Chang et Jackson. *Ann. Agron.* , 24 (5), p. 585-613.

GOMEZ A.A. and GOMEZ K.A., 1983. Statistical procedures for Agricultural Research . Second edition . Wiley- Interscience Publication. John Wiley and Jones, 150p.

GRIME J.P., 1989. Whole - plant responses to stress in natural and agricultural systems p. 32-46

HAMEED KHAN H., BIDDAPPA C. C. and CECIL S.R., 1990. Improving the coconut production : future needs related to nutritional aspects. *Indian Coconut Journal*, p. 2- 7.

HAMEED KHAN H., SANKARANARAYANAN M.P., JOSCHI O.P., GEORGE M.V. and NARAYANA K.B., 1985. Comparative efficiency of selected phosphate as P-carriers for coconut (*Cocos nucifera* L.) . In: Tropical Agric. (Trinidad), vol.2, n° 1, p.

HAMEED KHAN H., GOPALASUNDARAM P., JOSCHI O.P. and NELLIAT E.V., 1986. Effect of NPK fertilization on the mineral nutrition and yield of three coconut genotypes. *Fertilizer Research* , 10, p. 185-190.

HANSON A.D. and HITZ W.D., 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. Plant Physiol.* , 33, p. 163-203.

- HENCHI B., BOUKHRIS M., LOUGUET P. et VIEIRA DA SILVA J., 1988. - Evolution des paramètres hydriques de deux écotypes de *Plantago albicans* L. sous l'effet de la contrainte hydrique. In : Time Scale and Water Stress. Proc. 5th Int Conf. on Mediterranean Ecosystems. Di Castri F., Floret Ch., Rambal S., Roy J. Eds, C, IUBS, Paris, p. 561-568.
- HUETT D.O. and MENARY R.C., 1980. Aluminium distribution in freeze-dried roots of cabbage, lettuce and kikuyu grass by energy- dispersive X-ray analysis. *Aust. J. Plant Physiol.*, 7, p. 101-111.
- JONES M. M., TURNER N.C. and OSMOND C.B., 1981. Mechanisms of drought resistance. In: The physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. PALEG L.G. and ASPINAL D. Eds, Academic Press, New York, p. 15-37.
- JONES H. G., FLOWERS T.J. and JONES M.B., 1989 : Plants under stress. Society for Experimental Biology. Seminar Series 39, p. 1 - 10
- KAISER W.M., 1987. Effect on photosynthetic capacity. *Physiol. Plant.*, 71, p. 142-149.
- KHANSAWANEH F.E. and DOLL E.C., 1980. The use of phosphate rock for direct application to soils. In: Advanced in Agronomy. Tennessee Valley Authority, vol. 30, p.167.
- KHOO KAY THYE, CHEW POH SOON and EDDIE CHEW, 1976. Effect of nitrogen application on coconut palms grown on coastal alluvial clay soils in Peninsular Malaysia. Proceedings of the East Malaysia Planters' Association, Cocoa Coconut Seminar, Tawau, Sabah, Malaysia, 18p.
- KOLB C.R. and DORNBUSCH W.K., 1975. The Mississippi and Mekong deltas. A comparaison. In: Deltas, models for exploration. Ed by Broussard, Geological Society, Houston.p. 193-207.
- KUNHI MULIYAR M. and NELLIAT E. V., 1971. Response of coconut palms (*Cocos nucifera*. Linn.) to N, P and K fertilizer application on the West coast of India. *Oléagineux*, vol. 26, n°11, p. 687-691.
- LAFFRAY D., SAINT-GUILY A. et LOUGUET P. 1986 - Etude comparative des effets d'une contrainte hydrique progressive sur les paramètres hydriques de trois variétés de Mil. Actes du Colloque International sur " les végétaux en milieu aride", Jerba, Tunisie. Faculté des Sciences de Tunis et Agence de Coopération Culturelle et Technique Ed., p. 54-63.

LAFFRAY D. et LOUGUET P., 1988a. - Les techniques porométriques. *Bull. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride*, Agence de Coopération Culturelle et Technique Ed., Paris, 0, p. 21-42.

LAFFRAY D. et LOUGUET P., 1988b. - Techniques d'études de l'état hydrique des plantes. *Bull. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride*, Agence de Coopération Culturelle et Technique Ed., Paris, 1, p. 7-34.

LAFFRAY D. and LOUGUET P., 1990a - Stomatal responses and drought resistance. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 137, Actual bot., p. 47-60.

LAFFRAY D. et LOUGUET P., 1990b. - Validité et correction des mesures de résistance stomatique réalisées sur le terrain grâce au poromètre Delta-T-MK3. *Rev. Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride*, Agence de Coopération Culturelle et Technique Ed., Paris, 2, p. 93-104.

LAFFRAY D. et LOUGUET P., 1991. L'appareil stomatique et la résistance à la sécheresse chez les végétaux ligneux. Actes du Séminaire sur la physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. Groupe d'Etude de l'Arbre. John Libbey Eurotext Ed., Paris, p. 21-46.

LEIDI E.O., LOPEZ J.M., LOPEZ M. and GUTIERREZ, 1993. Searching for tolerance to water stress in cotton genotypes : photosynthesis, stomatal conductance and transpiration. *Photosynthetica*, 28 (3), p. 383-390.

LOGANATHAN P., DAYARATNE P.M.N. and SHANMUGANATHAN R.T., 1984. Evaluation of the phosphorus status of some coconut growing soils of Sri Lanka. Coconut Research Institute. *Cocos*., p. 29-43.

LOUGUET P., 198 Interrelations entre les mouvements des stomates et la résistance à la sécheresse chez les végétaux cultivés : cas du Mil. Actes du Colloque de DAKAR, p. 185-197.

LOUGUET P., 1978 - Les stomates : caractères principaux et mécanismes de leur mouvement. Photosynthèse et Production végétale par C.COSTES, Gauthier-Villars Editeur (2ème édition), p. 195-217.

LESSNI H. and MARSCHER H., 1978. Relation between salt tolerance and long-distance transport of sodium and chloride in various crop species. *Aust. J. Plant Physiol* ; 5, p. 27-37.

LEYMONIE.J.P. and WEBER.L., 1986. Phosphates : le point sur la législation et leur valeur agronomique. In: Negoce & Agriculture, p.1-4.

MAAS E.V., 1986. Salt tolerance of plants. *Appl Agric. Res.*, 1, p. 12-26.

MACKAY A.D. and SYERS J.K., 1986. Effect of phosphate, calcium and pH on the dissolution of a phosphate rock in soil. *Fertilizer Research* , 10, p. 175-184.

MACKAY A.D., SYERS J.K., TILLMAN R.W. and GREGG P.E.H., 1986. A simple model to describe the dissolution of phosphate rock in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, p. 291-296.

MAGAT S.S., 1976. Soil and leaf analysis in relation to coconut yield. *The Philippine Journal of Coconut Studies*, 1, n° 2, p. 1-9.

MAGAT S.S., CADIGAL V. L. and HABANA J.A., 1975. Yield improvement of coconut in elevated inland area of Davao (Philippines) by KCl fertilization. *Oléagineux*, vol. 30, n° 10, p. 413- 418.

MAGAT S.S., ALFORJA L. M. and MARGATE R.Z., 1981. An estimate of the optimum and critical levels of leaf- Sulfur concentration in bearing coconuts (Local tall). Philippines Coconut Authority, p. 6-9.

MAGAT S.S., MARGATE R.Z. and HABANA J.A., 1986. Utilisation of common salt (sodium chloride) as a fertilizer of coconuts grown in chlorine deficient areas. *Coconuts today*, p. 84-90.

MAGAT S.S., MARGATE R.Z. et HABANA J.A., 1988a. Effets de doses croissantes de chlorure de sodium (sel ordinaire) sur des cocotiers plantés dans une zone intérieure à Mindanao (Philippines) sur un sol de type " Tropudalfs". *Oléagineux*, vol. 43, n° 1.

MAGAT S.S., ALFORJA L. M. and OGUIS L.G., 1988b. An estimation of critical and optimum levels of leaf- chlorine in bearing coconuts : a guide for foliar diagnosis. Philippine Coconut Authority. *Philippines Journal Coconut*, p. 6-10.

MAGAT S.S. and PADRONES G.D., 1989. Improvement of coconut production by combined potassium chloride et ammonium sulfate fertilization in a low-yielding area of northern Mindanao. In: Improvement of coconut production PJCS, vol. XIV, n° 2, Fifth Annual Scientific Meeting of the Federation of Crop Science Societies of the Philippines.

MANCIOT R. M., OLLAGNIER M. et OCHS R., 1979a. Nutrition minérale et fertilisation du cocotier dans le monde. *Oléagineux*, vol. 34, n° 11, p. 499- 510.

MANCIOT R. M., OLLAGNIER M. et OCHS R., 1979b. Nutrition minérale et fertilisation du cocotier dans le monde. *Oléagineux*, vol. 34, n° 12, p. 563- 575.

MANCIOT R. M., OLLAGNIER M. et OCHS R., 1980. Nutrition minérale et fertilisation du cocotier dans le monde. *Oléagineux*, vol. 35, n° 1, p. 13- 21.

MANSFIELD T.A., HETHERINGTON A.M. and ATKINSON C.J., 1990. Stomatal behavior in water stress plants. In: *Stress Responses in Plants: Adaptation and Acclimatation Mechanisms*. Wiley- Liss, Inc. Plant Biol., 12, p. 241- 246.

MARGATE R.Z. and MAGAT S.S., 1986. Growth response of coconut seedlings from seednuts collected from palms fertilized with sodium chloride (common salt). *Philippines J. Coconut Studies*, 1(11), p. 2-5.

MARKOSE V.T., 1989. Common salt, a manure for coconut. *Indian Coconut Journal.*, 2, p. 3-4.

MARIUS C., 1975. Physiographie et classification des sols de mangrove de Basse Casamance. 3rd F.A.O. meeting for soil correlation in West Africa, Dakar, p. 241- 260.

MARIUS C., 1982. Acid sulfate soils of mangrove area in Senegal and Gambia. in DOST (Ed.). *Proceed. of Bangkok Symposium on acid sulfate soils*. Publ. ILRI, Wageningen, n°31, p. 103-135.

MARIUS C., 1986. La mangrove du Sénégal et de la Gambie. Ecologie- Pédologie- Géochimie. Mise en valeur et aménagement. Mémoire ORSTOM, 357 p.

MARIUS C., 1990. Rapport de mission sur la mangrove de Ca Mau. Rapport ORSTOM.

MARIUS C. et PAGES J., 1992. Rapport de la mission sur la mangrove de Ca Mau (Viet Nam). Rapport ORSTOM.

MARTIN - PREVEL P., 1978. Rôle des éléments minéraux chez les végétaux. *Fruits*, 33, n° 7-8, p. 521- 529.

MARTIN - PREVEL P. et MONTAGUT, 1966. Dynamique de l'azote dans la croissance et le développement du végétal. *Fruits*, vol. 21, n°6, p. 283 - 294.

MATSUMOTO H., HIRASAWA E., MORIMURA S. and TAKAHASHI E., 1976a. Localisation of aluminium in Tea leaves. *Plant Cell. Physiol.*, 17, p. 627-631.

MATSUMOTO H., HIRASAWA E., TORIKAI E. and TAKAHASHI E., 1976. Localisation of absorbed aluminium in pea root and its binding to nucleic acids. *Plant and Cell Physiol.*, 17, p. 127- 137.

MENGEL K. and KIRKBY E.A. , 1982 Principles of Plant Nutrition. 3 rd édition. International Potash Institute Bern, Switzerland, 654 p.

MEINZER F.C., 1993. Stomatal control of transpiration. *Ecology and Evolution*, 8 (8), p. 289- 294.

MEKONG DELTA MASTER PLAN, 1991. Working paper N° 10 Soils. Gouvernement of Viet Nam / State Planning Committee World Bank / Mekong Secretariat United Nations Development Program (UNDP), 41p.

MEKONG DELTA MASTER PLAN, 1993. Thematic study on environmental impacts. Volume 1. Main report environmental profil. Gouvernement of Viet Nam / State Planning Committee World Bank / Mekong Secretariat . United Nations Development Program (UNDP), 143 p.

MEKONG DELTA MASTER PLAN, 1993. Thematic Study on Environnement Impacts. Volume 4. Indicate assesement of long term impacts of salinity intrusion and control and indicative assesement of environmental impacts related to salt water leaching for the improvement of acid sulfate soils. Gouvernement of Viet Nam / State Planning Committee World Bank / Mekong Secretariat United Nations Development Program (UNDP), 51p.

MEMENTO DE L'AGRONOME, 1991. Edition du Ministère de la Coopération et du Développement, 1635p.

MENON K.P.V. and PANDALAI K.M. 1958. The coconut palm : a monograph. Indian Central Coconut Committee.

MENON R.G. and HAMMON L.L. 1984. Progress report on reseach of the Agro Economic Division, International Fertilizer Development center (IFDC).

MILLIAN, 1990.

MOREL R., 1989. Les sols cultivés. Lavoisier Ed., 373p.

MORRIS H.D. and PIERRE W.H., 1949. Minimum concentrations of manganese necessary for injury to various legumes in culture solutions . *Agron. J.* , 41, p. 107-112.

MUNEVA F. and WOLLUM A.G., 1977. Effects of the addition of phosphorus and inorganic nitrogen on carbon and nitrogen mineralization in Andepts from Colombia. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, 41 (3), p. 540-545.

NAÏDOO G., STEWART J.McD. and LEWIS R.J., 1978. Accumulation sites of Al in Snapbean and Cotton roots. *Agronomy Journal*, vol. 70.

NATHANAEL W.R.N., 1958. Diagnostic approaches to problems in crop nutrition. Ceylon coconut. *Quarterly*, 9, n°3-4, p. 11-29.

OGUIS L.G., MAGAT S.S. and MARGATE R.Z., 1979. The effect of chloride sources and ammonium sulfate on the growth of Coconut seedlings. *Philippines Journal Coconut Studies*, IV, p. 25-29.

OHLER J.G., 1984. Coconut: tree of life. Plant production and Protection paper. F.A.O., Rome(Italie).

OLLAGNIER M., OCHS.R. et MARTIN G., 1970. La fumure du palmier à huile dans le monde, *Fertilité*, n°36, 64p.

OLLAGNIER M. et OCHS R., 1971. La nutrition en chlore du palmier à huile et du cocotier. *Oléagineux*, vol. 26, n° 6, p. 367- 372.

OLLAGNIER M. et OCHS R., 1972. Les déficiences en soufre du palmier à huile et du cocotier. *Oléagineux*, vol. 27, n°4, p. 193-198.

OLLAGNIER M., OCHS R., POMIER M. et de TAFFIN G., 1983. Action du chlore sur le cocotier hybride PB 121 en Côte d'Ivoire et en Indonésie. Développement, tolérance à la sécheresse, production. *Oléagineux*, vol. 38, n° 5, p.309- 321.

OIL WORLD annual. 1993. Surface cultivée, rendement et production de coprah dans le monde.

- OUVRIER M., 1982. Minéralisation du régime de cocotier hybride PB121, de la fleur à la maturation. *Oléagineux*, vol. 37, n° 5, p. 229- 236.
- OUVRIER M. et OCHS R., 1978. Exportations minérales du cocotier hybride PB 121. *Oléagineux*, vol. 33, n° 8-9, p. 437- 443.
- PARSONS L.R., 1980. Plants responses to water stress. in: Christianen M.N. et Lewis C.F., Wiley Eds., New York, p. 175-192.
- PALOMAR C.R., MAGAT S.S. and HABANA J.A., 1980. Organic fertilisation of coconut form pre-bearing stage. Philippines Coconut Authority; Annual report.p.
- PASSOS E.E.M. et VIEIRA DA SILVA J., 1990. Fonctionnement des stomates de cocotier (*Cocos nucifera* L.) au champ. *Can. J. Bot.* 68, p. 458- 460.
- PEARSON R.W., 1975. Soil acidity and liming in the humia tropics. Cornell Univ. (New York). *Int. Agric. Bull.*, 30.
- PEASLEE D. E., ANDERSON C.A., BURNS.G.S. and BLACK C.A., *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26, p. 566-570.
- PHUNG TRUNG NGAN, 1987. La mangrove et l'arrière mangrove au Viet Nam. Edition du Ministère de l'Education du Viet Nam, 137p.
- POMIER M., 1964. Restauration et nutrition des cocoteraies établies sur sol corallien. *Oléagineux*, vol. 24, n° 1, p. 13-19.
- POMIER M. , 1969. Nutrition minérale des jeunes cocotiers sur sols corallien. *Oléagineux*, vol. 19, n° 10, p. 615- 620.
- POMIER M. et BRUNIN C., 1974. Irrigation des cocotiers à l'eau salée. *Oléagineux*, vol. 29, n° 4, p. 183- 186.
- PONS L.J. and N. van BREEMEN, 1981. Factors influencing the formation of potential acidity in tidal swamps. in: DOST Ed. Proceed. of Bangkok Symposium on acid sulfate soils. Publ. ILRI, Wageningen, n°31, p. 37- 51.

PREVOT P. et OCHS R., 1962. Diagnostic foliaire du cocotier. Influence du rang de la feuille et du développement végétatif sur les teneurs en éléments. *Oléagineux*, vol. 17, n° 5, p. 451-462.

RAJAGOPAL V., KASTURIBAI K.V. et VOLETI S.R. , 1990. Screening of coconut genotypes for drought tolerance. *Oléagineux*, vol 45, p. 215- 223.

RAJAGOPAL V., KASTURIBAIKU V. and SHIVASHANKAR S., 1991. Physiological and biochemical bases of coconut production. *CORD (IND)*, vol VII, n°2, p.12-30.

RASMUSSEN W.C., 1966. Review of the ground water potentialities of South Viet Nam: US Agency of Internat. Development. Viet Nam.

RATHERT G., 1984 . Sucrose and starch content of plant parts as a possible indicator for salt tolerance. *Aust J. Plant Physiol*; 11, p. 491- 495.

RENEVOT O., 1990 . Etude microanalytique de la localisation cytotologique de l'aluminium chez la fève (*Vicia faba*) à l'aide d'un microscoppe électronique à balayage équipé d'une sonde électronique et d'un microscope à émission ionique secondaire. Rapport de DESS. Université Paris XII, 53p.

REPELLIN.A., 1994. Influence du déficit hydrique sur la physiologie des palmes de diverses variétés de cocotier (*Cocos nucifera L.*). Evolution des paramètres hydriques, des échanges gazeux et de la compositions lipidique des membranes. Thèse de doctorat, Université Paris VII, 146p.

RIDOLFI M., GARREC J.P., LAFFRAY D. and LOUGUET P., 1993. Effects of potassium and calcium deficiencies on stomatal functioning in *Vicia faba L.* leaves. Soumis pour publication au *J. Exp. Bot.*

RISTIC Z. and CASS D.D., 1991. Leaf anatomy of *Zea maïs L.* in response to water shortage and high temperature : a comparaison of drought - resistant and drought- sensitive lines. *Bot. Gaz.*, 152 (2), p. 173- 185.

ROSENQUIST E. A., 1980. A coconut fertilizer trial on podzolic soils of North Sumatra. *Oléagineux*, vol. 35, n° 11, p. 241- 246.

SACHER M.C., STAPLES R.C., ROBINSON R.W., 1982. Saline tolerance in hybrids of *Lycopersicon esculentum* x *Solanum pennellii* and selected breeding lines. In: A San Pietro Ed. Biosaline Reseach. A look to the future, Plenum Press, New York, p. 325- 336.

SAURIN E. , 1964. Le substratum de Saigon et la formation du delta du Mekong. *C.R. Somm. Soc. Géol. France*, fas. 8, p. 306-308.

SMITH R.W., 1968. The effect of fertilizer on the early growth and yield of Malaya Dwarf coconuts in Jamaica. F.A.O. Technical Working Party on coconut production, protection and processing, n° 7, 14p.

SOLTNER D., 1981. Les bases de la production agricole . Tome 1. Le sol, 10è édition, p. 275-291.

SOUTHERN P. J., 1969. Sulphur deficiency in coconuts. *Oléagineux*, vol. 24, n° 4, p. 211-220.

SPARNAAIJ. LD, 1960. The analysis of bunch production in oil palm. *J.W. Afr. Inst. Oil palm Res.*, 3, p. 109-180.

de TAFFIN G., QUENCEZ P., 1980. Aspect de la nutrition anionique chez le palmier à huile et le cocotier. Problème du chlore. *Oléagineux*, vol. 35, n° 12, p. 539- 544.

de TAFFIN G., 1993. Le cocotier. Maisonneuve et Larose Ed. 166p.

TAL. M , 1984. Physiological genetics off salt resistance in higher plants: Studies on the level of the whole plant and isolated organs, tissus and cells. In: Staples RC, Toenniensen GA eds. Salinity Tolerance in Plants. Strategies for Crop Improvement. Wiley, New York, p. 301- 320.

TRUONG BINH, 1991. Compte rendu de la réunion de synthèse du projet phosphate.

TURNER N.C., 1986. Adaptation to water deficits: a change perspective. *Aust. J. Plant Physiol.*, 13, p. 175-190.

UEXKULL H.R. von, 1972. Response of coconuts to potassium chloride in the Philippines. *Oléagineux*, vol. 30, n° 10, p. 413-418.

UEXKULL H.R. von, 1985. Chlorine in the nutrition of palm trees. *Oléagineux*, vol. 40, n° 2, p. 67-74.

WAGATSUMA T., 1984. Characteristics of upward translocation of aluminium in plant. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 30 (3), p. 345-358.

WILSON M.A. and ELLIS B.G., 1986. Influence of calcium solution activity and surface area on the solubility of selected rock phosphates. *Soil Sci.* : 138 (5), p. 354-359.

ZID E., GRIGNON C., 1991. Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'adaptation des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUFELF-UREF, John Libbey Eurotext. Paris, p. 91-108.

LISTE DES FIGURES

1 - Carte géomorphologique du delta du Mékong.	p.4
2 - Section transversale générale dans le delta du Mékong	p.5
3 - Variation moyenne de la pluviométrie dans le delta du Mékong	p.7
4 - Variation moyenne de la température dans le delta du Mékong	p.7
5 - Variation moyenne de l'ensoleillement dans le delta du Mékong	p.8
6 - Variation moyenne de l'évaporation dans le delta du Mékong	p.8
7 - Chronologie du développement d'une feuille et de son inflorescence associée	p.20 bis
8 - Localisation des profils dans la séquence et dans la cocoteraie (site de Do Hoa)	p. 71 bis
9 - Diagramme de texture granulométrique du sol à Do Hoa	p.74
10 - M.O., C/N et CEC du sol à Do Hoa en fonction de la profondeur	p.76
11 - Variation du pH <i>in situ</i> dans le sol à Do Hoa	p.77
12 - pH du sol sec (1:1) dans le sol à Do Hoa	p.78
13 - Corrélation entre le pH et Eh <i>in situ</i>	p.79
14 - Variation de la conductivité électrique du sol à Do Hoa (extrait 1:1)	p.81
15 - Rapport Cl/SO ₄ dans le sol à Do Hoa	p.83
16 - Variation saisonnière de la conductivité électrique de la nappe à Do Hoa	p.88
17 - Corrélation entre la somme des anions et la conductivité électrique dans la nappe à Do Hoa	p.89
18 - Corrélation entre Na ⁺ et Cl ⁻ dans la nappe à Do Hoa	p.89
19 - Variation de la salinité de la nappe et des eaux interstitielles à Do Hoa	p.93
20 - Comparaison de la salinité de la nappe et de l'eau interstitielle dans la séquence et dans la cocoteraie à Do Hoa	p.94
21 - Localisation des profils dans les séquences et dans les cocoteraie à Long An	p.96
22 - Diagramme de texture granulométrique des sols à Long An	p.101
23 - M.O. - C/N- CEC du sol à Long An 1 en fonction de la profondeur	p.104
24: A. Variation du pH <i>in situ</i> à Long An 1	p.105
B: Variation du pH du sol sec à Long An 1	p.106
25 - Corrélation entre la conductivité électrique et la somme des anions dans la nappe en mars 1992	p.116
26 - Comparaison de la conductivité électrique dans les sols à Do Hoa et à Long An	p.119
27 - Variation de la salinité de la nappe à Do Hoa et à Long An 1	p.120
28 - Comparaison du rapport Cl/SO ₄ des sols à Do Hoa et à Long An en mars 92	p.122
29- Comparaison des teneurs en phosphore assimilable dans les deux sites Do Hoa et Long An	p.123
30- Variation du nombre de feuilles émises par cocotier dans les sites	p.125

31 - Variation de la longueur de la feuille 14 du cocotier dans les sites	p.126
32 - Pourcentage du poids sec des racines par rapport au poids total en fonction de la profondeur du sol dans les sites	p.130
33 - A. Variation du nombre de fleurs par cocotier dans les sites	p.132
33 - B. Pourcentage de nouaison sur les sites	p.132
34 - A. Variation du nombre de noix récoltées par cocotier dans les sites	p.134
B. Variation du nombre de noix par régime sur les sites	p.135
35 - Localisation de Al et Fe dans la racine	
A. dans la périphérie de la racine	p.151
B. dans le parenchyme	p. 151
C. dans la zone axiale de la racine	p.151
D. dans l'épiderme des racines fines	p.152
E. dans le centre de la racine fine	p.152
F. dans l'opale du sol	p.153
G. dans les inclusions blanches du sol	p.153
36- Variation du potentiel hydrique foliaire selon la saison et l'heure de la journée à Long An	p.155
37 - Variation du potentiel hydrique foliaire selon la saison et l'heure de la journée à Binh Thanh	p.156
38 - Variation du potentiel hydrique foliaire selon la saison et l'heure de la journée à Do Hoa	p.157
39 - Variation de la conductance stomatique moyenne sur les trois sites pendant la saison sèche	p. 159
40 - Corrélation entre le potentiel hydrique et la conductance stomatique	p.158
41 - Variation de la circonférence du collet des jeunes cocotiers en fonction de la salinité	p.167
42 - Variation du nombre de feuilles vertes en fonction de la salinité	p.167
43 - Variation du poids frais de la partie aérienne en fonction de la salinité	p.168
44 - Variation du poids frais des racines primaires (R1) et secondaires (R2) en fonction de la salinité	p.168
45 - Pourcentage de feuilles nécrosées pour différents degrés d'altération foliaire dans les traitements	p.170
46 - Conductivité électrique du sol dans l'essai eau salée	p.174
47 - Variation du potentiel hydrique moyen en fonction de l'heure de la journée dans les traitements	p.180
48 - Variation de la conductance stomatique moyenne au cours de la journée dans les traitements	p.181
49 - Comparaison des courbes d'évolution de la transpiration (g/plant/48h) et de la conductance stomatique ($\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) à 8h	p.183

- 50 - Variation de l'assimilation photosynthétique potentielle en fonction de l'intensité lumineuse chez le témoin et avec le traitement 5‰ (méthode Hansatech) p.186
- 51 - Variation de l'assimilation du cocotier témoin après section de la foliole p.188
- 52 - Variation de l'assimilation du cocotier en présence de sel à 10‰ après section de la foliole p.188
- 53 - A. Corrélation entre la conductance stomatique et l'assimilation sur le cocotier témoin p.189
- B. Corrélation entre la conductance stomatique et l'assimilation sur le cocotier à 10‰ p.189
- 54- Nombre de feuilles émises par cocotier dans les deux sites avec l'engrais phosphaté p.196
- 55 - Variation du poids sec des racines à différentes profondeurs en fonction des traitements 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté à Do Hoa et à Long An p.197
- 56 - Nombre de fleurs par cocotier en fonction de la quantité de phosphate à Do Hoa p.201
- 57 - Pourcentage de nouaison en fonction de la quantité de phosphate à Do Hoa p.201
- 58- Nombre de noix en fonction de la quantité de phosphate à Do Hoa p.201
- 59 - Nombre de fleurs en fonction de la quantité de phosphate à Long An p.202
- 60 - Pourcentage de nouaison en fonction de la quantité de phosphate à Long An p.202
- 61 - Nombre de noix en fonction de la quantité de phosphate à Long An p.202
- 62 - Variations du poids de coprah en fonction de la quantité de phosphate p.203
- 63 - Variation du pH *in situ* en fonction de la quantité de phosphate p.205
- 64 - A. Variation du phosphate dans les sols 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel à Do Hoa p.208
- B: Variation du phosphate dans les sols 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel à Long An p.208
- 65 - Variation de la teneur en phosphore dans les feuilles 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel à Do Hoa et à Long An p.214
- 66 - Variation de la teneur en calcium dans les feuilles 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel à Do Hoa et à Long An p.214
- 67 - Variation des teneurs en phosphore assimilable en fonction des types d'engrais dans les sols salés (Do Hoa) p.228
- 68 - Variation des teneurs en phosphore assimilable en fonction des types d'engrais dans les sols acides (Long An) p.228
- 69 - Variation des teneurs en calcium en fonction des types d'engrais dans les sols salés (Do Hoa) p. 229
- 70 - Variation des teneurs en calcium en fonction des types d'engrais dans les sols acides (Long An) p. 229

71 - Variation de la teneur en Fe des percolats en fonction du temps pour les divers types d'engrais	p.243
72 - Variation de la teneur en Al dans le percolat en fonction du temps pour les divers types d'engrais	p.244
73 - Teneur en Al échangeable dans les colonnes percolées avec l'eau distillée	p.254
74 - Teneur en Al échangeable dans les colonnes percolées avec l'eau salée (horizon 0-20 cm)	p.256
75 - Teneur en Al échangeable dans les colonnes percolées avec l'eau salée (horizon 50-70 cm)	p.256
76 - Evolution de l'activité de l'ion Al^{3+} en fonction de la teneur en Al échangeable (eau distillée)	p.258
77 - Evolution de l'activité de l'ion Al^{3+} en fonction de la teneur en Al échangeable (eau salée)	p.259

LISTE DES TABLEAUX

1 - Surface cultivée, rendement et production de coprah dans le monde en 1991	p.13
2 - Import- Export mondial du coprah et de l'huile en milliers de tonnes	p.14
3 - Production mondiale de graines oléagineuses en 89/90	p.15
4 - Caractéristiques biologiques des principaux cocotiers cultivés au Viet Nam	p.29
5 - Niveaux critiques des principaux éléments (en% de matière sèche)	p.35
6 - Hybride PB 121: prélèvement annuel d'éléments nutritifs en kg	p.35
7 - Les sites d'observation dans le delta du Mékong en 1989	p.53
8 - Nombre de noix par cocotier par an sur les 15 sites d'étudiés	p.54
9 - Analyse granulométrique du sol à Do Hoa	p.73
10 - Complexe absorbant du sol à Do Hoa	p.75
11 - Composition en ions solubles de la séquence des sols à Do Hoa	p.84
12 - A. Composition en ions solubles du sol de la cocoteraie à Do Hoa en novembre 1991	p.85
B. Composition en ions solubles du sol de la cocoteraie à Do Hoa en mars 1992	p.85
13 - Variation de la composition chimique de la nappe à Do Hoa en mars 92	p.87
14 - Rapports des teneurs en ions Ca/Mg, Na+K/Ca+Mg et SAR (sodium absorption ratio) dans la nappe à Do Hoa	p.90
15 - Variation de la composition chimique des eaux interstitielles à Do Hoa en mars 92	p.92
16 - Caractéristiques physiques des sols à Long An	p.100
17 - Composition chimique du sol à Long An	p.103
18 - A. Conductivité électrique du sol dans les séquences à Long An	p.107
B. Conductivité électrique du sol dans la cocoteraie à Long An	p.108
19 - A. Composition en ions solubles du sol dans les séquences de Long An en novembre 91	p.109
B. Composition en ions solubles du sol dans les séquences de Long An en mars 1992	p.110
20 - A. Composition en ions solubles du sol dans la cocoteraie de Long An en novembre 91	p.111
B. Composition en ions solubles du sol dans la cocoteraie de Long An en mars 1992	p.112
21 - Variation de la composition chimique de la nappe à Long An en mars 92	p.115

22 - Variation de la composition chimique des eaux interstitielles sur les sites de Long An en mars 92	p.118
23 - A. Valeurs comparées du pH <i>in situ</i> dans les cocoteraies de Do Hoa et de Long An 1 en saison sèche et en saison des pluies	p.117
B. Variation de la conductivité électrique de la nappe pendant deux saisons sur les sites de DoHoa et de Long An	p.121
C. Teneurs en sulfates dans l'extrait du sol, dans la nappe et dans les eaux interstitielles à Do Hoa et à Long An	p.121
D. Teneur en Al et Fe échangeables dans les sols de Do Hoa et de Long An	p.123
24 - Nombre de feuilles par cocotier dans les différentss sites d'étude	p.124
25 - A. Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et à Long An en juillet 1991	p.128
B. Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et à Long An en janvier 1992	p.128
26 - Composantes de la noix à Do Hoa et à Long An	p.136
27 - Nombre de noix récoltées par plante par an- poids de coprah par noix et production de coprah/ha/an dans les divers sites	p.136
28 - A. Paramètres quantitatifs permettant l'estimation de la biomasse foliaire et racinaire	p.137
B. Pourcentage de variation de la production de coprah et de biomasse	p.137
29 - Diagnostic foliaire sur les sites	p.139 p.140
30 - Teneur en sodium dans l'ordre de la spirale foliaire sur les cocotiers dans les différents sites	p.142
31 - Diagnostic racinaire sur les sites en saison sèche 1991	p.145
32 - Diagnostic racinaire sur les sites en saison des pluies 1991 (grosses racines)	p.146
33 - Diagnostic racinaire sur les sites en saison des pluies 1991 (racines fines)	p.147
34 - Dispositif expérimental de l'essai eau salée à la station de Binh Thanh	p.164
35 - Calendrier et doses d'application de l'engrais pour l'essai eau salée	p.165
36 - Poids secs des feuilles et des racines et rapport racines/feuilles	p.169
37 - Teneurs moyennes à la fin de l'essai en éléments solubles et échangeables pour les divers traitements avec l'eau salée	p.172
38 - Variation des teneurs en sodium et en calcium des grosses racines pour les différents traitements	p.175

39 - Variations des teneurs en sodium et en calcium des racines fines pour les différents traitements	p.175
40 - Variations des teneurs moyennes en calcium et sodium des feuilles	p.175
41 - Rapport de la teneur en sodium des feuilles et des racines	p.176
42 - Analyses de la composition ionique foliaire dans les différents traitements de l'essai eau salée après 6 mois	p.177
43 - Analyses de la composition ionique des racines dans les traitements à l'eau salée	p.177
44 - Rapport Cl/Na dans les feuilles et les racines	p.176
45 - Variation moyenne du contenu relatif en eau pour les différents traitements à la fin de l'essai	p.178
46 - Variation au cours de la journée des moyennes des potentiels hydriques et des conductances stomatiques dans les divers traitements	p.179
47 - Valeurs du potentiel osmotique des solutions	p.179
48 - Quantité d'eau transpirée (QTE) par la plante dans les traitements	p.182
49 - Coefficients de correction (r) dans les traitements	p.184
50 - Evapotranspiration du cocotier suivant les traitements	p.184
51 - Variation de quelques critères physiologiques en fonction de l'effet de la déshydratation du sol ou de l'arrosage avec de l'eau salée à 10‰	p.190
52 - Développement d'une feuille et de son inflorescence associée	p.199
53 - Variations du nombre de fleurs et de noix, et du taux de nouaison en fonction des différents traitements à Do Hoa	p.198
54 - Variations du nombre de fleurs et de noix et du taux de nouaison en fonction des différents traitements à Long An	p.200
55 - Composantes des noix récoltées dans les traitements à Do Hoa et à Long An, 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté	p.200
56 - pH <i>in situ</i> et pH du sol sec sur les deux sites au début de l'essai	p.204
57 - Variation de la composition chimique de la nappe à Do Hoa suivant les traitements en fonction du temps	p.206
58 - Variation des teneurs en calcium soluble et échangeable suivant les traitements en fonction du temps	p.209
59 - A. Analyses des racines dans les traitements à Do Hoa 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel	p.211
B. Analyses des racines dans les traitements à Long An 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel	p.211
60 - Analyses foliaires suivant les traitements avant et 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté naturel	p.213
61 - Composition des engrais utilisés dans l'essai d'incubation	p.217
62 - Apports par les engrais phosphatés des différents éléments en ppm	p.217

63 - Evolution des caractères chimiques dans l'essai d'incubation après un mois et trois mois sur deux types de sols	p.219
64 - Augmentation du pH(Δ pH) suivant les traitements à la fin de l'essai	p.227
65 - Pourcentage de P soluble pour les différents engrais	p.227
66 - Somme des cations Ca et Mg et rapport K/Ca+Mg	p.230
67 - Teneur en Al dans les traitements après un et trois mois d'incubation	p.231
68 - Somme de tous les cations et capacité d'échange sur deux types de sols	p.232
69- A. Le dispositif des colonnes arrosées avec l'eau distillée	p.236
B. Le dispositif des colonnes arrosées avec l'eau salée	p.236
70 - Comparaison de la solubilité des éléments dans le percolat des traitements sans NaCl en fonction du temps (profil 0-20cm)	p.238
71 - Comparaison de la solubilité des éléments dans le percolat des traitements avec NaCl en fonction du temps (profil 0-20cm)	p.239
72 - Comparaison des éléments dans le percolat des traitements sans NaCl en fonction du temps (profil 0-20 cm)	p.241
73 - Comparaison des éléments dans le percolat des traitements sans NaCl (profil 50-70 cm)	p.242
74 - Comparaison des éléments dans le percolat des traitements avec NaCl en fonction du temps (profil 0-20 cm)	p.246
75 - Comparaison des éléments dans le percolat des traitements avec NaCl (profil 50-70 cm)	p.247
76 - Analyse du complexe d'échange dans le sol. Colonnes percolées avec l'eau distillée	p.250
77 - Analyses du complexe d'échange dans le sol. Colonnes percolées avec l'eau salée	p.251
78 - Variation de P assimilable dans les deux horizons du sol (Olsen Dabin) sous l'effet des traitements	p.252
79 - Composition ionique de l'extrait à l'eau du sol suivant les différents traitements	p.253
80 - Différences des teneurs en ions suivant les traitements par rapport au témoin	p.254
81 - Variation des teneurs en Al-Ca- Na échangeables suivant les traitements	p.255
82 - Variation de Al échangeable en fonction de l'activité d'Al ³⁺ suivant les traitements	p.257
83 - Force ionique et pourcentages des formes de l'aluminium par rapport à l'aluminium total	p.260

Phosphate fertilizer solubility as well as its calcium content play a significant role in the efficiency of this action: calcium raises the pH, reducing ions Al^{3+} activity and improving soil structure; phosphore rectify carency the soil content and complexes part of Al.

If restricted to areas with salt content less than 10‰, coconut plant cultivation could be expanded over more than 100,000 ha in Mekong Delta.

Key words: Coconut, Vietnam, soils, acidity, salinity, phosphore, stomata, photosynthesis.

TÓM TẮT

Sản xuất dầu Thực vật là một trong những yêu cầu kinh tế quan trọng cho Việt nam. Phát triển trồng dừa trên vùng đất phèn hay phèn mặn, thiếu P và Ca, đã dẫn tới sự giảm sút đáng kể năng suất dừa so với vùng đất phù sa. Sự thiếu hụt dinh dưỡng được xác định bởi phân tích lá và rễ.

Áp suất thẩm thấu cao trong lá cho thấy cây dừa không bị thiếu hụt nước ở đồng bằng sông Cửu Long, ngay cả trong mùa nắng. Tuy nhiên, trong thời kỳ này, những vùng chịu ảnh hưởng bởi thủy triều, nồng độ mặn đã dẫn tới sự đóng khí khổng và giảm khả năng quang hợp. Sự tích lũy với nồng độ cao trong rễ các ion Al^{3+} , Fe^{3+} , Na^+ ở mức độ gây hại trong khi nồng độ các chất này rất thấp trong lá cho thấy vai trò chọn lọc quan trọng của bộ rễ dừa. Na^+ và ngập úng là nguyên nhân ngăn cản sự phát triển bộ rễ và phân trên không.

Thí nghiệm tưới nước mặn trên cây con đã cho phép xác định nồng độ muối tối ưu cho dừa là 5‰ và xác định vai trò chọn lọc của bộ rễ dừa.

Sự xử dụng lân thiên nhiên đạt kết quả gia tăng số trái và trọng lượng khô dừa, hiệu quả tương đối quan trọng trên đất phèn mặn. Tính hoà tan và hàm lượng Ca trong phân lân thiên nhiên đóng vai trò quan trọng trong hiệu quả của các thí nghiệm: Ca làm tăng pH, giảm hoạt tính của Al^{3+} , cải thiện cơ cấu đất và P sửa đổi sự thiếu hụt và phối hợp với Al.

Giới hạn ở độ mặn dưới 10 ‰, có thể phát triển trồng mới trên 100.000 ha trong vùng đồng bằng sông Cửu Long.

Từ khóa: Dừa, Việt Nam, đất, phèn, mặn, lân, khí khổng, quang hợp.

RESUME

La production d'huile végétale est un enjeu économique majeur au Viet Nam. Cependant, l'extension de la culture du cocotier à des sols sulfatés acides ou sulfatés acides salés, carencés en phosphore et en calcium, a entraîné une chute importante de la production par comparaison aux sols alluviaux. Ces carences ont été confirmées par le diagnostic foliaire mais aussi racinaire.

Les potentiels hydriques élevés montrent que le cocotier ne souffre pas de stress hydrique dans le delta du Mékong même en saison sèche. Par contre, pendant cette saison, dans les zones soumises à l'influence de la marée, la salinité élevée provoque la fermeture des stomates et la baisse de l'assimilation photosynthétique. Le taux de sodium et un milieu asphyxique sont les causes d'une inhibition de la croissance des systèmes racinaire et aérien. L'augmentation excessive des teneurs en ions toxiques (Fe^{3+} , Al^{3+} , Na^+) dans les racines par rapport aux feuilles a montré leur rôle filtrant.

Un essai conduit avec des jeunes plants arrosés à l'eau salée, a permis de déterminer un niveau de salinité optimum (5‰) et confirme le rôle de filtre des racines.

L'apport de phosphate naturel augmente le nombre de noix et le poids de coprah par cocotier, l'effet étant relativement plus important avec les sols sulfatés acides salés. La solubilité de l'engrais phosphaté et sa teneur en calcium jouent un rôle essentiel dans l'efficacité du traitement: le calcium remonte le pH ce qui diminue l'activité des ions Al^{3+} et améliore la structure du sol, le phosphore corrige sa carence et complexe une partie de Al.

En se limitant aux zones où la salinité est inférieure à 10‰ de nouvelles plantations pourraient être développées sur plus de 100.000 ha dans le delta du Mékong.

Mots clés: Cocotier, Vietnam, sols, acidité, salinité, phosphate, stomates, photosynthèse.

SUMMARY

Vegetable oil production is a main economic issue in Viet Nam. Spreading out coconut cultivation to acid sulphate soils (ASS) or salty acid sulphate soils (SASS) short of P and Ca brings about a significant drop in production as compared to alluvial soil performance. Lack of P and Ca is confirmed by leaf as well as root diagnostic.

High water potential in Mekong Delta indicates that coconut did not suffer deficit water, even during the dry season. During that season, however, in areas subjected to flood tide, high salt density generates stomatal closure and a fall in assimilation photosynthesis.

As ions (Fe^{3+} , Al^{3+} , Na^+) are filtered through the roots, their content increases excessively, explaining their toxicity, while it remains much lower in leaves. Na^+ and waterlogging generate inhibited root and aërien part growth.

An experiment on young plants watered with salty water allows to estimate an optimal salt content (5‰) and confirms root filtering action. Supplying natural phosphate improves nut yields and copra weight, especially on salty acid sulphate soil.

UNIVERSITE PARIS VAL DE MARNE

U.F.R. de Sciences et Technologies

THESE

PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION

DU TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS XII

Spécialité : SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'ENVIRONNEMENT

par

DIEP THI MY HANH

**INFLUENCE DES CONTRAINTES EDAPHIQUES SUR LA NUTRITION
MINERALE, LE DEVELOPPEMENT ET LA PRODUCTION DU
COCOTIER (*Cocos nucifera. L.*) DANS DES SOLS SULFATES
ACIDES SALES OU NON SALES DU DELTA DU MEKONG: EFFET
AMELIORANT D'UN APPORT DE PHOSPHATE NATUREL**

ANNEXES

Soutenu le 1 Décembre 1994 devant la commission d'examen

Président	M. LOUGUET	Professeur
Rapporteurs	M. DE NUCE DE LAMOTHE	Directeur Général du CIRAD
	M.SAFRAN	Docteur ès Sciences
	M. PHUNG TRUNG NGAN	Professeur
Directeur de thèse	Mme GARNIER- ZARLI	Professeur
Examineurs	M. TRUONG BINH	Docteur ès Sciences
	M. MARIUS	Directeur de Recherches

LISTE DES ANNEXES

- I - A. Variation moyenne de la pluviométrie dans le delta du Mékong (1982-1992)
- B. Variation moyenne de la température dans le delta du Mékong (1982-1992)
- C. Variation moyenne de l'ensoleillement dans le delta du Mékong(1982-1992)
- D. Variation moyenne de l'évaporation dans le delta du Mékong(1982-1992).
- II - Analyse de la granulométrie.
- III - Méthode d'analyse de la capacité d'échange et bases échangeables.
- IV - Méthode d'analyse Phosphore total et P assimilable.
- V - Analyses foliaires et racinaires.
- VI - Analyses des formes du phosphore par la méthode Chang et Jackson.
- VII - Fabrication des lames minces.
- VIII - Description des différents profils de la séquence Do Hoa.
- IX - Caractères chimiques du sol à Do Hoa.
- X - Corrélation entre la somme des anions et la conductivité électrique du sol à Do Hoa
- XI - Corrélation entre Na^+ et Cl^- du sol à Do Hoa.
- XIIA- Conductivité électrique de la nappe dans la séquence à Do Hoa.
- XIIB - Rapport des ions Cl^- dans la nappe de Do Hoa.
- XIII- Description des différents profils des séquences de Long An.
- XIVA- Composition des ions solubles du sol dans les séquences de Long An en novembre 1991.
- XIVB- Composition des ions solubles du sol dans les séquences de Long An en mars 1992.
- XVA - Compositions des ions solubles du sols des cocoteraies à Long An en novembre 1991.
- XVB - Compositions des ions solubles du sols des cocoteraies à Long An en mars 1992.
- XVI - Variations des compositions chimiques de la nappe à Long An en mars 1992.
- XVII- Variations des compositions chimiques des eaux interstitielles sur les sites à Long An en mars 1992.
- XVIII - Variation du nombre de feuilles émises par cocotier sur les sites.
- XIXA - Variation de la longueur de la feuille 14 sur les sites.
- XIXB - Variation de la largeur de la foliole de la feuille 14 sur les sites.
- XIXC - Variation de la longueur de la foliole de la feuille 14 sur les sites.
- XIXD - Variation du nombre de folioles de la feuille 14 sur les sites.
- XIXE - Exemple pour les mesures de la largeur de la foliole de la feuille 14 sur les 60 cocotiers pour chaque site.
- XXA - Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et à Long An en juillet 91.
- XXB - Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et à Long An en juillet 91.
- XXC - Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et à Long An en juillet 91.
- XXIA - Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et à Long An en janvier 92.
- XXI B - Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et à Long An en janvier 92.

- XXI C - Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et à Long An en janvier 92.
- XXII - Variation du nombre de fleurs sur cocotier sur les sites.
- XXIII - Variation du nombre de noix/cocotier sur les sites.
- XXIV - Variation du nombre de noix par régime sur les sites.
- XXVA - Composantes de la noix à Long An 2.
- XXVB - Composantes de la noix à Long An 3.
- XXVI A - Diagnostic foliaire sur les sites de Do Hoa et de Long An 1.
- XXVI B - Diagnostic foliaire sur les sites de Long An 2 et de Long An 3.
- XXVII A - Diagnostic racinaire en saison des pluies 1991 sur les sites (grosses racines).
- XXVII B - Diagnostic racinaire en saison des pluies 1991 sur les sites (racines fines).
- XXVIII A - Diagnostic racinaire en saison sèche 1992 (grosses racines) à Long An 1 et à Long An 2.
- XXVIII B - Diagnostic racinaire en saison sèche 1992 (grosses racines) à Long An 3 et à Do Hoa.
- XXVIII C - Diagnostic racinaire en saison sèche 1992 (racines fines) à Long An 1 et à Long An 2.
- XXVIII D - Diagnostic racinaire en saison sèche 1992 (racines fines) à Long An 3 et à Do Hoa.
- XXVIII E - Diagnostic racinaire en saison des pluies 1992 (grosses racines) à Long An 1 et Long An 2.
- XXVIII F - Diagnostic racinaire en saison des pluies 1992 (grosses racines) à Long An 3 et Do Hoa.
- XXVIII G - Diagnostic racinaire en saison des pluies 1992 (racines fines) à Long An 1 et Long An 2.
- XXVIII H - Diagnostic racinaire en saison des pluies 1992 (racines fines) à Long An 3
- XXIX A - Variation du potentiel hydrique à Do Hoa.
- XXIX B - Variation du potentiel hydrique à Long An.
- XXIX C - Variation du potentiel hydrique à Binh Thanh.
- XXX A - Conductance stomatique sur les sites de Binh Thanh, Long An et Do Hoa
- XXX B - Exemple de calcul de la conductance stomatique à partir des mesures au poromètre Delta T MK3.
- XXXI A - Croissance du cocotier pour les traitements à l'eau salée.
- XXXI B - Exemple pour les mesures de la croissance dans les traitements.
- XXXII A - Nombre de feuilles nécrosées aux différents niveaux.
- XXXIIB - Pourcentage de feuilles nécrosées aux différents niveaux dans les traitements.
- XXXIII A - Analyses des grosses racines dans les traitements à l'eau salée.
- XXXIII B - Analyses des racines fines dans les traitements à l'eau salée.
- XXXIV - Analyses foliaires dans les différents traitements de l'essai eau salée.

- XXXV - Variations moyennes du potentiel hydrique pour tous les traitements à la fin de l'essai.
- XXXVI - Variations de la conductance stomatique pour les traitements.
- XXXVII - La transpiration des plantes dans les traitements.
- XXXVIII - Surface mesurée et estimée dans l'essai eau salée.
- XXXIX - Variation de la photosynthèse du cocotier dans les différents traitements.
- ILA - Nombre de feuilles émises après traitements à l'engrais phosphaté dans le site de Do Hoa.
- ILB - Nombre de feuilles émises après traitements à l'engrais phosphaté dans le site de Long An.
- ILIA- Longueur de la foliole de la feuille 14 après 12 mois de traitement à l'engrais phosphaté dans le site de Do Hoa.
- ILIB- Longueur de la foliole de la feuille 14 après 12 mois de traitement à l'engrais phosphaté dans le site de Long An.
- ILIA- Largeur de la foliole de la feuille 14 après 12 mois de traitement à l'engrais phosphaté dans le site de Do Hoa.
- ILIB- Largeur de la foliole de la feuille 14 après 12 mois de traitement à l'engrais phosphaté dans le site de Long An.
- ILIIIA - Variation du nombre de fleurs dans l'essai engrais phosphaté à Do Hoa.
- ILIIIB - Variation du nombre de noix dans l'essai engrais phosphaté à Do Hoa
- ILIIIC - Variation du pourcentage de nouaison dans l'essai engrais phosphaté à Do Hoa.
- ILIVA - Variation du nombre de fleurs dans l'essai engrais phosphaté à Long An.
- ILIVB - Variation du nombre de noix dans l'essai engrais phosphaté à Long An.
- ILIVC - Variation du pourcentage de nouaison dans l'essai engrais phosphaté à Long An.
- ILV A - Composantes de la noix dans les traitements à Do Hoa 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté.
- ILV B - Composantes de la noix dans les traitements à Long An 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté.
- ILVI - Effet du phosphate naturel sur l'échange des ions dans le sol.
- ILVII - Résultats d'analyse de sols pour l'essai d'incubation après 1 mois de traitement avec les différents engrais phosphatés sur sols sulfats acides et salés.
- ILVIII- Analyses statistiques de la variance du pH eau dans les traitements après un mois d'incubation.
- ILIX- Analyses statistiques de la variance du pH et P Olsen après 3 mois de traitement avec les différents engrais phosphatés sur sols sulfats acides et salés.
- L - Evolution des ions solubles dans les percolats (avec l'eau distillée).
- LI - Evolution des ions solubles dans les percolats (avec l'eau salée).
- LII - Analyse du complexe d'échange dans le sol après 8 semaines de percolation.
- LIII - Analyse des extraits à l'eau sur sols humides après 8 semaines de percolation.

Annexe IA: Variation moyenne de la pluviométrie dans le delta du Mékong (1982-1992)

Pluviométrie (mm)	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Totale
Long An	16	6	21	49	188	196	217	168	315	301	153	41	1671
Saigon	10	6	12	77	149	262	304	283	340	301	137	34	1916
Ca Mau	3	0	6	60	194	294	215	249	305	277	173	19	1797

Annexe IB: Variation moyenne de la température dans le delta du Mékong (1982-1992)

Température (T°)	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
T° max Long An	33	34	36	37	36	35	34	34	33	33	33	33
T° moy Long An	26	26	27	29	28	28	27	27	28	28	27	26
T° min Long An	20	20	21	23	23	23	23	23	23	23	22	19
T° max Saigon	34	35	36	37	36	35	34	34	34	33	33	33
T° moy Saigon	26	27	28	29	29	28	27	27	27	27	27	26
T° min Saigon	19	21	22	24	24	23	23	23	23	23	21	19
T° max Camau	32	32	33	35	34	33	32	32	32	32	32	31
T° moy Camau	25	26	27	28	28	27	27	27	26	26	26	25
T° min Camau	20	21	21	23	23	23	23	23	23	23	22	20

Annexe IC: Variation moyenne de l'ensoleillement dans le delta du Mékong(1982-1992)

Ensoleillement (heures)	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Totale
Long An	277	262	394	258	225	191	217	190	193	209	234	268	2918
Saigon	255	259	288	259	217	174	197	181	167	203	204	226	2629
Ca Mau	268	275	314	279	208	167	195	173	153	173	200	243	2649

Annexe ID: Variation moyenne de l'évaporation dans le delta du Mékong(1982-1992).

Evaporation (mm)	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
Long An	105	107	128	85	93	88	92	100	85	87	92	100	1160
Saigon	116	123	145	129	100	79	78	78	64	62	70	91	1136
Ca Mau	142	137	146	131	94	78	77	71	53	54	77	112	1173

Annexe II: ANALYSE DE LA GRANULOMETRIE

1. PREPARATION DE L'ECHANTILLON**a. Matériel utilisé**

- tamis à maille de 50 μm .
- béchers de 500 ou 600 cc.
- petits cristallisoirs tarés pour le séchage des limons fins et des argiles.
- boîtes tarées pour la teneur en eau.
- dessiccateur.
- étuve à 105°C

b. Produits chimiques

- eau oxygénée (H_2O_2) normapur pour analyses.
- hexamétaphosphate de sodium (ou pyrophosphate de sodium).
- ammoniacale.
- eau permutée.

2 TENEUR EN EAU.

Peser 10 grammes (5 grammes minimum) de terre, tamisée à 2 mm et les mettre dans une "boite à tare" ; laisser évaporer au minimum 24 heures, à l'étuve à 105°C. Sortir les boites, mettre le couvercle et laisser refroidir au dessiccateur ; peser.

Le poids de l'eau d'imbibition est obtenu par la différence : poids de la prise initiale (10 gr.) moins le poids après séchage à l'étuve.

3 . DESTRUCTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

Mettre les 10 grammes de prise initiale dans un bécher de 500 cc., forme haute, et verser de l'eau oxygénée à 30 volumes (dilution au tiers) de façon à ce que la terre soit bien humectée.

Le temps d'attaque varie en fonction de la quantité de matière organique ; il est recommandé de commencer l'attaque à froid, surtout si le sol est très organique. Au bout d'une journée on peut commencer à chauffer légèrement (sur plaque chauffante à 30/50°C) pour accélérer l'attaque ; ajouter régulièrement de l'eau oxygénée.

Lorsque la matière organique est totalement détruite (débris végétaux transparents) , généralement au bout de 6 à 7 jours, on élimine les produits d'attaque par évaporation.

Il peut arriver qu'il reste une fraction importante de débris de racines ; leur destruction se fait par calcination à 1000°C de la fraction sableuse.

4. DISPERSION

Elle se fait par agitation mécanique ou par passage aux ultra-sons.

1 - agitation mécanique.

L'échantillon est versé dans une bouteille en plastique , dans un volume d'eau permutée de 300 cc environ

2 - agitation par ultra-sons.

La tige du générateur d'ultra-sons est plongée, 10 minutes environ, dans le bécher contenant l'échantillon à étudier auquel on ajoute de l'eau permutée.

5 ANALYSE AU SEDIGRAPH

Avant l'analyse de la suspension au Sedigraph il est nécessaire de faire un tamisage humide sur tamis de 50 microns.

Les sables (2 mm - 50 μm) sont récupérés dans une capsule en porcelaine et séchés à l'étuve à 110° et les fractions sables grossiers (2 mm - 200 μm) et sables fins (200 - 50 μm) sont obtenues par tamisage.

On laisse décanter une journée la fraction limono-argileuse et on lave par siphonage successifs si cela est nécessaire jusqu'à ce que la dispersion se fasse d'elle même.

L'échantillon est alors prêt pour l'analyse.

Annexe III: METHODE D'ANALYSE DE LA CAPACITE D'ECHANGE ET BASES ECHANGEABLES

Les bases échangeables sont les cations échangeables couramment rencontrés: Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , dont la somme = S.

Les bases échangeables Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ et Na^+ sont habituellement dosées dans les solutions d'extraction par l'acétate d'ammonium utilisées pour la détermination préalable de T. En général, dans les sols naturellement saturés ou resaturés par les amendements agricoles, Ca^{++} domine largement tandis que K^+ et Na^+ demeurent relativement négligeables.

1 Réactifs:

- BaCl_2 0,1 M = 24,43 g de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dans 1 l d'eau distillée
- BaCl_2 0,002 M = diluer 25 ml de BaCl_2 0,1 M dans 1 l
- MgSO_4 0,02 M = 4,9296 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dans 1 l.
- Lanthane 10 g/l = 15,7 g de $\text{La}(\text{NO}_3)_3 + 42$ ml d'HCl 37% dans 500 ml.
- CsCl = 10 g de CsCl + 83 ml d'HCl 37% dans 1 l.

2 Méthode d'extraction:

a) Transférer 2,5 g de sol < 2 mm dans un tube à centrifuger de 50 ml avec bouchon, peser le tube + sol + bouchon -----> **m 1**

Préparer un témoin réactif en parallèle.-----> **Cb**

b) Ajouter 30 ml de BaCl_2 0,1 M et agiter une heure.

c) Centrifuger et transférer le surnageant dans une fiole jaugée de 100 ml

d) Répéter b) et c) deux fois.

e) Amener au trait de la fiole avec BaCl_2 0,1 M, filtrer; cette solution est prête pour le dosage des cations échangeables (cfr § 3.2.4.5.).

Ajouter au culot de centrifugation 30 ml de BaCl_2 0,0025 M et agiter une nuit.

Centrifugier, éliminer le surnageant et peser le tube -----> **m2**.

Ajouter au culot 30,0 ml de MgSO_4 0,02 M et agiter 2h.

Centrifuger et filtrer dans des fioles coniques.

3. Détermination de la CEC

Pipeter 0,2 ml des filtrats dans des fioles de 100 ml.

Ajouter 0,3 ml de BaCl_2 0,1 M.

Ajouter 10 ml de La 10 g/l et porter à 100 ml avec de l'eau.

La détermination de la concentration en Mg de ces solutions se fait par absorption atomique ---> **c1**

$$c2 = \frac{c1 \times (30 + m2 - m1)}{30}$$

$$\text{CEC} = \frac{(Cb - C2) \times 3000}{m}$$

m = le poids d'échantillon (2,5 g)

4. Détermination des cations échangeables

Pipeter 2ml des extraits, ajouter 1 ml de CsCl et 7 ml d'eau.

Mesurer Na et K par émission de flamme.

Pipeter 1ml des extraits, ajouter 1 ml de La et 8 ml d'eau.

Mesurer Ca et Mg par absorption atomique.

$$cte = \frac{C - C_b}{m}$$

cte: constante

C: concentration dans les filtrats

$$Na \text{ éch} = 2,1749 \times cte$$

$$K \text{ éch} = 1,2788 \times cte$$

$$Ca \text{ éch} = 4,9903 \times cte$$

$$Mg \text{ éch} = 8,2288 \times cte$$

Annexe IV: METHODE D'ANALYSE PHOSPHORE TOTAL ET P ASSIMILABLE

A. Phosphore total**Méthodes d'extraction:**

1) Réactifs:

- H₂O₂ normapur à 110 V
- HClO₄ concentrée

2) P₂O₅ total par attaque HClO₄:

- Peser 0,5 g à 1 g de sol passé au tamis mod.24 (200µm)
- Mettre dans un bécher de 100 ml
- Faire une attaque préalable à froid pendant une nuit avec 5 ml d'H₂O₂ normapur concentrée (110 V)
- Ajouter 20 ml d'HClO₄ concentré mesuré à l'éprouvette
- Recouvrir d'un verre de montre
- Faire bouillir (ébullition lente) jusqu'à décoloration du sol (3à 5 h d'ébullition)
- Laisser refroidir.
- Rincer le verre de montre avec de l'eau distillée
- Filtrer sur filtre à filtration lente dans une fiole jaugée de 250 ml
- Rincer 3 fois le bécher et le filtre avec de l'eau distillée
- Amener au trait de jauge avec de l'eau distillée, bien homogénéiser
- L'extrait final à une concentration finale d'environ 1N en HClO₄

3) Détermination du phosphore total

Déterminer la concentration en phosphore total par ICP

B. Phosphore assimilable

Le phosphore assimilable est une forme du phosphore du sol aisément utilisable par les plantes, on l'extrait par des solutions plus ou moins diluées de réactifs appropriés.

Certains auteurs ont préconisé un extrait à l'eau, mais les teneurs sont généralement très faibles.

En plus, du phosphore soluble à l'eau, le phosphore se trouve sous forme d'ions PO₄⁻⁻⁻, adsorbé ou précipité sur les colloïdes minéraux du sol, par l'intermédiaire des ions aluminium, fer ou calcium, qui tapissent les surfaces extérieures des argiles; il peut être également précipité sur les hydroxydes ou le carbonate de calcium; enfin il peut former des complexes mixtes PO₄⁻⁻⁻, humus, métal.

- Les solutions d'acides faibles sont susceptibles de déplacer l'ion PO₄⁻⁻⁻ de ses liaisons avec le calcium, mais n'empêchent pas la fixation par les hydroxydes.

- Les solutions alcalines déplacent les ions PO₄⁻⁻⁻ des liaisons avec les hydroxydes par échange entre les ions PO₄⁻⁻⁻ et les ions hydroxydes OH⁻, mais agissent peu sur les liaisons calciques.

- Les complexes organiques ou minéraux, tels que l'acide citrique, ou l'oxalate d'ammonium, ou le fluorure d'ammonium, déplacent les ions PO_4^{3-} fixés sur différents cations, selon leur pouvoir spécifique de complexation.

- L'acide citrique complexe surtout le fer et déplace modérément le calcium.
- L'oxalate d'ammonium complexe l'aluminium et très fortement le calcium.
- Le fluorure d'ammonium complexe très fortement l'aluminium.

Suivant la nature des sols, ces divers réactifs ont été utilisés avec plus ou moins de succès, on fabrique maintenant des réactifs mixtes qui agissent sur une gamme étendue de sols.

Méthode OLSEN DABIN

Principe : Le phosphore est extrait par un réactif mixte, constitué d'un mélange de bicarbonate de sodium et de fluore d'ammonium, tamponné à pH 8,5.

Matériel:

- Bécher en plastique 5l
- Tubes à centrifuger 100ml (gradués) en plastique.
- Fiole jaugée 50 ml.
- Pipette 20 ml.
- Récipients stockage en plastique 50 ml.
- Bouchon caoutchouc pour tubes .
- Agitateur magnétique et barreaux aimantés.

Réactif d'extraction OLSEN DABIN

Préparer 5 litres à la fois

- Dans un bécher en plastique verser 5 litres H_2O distillée ou permutée.
- Ajouter 210 g $NaHCO_3$ puis 92,5 g NH_4F
- Faire dissoudre sur agitateur magnétique avec barreau aimanté
- Ajuster à pH 8,5 au pH mètre avec quelques ml de $NaOH$ concentrée
- Stocker en bidon plastique.

Mode opératoire

- Peser 1 g de sol broyé et tamisé au tamis 0,2 mm.
- Ajouter 50 ml de réactif et extraire dans le tube à centrifuger. Boucher énergiquement avec le bouchon
- Remuer sur agitateur " va et vient" pendant 1 heure.
- Enlever le bouchon; centrifuger 5 mn à 4000 tours /mn.
- Ajouter dans chaque tube à centrifuger une pincée de charbon actif purifié
- Centrifuger à nouveau 5 mn à 4000 tours/mn.
- Prélever ensuite à la pipette jaugée 20 ml de chaque extrait et stocker dans des fioles plastiques de 50 ml .
- Prélever également 20 ml de chaque point de gamme étalon.

Colorométrie

La veille de la colorométrie, détruire le NaHCO_3 en ajoutant lentement 23 gouttes H_2SO_4 normapur. Traiter les 20 ml de chaque point de gamme dans les mêmes conditions.

Préparation du réactif de colorométrie(réactif de Murphy et Riley)

Solution A:

- 50 ml H_2SO_4 2N
 - 15 ml Molybdate d'ammonium à 40 g/l dans H_2O distillée
 - 5ml Tartrate antimonyl de potassium à 0,274 % dans H_2O distillée
- Compléter à 100 ml avec H_2O . Bien mélanger.

Solution B:

- 50 ml H_2O
- 25 ml éthanol
- 2g acide ascorbique
- 5ml HCl concentré.

Compléter à 100 ml avec H_2O . Bien mélanger. Verser la solution A dans une fiole de 200ml . Mélanger sur agitateur magnétique. Verser ensuite la solution B dans la solution A en agitant constamment.

Le réactif final doit être jaune d'or et n'est utilisable qu'une journée. Prélever le réactif de colorométrie avec le tube codé de couleur noir-noir (débit 0,32 ml par minute).

Raccorder le tube jaune- orange(0,16 ml/minute) au distributeur de fraction.

Faire plonger le tube gris-gris (1 ml/minute) dans un flacon de 1l d'acide borique à 40 ‰.

Placer les points de gamme et les échantillons dans les godets de Technicon sur les plateaux de distribution, en ayant soin de mettre 4 "blancs" tous les 10 échantillons environ afin de pouvoir suivre la ligne de base.

Préparation de la gamme étalon:

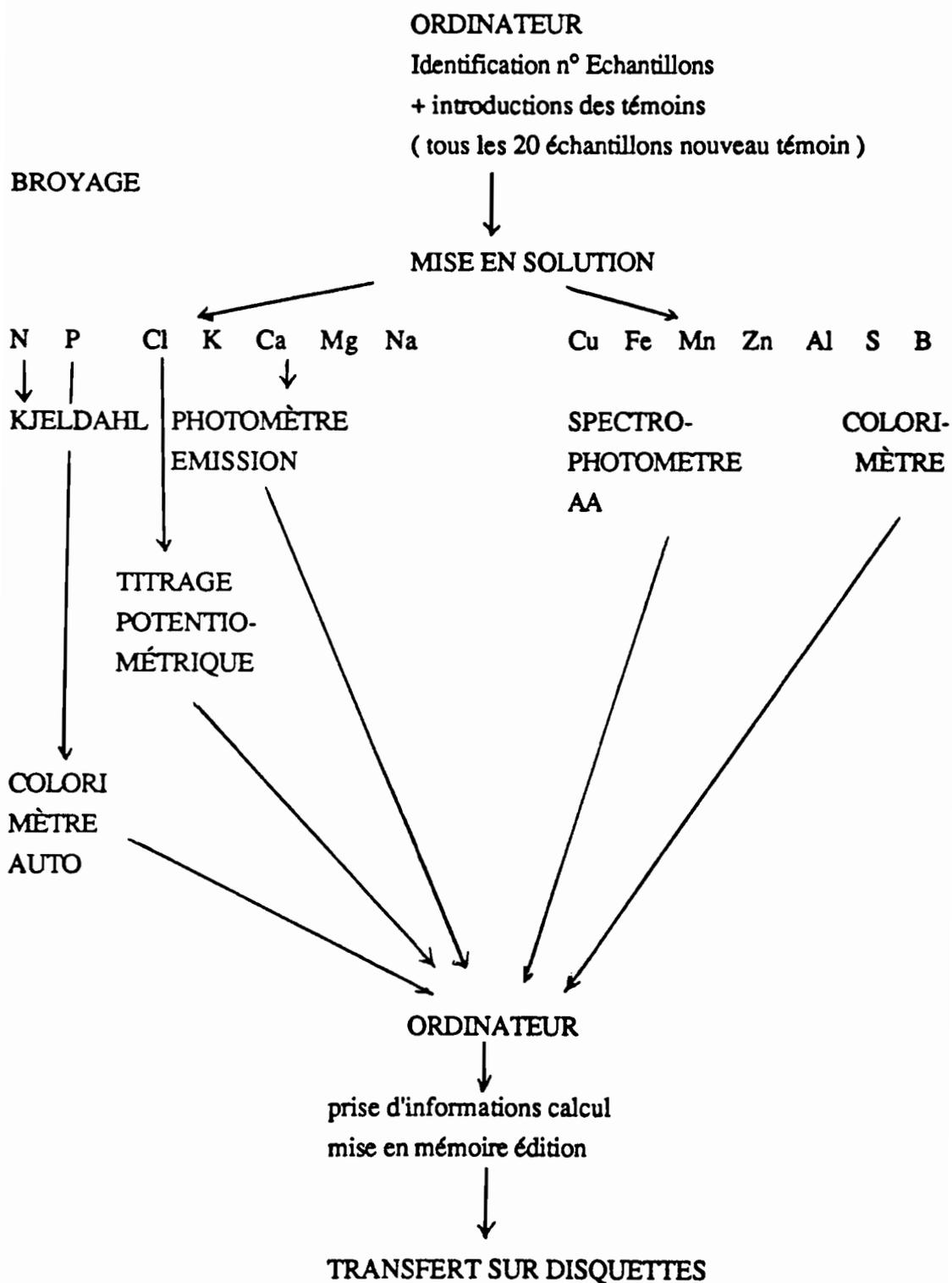
Dissoudre 9,5865 g KH_2OPO_4 dans une fiole jaugée de 1000 ml H_2O distillée (solution à 5000 ppm de P_2O_5). Prélever 10 ml de cette solution. Les mettre dans une fiole jaugée de 1000ml. Amener au trait de jauge (solution à 50 ppm de P_2O_5). Distribuer cette solution dans des fioles jaugées de 200 ml suivant le tableau ci-dessous:

ml solution P_2O_5 à 50 ppm	1,6	4	7,2	11,2	16	21	27,2	33,6	40
point de gamme (compte tenu de la dilution)	20	50	90	140	200	270	340	420	500

Compléter ensuite avec la solution d'extraction OLSEN DABIN fiole par fiole en ajustant au trait de jauge et verser immédiatement le contenu de chaque fiole après son remplissage dans des récipients plastiques de 250 ml.

ANNEXE V : ANALYSES FOLIAIRES ET RACINAIRES

Plan général des analyses



**Annexe VI: ANALYSE DES FORMES DU PHOSPHORE PAR LA MÉTHODE
CHANG ET JACKSON**

1. REACTIF:

- Chlorure d'ammonium N: 53,5 g par litre d'eau.

- Fluorure d'ammonium 0,5 N à pH= 7:18,5 g de FNH₄ par litre d'eau.

Avant ajuster à volume, amener à pH= 7, avec de l'ammoniaque au 1/3. Conserver en flacon de polyéthylène.

- Soude 0,1 N: 4 g pour 1 litre d'eau.

- Acide sulfurique 0,5 N: 14,5 ml (H₂SO₄) pour 1 litre d'eau (quantité pour toxicologie).

- Chlorure de sodium saturé: 400 gr par litre d'eau.

- Réactif sulfomolybdique: Solution A diluée deux fois 12,5 g de molybdate d'ammonium par litre de solution sulfurique de normalité 5 N (en vue du dosage automatique). Pour le dosage manuel, utiliser la solution A à 25 mg de molybdate dans l'acide sulfurique 10N.

- Acide ascorbique: 10 g par litre.

Gamme étalon:

On fabrique une solution à 50 g ml de P (0,2195 g de PO₄H₂K dans 1 litre) et dans une solution à 2 g ml de P en diluant 25 fois la première.

Les solutions étalons sont les suivantes:

g de P dans 50 ml	0	2	4	8	16	40	100	150	200
ml de solution à 2 g ml dans 200 ml	0	4	8	16	7	5	0	0	0
ml de solution à 50 g ml dans 200 ml	0	0	0	0	1	3	8	12	16

On complète à 200 ml avec la solution de fluorure d'ammonium.

On conserve en foliole plastique.

Il faudrait en réalité faire une gamme avec chacun des liquides d'extraction, mais l'expérience montre que les résultats des différentes gammes diffèrent très peu les uns des autres, et pour faciliter le dosage en série, surtout par voie automatique, toutes les opérations sont faites dans les conditions de l'extrait fluorure.

Nous avons observé l'expression en P, employé par JACKSON, il est facile de passer à P₂O₅ en multipliant les résultats par 2,3.

2 MODE OPERATOIRE:

Le sol séché à l'air et finement broyé est passé au tamis 0,2 mm.

Peser 1 g de sol et introduire dans un tube de centrifugeuse en plastique, de 100 ml .

1°) Ajouter (à l'aide d'un jaugeur automatique, marque Héron ou autre) , 50 ml de chlorure d'ammonium.

Boucher le tube avec un gros bouchon de caoutchouc.

Agiter 30 minutes à l'agitateur va et vient.

Centrifuger 5 mn à 3000 tours minute.

Décanner le liquide surnageant (ne pas entraîner le sol); Recueillir dans une fiole:

Solution n° 1 (P₂O₅ soluble)

2°) Sur le culot de terre, dans le même tube, ajouter 50 ml de fluorure d'ammonium, agiter une heure, centrifugier 5 mn. Décanner. Conserver en foliole plastique:

Solution n° 2 (P₂O₅ lié à Al)

Lavage:

Sur le culot, ajouter 25 ml de NaCl saturé, mettre le sol en suspension, centrifuger, décanner.

Ajouter 25 ml d'eau distillée en rinçant les bords du tube. Mettre en suspension, centrifuger, décanner. Les décantats sont jetés.

3°) Sur le culot, ajouter 50 ml de soude 0,1 N, agiter pendant 7 heures. Centrifuger 15 mn, décanner dans les béchers de 100 ml, le liquide est fortement coloré par l'humus. Ajouter dans les béchers 4 à 6 gouttes d'acide sulfurique pur.

Laisser précipiter les acides humiques, filtrer sur filtre plat.

Recueillir les filtrats dans les folioles. Boucher.

Solution n° 3 (P₂O₅ lié à Fe)

Lavage

Sur le culot, laver avec NaCl et eau comme précédemment.

4°) Sur le culot, ajouter 50 ml d'acide sulfurique 0,5 N.

Agiter 1 heure, centrifuger 5 mn, décanner en folioles, boucher.

Solution n° 4 (P₂O₅ lié à Ca)

ANNEXE VII: FABRICATION DES LAMES MINCES INDURATION DES ECHANTILLONS

Echange eau- acétone

Enveloppés dans une toile de tarlatane pour éviter une éventuelle destruction, les échantillons sont immergés dans l'acétone pure pour procéder à un échange eau- acétone.

Le système, qui fonctionne en circuit fermé, comprend une cuve en verre contenant l'acétone et les échantillons, un soutirage à la base de la cuve relié à une petite pompe peristaltique qui expédie le mélange eau - acétone à la base d'un récipient placé plus haut que la cuve. Ce dernier est rempli de granulés constituant le tamis moléculaire chargé de piéger les molécules d'eau du mélange. Les granulés changent de couleur lorsqu'ils sont saturés en eau et doivent alors être déshydratés dans une étuve à 200° avant d'être réintroduits dans le circuit. Un déversoir au sommet du conteneur de granulés boucle le circuit en alimentant par gravité le sommet de la cuve principale.

On vérifie chaque jour la teneur en eau du liquide dans la cuve à l'aide d'un densimètre jusqu'à ce que les traces d'eau soient indécélables.

Echange acétone- résine polymérisable (polystyrène)

Les échantillons saturés d'acétone sont rapidement immergés dans un bac contenant un mélange de résine, de styrène, et de catalyseur, préparé de telle sorte que l'induration du mélange s'effectue lentement dans un délai de trois semaines environ, temps durant lequel le mélange est constamment brassé par un petit agitateur mécanique afin de faciliter l'échange acétone résine. Finalement, la polymérisation est parachevée par un passage à l'étuve à 50° durant 24 heures environ qui va mettre le découpage par une débiteuse à lame diamantée des plaquettes pour la fabrication des lames minces.

La fabrication des lames minces dans les échantillons meubles est étroitement tributaire de la qualité de l'imprégnation et de l'induration.

Les sols salés et ceux qui contiennent des argiles gonflantes présentent des difficultés d'imprégnation.

Fabrication des lames minces

Une lame mince est un échantillon de sol ou de roche à tendance spéculaire, limité par deux faces planes, à tendance spéculaire, parallèles et distantes l'une de l'autre de 25 microns environ.

Celle-ci, permet l'observation en microscopie optique, d'une roche ou d'un sol rendu cohérent par induration plastique si les éléments constitutifs sont d'une épaisseur suffisamment fine pour permettre la transmission du flux lumineux microscopique. Cette épaisseur conditionne aussi les teintes de polarisation qui permettent l'identification des minéraux anisotropes; elle doit être constante sur toute la surface de la lame.

La chaîne opératoire de fabrication d'une lame mince est de longueur variable en fonction du matériel dont on dispose et/ ou de la méthode qu'on utilise; en se basant sur la

procédure classique (comprend trois phases: phase préparatoire- phase abrasive- phase d'assemblage) et 9 étapes:

1. Préparation des échantillons: découper dans chaque échantillon de sol induré une plaquette de 6 mm d'épaisseur. Le refroidissement du disque de la tronçonneuse lame diamantée à l'eau courante permet de vérifier la qualité de l'imprégnation.

2. Collage des plaquettes sur des porte- objets provisoires. cette opération a pour but de maintenir la série de plaquettes dans le logement du plateau porte-lames de la rectifieuse.

3. Rectification en machine de la face libre des plaquettes. Si l'imprégnation est bien fait, l'huile légère de refroidissement ne pénètre pas dans la masse des échantillons, et la surface rectifiée des plaquettes sèche très rapidement (moins de 30 secondes). Dans le cas contraire, des traces d'huile restent apparentes durant plusieurs minutes. On doit alors procéder à une ré-imprégnation.

4. Rectification en machine d'une face des porte- objets définitifs.

5. Coller controle des porte- objets définitifs.

6. Enlèvement des porte- objets provisoires.

7. Rectification en machine de la deuxième face de la plaquette jusqu'aux quartz blancs.

8. Polissage manuel au papier abrasif. cette opération permet d'améliorer l'image microscopique en réduisant la dispersion lumineuse par entraîne le léger dépoli de la rectification en machine.

9. Identification et collage des couvre- objets.

Annexe VIII: DESCRIPTION DES DIFFERENTS PROFILS DE LA SEQUENCE
DO HOA

Cinq profils ont été localisés à 20 m l'un de l'autre. Dans chaque profil, deux échantillons ont été prélevés à 0 -20 cm et à 50 - 70 cm en deux temps :

- fin saison des pluies (Novembre 91)
- fin saison sèche (Mars 92)

En tout, 20 échantillons ont été prélevés et analysés .

Profil 1 : DHS1 : à 5m du bord de la rivière . On distingue trois horizons :

0 - 40 cm : horizon argileux, semi humide de couleur brun jaune foncé 10 YR .4/4 , consistance 3 , présence de tache jaune rouge 5 YR.4/6 et nombreuses racines et racidelles de Rhizophora .

40 - 80 cm : argileux , humide , couleur gris foncé 10.YR.4/1, consistance 3 , présence de taches de charbon et des racines de Acanthus .

> 80 cm : humide, couleur gris très foncé 10 YR . 3/1, consistance 4 , présence des débris organiques non décomposés.

Profondeur (cm) -10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	
pH in situ	6,69	5,99	6,17	6,53	6,69	6,66	6,75	6,73	6,71	6,68
Eh (mV)	19,4	63,9	52,8	30,0	19,7	21,7	16,1	16,8	18,1	20,3

Profil 2 : DHS2: à 25 m de la rivière

0 -43 cm : argileux, semi humide , couleur brun foncé 10 YR .3/3 avec reflets très foncés 10YR . 3/1 , consistance 5, présence de taches de rouilles d'oxydes de fer 5 YR. 3/4 et nombreuses racines.

43 - 75 cm : humide , couleur gris foncé 10YR .4/1 , consistance 3 , présence des taches de couleur brun olive clair 2,5 Y . 5/6 , nombreuses racines et radicelles et quelques taches noires 10 YR .2/1.

> 75 cm : humide , couleur gris foncé 10 YR. 4/1 , consistance 2 , présence de tache de couleur brun olive clair 2,5 Y. 5/6 .

Profondeur (cm)-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	
pH in situ	6,25	6,10	6,12	6,68	6,95	6,95	6,92	6,86	6,91	6,94
Eh (mV)	47,10	57,1	55,5	20,4	3,2	3,3	5,3	8,7	5,6	3,9

Profil 3: DHS3 : à 45 m du bord de la rivière .

0 - 50 cm :humide , couleur brune 10 YR . 4/3 mélangée avec la couleur grise foncée 10 YR 4/1 , présence en profondeur de taches brunes foncées 10 YR. 3/3, consistance 3, présence de débris organiques non décomposés .

50 - 83 cm :humide , couleur gris foncé 10 YR.4/1, consistance 3, présence de nombreuses taches de charbon 2,5 Y.N2/0 .

> 83 cm :humide , couleur gris très foncé 2,5 Y.N 3/0, avec lignes parallèles de taches plus foncées, présence de débris de charbon.

Profondeur (cm)-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	
pH in situ	6,20	6,31	6,23	6,61	6,80	6,81	7,01	6,86	6,88	6,91
Eh (mV)	51,0	44,2	48,6	24,8	12,8	12,2	-0,3	9,3	7,8	5,7

Profil 4 : DHS4 : à 65 m du bord de la rivière.

0 - 47 cm : semi humide , couleur gris brun foncé 10YR.4/2 mélangée avec la couleur gris foncé 10 YR 4/1, consistance 5, présence de taches rouilles brun jaune foncé 10 YR 3/4 et nombreux débris de racines surtout d'*Acrostichum aureum*.

47 - 76 cm : humide , couleur gris très foncé 10 YR. 3/1, consistance 3 , présence de débris organiques et racines non décomposées

>76 cm : humide , couleur noir 10 YR. 2/1, consistance 3.

Profondeur (cm)-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	
pH in situ	5,96	6,03	6,06	6,40	6,44	6,83	6,88	6,89	6,85	6,8
Eh (mV)	66,1	61,7	58,9	37,7	38,4	11,1	7,6	6,7	9,7	12,0

Profil 5 : DHS5 : à 85 m du bord de la rivière.

0 - 39 cm :semi humide , couleur brun foncé 7,5 YR.4/2 , mélange à des taches couleur gris très foncé 10 YR. 3/1, consistance 5, présence de taches brun rouge foncé 5 YR.3/3 et brun olive clair 2,5 Y.5/6 et morceaux de branches d'arbres.

39 - 70 cm: humide, couleur " purée de marron " gris brun foncé 10 YR.4/2, consistance 3, présence de très nombreux débris de matière organique non décomposée.

>70 cm :humide , couleur gris très foncé 10 YR . 3/1, consistance 2 , présence de très nombreux débris de matière organique non décomposée.

Profondeur. (cm)-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	
pH in situ	4,07	4,44	5,97	6,15	6,56	6,59	6,63	6,56	6,53	6,53
Eh (mV)	186,2	162	76,9	52,0	26,8	26,0	23,6	27,9	29,7	29,5

Annexe IX: Caractéristiques chimiques du sol à Do Hoa

Profils	C/N	Ca éch.	K éch.	Na éch.	Mg éch.	CEC
0-20	14,58	0,15	0,01	18,10	11,31	33,1
20-40	17,85	0,14	0,11	20,14	10,36	29,9
40-60	13,78	0,35	0,14	21,00	10,16	34,1
60-80	14,90	0,28	0,02	21,88	9,33	38,9
80-100	18,09	0,38	0,01	20,32	9,34	39,5

Annexe X: Corrélation entre la somme des anions et la conductivité électrique à Do Hoa

Régression Simple X 1: Somme des anions Y 1: EC

Fréquence :	R :	R-carré :	R-carré ajust. :	Ec.-type Résiduel :
20	,993	,986	,985	,134

Analyse de la variance

Source	DDL :	S. des carrés :	Carré moyen :	Test-F :
REGRESSION	1	22,109	22,109	1227,249
RESIDUEL	18	,324	,018	p = ,0001
TOTAL	19	22,433		

Résidus

SC[e(l)-e(l-1)]:	e ≥ 0:	e < 0:	Test de DW :
,69	11	9	2,129

Régression Simple X' 1: Somme des anions Y 1: EC

Coefficient de régression

Variable :	Coefficient :	Err. Std. :	Coeff. Std. :	(Valeur)-t :	Probabilité :
CONSTANTE	,049				
PENTE	,096	,003	,993	35,032	,0001

Intervalles de confiance

Variable :	95% Inf. :	95% Sup. :	90% Inf. :	90% Sup. :
MOY (X,Y)	2,41	2,537	2,421	2,526
PENTE	,09	,102	,091	,101

Annexe XI: Corrélation entre Na⁺ et Cl⁻

Régression Simple X 1: Na ⁺ Y 1: Cl ⁻				
Fréquence :	R :	R-carré :	R-carré ajust. :	Ec.-type Résiduel :
20	,844	,712	,696	4,011

Analyse de la variance				
Source	DDL :	S. des carrés :	Carré moyen :	Test-f :
REGRESSION	1	714,22	714,22	44,4
RESIDUEL	18	289,551	16,086	p = ,0001
TOTAL	19	1003,771		

Résidus			
SC[e(i)-e(i-1)]:	e ≥ 0:	e < 0:	Test de DW :
273,7	9	11	,945

Régression Simple X 1: Na ⁺ Y 1: Cl ⁻					
Coefficient de régression					
Variable :	Coefficient :	Err. Std. :	Coeff. Std. :	(Valeur)-t :	Probabilité :
CONSTANTE	,859				
PENTE	,915	,137	,844	6,663	,0001

Intervalles de confiance				
Variable :	95% Inf. :	95% Sup. :	90% Inf. :	90% Sup. :
MOY (X,Y)	13,994	17,762	14,323	17,433
PENTE	,627	1,204	,677	1,154

Annexe X1IA: Conductivité électrique de la nappe dans la séquence à Do Hoa. Résultats exprimés en mS/cm.

Séquences	Jun-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mar-92	Mai-92	Jun-92
DHS1	18,1	11,5	12,4	16,5	22,6	29,3	21,3
DHS2	17,2	11,7	8,6	12,9	21,6	27,2	17,8
DHS3	15,8	12,2	8,9	12,6	18,7	24,1	19,4
DHS4	20,6	7,2	7,2	14,2	22,6	23,1	18,5
DHS5	15,3	8,4	6,5	11,8	15,8	19,6	18

XIIB - Rapport des ions /Cl⁻ dans la nappe de Do Hoa.

Echantillons	Na ⁺ / Cl ⁻	K ⁺ / Cl ⁻	Mg ⁺⁺ /Cl ⁻	Ca ⁺⁺ / Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻ / Cl ⁻	SAR
L'eau de mer*	0,86	0,02	0,19	0,04	0,10	58,5
Rivière	0,95	0,02	0,16	0,05	0,09	38,08
S1	0,96	0,02	0,18	0,05	0,09	39,22
S2	0,94	0,02	0,2	0,06	0,1	36,17
S3	1,04	0,02	0,21	0,05	0,09	40,15
S4	0,89	0,02	0,17	0,05	0,09	41,66
S5	0,96	0,02	0,19	0,08	0,09	28,97
*MARIUS,1986						

**Annexe XIII: DESCRIPTION DES DIFFERENTS PROFILS DES
SEQUENCES DE LONG AN**

SEQUENCE DE LONG AN 1

Profil 1: LA1S1: à 10 m du bord de la rivière de Vam Co Dong.

On distingue 4 horizons:

0-24 cm: vase, humide, couleur gris très foncé (10 YR.3/1), consistance 3, présence des débris organiques non décomposés.

24- 56 cm : sols argilo-limoneux, humide, couleur gris très foncé 10 YR. 3/1, consistance 4, présence de morceaux de branches d'arbres non décomposés.

56- 86 cm: humide, consistance 3, de couleur gris brun très foncé 10 YR. 3/2, présence de racines.

> 86 cm: humide, consistance 3, de couleur gris très foncé 10YR.3/1, présence de matière organique non décomposée.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH" in situ"	6,64	6,45	6,44	6,44	6,46	6,06	6,40	6,48	6,46	6,42
Eh(mV)	35,5	35,1	35,3	35	34,2	57,3	35,6	33,1	34,3	36,9

Profil 2: LA1S2: à 70 m du bord de la rivière

0-40 cm: argileux, humide, consistance 5, de couleur gris brun foncé 10 YR.4/2, présence des racines fines de couleur rouille.

40- 80 cm: sol argilo-limoneux, humide, consistance 4, de couleur gris brun foncé 10 YR. 4/2, présence de matières organiques non décomposées.

>80 cm: humide, consistance 2, de couleur gris très foncé 10YR.3/1, avec reflets de couleur très gris 2,5Y.N 4/0, mélange des taches gris brun foncé 10YR.4/2.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH" in situ"	3,78	4,59	5,84	6,32	6,42	6,41	6,45	6,52	6,41	6,5
Eh(mV)	199,6	151,7	73,2	43,1	36,6	34,9	34,2	30,2	34,8	30,2

Profil 3: LA1S3: à 130 m du bord de la rivière.

0- 30 cm: argileux, humide, consistance 5, de couleur gris brun foncé 10YR. 4/1, présence des taches de rouille brun jaune 10YR.5/8.

30-86 cm: argileux, humide, consistance 4, de couleur gris très foncé 10YR.3/1, avec reflets de couleur gris foncé 2,5. N 4/0, de matière organique non décomposée, abondante.

>86 cm: argileux, humide, consistance 3, de couleur gris très foncé 10YR.3/1, abondante de matière organique non décomposée.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH" in situ"	5,87	6,13	6,29	6,33	6,34	6,30	6,35	6,33	6,35	6,37
Eh (mV)	71,6	54,6	44,9	42,2	41,6	43,8	40,8	42,1	40,8	39,9

Profil 4: LA1S4: à 190 m du bord de la rivière

0-40 cm: argileux, humide, consistance 5, couleur gris brun 10YR.5/2, présence nombreuses taches rouilles d'oxydes de fer brun jaune foncé 10 YR.3/6.

40-58 cm: argileux, humide, consistance 4, couleur gris brun foncé 10 YR. 4/2.

>58 cm: humide, consistance 3, couleur gris 10 YR.5/1, présence de matière organique non décomposée

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH" in situ"	3,98	4,0	4,18	4,2	4,52	4,5	4,58	4,78	4,92	5,04
Eh (mV)	190,2	189,2	178,0	176,4	156,4	157,3	152,4	139,7	130,9	123,4

Profil 5: LA1S5: à 250 m du bord de la rivière

0- 25 cm: argileux, humide, consistance 4, couleur brun en surface 10YR.4/3, devenant gris très foncé en bas 10 YR.3/1, nombreuses racines de riz.

25- 66 cm: argileux, humide, consistance 3, couleur gris très foncé 10YR.3/1, de matière organique non décomposée, abondante.

>66 cm: humide, consistance 2, couleur noir 10YR.2/1, de matière organique non décomposée, abondante.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH" in situ"	3,93	4,16	5,11	6,38	6,44	6,42	6,38	6,32	6,30	6,17
Eh (mV)	193,9	176,9	118,5	39,1	34,2	36,1	38,7	42,5	43,9	52,2

Profil 6: LA1S6: à 310 m du bord de la rivière

0- 24 cm: argileux, humide, consistance 4, couleur brun 7,5 YR.4/2, mélange de taches rouilles d'oxydes de fer 5YR.3/4 et présence de quelques racines fines.

24- 70 cm: argileux, humide, consistance 5, couleur gris très foncé 10 YR.3/1, présence de matière organique non décomposée.

>70 cm: humide, consistance 3, couleur gris brun foncé 10 YR.4/2 mélange à des taches de couleur gris très foncé 10 YR.3/1, de matière organique non décomposée, abondante

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	4,03	4,82	5,27	5,08	4,99	4,9	4,93	4,99	5,02	4,89
Eh (mV)	188,4	137,5	109,2	120,5	127,0	132,4	130,5	126,7	124,8	132,2

SEQUENCE DE LONG AN 2

Profil 7: LA2S1: à 5 m du bord de la rivière

0- 12 cm: humide, consistance 2, couleur gris très foncé 10 YR.3/1, de matière organique non décomposée, abondante.

12- 70 cm: argileux, humide, consistance 3, couleur gris très foncé 10 YR.3/1, de matière organique non décomposée, abondante.

>70 cm: humide, consistance 3, couleur gris très foncé 10 YR.3/1 présence de matière organique non décomposée.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	6,25	6,26	6,32	6,32	6,23	6,36	6,31	6,26	6,24	6,34
Eh (mV)	47,0	45,7	43,2	43,2	47,9	40,2	43,7	47,1	48,1	41,9

Profil 8: LA2S2: à 590 m du bord de la rivière

0- 20 cm: argileux, semi humide, consistance 5, couleur gris foncé 10YR.4/1, présence de taches jaune brun 10 YR.5/8

20- 42 cm: argileux, humide, consistance 5, couleur gris brun 10 YR.5/2, présence de taches jaune brun 10 YR.5/8

42- 80 cm : argileux, humide, consistance 4, couleur brun foncé 7,5 YR.3/2, présence de beaucoup de matière organique non décomposée.

>80 cm: argileux, humide, consistance 3, couleur gris très foncé 10YR 3/1, de matière organique non décomposée, abondante.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	3,9	4,11	4,57	4,72	4,19	4,82	4,44	5,2	5,11	5,21
Eh (mV)	197,2	183,5	153,9	144,0	178,0	137,5	162,1	113,5	119,2	113,2

Profil 9: LA2S3: à 1180 m du bord de la rivière

0- 43 cm: argileux, humide, consistance 5, couleur brun foncé 7,5 YR. 3/2, nombreuses radicelles gainées d'oxydes de fer et présence de taches de charbon.

43- 75 cm: argileux, humide, consistance 4, couleur brun très foncé 10YR.2/2. En profondeur, il y a des taches brunes très foncées

7,5 YR.3/2, présence de beaucoup de matière organique non décomposée.

>75 cm: argileux, humide, consistance 3, couleur gris brun très foncé 10 YR.3/2, mélange des taches de couleur brune très foncée 10 YR.2/2, présence de beaucoup de matière organique non décomposée.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	4,25	4,13	4,27	4,27	4,45	4,48	4,53	4,6	4,61	4,82
Eh (mV)	174,9	182,5	173,0	173,0	161,1	159,0	156,3	151,8	151,3	137,7

Profil 10: LA2S4: à 1770 m du bord de la rivière

0- 36 cm: argileux, humide, consistance 5, couleur gris très foncé 10 YR.3/1, présence beaucoup de taches rouilles d'oxydes de fer de couleur jaune brun foncé.

36- 74 cm: argileux, humide, consistance 4, couleur brun foncé 7,5YR.4/2, mélange de taches brun très foncé 7,5 YR.3/2

>74 cm: argileux, humide, consistance 4, couleur brun foncé 7,5 YR.4/2, présence d'un plus grand nombre de taches brun très foncé 7,5 YR. 3/2.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	4,39	4,49	4,47	4,37	4,36	4,32	4,37	4,33	4,42	4,40
Eh (mV)	165,6	158,6	159,8	166,0	166,7	169,1	166,0	168,2	162,3	163,7

Profil 11: LA2S5: à 2360 m du bord de la rivière

0- 44cm: argileux, humide, consistance 5, couleur gris très foncé 10 YR.3/1, tournant au brun 7,5 YR.5/2, puis au brun foncé 7,5 YR.3/2.

44- 60 cm: argilo-limoneux, humide, consistance 4, couleur brun foncé 7,5YR.4/2, présence des taches brun très foncé 7,5 YR. 3/2

60- 78 cm: humide, consistance 3, couleur brun foncé 7,5 YR.4/2, présence de matière organique non décomposée abondante.

>78 cm: humide, consistance 3 (consistance de beurre), couleur brun foncé 7,5 YR.4/2, de matière organique non décomposée, abondante.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	4,24	4,23	4,16	4,22	4,72	4,16	4,14	4,13	4,45	4,50
Eh (mV)	174,2	174,1	178,6	174,3	143,5	178,5	180,0	180,2	160,4	156,3

Profil 12: LA2S6: à 2950 m du bord de la rivière

0- 12cm: horizon, émiet, semi humide, consistance 5, couleur gris brun très foncé 10 YR. 3/2, mélange des taches de charbon.

12- 60 cm: argileux, humide, consistance 4, couleur gris très foncé 2,5YR.3/0, avec reflets de taches noires, présence des taches d'oxydes de fer de jaune brun foncé 10 YR. 4/6

>60 cm: argileux, humide, consistance 3, couleur gris foncé 10YR.4/1, mélange de taches gris très foncé 10 YR. 3/1, présence d'un peu de matière organique non décomposée.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	3,94	4,07	4,06	5,99	6,29	6,15	6,34	6,23	6,14	4,17
Eh (mV)	193,7	184,2	184,7	62,4	44,5	53,4	41,5	48,2	54,0	177,6

SEQUENCE DE LONG AN 3

Profil 13: LA3S1: à 20 m du bord de la rivière

0- 7cm: humide, consistance 3, couleur gris brun très foncé 2,5 YR. 3/2, présence de débris de paille.

7- 70 cm: argileux, humide, consistance 5, couleur gris brun très foncé 10YR.3/2, mélange de débris de paille et de matière organique non décomposée

>70 cm: argileux, humide, consistance 3, couleur gris très foncé 10YR.3/1, nombreuses de racines non décomposées.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	2,92	3,82	4,63	4,64	4,56	4,45	4,45	4,37	4,63	5,05
Eh (mV)	243,9	186,8	134,9	134,6	139,8	146,9	147,1	152,4	135,7	109,2

Profil 14: LA3S2: à 320 m du bord de la rivière

0- 10cm: horizon, argileux, semi humide, consistance 5, couleur gris très foncé 10YR. 3/1, présence de taches rouilles d'oxydes de fer.

10- 42cm: argileux, humide, consistance 5, couleur gris brun 10YR.5/2, mélange de taches jaune 2,5 YR.7/8 et de taches brun foncé 7,5 YR.3/2.

>42cm: humide, consistance 3, couleur noir 10YR.2/1, présence de beaucoup de matière organique non décomposée.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	3,78	3,54	3,56	3,75	3,7	3,63	3,59	3,58	3,83	4,4
Eh (mV)	188,7	204,0	202,5	190,2	193,5	197,8	199,8	199,5	184,0	148,7

Profil 15: LA3S3: à 620 m du bord de la rivière

0- 12cm: argileux, semi humide, consistance 5, couleur gris brun très foncé 2,5YR.3/2, présence de taches rouilles d'oxydes de fer.

12- 50cm: argileux, humide, consistance 5, couleur brun 7,5YR.4/2, mélange avec des taches brun foncé 7,5 YR.3/2

>50 cm: argileux, humide, consistance 4, couleur gris très foncé 10YR.3/1, présence de beaucoup de matière organique non décomposée, la couleur devient plus foncé avec la profondeur.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	3,71	3,71	3,69	3,79	3,82	3,85	3,86	3,97	4,07	4,09
Eh (mV)	194,1	193,1	194,0	187,8	185,7	184,2	182,6	175,9	169,2	168,0

Profil 16: LA3S4: à 920 m du bord de la rivière

0- 12cm: horizon, argileux, semi humide, consistance 5, couleur gris très foncé 2,5YR. 3/0, présence de taches rouilles d'oxydes de fer.

12- 30cm: argileux, humide, consistance 5, couleur gris brun clair 25YR.6/2, mélange de taches de couleur brun 7,5 YR.4/2, présence de taches jaune olive 2,5Y.6/6.

30-65 cm: argileux, humide, consistance 3, couleur gris brun très foncé 10 YR.2/2.

>65 cm: humide, consistance 3, couleur noir 10YR.2/1, présence beaucoup de matière organique non décomposée.

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	3,54	3,73	3,80	3,79	3,84	3,00	3,53	3,97	3,98	3,96
Eh (mV)	204,4	191,6	187,5	187,9	184,8	236,7	202,8	195,1	195,1	196,2

Profil 17: LA3S5: à 1220 m du bord de la rivière

0- 40cm: argileux, semi humide, consistance 5, couleur brun jaune 10YR. 6/8, présence de beaucoup taches jaune 10YR.7/8, en mélange avec des taches brun très foncé 10YR.2/2.

40-80cm: argileux, humide, consistance 4 couleur brun 7,5YR.4/2, mélange avec des taches brun foncé 7,5 YR.3/2

>50 cm: argileux, humide, consistance 4 , couleur gris brun 10YR.5/2, mélange avec des taches brun très foncé 10YR.2/2, la couleur fonce avec la profondeur, présence de beaucoup de matière organique non décomposée

Profondeur (cm)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100
pH <i>in situ</i>	4,31	4,21	4,12	3,99	3,93	4,01	4,21	4,39	4,45	4,62
Eh (mV)	170,0	176,2	182,0	190,1	193,9	189,4	175,8	165,9	161,7	151,0

Annexe XIVA: : Compositions des ions solubles du sol dans les séquences de Long An en Novembre 91

Séquence	Profil	Horizons (cm)	pH	EC mS/cm	K+ meq/100g	Na+ meq/100g	Ca++ meq/100g	Mg++ meq/100g	Cl- meq/100g	SO4-- meq/100g	Cl/SO4
LONGAN2	S1	0-20	3,02	4,84	0,03	3,22	3,89	12,56	5,68	43,17	0,13
	S2		4,03	0,37	0,05	0,13	0,07	0,03	0,10	0,29	0,34
	S3		4,09	0,26	0,08	1,77	0,09	0,17	1,23	0,79	1,56
	S4		3,84	0,48	0,18	3,80	0,08	0,64	2,26	2,94	0,77
	S5		3,27	0,48	0,14	1,90	0,72	1,64	1,28	3,24	0,40
	S6		3,65	0,27	0,20	1,50	0,42	0,80	0,85	1,89	0,45
	S1	50-70	2,73	1,87	0,01	2,80	3,05	10,32	3,14	15,53	0,20
	S2		3,58	0,63	0,11	2,10	0,20	0,80	1,13	4,06	0,28
	S3		3,16	1,37	0,27	4,80	1,96	5,44	3,10	14,28	0,22
	S4		2,62	0,90	0,24	5,60	0,64	1,56	4,23	5,72	0,74
	S5		3,30	0,73	0,34	4,20	0,84	1,68	2,54	4,58	0,55
	S6		3,41	1,04	0,57	5,42	4,32	2,57	7,80	6,36	1,23
LONGAN3	S1	0-20	2,71	1,75	0,02	4,78	3,06	9,25	3,15	13,06	0,24
	S2		4,09	0,07	0,04	0,52	0,06	0,05	0,28	0,48	0,58
	S3		3,98	0,07	0,03	0,48	0,08	0,09	0,26	0,48	0,54
	S4		3,88	0,78	0,03	0,82	0,08	0,14	0,39	0,69	0,57
	S5		3,68	0,18	0,08	0,46	0,12	0,24	0,33	0,76	0,43
	S1	50-70	2,17	0,75	0,00	4,27	7,16	18,67	4,86	18,62	0,26
	S2		3,66	0,62	0,21	2,80	0,68	2,16	1,97	6,00	0,33
	S3		3,78	0,32	0,18	2,90	0,64	2,04	2,26	4,46	0,51
	S4		3,33	0,64	0,13	2,07	0,61	1,97	1,14	4,85	0,24
	S5		3,14	0,55	0,10	0,97	0,51	1,17	0,85	3,83	0,22

Annexe XIV B : Compositions des ions solubles du sol dans les séquences de Long An en Mars 92

Sites	Sequences	Horizons (cm)	pH	EC mS/cm	K+ meq/100g	Na+ meq/100g	Ca++ meq/100g	Mg++ meq/100g	Cl- meq/100g	SO4-- meq/100g	Cl/SO4
LONGAN2	S1	0-20	3,35	4,51	0,02	10,93	4,74	23,93	8,71	29,96	0,29
	S2		4,01	0,33	0,05	1,00	0,08	0,57	0,56	0,79	0,71
	S3		3,96	1,33	0,05	3,10	0,42	0,75	2,82	1,43	1,97
	S4		4,02	1,07	0,09	2,70	0,44	0,48	2,54	0,97	2,62
	S5		4,24	1,60	0,22	3,30	0,25	0,50	1,97	1,87	1,06
	S6		3,65	1,04	0,15	2,60	0,27	0,90	2,82	0,90	3,15
	S1	50-70	3,17	2,61	0,02	12,04	4,74	27,96	9,16	27,50	0,33
	S2		3,15	3,75	0,28	4,90	2,02	5,55	3,67	10,72	0,34
	S3		2,57	4,47	0,27	5,70	1,93	5,95	5,08	14,15	0,36
	S4		3,27	3,05	0,24	5,80	0,76	1,19	5,64	3,99	1,41
	S5		3,63	2,23	0,25	3,90	0,40	0,44	2,82	1,89	1,49
	S6		3,89	2,21	0,28	4,00	0,52	0,52	3,95	1,97	2,00
LONGAN3	S1	0-20	2,98	2,17	0,04	8,78	2,40	10,57	7,37	16,51	0,45
	S2		3,65	0,61	0,12	3,60	0,54	0,75	3,67	1,96	1,87
	S3		4,02	1,08	0,10	2,60	0,42	0,33	1,97	0,90	2,21
	S4		3,98	0,31	0,07	1,30	0,29	0,38	1,13	2,06	0,55
	S5		3,59	0,39	0,14	1,30	0,27	0,48	1,13	1,97	0,57
	S1	50-70	2,40	4,35	0,01	3,78	5,19	15,87	5,01	76,97	0,07
	S2		2,61	3,15	0,04	3,22	1,55	4,16	4,76	39,98	0,12
	S3		2,89	3,34	0,07	4,83	1,75	4,44	5,46	30,57	0,18
	S4		3,37	2,34	0,25	4,50	0,51	1,40	3,95	3,45	1,14
	S5		2,64	2,61	0,07	2,56	1,50	2,88	3,43	31,63	0,11

Annexe XVA : Compositions des ions solubles du sol des cocoteraies à Long An en Novembre 91

Sites	Repetitions	Horizons (cm)	pH	EC mS/cm	K+ meq/100g	Na+ meq/100g	Ca++ meq/100g	Mg++ meq/100g	Cl- meq/100g	SO4-- meq/100g	Cl/SO4
LONGAN2	1	0-20	3,52	0,4	0,16	1,37	0,24	0,55	0,8	1,86	0,43
	2		3,26	0,4	0,11	1,5	0,36	0,96	2,256	2,72	0,83
	3		3,67	0,15	0,14	0,29	0,15	0,31	0,5	1,03	0,49
	4		3,66	0,45	0,11	1,6	0,4	1,12	1,41	2,68	0,53
	Moyenne		3,53	0,35	0,13	1,19	0,29	0,74	1,24	2,07	0,60
	Ecart-type	0,19	0,14	0,02	0,61	0,11	0,37	0,78	0,80	0,97	
	1	50-70	3,85	0,27	0,08	1,14	0,14	0,32	0,63	1,09	0,58
	2		4,06	0,32	0,06	1,86	0,14	0,32	0,5	1,8	0,28
	3		3,89	0,55	0,1	3,3	0,36	1	2,82	2,41	1,17
	4		3,6	0,3	0,14	1,5	0,54	0,42	1,12	1,51	0,74
Moyenne	3,85		0,36	0,10	1,95	0,30	0,52	1,27	1,70	0,74	
Ecart-type	0,19	0,13	0,03	0,95	0,19	0,33	1,07	0,55	1,93		
LONGAN3	1	0-20	2,88	0,36	0,14	0,6	0,63	0,71	0,564	2,68	0,21
	2		3,1	0,4	0,39	1,2	0,89	0,72	1,692	2,81	0,60
	3		3,44	0,31	0,23	0,9	0,55	0,63	1,41	0,99	1,42
	4		3,43	0,29	0,34	0,9	0,46	0,46	1,34	0,89	1,51
	Moyenne		3,21	0,34	0,28	0,90	0,63	0,63	1,25	1,84	0,68
	Ecart-type	0,27	0,05	0,11	0,24	0,19	0,12	0,48	1,04	0,46	
	1	50-70	3,44	0,73	0,22	1,89	1,64	4,7	0,43	7,53	0,06
	2		3,87	0,75	0,05	0,55	0,04	0,08	0,3	0,47	0,64
	3		3,42	0,63	0,17	2,5	0,92	2,02	1,692	4,49	0,38
	4		3,74	0,23	0,14	0,7	0,21	0,67	0,846	1,08	0,78
Moyenne	3,62		0,59	0,15	1,41	0,70	1,87	0,82	3,39	0,24	
Ecart-type	0,22	0,24	0,07	0,94	0,73	2,06	0,63	3,28	0,19		

Annexe XVB : Compositions des ions solubles du sol dans les cocoteraies de Long An en Mars 92

Sites	Horizons (cm)	Repetitions	pH	EC mS/cm	K+ meq/100g	Na+ meq/100g	Ca++ meq/100g	Mg++ meq/100g	Cl- meq/l	SO4-- meq/l	Cl/SO4	
LONG AN2	0-20	1	3,39	0,32	0,13	2,40	0,63	0,59	1,97	1,62	1,22	
		2	3,16	0,80	0,16	5,90	1,07	1,70	6,49	1,89	3,43	
		3	3,25	0,53	0,08	3,80	0,86	1,11	3,95	1,35	2,92	
		4	3,10	0,51	0,16	3,30	0,94	1,41	3,10	2,06	1,51	
		Moyenne	3,23	0,54	0,13	3,85	0,88	1,20	3,88	1,73	2,24	
	Ecart-type	0,13	0,20	0,04	1,48	0,18	0,47	1,92	0,31			
	50-70	1	3,72	0,53	0,18	3,70	0,54	0,59	2,54	3,41	0,74	
		2	3,32	0,84	0,19	5,90	0,63	1,10	3,67	4,33	0,85	
		3	3,40	0,79	0,12	6,10	0,84	1,09	5,64	1,79	3,15	
		4	3,23	0,25	0,16	2,10	0,44	0,56	1,13	1,69	0,67	
		Moyenne	3,42	0,60	0,16	4,45	0,61	0,84	3,24	2,81	1,15	
	Ecart-type	0,18	0,24	0,03	1,65	0,15	0,26	1,65	1,12			
	LONG AN3	0-20	1	2,94	0,49	0,24	1,40	0,86	0,82	1,13	3,79	0,30
			2	2,83	0,47	0,16	1,10	0,59	0,84	1,41	3,25	0,43
3			2,98	0,49	0,09	1,60	0,72	0,84	1,97	2,27	0,87	
4			3,44	0,56	0,18	3,50	0,42	0,85	3,67	1,35	2,72	
Moyenne			3,05	0,50	0,17	1,90	0,65	0,84	2,04	2,67	0,77	
Ecart-type		0,27	0,04	0,06	1,09	0,19	0,01	1,14	1,08			
50-70		1	3,47	0,99	0,13	10,07	0,99	2,54	4,05	5,00	0,81	
		2	3,74	0,45	0,08	1,15	0,10	0,27	1,07	3,79	0,28	
		3	3,49	0,48	0,08	3,30	0,67	0,88	3,67	1,27	2,89	
		4	3,52	0,63	0,09	5,30	0,59	0,93	5,92	0,73	8,11	
		Moyenne	3,56	0,64	0,10	4,96	0,59	1,16	3,81	2,70	1,41	
Ecart-type		0,11	0,21	0,02	3,30	0,32	0,84	1,74	1,76			

Annexe XVI : Variations des compositions chimiques de la nappe de Long An en Mar92

	pH	EC	Na+	K+	Ca++	Mg++	Cl-	SO4--	Cl/SO4
		mS/cm	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	
LA2 Riviere	5,63	6,6	52,34	1,33	6,83	10,85	68,06	6,68	10,2
S1	7,23	6,7	49,43	1,20	6,30	10,34	64,17	9,94	6,5
S2	3,52	2,5	17,21	0,28	2,98	4,01	19,55	2,81	7,0
S3	3,03	5,6	35,13	0,82	6,10	8,44	44,49	7,71	5,8
S4	2,58	6,5	41,74	0,90	5,67	8,28	55,84	7,14	7,8
S5	2,87	4,1	24,26	0,87	2,96	4,28	25,44	5,36	4,7
S6	2,75	5,7	33,52	0,90	5,02	7,25	44,22	4,19	10,6
R1	3,16	3,3	21,13	0,63	3,67	4,82	24,54	4,91	5,0
R2	2,93	4,1	28,00	0,68	4,53	5,44	31,07	5,50	5,6
R3	3,09	4,9	30,87	0,67	4,95	7,07	38,41	9,00	4,3
R4	2,59	3,6	15,34	0,90	2,89	4,86	34,72	11,47	3,0
Moyenne des R	2,94	4,0	23,84	0,72	4,01	5,55	32,19	7,72	4,5
Ecart-type	0,25	0,7	6,98	0,12	0,92	1,06	5,91	3,08	1,1
LA3 Riviere	4,39	6,7	45,39	1,22	6,26	9,75	57,72	6,17	9,4
S1	7,04	4,8	34,78	2,05	3,88	7,01	46,49	5,95	7,8
S2	2,80	5,7	34,95	0,81	5,02	7,26	46,25	5,17	8,9
S3	3,54	3,6	24,26	0,63	4,05	5,53	27,03	5,15	5,2
S4	3,02	3,9	23,60	0,56	3,97	5,95	29,50	3,52	8,4
S5	2,47	4,4	15,39	0,47	5,80	8,25	16,64	3,59	4,6
R1	3,39	6,0	36,95	0,78	5,49	8,69	48,66	9,82	5,0
R2	3,13	5,4	28,87	0,42	5,86	7,69	37,72	8,45	4,5
R3	3,09	6,0	37,26	0,86	6,59	8,92	54,97	14,85	3,7
R4	3,51	6,4	39,30	0,87	6,65	9,44	52,62	13,60	3,9
Moyenne des R	3,28	6,0	35,60	0,73	6,15	8,69	48,49	11,68	4,2
Ecart-type	0,20	0,4	4,60	0,21	0,57	0,73	7,64	3,03	0,6

S1, S2, S3, S4, S5, S6: différents profils dans la séquence- R1, R2, R3, R4: répétitions 1, 2, 3, 4 dans la cocoteraie

Annexe XVII : Variation des compositions chimiques des eaux interstitielles sur les sites de Long An en mars 92

Sites	pH	EC mS/cm	Na+ meq/l	K+ meq/l	Ca++ meq/l	Mg++ meq/l	Cl- meq/l	SO4-- meq/l	Cl/SO4
LA2S1	4,96	4,56	41,56	1,06	2,66	22,81	67,16	11,22	6,0
S2	3,91	4,35	38,78	0,70	4,42	31,93	68,69	12,61	5,4
S3	3,15	5,76	48,17	1,22	5,23	15,26	54,21	24,00	2,3
S4	3,43	5,88	54,08	1,17	3,67	11,47	59,30	13,15	4,5
S5	3,76	4,86	44,43	1,53	3,40	10,36	51,98	10,26	5,1
S6	3,33	7,72	62,04	2,17	3,04	12,42	77,54	18,49	4,2
R1	3,85	6,54	55,91	1,26	5,51	14,76	71,20	19,44	3,7
R2	3,60	8,47	71,13	1,02	5,17	16,45	88,31	18,88	4,7
R3	3,71	7,79	65,22	0,93	5,60	14,28	74,12	13,23	5,6
R4	3,68	2,79	22,26	1,04	1,86	15,30	36,89	15,83	2,3
Moyenne des R	3,71	6,40	53,63	1,06	4,53	15,20	67,63	16,85	4,07
Ecart-type	0,10	2,54	21,83	0,14	1,79	0,93	21,81	2,89	1,40
LA3S1	4,14	2,689	23,39	0,631	1,422	2,648	22,7	3,63	6,3
S2	3,8	3,89	31,91	0,634	3,203	4,786	33,6	9,14	3,7
S3	3,4	4,178	33,3	0,856	3,493	5,81	30,29	13,98	2,2
S4	3,79	4,911	41,61	0,936	4,136	13,947	41,7	11,96	3,5
S5	3,35	4,827	25,6	0,892	7,759	20,691	21,28	44,57	0,5
R1	3,94	2,737	31,78	0,849	2,614	9,071	30,07	10,07	3,0
R2	3,83	2,965	23,74	0,572	2,1	7,286	23,36	6,57	3,6
R3	3,87	7,449	60,52	1,422	5,673	18,832	72,76	17,41	4,2
R4	3,91	7,805	63,91	1,222	4,805	17,105	86,1	15,34	5,6
Moyenne des R	3,89	5,24	44,99	1,02	3,80	13,07	53,07	12,35	4,08
Ecart-type	0,05	2,76	20,21	0,38	1,71	5,74	31,04	4,94	1,13

S1,S2,S3,S4,S5: différents profils dans la séquence - R1, R2, R3, R4: répétitions 1, 2, 3, 4 dans la cocoteraie

Annexe XVIII : Variation du nombre de feuilles émises sur les sites

Do Hoa	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mar-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mar-93	Mai-93	Jui-93
R1	2,2	2,5	2,9	2,6	2,6	1,0	2,5	2,6	3,4	1,6	1,3	2,0	2
R2	2,5	2,7	2,5	2,4	2,8	1,7	2,8	2,7	3,2	2,0	1,5	2,0	2,0
R3	2,0	2,7	2,9	2,3	1,6	1,8	2,4	2,4	3,3	1,7	1,3	1,9	1,9
R4	2,4	2,5	3,0	2,5	1,7	1,9	2,2	2,3	2,9	1,5	1,7	1,7	1,7
Moyenne	2,3	2,6	2,8	2,5	2,2	1,6	2,5	2,5	3,2	1,7	1,5	1,9	1,9
STD	0,2	0,1	0,2	0,1	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
Long An 1													
R1		2,5	3,2	2,8	2,9	2,6	3,3	2,6	3,5	1,9	2,8	2,4	2,5
R2		2,3	3,1	2,2	2,9	2,4	2,7	2,5	3,2	2,0	2,7	2,5	2,4
R3		2,3	2,5	2,1	1,8	2,6	2,4	2,5	3,1	2,0	2,3	2,5	2,3
R4		2,2	3,0	2,2	2,1	2,7	3,1	2,7	3,1	1,9	2,5	2,7	2,1
Moyenne		2,3	3,0	2,3	2,4	2,6	2,9	2,6	3,2	2,0	2,6	2,5	2,3
STD		0,1	0,3	0,3	0,6	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
Long An 2													
R1		2,4	3	2	2,7	2,7	2,9	2,5	3,5	1,8	2,8	2,7	1,9
R2		2,6	3,0	2,1	3,1	2,7	3,2	2,7	3,9	2,1	2,9	2,9	2,1
R3		1,6	2,9	2,0	2,2	2,4	2,9	2,3	3,1	1,8	2,5	2,1	2,0
R4		2,5	3,3	2,1	2,4	3,0	3,5	2,8	3,5	2,0	3,1	2,8	2,2
Moyenne		2,3	3,0	2,1	2,6	2,7	3,1	2,6	3,5	1,9	2,8	2,6	2,1
STD		0,5	0,2	0,1	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3	0,4	0,1
Long An 3													
R1		2,5	3,1	2,3	2,5	3,1	3,3	2,7	3,8	2,0	2,8	3,1	2,5
R2		2,3	3,1	2,3	2,5	2,5	2,9	2,6	3,2	1,9	2,7	2,9	2,1
R3		2,3	3,7	2,1	2,9	2,3	3,2	2,6	3,6	2,2	2,6	2,7	2,4
R4		2,1	3,5	2,1	2,9	2,6	2,9	2,7	3,6	1,9	2,8	2,9	2,4
Moyenne		2,3	3,4	2,2	2,7	2,6	3,1	2,7	3,6	2,0	2,7	2,9	2,4
STD		0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2

R1, R2, R3, R4: Répétition1,2,3,4- chaque répétition est la moyenne de 15 mesures

Annexe XIX A : Variation de la longueur de la feuille 14 sur les sites

Do Hoa	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mar-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mar-93	Mai-93	Jui-93
R1	317,5	326,3	316,1	322,3	320,7	327,5	326,7	332,1	331,9	306,7	311,4	315,8	315,87
R2	313,5	299,2	299,7	304,0	299,2	300,9	319,3	321,7	310,5	298,9	303,7	298,6	313,4
R3	317,7	314,1	311,0	313,5	318,9	316,1	331,5	324,7	330,6	302,9	300,5	308,1	312,1
R4	330,3	309,7	305,2	307,5	310,9	306,9	323,5	315,2	311,9	290,5	298,8	308,7	297,5
Moyenne	319,7	312,3	308,0	311,8	312,4	312,9	325,3	323,4	321,2	299,7	303,6	307,8	309,7
STD	7,3	11,2	7,1	8,0	9,8	11,6	5,2	7,0	11,6	6,9	5,6	7,1	8,3
Long An 1													
R1	382,4	378,0	377,7	382,3	389,7	384,6	366,9	379,8	363,5	371,5	368,6	377,0	364,0
R2	397,2	399,9	403,5	412,7	404,2	400,7	401,8	403,6	376,9	387,1	407,5	382,5	384,9
R3	391,0	401,5	391,5	392,3	388,7	384,6	385,0	388,3	381,5	367,1	373,7	368,4	370,4
R4	405,7	407,0	411,7	411,7	409,3	402,5	399,7	401,8	379,2	382,1	389,5	394,5	373,8
Moyenne	394,1	396,6	396,1	399,8	398,0	393,1	388,4	393,4	375,3	377,0	384,8	380,6	373,3
STD	9,8	12,8	14,8	15,0	10,4	9,8	16,1	11,3	8,1	9,2	17,5	10,9	8,8
Long An 2													
R1	422,3	426,7	430,7	435,3	415,7	430,3	421,9	424,2	389,78	389,5	413	399,17	390,5
R2	451,7	407,5	407,7	403,5	401,5	401,7	406,0	408,4	362,6	374,6	397,9	392,0	387,6
R3	436,0	391,3	398,1	396,6	393,1	391,3	388,0	392,5	356,0	367,6	390,3	383,2	385,0
R4	384,4	374,6	388,7	378,2	388,7	397,7	383,3	393,8	361,7	369,7	393,4	395,4	385,6
Moyenne	423,6	400,0	406,3	403,4	399,8	405,3	399,8	404,7	367,5	375,4	398,6	392,5	387,2
STD	28,8	22,3	18,0	23,8	11,9	17,2	17,7	14,9	15,1	9,9	10,1	6,8	2,5
Long An 3													
R1	374,2	376,1	352,6	373,1	386,3	374,0	380,3	379,3	349,7	367,9	371,3	377,7	364,4
R2	387,9	389,1	376,0	389,5	395,6	396,5	393,2	397,3	387,5	374,1	389,7	380,6	382,0
R3	374,4	378,1	374,1	377,1	382,0	378,5	379,8	382,5	350,7	347,9	363,7	389,5	371,3
R4	373,8	379,3	374,5	375,3	389,3	387,6	399,1	396,1	375,5	370,5	374,1	375,9	377,9
Moyenne	377,6	380,7	369,3	378,8	388,3	384,2	388,1	388,8	365,8	365,1	374,7	380,9	373,9
STD	6,9	5,8	11,2	7,4	5,7	10,0	9,6	9,2	18,7	11,7	10,9	6,0	7,7

Annexe XIX B: Variation de la largeur de la foliole de la feuille 14 sur les sites

	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mars-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mars-93	Mai-93	Jui-93
DHR1	4,5	4,8	5,1	5,7	5,4	5,2	5,1	5,1	4,8	5,3	5,2	5,1	5,2
R2	4,3	4,8	5,2	5,5	4,9	5,1	4,6	4,6	4,6	5,2	5,2	4,8	5,0
R3	4,2	4,5	4,9	5,8	5,0	4,9	5,0	4,9	4,7	5,4	5,3	5,2	5,0
R4	4,2	4,6	4,9	5,8	5,3	5,4	4,8	5,0	4,8	5,1	4,9	5,1	5,0
Moyenne	4,3	4,7	5,0	5,7	5,2	5,2	4,9	4,9	4,7	5,3	5,1	5,1	5,1
STD	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
LA1 R1	5,3	4,7	4,8	4,3	4,7	4,9	5,1	4,8	5,0	5,0	4,6	5,1	5,0
R2	5,2	4,9	5,1	4,4	4,6	5,0	4,6	4,9	4,8	5,0	4,9	5,0	5,1
R3	5,1	4,7	4,3	4,2	5,1	4,8	4,9	4,8	4,8	5,1	4,5	5,0	5,2
R4	5,1	4,9	5,0	4,5	5,4	5,0	4,9	4,7	4,8	5,0	4,7	4,8	5,5
Moyenne	5,2	4,8	4,8	4,4	5,0	4,9	4,9	4,8	4,9	5,0	4,7	5,0	5,2
STD	0,1	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
LA2 R1	4,8	4,3	4,9	4,7	4,9	4,9	5,0	4,7	4,6	5,0	4,8	5,0	5,6
R2	5,1	4,6	4,7	5,1	5,3	5,3	5,0	5,2	5,1	5,1	5,1	5,6	5,6
R3	5,9	5,3	5,8	4,6	6,0	5,4	5,1	5,2	5,1	5,1	4,9	4,6	5,2
R4	5,1	5,3	5,6	5,0	5,8	5,3	5,3	5,2	5,3	4,8	5,2	5,0	5,7
Moyenne	5,2	4,9	5,3	4,8	5,5	5,2	5,1	5,1	5,0	5,0	5,0	5,0	5,5
STD	0,5	0,5	0,6	0,2	0,5	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,4	0,2
LA3 R1	5,5	4,7	5,3	5,2	5,4	5,0	5,3	4,8	5,1	5,0	5,0	5,1	5,7
R2	5,0	4,4	5,3	4,5	5,0	4,9	5,0	4,7	4,8	4,9	4,8	4,8	5,3
R3	5,1	4,7	5,5	4,8	4,9	5,2	5,0	4,8	5,0	5,1	4,8	5,2	5,2
R4	4,9	4,4	5,5	7,1	5,2	5,3	4,7	4,8	4,9	5,1	4,5	5,1	5,4
Moyenne	5,1	4,6	5,4	5,4	5,1	5,1	5,0	4,8	4,9	5,0	4,8	5,1	5,4
STD	0,3	0,2	0,1	1,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2

Annexe XIX C: Variation de la longueur de la foliole de la feuille 14 sur les sites

Do Hoa	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mar-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mar-93	Mai-93	Jui-93
R1	96,8	92,0	98,2	102,4	99,3	102,9	100,1	100,7	103,0	102,7	98,7	98,8	108,3
R2	92,0	90,0	100,1	100,2	102,9	96,2	101,7	98,3	100,1	100,7	104,3	98,0	109,1
R3	94,8	88,2	95,9	104,7	102,1	90,7	105,0	100,5	103,4	102,7	100,1	95,8	112,9
R4	94,3	90,3	97,8	105,6	100,2	99,3	103,3	101,6	101,7	100,8	100,2	104,1	107,5
Moyenne	94,5	90,1	98,0	103,2	101,1	97,3	102,5	100,3	102,1	101,7	100,8	99,2	109,5
STD	2,0	1,6	1,7	2,4	1,6	5,2	2,1	1,4	1,5	1,1	2,4	3,5	2,4
Long An 1													
R1	117,8	120,0	122,5	115,2	113,9	104,6	100,7	116,9	115,1	118,6	120,5	115,5	119,7
R2	113,5	122,1	122,5	117,7	117,5	108,3	98,3	115,8	119,5	116,4	121,1	119,9	118,5
R3	115,5	113,6	98,1	116,6	112,7	104,3	116,9	116,8	108,1	108,9	115,3	115,5	107,9
R4	117,4	115,9	106,7	118,0	111,9	109,3	118,5	123,7	118,7	119,8	123,7	122,1	116,1
Moyenne	116,1	117,9	112,5	116,9	114,0	106,6	108,6	118,3	115,4	115,9	120,2	118,3	115,6
STD	2,0	3,9	12,1	1,3	2,5	2,5	10,6	3,6	5,2	4,9	3,5	3,3	5,3
Long An 2													
R1	120,4	124,3	126,7	130,7	119,5	118,3	121,2	125,4	124,1	119,9	125,7	124,6	122,4
R2	118,1	116,7	120,9	124,3	112,4	112,9	119,9	122,1	120,3	124,8	125,8	128,9	127,3
R3	111,6	109,4	111,1	118,4	115,3	111,7	117,4	118,4	109,6	113,6	115,6	125,5	115,8
R4	110,2	108,9	109,7	123,3	108,3	121,9	114,8	119,8	114,9	116,4	118,6	120,0	121,1
Moyenne	115,1	114,8	117,1	124,2	113,9	116,2	118,3	121,4	117,2	118,7	121,4	124,7	121,6
STD	5,0	7,3	8,1	5,0	4,7	4,8	2,8	3,1	6,3	4,8	5,1	3,7	4,7
Long An 3													
R1	107,1	114,3	122,0	119,5	104,3	105,6	115,9	119,1	121,0	123,4	120,0	119,4	122,8
R2	116,7	118,3	125,1	118,8	113,5	109,0	118,4	122,3	121,8	118,7	121,8	121,4	131,3
R3	111,3	116,9	111,1	121,1	103,9	109,2	116,1	117,8	117,7	114,4	115,0	116,5	118,3
R4	116,7	116,1	114,1	118,5	109,7	113,1	112,8	116,0	117,9	117,3	118,9	119,9	120,5
Moyenne	113,0	116,4	118,1	119,5	107,9	109,2	115,8	118,8	119,6	118,4	118,9	119,3	123,2
STD	4,7	1,7	6,6	1,2	4,6	3,1	2,3	2,7	2,1	3,8	2,9	2,1	5,7

R1, R2, R3, R4: Répétition 1,2,3,4- chaque répétition est la moyenne de 15 mesures

Annexe XIX D: Variation du nombre de la folioles de la feuille 14 sur les sites

Do Hoa	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mar-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mar-93	Mai-93	Jui-93
R1	102,9	105,9	103,1	100,9	105,9	104,7	101,7	104,1	102,1	101,7	102,5	103,5	104,87
R2	103,9	105,6	103,0	104,7	102,9	104,2	97,9	100,3	100,3	99,8	104,0	101,8	103,9
R3	104,2	105,9	102,5	102,4	104,5	103,5	99,6	101,7	102,4	100,4	101,5	101,5	103,9
R4	103,3	105,0	103,3	106,6	105,9	103,2	100,0	103,0	101,8	100,7	98,2	102,9	104,4
Moyenne	103,6	105,6	103,0	103,7	104,8	103,9	99,8	102,3	101,6	100,6	101,5	102,4	104,2
STD	0,6	0,4	0,3	2,5	1,4	0,7	1,6	1,6	0,9	0,8	2,5	0,9	0,5
Long An 1													
R1	115,1	112,5	113,8	112,3	111,3	115,3	104,1	112,9	108,0	110,0	109,4	108,3	108,2
R2	114,5	116,5	117,1	118,4	117,2	118,5	100,3	118,0	108,7	112,7	116,9	115,9	110,1
R3	109,8	111,8	112,3	111,7	112,2	114,0	101,7	113,3	103,3	107,7	109,2	112,0	106,5
R4	118,5	116,1	115,7	116,5	115,9	119,1	113,7	103,0	110,9	107,1	114,6	116,9	108,9
Moyenne	114,5	114,2	114,7	114,7	114,1	116,7	105,0	111,8	107,7	109,4	112,5	113,3	108,4
STD	3,6	2,4	2,1	3,3	2,8	2,5	6,0	6,3	3,2	2,5	3,8	3,9	1,5
Long An 2													
R1	115,2	117,1	115,9	115,1	113,0	114,0	114,5	117,5	110,86	109,7	109,4	118,3	106,3
R2	111,8	113,7	113,8	110,3	111,5	109,1	110,5	111,9	108,1	107,9	110,4	119,5	108,4
R3	115,1	112,1	113,6	113,9	114,6	125,1	116,5	116,1	110,3	109,3	112,1	116,4	110,7
R4	119,7	113,1	117,9	116,1	116,2	117,6	115,1	113,0	112,3	109,3	112,9	118,1	109,1
Moyenne	115,5	114,0	115,3	113,9	113,8	116,5	114,1	114,6	110,4	109,0	111,2	118,1	108,6
STD	3,2	2,2	2,0	2,5	2,0	6,7	2,6	2,6	1,7	0,8	1,6	1,3	1,8
Long An 3													
R1	110,5	110,1	107,9	108,1	107,9	107,6	108,4	108,5	103,1	102,9	106,1	114,3	103,6
R2	108,9	108,9	110,3	109,9	109,7	108,3	111,4	110,6	110,1	106,4	111,5	114,7	102,4
R3	112,6	114,5	112,5	113,7	113,8	112,9	114,7	113,9	108,9	106,3	117,9	117,1	107,3
R4	115,0	116,9	117,7	115,4	113,7	114,1	115,5	115,7	110,7	108,3	116,9	117,5	108,1
Moyenne	111,8	112,6	112,1	111,8	111,3	110,7	112,5	112,2	108,2	106,0	113,1	115,9	105,4
STD	2,6	3,7	4,2	3,4	3,0	3,2	3,3	3,2	3,5	2,2	5,4	1,6	2,8

R1, R2, R3, R4: Répétition1,2,3,4- chaque répétition est la moyenne de 15 mesures

Annexe XIX E: Exemple pour les mesures de la largeur de la foliole sur les 60 cocotiers (1)

Sites	Rép	Arbre	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mars-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mars-93	Mai-93	Jui-93
DH	R1	1	4	5,5	6	6,3	5,8	6,5	5,4	4,8	5,3	5,6	5	5	5,4
		2	5	4,5	4,5	5,8	5,4	5,5	6,3	5,6	4,5	4,8	5,2	5	4,8
		3	4	4,8	4	4	4,5	5,5	6	6,5	4,2	5,7	4,8	6	5,5
		4	5	4	5	5,5	4,5	5	4,8	4,7	4	5	5,2	4	5,1
		5	4	5,2	6	5,8	6,3	5,5	5,5	5,5	4,2	5,1	5,3	5	5
		6	4	5	6	6	5,5	5,8	4,5	4,4	4,5	6	5,6	6	5,5
		7	4	4,5	5	5	4,5	3,6	4	4	3,8	4,9	5,2	5	4,7
		8	4	4,7	4	6	5,5	5,5	4,3	5,6	5,6	6	5,6	6	5,6
		9	5	5	6	6	5	4,5	5,8	5,5	5,5	6	5	5	5,4
		10	6	4	3,5	6,8	6,2	5	5,5	5,3	6	5,5	5,6	6	5,2
		11	5	5,5	5,3	5,5	6,5	5,5	5,5	4,7	5	6	5,2	5	5,5
		12	5	6,2	6	5,8	5	5,5	4,8	5,6	5,2	6	4,8	5,2	5,4
		13	4,5	4	4,5	5,3	4,5	5	5	5	4,5	5,5	5,6	5	5,2
		14	4,5	4	5,5	5,5	5,8	5	4	4,5	4,3	5	5,3	4,5	5,1
		15	4	4,5	5,5	5,8	5,5	5	4,4	4,5	4,9	2	4,8	4,2	5,1
		Moyenn	4,53	4,76	5,12	5,67	5,37	5,23	5,05	5,08	4,77	5,27	5,21	5,13	5,23
	R2	1	4,5	5	4,5	5	5	5	4	4,5	4,6	5,5	4,8	5	4,7
		2	3	3	4	4,2	4	4,5	3,5	3,5	3,8	4	4	4,5	4,1
		3	4,5	5	5,5	5,7	5	5,5	4	4,5	5,6	6	5,3	5	5,1
		4	4,5	5	6	6	5,5	5	4,3	5	6,3	6	5,8	5	5,4
		5	5	5	4,5	6	4	5	4,5	4	4,2	4,6	4,6	5	4,7
		6	3,5	4	4,6	6	5,5	4	4,9	4,7	4,3	5,5	6,2	5	5,2
		7	4	5	4,5	4,5	4,5	5,8	5	4,8	4,2	5,5	4,6	5	5,3
		8	6,5	6	6	5,8	6	6,5	5,2	5,7	4,5	5	5,5	4,8	5,1
		9	4	4,5	5,3	5,5	5	5,5	4,5	4,7	4,6	5,5	5,3	4,6	5,3
		10	4,5	5	4	5,5	4,5	5	4,5	4,7	4,7	4,9	4,5	5	4,8
		11	4	5	5,5	5,5	4,5	5	5	3,8	5	5			
		12	4	5	5,5	6	4,5	4	4,5	4,5	4	5,6	5,6	4,5	5,4
		13	4,5	4,5	5,5	4,5	5,5	5,5	4,5	6	4,8	4,5	5	4,6	4,7
		14	4	5,5	6	6,5	5	5,5	6,5	5,2	4,5	6	6	4,8	5,4
		15	4	4	6	5,5	5,5	5	4,5	4	4,4	5	5,5	5	4,8
		Moyenn	4,30	4,77	5,16	5,48	4,93	5,12	4,63	4,64	4,63	5,24	5,19	4,84	5,00

Annexe XIX E: Exemple pour les mesures de la largeur de la foliole sur les 60 cocotiers (2)

Sites	Rép	Arbre	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mars-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mars-93	Mai-93	Jui-93	
DH	R3	1	4	4,3	3,8	6	5	5,3	5,3	5,5	4,4	5,8	6	4	5,3	
		2	5	5,3	6	6,5	5,2	6	5,5	6	4,2	5,5	5,5	6	5,3	
		3	5	5	5	7	5	4,8	5,5	5,5	5,3	6	6	6	5	5,4
		4	4,5	5,6	5	6,5	6	6,5	5	5	5,1	6,5	5,6	6	6	5,5
		5	4	4	4,3	5	5	4,5	5	4	4,6	4,5	3,9	5	5	4,5
		6	4	4,2	4,5	5,5	4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4	4	4	4,3
		7	4	4,6	5,5	5,5	4,5	4,5	5,5	4,2	4	5,5	5	4,2	5	5,1
		8	4,5	4	4,5	5,3	5	5,5	4,2	4,5	4	5	4,8	5	5	4,8
		9	4	5	5,5	6,5	6	5,4	4,5	4,8	4,9	6	6,4	5,5	5,5	5,5
		10	4	4,5	5	6,3	6	4,5	5,8	5,3	5,4	5,5	5,6	6,5	6,5	4,8
		11	4,5	4,5	5,5	6	4	4,5	4,5	4,5	4,2	5,5	4,4	4,6		
		12	3	3,5	4	3,8	3	3,5	3,5	4	3,3	4	4,7	4,5	4,5	4,2
		13	4	4,5	5,5	5,8	6	4,5	6	5,4	5	6	6,4	6,2	6,2	5,4
		14	4	4	4	5,8	5,5	4,5	5,4	5	5,7	6	5,5	6	6	5,5
		15	4	4,2	5	5,5	5	5,6	5,3	5,2	5,7	5	5,2	5	5	4,7
		Moyenn	4,17	4,48	4,87	5,80	5,01	4,94	5,03	4,89	4,69	5,42	5,27	5,17	5,02	
	R4	1	4	5	4,5	5,7	5,5	5	4,5	4,5	4	6	5,2	5,5	5,4	
		2	4,5	3,8	3,8	5,5	4,5	5,5	5	5,2	5,5	4,8	4,4	5,5	4,8	
		3	3,5	5	5,8	5,8	5,5	5	4,8	5	6,2	5,5	5	5,6	5,5	
		4	4	4,5	4,5	6	5,4	6	5,6	5,5	4,5	5,5	5,6	5,6	5,2	5,1
		5	4,5	5	5	6,4	6	6	4,4	5	5	4,8	4	4,6	5	
		6	4	4,7	5,2	5,8	5,6	5,5	5,4	5,7	5,3	4,2	4,8	5,1	5,5	
		7	3,5	5	4,5	5,5	5	6	5,5	4,2	5,5	5	5	4,5	4,7	
		8	3,5	5	5,2	5,8	5,4	5,5	5	5	4,6	6	5,2	6,2	5	
		9	4	3,9	4,5	5,5	5	5,5	5,2	4,5	3,8	4,7	4,2	4,5	4,9	
		10	3,5	4,5	5,2	4,8	5	4,8	4,1	5,7	4,1	4,5	4,6	4,6	4,4	
		11	5,5	6	6	6	5,4	5,5	5	5	4,3	5,7	5,3	5	5,3	
		12	4,5	4,5	4,5	5,8	5,7	5	3,5	4,2	4,4	4,9	4	4,5	4,7	
		13	4	4	5	5,3	5,2	4,8	3,2	4,5	5,6	5,5	5,6	5,2	4,7	
		14	5	3,8	4,5	6	5,8	5,5	5,7	6	4,6	5,5	6	6,5	5,1	
		15	4,5	4,6	5	6,5	5	5,5	4,6	5,3	4	4	4,8	4,5	4,3	
		Moyenn	4,17	4,62	4,88	5,76	5,33	5,41	4,77	5,02	4,76	5,11	4,91	5,13	4,96	

Annexe XIX E: Exemple pour les mesures de la largeur de la foliole sur les 60 cocotiers (3)

Sites	Rép	Arbre	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mars-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mars-93	Mai-93	Jui-93
LA1	R1	1	5	5,5	4,8	4,5	4,5	5,5	6	5	5	5,6	4,7	5,7	5,4
		2	5,5	4,4	4,8	3,8	5,5	5,6	4,6	4,5	5	6	4,5	4,8	5
		3	5,5	4	4,4	3,8	5	4,5	5,2	5	5,2	4	4,1	4,5	4,5
		4	7,5	6	5,4	5,4	4,5	6,7	5,5	5	6	5,5	5	5,6	5,5
		5	5	5,3	4,7	4,2	4,5	4,1	5	4,5	4,6	5,5	4,2	4,2	5,2
		6	4	6	5,4	4,8	5	4,5	4,5	5,5	4,7	5	5	5	5,6
		7	5	4,5	5	5	5	4,6	5,5	5	5,5	5,4	5,5	5	5
		8	5	4	4,4	4	5	4	5	5	4,5	4,5	4,5	5,5	5,7
		9	5,5	4,5	5	4,3	4,5	5,1	5	4,5	4,7	5,2	4,1	4,5	4
		10	5,5	4,2	4,5	3,5	5,5	5,4	5,8	5,2	5,7	4,5	4,4	4,5	5,5
		11	5,5	4,4	4,5	4	4	4,3	4,5	4,5	5	5	4,6	5	4,5
		12	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6	5,3	4,8	5	5	4,6	5	5
		13	5,5	4,3	4,8	4	4,5	4,8	4,5	4,5	4,5	5	4,5	5,8	5,5
		14	5	4,2	4,6	4	4,7	4,5	4,7	5	4,7	4,5	4,5	5,4	4
		15	5	5,2	4,7	4,8	4,5	6	5,3	4,6	4,9	4,5	4,7	5,5	5
		Moyenn	5,27	4,73	4,77	4,31	4,75	4,95	5,08	4,84	5,00	5,01	4,59	5,07	5,03
	R2	1	5	4,2	4,8	3,6	5	4,7	4,8	4,5	3,4	4,2	4,6	5,7	4,5
		2	4,5	3,8	5	4,4	4,5	4,5	5	5	5,2	4,6	5,6	5	5,2
		3	5,5	5,5	5,2	5	5	5	5,8	5	5	6	4,5	4,7	5
		4	5	5	4,7	3,8	5	4	5,8	5,6	5,2	5	5	4,8	6
		5	5,5	6	4,9	4,5	4,5	5,7	5	4,5	6	5,7	4,5	5,7	6
		6	5	4,6	4,8	5	4,5	3,9	5	5	4,6	4,6	5	5,4	4,5
		7	6,5	5	6,2	3,5	4	6	5	5	5	5	6	5,2	6
		8	5	4,5	5,8	5,5	5,5	4,6	5	6	5,4	5,5	4,8	5	6
		9	5,5	4,7	5	4	4	4,5	5	5	5	5	4,2	5,5	5
		10	4,5	6	5,6	5	4,5	6	5,5	5	6	5	4,8	5,3	6
		11	6	6,5	5,8	5	4,5	4,8	5	4,5	3,7	4,6	6	5	4
		12	5,5	4	4,2	4,1	4,5	5,8	4,8	4,5	5,5	4,8	4,3	4,5	4,5
		13	4,5	4,5	5,5	4,5	5,5	4,9	5,3	5	4,5	4,7	5	4,6	5
		14	4,5	4	4,8	4	4,5	4,8	5	4,5	4	5	5	4,2	4
		15	5	4,5	4,4	4,3	4	5,2	5	4,5	4	4,6	4,1	4,6	5
		Moyenn	5,17	4,85	5,11	4,41	4,63	4,96	4,64	4,91	4,83	4,95	4,89	5,01	5,11

Annexe XIX E: Exemple pour les mesures de la largeur de la foliole sur les 60 cocotiers (4)

Sites	Rép	Arbre	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mars-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mars-93	Mai-93	Jui-93
LA1	R3	1	5	5,3	4	4,5	5	4,7	5	5	5	5,6	4,5	5,8	5
		2	5,5	5,2	3	4	4,5	4,8	5	5	5	5,8	4,7	5	6
		3	5	5,5	4	5,8	5,5	4,6	4,3	4,5	6	4,8	4,5	5	5
		4	6	5,7	5	4,2	6	6	5	5	6	5,9	5,1	5,8	6
		5	5	4,5	5	4,8	6	4,9	5,3	5,5	6	5,8	4,8	4,9	5,6
		6	4,5	5	4	4	4,8	4,8	5	5	4	5,5	4	5,7	6
		7	5	4	4	4	6,3	5,3	4,8	6	5,2	5	4,6	4,5	5,7
		8	4	4	4	4	4,5	4,8	4,8	4,5	5	5,3	5	4,7	5,2
		9	4,5	4	5	4,3	5	4	5,3	4,5	4,8	5,6	5,3	4,5	5
		10	5,5	4	4	4	4,5	4,6	4,5	4	4	4,5	4	4,8	4
		11	5	3,8	4	3,5	4	4,2	4,6	4	4	4	4,6	5	5
		12	5	4,3	4	4	5,4	5,7	4	4	3,4	5,2	3,8	4,8	5
		13	6,5	4,7	5	4,5	5	5,7	5	5	4,5	5,5	5	4,5	5,5
		14	4,5	4,1	5	3,8	4,5	4	5	5	4,5	4	3,8	4	5
		15	5	6,2	4	4	5,5	4,1	4,8	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5,8
	Moyenn		5,07	4,69	4,27	4,23	5,10	4,81	4,89	4,77	4,79	5,13	4,55	4,99	5,20
	R4	1	5,5	5	6	5	6	6	5	5	6	5	4,5	5,5	6
		2	5,5	4	5	4	6	5	4,2	4,2	5	5	4,6	5,5	6
		3	5,5	6	5	5,8	6	6,3	6	5	6,5	6,7	5,5	5,6	5
		4	3,5	4,3	4	4,2	5	5	4,2	4,4	4,5	4	4,2	4,4	5
		5	4	4	5	4,3	5	5	4,5	4,5	4	4,3	4,8	4,4	6,5
		6	5	5,8	4	4,5	6	4,9	5	4,5	4,5	4,3	4,5	4,6	4,5
		7	5,5	4	4	5	6	4,5	5	5	4	5	5,5	4,6	6
		8	4	5,5	4	4	5,5	5	4,5	4	3,8	4,5	4	4,5	5
		9	5	5	4	5,8	5	5,4	6,8	5,5	5	5,8	4,9	5	7
		10	4	4,5	5	4,4	5,8	5,6	5	4,5	5	4,3	4,5	4,2	6
		11	5,5	5,5	6	4,4	6,3	4,5	5,3	5	6	6	5	6,4	6
		12	5,5	5,6	6	3,6	5,5	4	4,5	4	4	4	5	3,5	3,5
		13	6	3,8	5,8	3,8	4	4,5	4,5	4	4	4,2	4	3,8	5
		14	6,5	6	6,3	3,8	5	5,2	5	5	5	5,6	4,5	4,4	5,5
		15	5,5	4,9	5,3	4,5	4,5	4,6	4,5	5,6	4,6	6	5,5	5	5,5
	Moyenn		5,10	4,93	5,03	4,47	5,44	5,03	4,93	4,68	4,79	4,98	4,73	4,76	5,50

Annexe XIX E: Exemple pour les mesures de la largeur de la foliole sur les 60 cocotiers (5)

Sites	Rép	Arbre	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mars-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mars-93	Mai-93	Jui-93
LA2	R1	1	5	5	4,8	5	5	6,9	5,4	5	5	5	5,3	4,4	6
		2	4,5	4,3	4,8	4,4	4,5	4,8	4,7	5	5	5,2	4,5	4,4	6
		3	5,5	5	6	5	4,5	4,5	5	5	5	5,5	5	5	5,5
		4	5,5	5,4	6	6	4,5	5	6	6	5	5,5	5,5	5,9	6
		5	5	4	7	4,3	4,5	5,3	5,4	5	3,8	6,7	4,6	6	4,5
		6	4,5	3,8	3,5	4,5	5	4,1	4	4,5	3,4	3,5	4	3,9	4
		7	5,5	5	5,3	5,5	6	4,8	4,5	4,5	5,3	4,7	5	5,1	5
		8	4,5	3,5	4,8	3,9	5	3,8	5,5	4,3	3,7	5	4,2	4,6	4,2
		9	4,5	4,5	4,5	5	5,5	6,2	5	4	4,8	5	4	5,9	5
		10	4,5	4	4,2	4,3	4,5	4,5	4,5	4	4,4	4,6	5,5	5	7
		11	4	4,2	4	4,7	4,5	4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,8	5	6,5
		12	3,5	4,5	5	4,4	5	4,9	4,7	4,6	5,3	5,5	5,2	5,1	7
		13	5	3,9	5	4,4	5	4,6	5	4,5	5	4,7	4	4	4,5
		14	6	4	4,5	4,7	6	5,8	5,3	5					
		15	5	4	4	4	4	5	4,8	4,5	3,9	4,4	5,1	5,4	7
		Moyenn	4,83	4,34	4,89	4,67	4,90	4,95	4,95	4,69	4,58	4,99	4,76	4,98	5,59
	R2	1	6	3	5,5	4,4	4,7	5	4	4	4	3,7	3,5	4,3	4
		2	4,5	5	4,7	5,5	4,5	4,5	5,8	5	5	6	6,2	5,2	5
		3	5,5	4	4,6	6,4	6	6	5	6	5,6	5,5	5	5,9	5
		4	6	6,5	6,3	5,2	6	5,6	5,5	5,6	6	6	5,5	5,4	6
		5	6	5	4	4,8	6	5,5	5	5,6	4,7	5,6	5,8	5,9	6
		6	5,5	4	4,5	4,8	6	5,4	4,8	4,5	4	5	5	5,8	5
		7	5	3,8	4	4,5	4,5	5	4,5	4,5	4,2	4,5	5	5,3	5
		8	5,5	4,5	4,6	5,5	4,5	5,5	4,7	6	5	5,5	6	6,6	5,5
		9	6	5,5	4,5	4,8	5	5,5	5,1	6	6,5	4	4,3	5,3	6
		10	4	4,5	4,3	4,3	6	5,8	4,4	4,5	4,2	5,3	4,4	4,5	
		11	4,5	5	5	6,4	5,5	5,4	6	7	5,5	6	6	6,6	6
		12	4,5	4,1	5	5	4,5	4,6	5	5	5,5	5,2	5,5	6,5	6
		13	4,5	4,5	5	4,8	5	4,5	4,7	5	5	4,5	4,8	5,2	6
		14	4	4,5	3,5	4	5,5	4,5	4,5	4	5	4,5	4,1	4,4	6
		15	5,5	4,9	4,6	5,5	5,5	6	5,3	6	6	4,9	6,1	6,4	7
		Moyenn	5,13	4,59	4,67	5,06	5,28	5,25	4,95	5,25	5,08	5,08	5,15	5,55	5,61

Annexe XIX E: Exemple pour les mesures de la largeur de la foliole sur les 60 cocotiers (6)

Sites	Rép	Arbre	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mars-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mars-93	Mai-93	Jui-93	
LA2	R3	1	6	6	5,5	4,4	5,5	5,4	4,7	4,5	4	4,3	3,4	6,1	5	
		2	6	6,2	5,3	4,3	7	4,4	4,7	5	5,6	4	5,5	4,2	4,5	
		3	5,5	4,8	4,5	3,6	4,5	5	3,8	5	4	3,4	3,5	3	4,5	
		4	6,5	6	6,2	4,5	7	5	5,7	5						
		5	6,5	5,8	6,3	5,4	6	5,2	5	5	4,4	4,9	4,7	5	5	
		6	6,5	5	6,2	4,7	5	6,3	4,6	5	6,3	5,6	5	4	4,5	
		7	6,5	6,2	6,5	5	7	6,5	5,3	5	6	5,8	4,5	5,2	6	
		8	7	5,6	6,8	5,6	7	4,1	6	6	7	7,6	6	5	6,5	
		9	5	4	6	5,4	6	6	6	6	6	5,4	5,6	5,6	4,9	5
		10	4,5	4,5	5	4,2	6	5,6	5,5	5	5	4,6	4,5	4,3	5	
		11	6	5	6,8	5,2	6,5	6,2	5,4	6	5	5,6	4,4	5,2	5,5	
		12	5	5,3	5,5	4,5	5,5	5,2	5,5	5	3,6	4,7	5	4,8	5	
		13	5	4	5,4	3,5	5,5	5,7	5,3	5	4,5	5,5	4,8	4,3	5	
		14	6,5	5,5	5	4,8	6	5	4,7	5,6	6	5,6	5,1	3,8	5	
		15	6	5	6,5	4,2	6	5,4	4,4	5,6	5	4,5	6	5,1	6	
		Moyenn	5,90	5,26	5,83	4,62	6,03	5,40	5,11	5,25	5,13	5,12	4,86	4,64	5,18	
	R4	1	5	5,8	7	5,8	7	5	5,8	5,2	5,5	5	5,1	4,2	6,5	
		2	5,5	6	5,5	4,8	6	4	5,5	6	5	5,4	5,2	4,8	6	
		3	6	7	4,8	4,8	5,8	6,5	4,8	5	4,5	6	5,1	5	6,5	
		4	5,5	5	6	4,5	5,5	4,5	5,5	4,4	4,5	3,7	5	3,6	5,5	
		5	6,5	4,5	5,5	5,8	5,5	6	5,5	5,5	7	4,4	5,1	6,1	5,5	
		6	4,85	4,7	5,5	5,8	6	4	5,4	5,4	4	4,6	5	5	6	
		7	4,25	4,8	5,8	4,8	6	6	5,8	5,6	6,5	5,2	6	5,6	6,5	
		8	6	4,7	5,8	4,3	5,7	4,5	5	4,5	4,5	3,7	4,2	5	5	
		9	5	5,3	4,8	5,4	4,5	4,8	6	5	4,6	4,8	5	4,8	5,5	
		10	4,5	5,9	6	4,8	6	5	5,2	5,6	4,7	3,7	4,7	4,3	6	
		11	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6	5,3	5,6	5,6	5	6	6,1	5	
		12	4,5	5,5	5	5	5,5	6	5,5	6,7	6	5,7	4,5	5,7	5	
		13	4,5	6	6	4,8	5,5	6,5	5	5	5,4	6	5	4,7	5,5	
		14	4	4,5	5	4,3	5,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4	6	5	5	
		15	5,5	5	6	4	6	6	5	4,5	6	5,5	5,6	4,6	5,5	
		Moyenn	5,07	5,28	5,61	4,96	5,80	5,29	5,32	5,23	5,27	4,85	5,17	4,97	5,67	

Annexe XIX E: Exemple pour les mesures de la largeur de la foliole sur les 60 cocotiers (7)

Sites	Rép	Arbre	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mars-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mars-93	Mai-93	Jui-93	
LA3	R1	1	5,5	4,2	5	5,8	5,5	4,8	5,8	4,5	5	5,8	5,5	5	5,5	
		2	6	5	4,8	5,2	5,8	5	6,7	5	5	5	5,5	6	6,7	
		3	6	5	5,5	5,3	7	5,8	6	5,2	5,6	5,3	5,5	4,2	7	
		4	5,5	4	4,8	4,5	4,5	4,6	4,5	4,5	4,5	4	4	4,3	5	
		5	6	4,4	5,5	5,5	5	4,5	5	4,5	5	5	5	5	4,8	5,7
		6	4,5	5	5,8	5,5	6	4,6	5	4,5	6	4,8	4,5	5,7	6	
		7	5,5	5	5,3	5	4,5	4,7	4,7	4,5	5	5,2	5	5,1	5	
		8	4,5	4,4	4,7	4,5	4,5	4,6	4,7	3,8	4,5	5,2	4	4	4,6	
		9	6	4,7	6	6	5,5	5	4,5	4,7	6	5,5	5,5	5,9	5,5	
		10	6	4,2	5,5	4,5	6	5,6	5,8	5	5	5	5	6	6,5	
		11	5,5	5,5	5,5	4,6	5,5	5,7	5	5	4,5	4,8	5,5	4,8	4	
		12	6,5	5,4	5,6	5,5	5	5,7	5,3	5,5	5	5,4	4,5	5,7	6,5	
		13	5,5	5	6	5,8	5,5	4,7	5,3	5,6	5	4,8	5,5	5,1	5,5	
		14	4,5	4,4	5,4	5,6	6	4,5	5,4	5	5	4,5	5	5,2	6	
		15	5	4	4,8	4,5	5	5	5,5	5	5	4,6	5,5	4,1	6	
		Moyenn	5,50	4,68	5,35	5,19	5,42	4,99	5,28	4,82	5,07	4,99	5,03	5,06	5,70	
	R2	1	4	4	5,6	5,2	5	5	4,8	4,5	5	3,8	5,5	4,2	5,5	
		2	5,5	4,8	5,7	5,8	4,5	4,7	5,5	4,5	4,5	5,2	4,5	5	6	
		3	4,5	3,9	5	4,7	4	4	4,5	4,2	3,5	4,6	4	4,3	5	
		4	6	4,5	5	5	5	5,3	5,2	5	4	4,7	5	5,7	5,5	
		5	5	4,5	5,5	5	5	4,6	6,4	5	5	5,4	5	5	6	
		6	4,5	4	6	5,3	5,5	5	5,4	5	6	3,7	4,5	4,5	5	
		7	4,5	4	5,7	3,3	5,5	4,8	5	4,5	6	5	5	5,1	5,6	
		8	4	5,5	6	4	5	4	4,5	5	5,5	5,8	4,5	5	5	
		9	4,5	4,5	4,5	3,8	5	4,4	4,5	4,5	5	4	4	4,5	4,6	
		10	5,5	5	4	4,3	5,2	5,4	5,4	5	4,5	4,4	5,5	4,5	5	
		11	6	4,4	4,5	4,5	4,5	4,7	5	5	5	5	5,5	4,7	5,5	
		12	6	3,8	5,5	4,2	4	5,5	4,5	4	4,5	4,5	5,5	4,1	4,6	
		13	5,5	4,5	5,5	4,5	5,5	5,5	5,4	4	4,8	5,5	4,5	5	6	
		14	5	5	5	3,5	6	5,9	4	5	3,7	6	4	5	5,2	
		15	5	4	6	3,8	5	5	5,3	5	5	5,5	5	6	5	
		Moyenn	5,03	4,43	5,30	4,46	4,98	4,92	5,03	4,68	4,80	4,87	4,80	4,84	5,30	

Annexe XIX E: Exemple pour les mesures de la largeur de la foliole sur les 60 cocotiers (8)

Sites	Rép	Arbre	Jui-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mars-92	Mai-92	Jui-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mars-93	Mai-93	Jui-93
LA3	R3	1	5	4,5	5	5,5	5	4,7	5,3	4,8	4,6	5	4,5	5	5,5
		2	6	4,5	5	4,5	5,3	5	5,3	5	4,5	5,4	5	5,8	5
		3	6	5	5,8	5,5	4	5,6	5	5	6	4,6	5	6	6
		4	4,5	4	4,8	3,7	5	5,8	4	4	4,5	5	4	5,6	4
		5	6	5,3	6,5	5,5	4,5	5	5,3	6	4,5	4,7	5	4,1	6
		6	5	5,2	5	4,7	5	4,7	5	5	5,5	5,5	5	5,3	5
		7	4,5	5	6,5	5,5	4,5	6	5,3	4,5	4	5	5	5,4	5,5
		8	5,5	4,8	4,6	5	4,8	4,2	5,4	4,5	4	5,2	4,6	4,5	6
		9	4,5	4	5,5	3,8	4,5	4,3	4,4	4,5	4,8	4,5	4,4	5	5
		10	5	4,5	5,8	3,7	4	5,1	4,8	4,5	4,3	5	4,7	6	6
		11	5,5	5,5	6	5,2	5	6	4,8	4,5	5,8	4,4	4,7	4,8	5,5
		12	4,5	5	4,8	4	5	5	4,2	4,5		4,7	4,5	5,6	4,5
		13	6	4	4,5	5,5	6,3	5,8	5	5	6,1	6,5	5	5,8	4
		14	4,5	4,7	5,8	5,3	4,5	5	6	5,3	4,5	4,5	5	4,8	4,5
		15	4,5	5	6,5	4,8	6	6	5	5	6,5	6,5	5	5	6
		Moyenn	5,13	4,73	5,47	4,81	4,89	5,21	4,99	4,81	4,97	5,10	4,76	5,25	5,23
	R4	1	6	4,5	5,8	5,2	5	4,6	5	4,8	5	4,8	4,5	5,3	6
		2	4,5	4,1	4,3	3,5	4,5	4	3,7	4,2	4,2	5	4	5	5,5
		3	5	3,5	5,3	4,2	4,5	5,5	5,5	4,5	4	5,6	4,5	4,4	4
		4	5,5	5,2	6,3	5	6,2	5	4	5	4,5	5,6	5	5,5	6
		5	4	5,3	5,5	4,4	4,5	5,5	4,5	5	4	4,6	4,5	5	5
		6	5	5	6	5,5	5,5	4,5	5,6	5,5	5,2	5	5,5	5,7	5,5
		7	5	4,4	6,3	4,5	6	6	4,8	5,7	5,6	5	5	4,8	6
		8	4,5	4,2	5,3	4,3	5,3	5,7	4,4	4	4,5	4,8	3,7	4	5
		9	5,5	5	6,5	5	4	6	5,4	5,8	6	6	4,3	6,5	6
		10	5	4	5,5	4,5	5	5	4,3	4	4,7	4,5	4,5	5,8	5,5
		11	5	4,5	4,8	4,2	5,5	5,4	4,2	3,5	4,5	4,5	4,2	5,3	4
		12	6	4,2	6,5	5,3	5	6	4,5	5	5,6	5	5	5,6	6,5
		13	4	4,5	4,5	4,5	5,5	5,2	3,8	6	5,4	5	4,2	5	4
		14	4	4	5,3	4,6	6	5	6	5	5,2	5	4,5	4,7	6
		15	4,5	4,2	5	3,7	5	6	4,5	4,2	4,8	5,9	4,3	4,6	5,5
		Moyenn	4,90	4,44	5,53	7,08	5,17	5,29	4,68	4,81	4,88	5,09	4,51	5,15	5,37

Annexe XXA : Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et Long An en juillet 91

Sites	Cocotier	Somme D// tous d et p	Somme D 45° tous d et p	Somme D90° tous d et p
Do Hoa	1	11,23	23,63	23,35
	2	2,89	8,55	19,84
	3	0,36	17,51	30,06
	4	8,34	10,94	11,24
	5	7,12	4,78	8,74
	6	7,50	27,60	33,42
	7	6,54	9,04	8,33
	8	11,84	15,30	30,46
	Moyenne	6,98	14,67	20,68
	Ecart-type	3,86	7,90	10,27
Long An1	1	32,78	20,66	24,68
	2	11,15	15,44	13,75
	3	16,99	23,72	16,71
	4	30,01	11,32	12,35
	5	15,98	19,86	6,84
	6	35,95	44,95	49,29
	7	25,78	32,42	22,59
	8	54,44	32,63	21,10
	Moyenne	27,88	25,13	20,91
	Ecart-type	13,85	10,93	12,89
Long An 2	1	29,04	32,25	23,01
	2	27,10	25,21	25,96
	3	21,94	33,80	27,82
	4	21,03	15,69	13,93
	5	24,74	32,81	37,56
	6	20,18	23,18	32,14
	7	33,43	23,84	21,36
	8	35,46	34,62	10,42
	Moyenne	26,61	27,67	24,02
	Ecart-type	5,72	6,74	8,96
Long An 3	1	26,09	44,21	52,45
	2	22,88	50,71	85,10
	3	68,94	88,44	84,54
	4	54,53	27,25	27,91
	5	10,10	19,57	20,07
	6	51,27	44,06	34,32
	7	57,57	57,16	39,63
	8	58,19	23,15	32,87
	Moyenne	43,70	44,32	47,11
	Ecart-type	21,00	22,37	25,06

D//: Direction parallèle au canal- D45°: Direction à 45° par rapport au canal- D90°: Direction perpendiculaire au canal- d: distance du stipe par rapport au tronc du cocotier- p: profondeur- Résultats exprimés en grammes.

Annexe XX B : Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et Long An en juillet 91

Sites	Cocotier	Somme d1 tous D et p	Somme d2 tous D et p
Do Hoa	1	41,67	16,54
	2	23,43	7,85
	3	36,38	11,55
	4	20,90	9,62
	5	18,61	2,03
	6	25,54	42,98
	7	20,51	3,40
	8	42,20	15,40
	Moyenne	28,65	13,67
	Ecart-type	9,84	12,91
Long An1	1	49,42	28,71
	2	19,49	20,85
	3	34,53	22,89
	4	21,52	32,16
	5	27,05	15,64
	6	87,16	43,03
	7	48,50	32,28
	8	56,71	51,46
	Moyenne	43,05	30,88
	Ecart-type	22,52	11,81
Long An 2	1	40,23	44,07
	2	39,28	38,99
	3	48,65	34,90
	4	34,05	16,59
	5	56,96	38,15
	6	48,05	27,46
	7	45,22	33,42
	8	51,47	29,04
	Moyenne	45,49	32,83
	Ecart-type	7,38	8,49
Long An 3	1	64,65	58,11
	2	87,87	70,82
	3	130,54	111,38
	4	58,99	50,69
	5	22,08	27,66
	6	63,22	66,43
	7	78,51	75,86
	8	60,98	53,23
	Moyenne	70,85	64,27
	Ecart-type	30,76	24,16

D//: Direction parallèle au canal- D45°: Direction à 45° par rapport au canal- D90°: Direction perpendiculaire au canal- d: distance du stipe par rapport au tronc du cocotier- p: profondeur- Résultats exprimés en grammes.

Annexe XX C : Poids secs des racines du cocotier à Do Hoa et Long An en juillet 91

Sites	Cocotier	Somme p1 tous D et d	Somme p2 tous D et d	Somme p3 tous D et p
Do Hoa	1	48,16	7,47	2,58
	2	27,62	2,12	1,53
	3	46,74	1,05	0,14
	4	23,43	5,48	1,61
	5	18,31	2,13	0,19
	6	62,13	4,49	1,91
	7	20,95	2,31	0,65
	8	50,41	4,57	2,62
	Moyenne	37,22	3,70	1,40
	Ecart-type	16,52	2,16	0,99
Long An1	1	43,13	26,90	8,10
	2	25,44	12,02	2,88
	3	38,64	14,01	4,77
	4	30,72	16,53	6,43
	5	32,97	7,34	2,38
	6	64,82	52,05	13,31
	7	47,43	24,68	8,68
	8	78,06	20,67	9,44
	Moyenne	45,15	21,77	7,00
	Ecart-type	18,00	13,86	3,65
Long An 2	1	47,27	27,67	9,36
	2	63,67	11,67	2,92
	3	36,64	40,08	6,84
	4	35,74	14,16	0,75
	5	74,23	18,74	2,14
	6	46,93	22,73	5,84
	7	50,15	21,94	6,55
	8	73,22	5,15	2,13
	Moyenne	53,48	20,27	4,57
	Ecart-type	15,19	10,68	3,00
Long An 3	1	49,80	51,33	21,63
	2	74,22	62,04	22,42
	3	106,36	91,28	44,28
	4	52,25	45,42	12,01
	5	10,53	31,87	7,34
	6	70,88	44,81	13,96
	7	69,39	61,54	23,45
	8	57,30	47,50	9,41
	Moyenne	61,34	54,47	19,31
	Ecart-type	27,16	17,76	11,82

D//: Direction parallèle au canal- D45°: Direction à 45° par rapport au canal- D90°: Direction perpendiculaire au canal- d: distance du stipe par rapport au tronc du cocotier- p: profondeur- Résultats exprimés en grammes.

Annexe XXI A : Poids secs des racines à Do Hoa et Long An en janvier 92.

Sites	Cocotier	Somme D// tous d et p	Somme D 45o tous d et p	Somme D90o tous d et p
Do Hoa	1	32,12	30,21	52,16
	2	6,76	9,33	35,29
	3	13,09	28,66	66,93
	4	14,82	12,76	12,87
	5	32,48	39,59	40,76
	6	15,60	14,49	18,14
	7	27,79	16,73	16,89
	8	18,32	28,42	35,51
	Moyenne	20,12	22,52	34,82
	Ecart-type	9,53	10,63	18,70
Long an 1	1	18,02	9,50	22,78
	2	10,81	17,69	9,06
	3	13,72	14,52	17,27
	4	19,99	13,75	18,48
	5	74,52	33,78	12,51
	6	44,58	33,47	30,51
	7	73,13	58,73	55,35
	8	49,04	35,10	36,81
	Moyenne	37,98	27,07	25,35
	Ecart-type	26,15	16,41	15,15
Long An 2	1	42,59	23,63	16,03
	2	46,20	19,50	23,54
	3	40,06	25,43	45,56
	4	14,88	9,62	11,91
	5	25,17	24,47	37,37
	6	13,92	19,15	37,46
	7	36,39	17,31	15,33
	8	31,58	14,25	16,98
	Moyenne	31,35	19,17	25,52
	Ecart-type	12,31	5,43	12,76
Long an 3	1	41,66	57,52	78,67
	2	33,77	53,35	93,06
	3	42,57	54,42	68,23
	4	44,90	31,29	25,88
	5	22,98	42,49	6,22
	6	79,85	60,20	46,80
	7	36,30	53,26	47,40
	8	36,78	23,35	26,07
	Moyenne	42,35	46,98	49,04
	Ecart-type	16,60	13,34	29,49

A. 21 A: D//: Direction parallèle au canal- D45°: Direction à 45° par rapport au canal- D90°: Direction perpendiculaire au canal- d: distance du stipe par rapport au tronc du cocotier- p: profondeur- Résultats exprimés en grammes.

Annexe XXI B : Poids secs des racines à Do Hoa et Long An en janvier 92.

Sites	Cocotier	Somme d1	Somme d2
		tous D et p	tous D et p
Do Hoa	1	78,38	36,12
	2	41,64	9,73
	3	59,10	49,57
	4	32,21	8,24
	5	96,06	16,78
	6	33,97	14,26
	7	57,93	3,48
	8	64,79	17,46
		Moyenne	58,01
	Ecart-type	22,11	15,58
Long an 1	1	28,12	22,18
	2	17,48	20,08
	3	23,59	21,92
	4	29,54	22,67
	5	69,15	51,65
	6	66,94	41,62
	7	121,64	65,57
	8	64,51	56,44
		Moyenne	52,62
	Ecart-type	35,04	18,38
Long An 2	1	54,69	27,56
	2	38,82	50,42
	3	66,16	44,89
	4	23,00	13,41
	5	38,50	48,51
	6	38,24	32,29
	7	40,96	28,07
	8	36,46	26,35
		Moyenne	42,10
	Ecart-type	12,95	12,87
Long an 3	1	83,56	94,30
	2	98,80	81,38
	3	73,74	91,48
	4	65,76	36,31
	5	50,49	21,20
	6	133,83	53,02
	7	68,24	68,72
	8	60,22	25,99
		Moyenne	79,33
	Ecart-type	26,46	29,19

A. 21 B: D//: Direction parallèle au canal- D45°: Direction à 45° par rapport au canal- D90°: Direction perpendiculaire au canal- d: distance du stipe par rapport au tronc du cocotier- p: profondeur- Résultats exprimés en grammes.

Annexe XXI C : Poids secs des racines à Do Hoa et Long An en janvier 92.

Sites	Cocotier	Somme p1 tous D et d	Somme p2 tous D et d	Somme p3 tous D et d
Do Hoa	1	100,95	12,11	1,44
	2	48,49	1,67	1,21
	3	95,18	13,22	0,27
	4	35,47	4,15	0,83
	5	110,81	1,93	0,11
	6	41,93	4,35	1,95
	7	51,52	7,07	2,82
	8	78,19	3,60	0,46
	Moyenne	70,32	6,01	1,14
	Ecart-type	29,54	4,44	0,92
Long an 1	1	23,09	23,57	3,64
	2	26,55	9,34	1,68
	3	24,14	16,53	4,84
	4	39,20	9,67	3,34
	5	103,25	11,87	5,68
	6	89,66	11,39	7,51
	7	116,08	61,66	9,47
	8	75,44	31,34	14,17
	Moyenne	62,18	21,92	6,29
	Ecart-type	38,35	17,81	4,02
Long An 2	1	49,74	27,22	5,30
	2	48,04	33,78	7,42
	3	55,87	49,02	6,16
	4	20,11	15,08	1,23
	5	54,51	27,23	5,27
	6	44,83	22,11	3,59
	7	56,07	11,67	1,30
	8	45,26	13,70	3,85
	Moyenne	46,80	24,98	4,26
	Ecart-type	11,69	12,40	2,21
Long an 3	1	86,94	67,86	23,06
	2	90,99	68,39	20,79
	3	69,66	62,73	32,82
	4	30,10	60,69	11,29
	5	25,41	36,29	9,99
	6	105,93	71,11	9,81
	7	62,51	65,75	8,71
	8	25,05	53,71	7,45
	Moyenne	62,07	60,81	15,49
	Ecart-type	32,01	11,30	9,08

A. 21 C: D//: Direction parallèle au canal- D45°: Direction à 45° par rapport au canal- D90°: Direction perpendiculaire au canal- d: distance du stipe par rapport au tronc du cocotier- p: profondeur- Résultats exprimés en grammes.

Annexe XXII: Variation de nombre de fleurs femelles sur les sites

		Jul-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mar-92	Mai-92	Jul-92
		NF						
Do Hoa	Répétitions							
	R1	28,2	21,7	11,3	6,5	12,8	16,6	12,5
	R2	18,7	13,9	5,4	2,8	8,0	11,9	9,9
	R3	32,3	18,5	7,8	6,2	10,9	19,2	13,5
	R4	17,4	14,7	8,8	6,5	9,5	16,9	12,6
	Moyenne	24,2	17,2	8,3	5,5	10,3	16,1	12,1
	Ecart-type	7,3	3,6	2,5	1,8	2,0	3,1	1,6
Long An 1								
	R1	15,4	15,7	12,5	16,1	19,8	19,7	17,8
	R2	15,1	13,6	8,2	9,1	14,1	15,1	12,2
	R3	11,5	10,5	8,2	8,4	10,6	13,5	12,0
	R4	10,3	9,4	6,6	8,9	8,7	10,5	7,9
	Moyenne	13,1	12,3	8,9	10,6	13,3	14,7	12,5
	Ecart-type	2,6	2,9	2,5	3,6	4,9	3,9	4,1
Long An 2								
	R1	12,1	10,5	6,1	9,9	13,6	12,9	11,4
	R2	15,9	13,7	9,4	13,7	15,9	17,5	18,5
	R3	10,4	6,2	3,5	4,7	6,7	6,1	4,2
	R4	20,3	14,4	13,7	17,1	21,3	18,9	13,3
	Moyenne	14,7	11,2	8,2	11,4	14,4	13,9	11,8
	Ecart-type	4,4	3,7	4,4	5,3	6,0	5,8	5,9
Long An 3								
	R1	11,9	10,9	6,8	7,1	12,0	15,9	15,1
	R2	18,1	17,2	10,7	11,1	13,3	16,2	15,7
	R3	16,9	13,7	11,7	13,1	13,9	13,3	14,5
	R4	12,0	11,7	8,4	9,9	11,5	11,9	11,7
	Moyenne	14,7	13,4	9,4	10,3	12,7	14,3	14,3
	Ecart-type	3,2	2,8	2,2	2,5	1,1	2,1	1,8

R1, R2, R3, R4: Les 4 répétitions dans la cooceraie de chaque site- Chaque valeur dans une répétition est la moyenne de 15 mesures

Annexe XX III : Variation du nombre de noix/ cocotier sur les sites

LA1	Répétitions	Jul-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mar-92	Mai-92	Jul-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mar-93	Mai-93	Jul-93
	R1	3,73	4,27	9,87	16,47	9,27	6,27	6,80	5,33	7,20	8,73	13,67	16,07	12,27
	R2	2,87	3,87	9,93	14,40	9,00	8,20	3,27	3,73	7,13	8,80	10,07	7,40	4,40
	R3	0,67	2,00	6,13	8,67	9,33	9,53	4,40	5,73	5,27	6,53	9,80	8,20	4,53
	R4	1,33	1,80	7,20	10,60	9,07	7,60	4,47	2,73	4,07	3,40	6,60	7,40	3,80
	Moyenne	2,15	2,99	8,28	12,54	9,17	7,90	4,74	4,38	5,92	6,87	10,04	9,77	6,25
	Ecart-type	1,40	1,27	1,92	3,54	0,16	1,35	1,48	1,40	1,52	2,54	2,89	4,22	4,03
LA2	Répétitions	Jul-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mar-92	Mai-92	Jul-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mar-93	Mai-93	Jul-93
	R1	1,80	2,87	7,20	13,33	14,47	10,07	6,00	5,53	6,67	7,00	8,47	8,13	7,67
	R2	1,67	3,20	7,67	12,13	9,40	9,40	5,13	7,13	7,80	7,73	8,67	8,20	6,07
	R3	0,40	1,60	5,40	7,80	11,53	9,60	2,13	1,33	2,20	3,20	2,67	3,00	2,20
	R4	1,00	3,40	6,47	12,47	15,20	10,73	6,53	5,53	5,20	7,53	7,20	8,67	7,20
	Moyenne	1,22	2,77	6,69	11,43	12,65	9,95	4,95	4,88	5,47	6,37	6,75	7,00	5,79
	Ecart-type	0,65	0,81	0,99	2,47	2,69	0,59	1,97	2,48	2,42	2,13	2,80	2,68	2,48
LA3	Répétitions	Jul-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mar-92	Mai-92	Jul-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mar-93	Mai-93	Jul-93
	R1	0,07	5,20	6,60	4,33	3,87	7,13	5,00	4,67	7,27	9,87	6,20	2,93	1,33
	R2	0,71	6,00	10,27	8,73	8,27	7,13	3,60	4,47	6,13	7,33	7,60	7,33	2,33
	R3	1,07	6,07	10,40	10,53	10,27	10,80	10,00	8,93	9,93	10,13	11,27	11,00	9,40
	R4	1,47	5,73	10,67	10,07	10,20	6,40	5,13	6,80	9,00	11,40	9,87	6,07	3,53
	Moyenne	0,83	5,75	9,49	8,42	8,15	7,87	5,93	6,22	8,08	9,68	8,74	6,83	4,15
	Ecart-type	0,59	0,39	1,93	2,83	3,00	1,99	2,80	2,09	1,71	1,70	2,27	3,34	3,62
DH	Répétitions	Jul-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mar-92	Mai-92	Jul-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mar-93	Mai-93	Jul-93
	R1	5,67	1,47	6,80	8,00	8,47	11,13	13,07	8,60	6,33	5,73	3,00	3,53	3,47
	R2	1,50	2,53	5,47	4,27	2,53	5,53	4,33	3,20	4,00	5,33	3,67	3,00	2,27
	R3	1,93	1,20	6,07	9,47	6,80	4,93	6,07	4,27	7,53	8,07	5,73	5,07	4,67
	R4	0,87	1,73	3,93	5,33	5,00	4,67	4,93	5,40	7,53	5,93	6,07	6,00	4,13
	Moyenne	2,49	1,73	5,57	6,77	5,70	6,57	7,10	5,37	6,35	6,27	4,62	4,40	3,64
	Ecart-type	2,16	0,57	1,22	2,39	2,54	3,06	4,04	2,33	1,66	1,23	1,51	1,38	1,03

Annexe XXIV : Variation du nombre de noix par régime sur les sites

Sites		Jul-91	Sep-91	Nov-91	Jan-92	Mar-92	Mai-92	Jul-92	Sep-92	Nov-92	Jan-93	Mar-93	Mai-93	Jul-93
DH	NN	2,5	1,7	5,6	6,8	5,7	6,6	7,1	5,4	6,3	6,3	4,6	4,4	3,6
	NR	1,2	0,9	1,6	2,0	1,9	2,0	2,3	2,3	2,2	2,3	2,3	2,4	2,2
	NN/R	2,1	1,9	3,5	3,4	3,0	3,3	3,1	2,3	2,9	2,7	2,0	1,8	1,7
LA1	NN	2,2	3,0	8,3	12,5	9,2	7,9	4,7	4,4	5,9	6,9	10,0	9,8	6,3
	NR	1,0	1,3	2,1	2,5	2,6	2,9	2,3	1,8	1,8	1,9	2,0	2,0	1,8
	NN/R	2,2	2,3	3,9	5,0	3,5	2,7	2,1	2,4	3,3	3,6	5,0	4,9	3,5
LA2	NN	1,2	2,8	6,7	11,4	12,7	10,0	4,9	4,9	5,5	6,4	6,8	7,0	5,8
	NR	1,2	1,2	1,9	2,4	2,8	2,9	2,0	2,1	2,0	1,9	2,0	1,8	1,9
	NN/R	1,0	2,3	3,5	4,8	4,5	3,4	2,5	2,3	2,7	3,4	3,4	3,9	3,0
LA3	NN	0,8	5,8	9,5	8,4	8,2	7,9	5,9	6,2	8,1	9,7	8,7	6,8	4,1
	NR	1,6	1,9	2,2	2,4	2,9	3,1	2	2	2,1	2,1	2,1	1,9	2
	NN/R	0,5	3,0	4,3	3,5	2,8	2,5	3,0	3,1	3,8	4,6	4,2	3,6	2,1

Annexe XXVA : Composantes de la noix de Long An 2

Repetitions	No de la noix	FN	PND	PNDse	PCq	PAF	PAS	PCoprah	e
1	1	1653	1139	842	252	590	292,1	321,1	14
	2	2082	1498	982	290	692	342,5	376,6	14
	3	2045	1338	882	291	592	293,0	322,2	13
	4	2150	1333	978	310	668	330,7	363,6	12
	5	2076	1451	911	282	629	311,4	342,3	13
	6	1925	1319	882	275	607	300,5	330,4	13
	7	1913	1347	888	273	615	304,4	334,7	13
	8	1751	1195	832	268	564	279,2	307,0	15
	9	1393	1037	678	198	480	237,6	261,2	14
	10	1391	1031	661	198	463	229,2	252,0	12
	11	1523	1149	725	200	525	259,9	285,7	13
	Moyenne	1809,3	1257,9	841,9	257,9	584,1	289,1	317,9	13,3
	Ecart-type	282,7	157,8	110,3	40,8	71,9	35,6	39,1	0,9
2	1	1255	862	555	205	350	188,3	206,2	12
	2	1680	1080	661	220	441	237,3	259,8	11
	3	1542	965	614	209	405	217,9	238,6	11
	4	2060	1443	975	280	695	373,9	409,5	13
	5	1785	1319	873	261	612	329,3	360,4	14
	6	2170	1565	952	281	671	361,0	395,2	13
	7	2000	1392	947	350	597	321,2	351,7	13
	8	2045	1465	939	255	684	368,0	403,0	15
	9	2156	1470	961	360	601	323,3	354,1	15
	10	1672	1244	800	250	550	295,9	324,0	13
	11	1742	1301	888	260	628	337,9	370,0	13
	12	2040	1400	947	360	587	315,8	348,8	13
	Moyenne	1845,6	1292,2	842,7	274,3	568,4	305,8	335,1	13,0
	Ecart-type	219,4	178,5	125,3	53,5	93,0	50,0	54,8	1,3

Annexe XXVA : Composantes de la noix de Long An 2

Repetitions	No de la noix	FN	PND	PNDse	PCq	PAF	PAS	PCoprah	e
3	1	1218	830	630	224	406	211,7	223,2	12
	2	1320	930	679	235	444	231,5	244,1	13
	3	1204	770	551	211	340	177,8	186,9	11
	4	1180	820	623	181	442	230,2	243,0	14
	5	1225	852	611	188	423	220,5	232,6	13
	6	2100	1570	920	270	650	338,8	357,4	12
	7	1383	964	680	218	462	240,8	254,0	13
	8	1213	852	620	190	430	224,2	236,4	12
	9	1232	780	577	222	355	185,1	195,2	13
	10	1655	1141	790	240	550	286,7	302,4	12
	11	1188	834	602	275	327	170,5	179,8	13
	12	1723	1064	600	180	420	219,0	230,9	12
	Moyenne	1386,8	950,6	656,9	219,5	437,4	228,1	240,5	12,5
	Ecart-type	298,6	233,2	107,9	33,6	93,5	48,7	51,4	0,8
4	1	1595	997	661	209	452	216,7	232,9	13
	2	1633	1065	687	218	469	224,9	241,7	12
	3	1822	1148	892	239	653	313,1	336,5	14
	4	1650	1042	688	211	477	228,7	245,8	12
	5	1750	1149	775	235	540	258,9	278,3	14
	6	1600	1008	725	231	494	236,9	254,6	14
	7	1222	859	558	169	389	186,5	200,5	11
	8	1505	1016	660	212	448	214,8	230,9	12
	9	1643	1175	780	242	538	258,0	277,2	13
	10	1510	960	711	229	482	231,1	248,4	14
	11	1220	884	635	201	434	208,1	223,7	13
	12	1830	1343	850	270	580	278,1	298,9	12
	Moyenne	1581,7	1053,8	718,5	222,2	496,3	238,0	255,8	12,8
	Ecart-type	207,4	139,8	96,0	26,0	73,5	35,3	37,9	1,1

Résultats exprimés en gramme pour le poids- en mm pour l'épaisseur de l'albumen (e)

Annexe XXVB : Composantes de la noix de Long An 3

Repetitions	No de la noix	PN	PND	PNDse	PCq	PAF	PAS	PCoprah	e
1	1	1605	1035	640	218	422	187,4	201,3	12
	2	1485	930	645	212	433	192,3	206,5	13
	3	1614	1120	701	190	511	226,9	243,7	13
	4	1478	930	620	202	418	185,6	199,4	13
	5	1608	1150	710	208	502	222,9	239,4	13
	6	1655	1210	750	230	520	230,9	248,0	12
	7	1718	1205	750	211	539	239,3	257,1	13
	8	1627	980	660	218	442	196,3	210,8	14
	9	1419	1060	682	192	490	217,6	233,7	14
	10	1632	1142	715	249	466	206,9	222,2	13
	11	1800	1310	770	209	561	249,1	267,6	12
	12	1519	880	570	199	371	164,7	176,9	11
	Moyenne	1596,7	1079,3	684,4	211,5	472,9	210,0	225,5	12,8
	Ecart-type	107,1	132,5	59,7	16,4	56,8	25,2	27,1	0,9
2	1	1764	1190	750	248	502	218,9	231,4	14
	2	1720	1160	752	242	510	222,4	235,0	13
	3	1502	1035	640	213	427	186,2	196,8	11
	4	1268	940	625	197	428	186,6	197,2	13
	5	1592	1015	660	222	438	191,0	201,9	13
	6	1500	1045	730	205	525	228,9	242,0	13
	7	1583	1160	731	213	518	225,9	238,7	13
	8	1469	1097	738	197	541	235,9	249,3	14
	9	1090	790	660	232	428	186,6	197,2	11
	10	1442	1190	730	210	520	226,7	239,6	13
	11	1240	911	740	242	498	217,1	229,5	11
	12	1128	695	495	200	295	128,6	136,0	9
	Moyenne	1441,5	1019,0	687,6	218,4	469,2	204,6	216,2	12,3
	Ecart-type	218,4	159,7	76,0	18,5	69,6	30,3	32,1	1,5

Annexe XXVB - Composantes de la noix à Long An 3.

Repetitions	No de la noix	FN	PND	PNDse	PCq	PAF	PAS	PCoprah	e
3	1	1625	1145	685	230	455	238,2	255,9	12
	2	1906	1375	830	260	570	298,4	320,9	13
	3	1860	1320	767	260	507	265,4	285,2	12
	4	1513	1090	650	220	430	225,3	241,9	12
	5	1651	1192	710	245	465	243,4	261,5	12
	6	1875	1350	963	312	651	340,8	366,2	13
	7	1500	1045	695	222	473	247,6	266,0	11
	8	1335	980	762	258	504	263,8	283,5	12
	9	1438	1025	763	210	553	289,5	324,9	13
	10	1430	1004	735	228	507	265,4	285,2	12
	11	1518	1108	790	240	550	287,9	309,3	12
	12	1197	800	670	230	440	230,3	247,5	12
	Moyenne	1570,7	1119,5	751,7	242,9	508,8	266,3	287,3	12,2
	Ecart-type	221,9	169,2	85,0	27,3	63,7	33,3	37,0	0,6
4	1	1396	1070	690	218	472	258,0	272,5	12
	2	1716	1320	791	272	519	283,6	299,6	12
	3	1470	1015	730	240	490	267,8	282,9	12
	4	1410	1060	830	256	574	313,7	334,0	13
	5	1512	1290	770	235	535	292,4	308,9	12
	6	1608	1075	755	236	519	283,6	299,6	13
	7	1390	917	720	242	478	261,2	276,0	12
	8	1485	1031	720	235	485	265,1	280,0	12
	9	1035	625	530	195	335	183,1	193,4	11
	10	1150	850	700	230	470	256,9	271,4	12
	11	1520	1020	740	220	520	284,2	300,2	12
	12	1345	895	720	245	475	259,6	274,2	11
	Moyenne	1419,8	1014,0	724,7	235,3	489,3	267,4	282,7	12,0
	Ecart-type	185,0	186,1	72,9	19,4	57,8	31,6	33,8	0,6

Résultats exprimés en gramme pour le poids- en mm pour l'épaisseur de l'albumen (e)

Annexe XXVI A : Diagnostic foliaire sur les sites

Site	Saison	R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	SiO2	Al
			%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
DH	SS92	1	1,853	0,121	1,362	0,080	0,270	0,340	0,903	0,244	11,9	250,9	4,2	96,7	13,9	1,200	78,0
		2	1,600	0,113	1,492	0,071	0,253	0,344	1,055	0,252	10,1	149,4	3,8	98,0	14,5	1,170	67,4
		3	1,709	0,106	1,176	0,114	0,311	0,369	0,821	0,364	11,3	261,7	3,6	108,5	23,6	1,070	76,0
		4	1,811	0,118	1,117	0,092	0,338	0,397	0,906	0,329	11,7	248,5	3,9	82,8	19,9	1,020	50,8
		M	1,743	0,115	1,287	0,089	0,293	0,363	0,921	0,297	11,3	227,6	3,9	96,5	18,0	1,115	68,1
		E	0,113	0,007	0,172	0,019	0,039	0,026	0,097	0,059	0,8	52,5	0,3	10,6	4,6	0,084	12,4
	SP92	1	1,881	0,122	1,245	0,104	0,336	0,409	1,015	0,259		398,8		108,8			95,3
		2	1,787	0,127	1,401	0,083	0,296	0,453	1,131	0,272		437,3		100,5			91,5
		3	1,865	0,123	1,162	0,129	0,367	0,415	0,909	0,358		676,9		112,4			104,9
		4	1,875	0,126	1,124	0,099	0,368	0,505	1,026	0,332		537,6		90,8			94,0
		M	1,852	0,125	1,233	0,104	0,342	0,446	1,020	0,305		512,7		103,1			96,4
		E	0,044	0,002	0,123	0,019	0,034	0,044	0,091	0,047		124,2		9,6			5,9
LA1	SS92	1	2,003	0,115	1,047	0,151	0,375	0,269	0,914	0,250	22,2	223,3	3,1	101,5	74,7	2,100	60,8
		2	1,922	0,113	0,933	0,154	0,404	0,299	0,902	0,244	21,9	265,8	2,9	86,9	17,5	2,040	78,9
		3	1,897	0,110	1,077	0,134	0,377	0,291	0,893	0,250	20,5	310,9	3,0	91,3	15,9	2,400	69,5
		4	1,860	0,111	1,024	0,138	0,348	0,372	0,938	0,292	19,6	255,7	2,9	83,1	41,5	2,100	63,6
		M	1,921	0,112	1,020	0,144	0,376	0,308	0,912	0,259	21,1	263,9	3,0	90,7	37,4	2,160	68,2
		E	0,061	0,002	0,062	0,010	0,023	0,045	0,019	0,022	1,2	36,2	0,1	7,9	27,5	0,162	8,0
	SP92	1	2,232	0,127	1,028	0,187	0,455	0,307	0,855	0,273		407,4		128,7			52,5
		2	2,162	0,134	1,004	0,181	0,496	0,296	0,777	0,267		475,7		91,9			84,7
		3	1,954	0,122	1,049	0,146	0,444	0,327	0,826	0,265		839,8		104,0			63,8
		4	2,026	0,128	1,014	0,159	0,434	0,375	0,880	0,290		561,1		90,5			70,4
		M	2,094	0,128	1,024	0,168	0,457	0,326	0,835	0,274		571,0		103,8			67,9
		E	0,126	0,005	0,020	0,019	0,027	0,035	0,044	0,011		189,9		17,7			13,4

DH: Do Hoa- LA1: Long An 1-LA2: Long An 2- LA3: Long An 3
 SS92: saison sèche 1992- SP 92: saison des pluies 1992
 1,2,3,4: les 4 répétitions dans la cocoteraie
 M: moyenne- E: Ecart-type

Annexe XXVI. B : Diagnostic foliaire sur les sites

		R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	SiO2	Al
LA2	SS92	1	1,905	0,117	1,348	0,130	0,275	0,328	0,917	0,312	12,7	238,5	3,7	151,6	74,2	1,140	62,5
		2	1,998	0,118	1,571	0,136	0,260	0,362	1,072	0,267	10,0	204,3	4,1	179,8	35,1	1,180	66,9
		3	1,779	0,115	1,322	0,138	0,302	0,379	0,962	0,309	12,1	135,4	3,3	138,2	31,8	1,130	71,2
		4	1,865	0,126	1,348	0,153	0,264	0,299	0,840	0,330	12,0	318,6	3,4	119,6	36,8	1,510	115,0
		M	1,887	0,119	1,397	0,139	0,275	0,342	0,948	0,305	11,7	224,2	3,6	147,3	44,5	1,240	78,9
		E	0,091	0,005	0,116	0,010	0,019	0,036	0,097	0,027	1,2	76,2	0,4	25,3	19,9	0,181	24,3
	SP92	1	1,836	0,119	1,330	0,160	0,280	0,410	1,340	0,288	12,8	210,1	4,1	151,0	30,8		119,7
		2	1,852	0,124	1,330	0,150	0,280	0,460	1,190	0,274	11,1	229,5	3,9	183,8	33,0		149,3
		3	1,774	0,127	1,150	0,150	0,310	0,550	1,250	0,296	11,0	223,1	4,0	134,1	37,3		150,1
		4	1,770	0,118	1,370	0,150	0,210	0,440	1,200	0,285	9,9	222,7	3,8	96,2	28,7		142,1
		M	1,808	0,122	1,295	0,153	0,270	0,465	1,245	0,286	11,2	221,4	4,0	141,3	32,5		140,3
		E	0,042	0,004	0,098	0,005	0,042	0,060	0,069	0,009	1,2	8,1	0,1	36,5	3,7		14,2
LA3	SS92	1	1,716	0,104	1,677	0,066	0,233	0,216	0,961	0,297	10,1	149,9	4,9	86,9	49,2	1,710	98,3
		2	1,777	0,107	1,631	0,072	0,236	0,203	0,960	0,231	10,9	153,6	4,5	98,0	44,0	1,820	98,7
		3	1,845	0,110	1,430	0,092	0,228	0,297	0,849	0,272	9,4	222,9	3,9	88,7	13,0	1,370	91,7
		4	1,830	0,109	1,392	0,074	0,268	0,341	0,886	0,293	10,2	228,6	3,8	89,3	56,4	1,520	80,7
		M	1,792	0,108	1,533	0,076	0,241	0,264	0,914	0,273	10,2	188,8	4,3	90,7	40,7	1,605	92,4
		E	0,058	0,003	0,142	0,011	0,018	0,066	0,056	0,030	0,6	42,8	0,5	5,0	19,1	0,200	8,4
	SP92	1	1,970	0,121	1,607	0,081	0,291	0,252	1,044	0,268		289,2		90,7			125,7
		2	2,133	0,125	1,525	0,083	0,304	0,264	1,080	0,255		599,3		113,6			96,6
		3	2,012	0,124	1,398	0,096	0,277	0,462	0,992	0,301		411,6		92,2			118,9
		4	1,932	0,125	1,231	0,085	0,333	0,474	0,991	0,341		407,4		106,3			102,8
		M	2,012	0,124	1,440	0,086	0,301	0,363	1,027	0,291		426,9		100,7			111,0
		E	0,087	0,002	0,164	0,007	0,024	0,121	0,043	0,038		128,2		11,1			13,6

DH: Do Hoa- LA1: Long An 1-LA2: Long An 2- LA3: Long An 3
 SS92: saison sèche 1992- SP 92: saison des pluies 1992
 1,2,3,4: les 4 répétitions dans la cocoteraie
 M: moyenne- E: Ecart-type

Annexe XXVII A : Diagnostic racinaire en saison des pluies 1991 sur les sites

Site	Horizon	R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al
			%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
LA2	0_30	1	0,375	0,026	0,609	0,028	0,094	0,594	1,196	0,142	7,5	1286,6	8,4	8,5	8,5	3143,1
Racines	cm	2	0,497	0,038	0,948	0,034	0,113	0,940	1,702	0,213	7,8	3531,7	6,1	12,5	11,1	5271,4
grosses		3	0,506	0,038	0,879	0,037	0,118	0,704	1,527	0,151	6,5	2058,1	19,8	15,7	18,1	3198,8
		4	0,430	0,037	1,136	0,053	0,101	0,670	1,610	0,178	7,5	2422,0	13,9	12,2	8,9	4504,5
		M	0,452	0,035	0,893	0,038	0,107	0,727	1,509	0,171	7,3	2324,6	12,1	12,2	11,7	4029,5
		E	0,062	0,006	0,218	0,011	0,011	0,149	0,220	0,032	0,6	933,6	6,1	2,9	4,4	1039,8
	30_60	1	0,397	0,026	0,478	0,037	0,129	0,617	1,135	0,167	9,2	1759,3	27,6	11,1	8,9	4225,7
	cm	2	0,529	0,041	0,919	0,050	0,151	1,176	2,004	0,213	9,6	3922,9	9,0	15,1	12,7	6723,7
		3	0,516	0,038	0,830	0,044	0,149	1,004	1,957	0,212	7,1	2843,0	25,2	9,8	13,5	3844,6
		4	0,457	0,034	0,822	0,041	0,137	0,832	1,618	0,201	7,3	2401,7	31,2	11,9	9,2	4975,7
		M	0,475	0,035	0,762	0,043	0,142	0,907	1,679	0,198	8,3	2731,7	23,3	12,0	11,1	4942,4
		E	0,061	0,006	0,195	0,005	0,010	0,239	0,401	0,022	1,3	910,3	9,8	2,3	2,4	1277,1
LA3	0_30	1	0,441	0,033	0,804	0,030	0,109	0,496	1,179	0,178	6,3	2514,8	20,4	7,0	10,0	3039,6
	cm	2	0,426	0,028	0,914	0,019	0,083	0,422	1,274	0,155	5,2	1608,1	5,0	8,0	11,1	2243,7
		3	0,403	0,025	0,599	0,028	0,085	0,434	0,919	0,171	5,1	1988,0	6,2	7,8	8,7	3995,5
		4	0,397	0,028	0,676	0,016	0,069	0,521	1,043	0,157	5,6	2013,8	5,9	5,3	11,1	3113,7
		M	0,417	0,029	0,748	0,023	0,087	0,468	1,104	0,165	5,6	2031,2	9,4	7,0	10,2	3098,1
		E	0,020	0,003	0,139	0,007	0,017	0,048	0,155	0,011	0,5	372,0	7,4	1,2	1,1	716,2
	30_60	1	0,404	0,025	0,614	0,032	0,105	0,507	1,009	0,171	5,1	2355,0	13,8	7,5	9,7	3893,0
	cm	2	0,349	0,024	0,590	0,029	0,091	0,518	1,057	0,141		2165,9	6,0	6,9	13,6	4405,5
		3	0,481	0,036	0,652	0,061	0,135	0,678	1,043	0,209	11,3	3034,2	8,0	10,3	12,0	8791,5
		4	0,383	0,027	0,422	0,031	0,097	0,589	0,981	0,163	5,8	2516,2	7,1	7,3	9,7	5269,9
		M	0,404	0,028	0,570	0,038	0,107	0,573	1,023	0,171	7,4	2517,8	8,7	8,0	11,3	5590,0
		E	0,056	0,005	0,102	0,015	0,020	0,079	0,034	0,028	3,4	372,8	3,5	1,6	1,9	2208,7

Annexe XXVII B : Diagnostic racinaire en saison des pluies 1991 sur les sites (racines fines)

Sites	Horizon	R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al
			%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
LA2	0_30	1	0,773	0,044	0,512	0,038	0,135	0,475	0,985	0,232	9,8	2331,5	104,3	10,0	15,6	5102,0
Racines	cm	2	0,691	0,039	0,604	0,019	0,102	0,623	1,223	0,202	8,1	2103,0	111,1	9,4	29,2	3888,0
fines		3	0,657	0,045	0,585	0,033	0,126	0,473	1,120	0,184	8,0	1855,8	91,1	7,0	17,2	3680,3
		4	0,680	0,055	0,777	0,032	0,123	0,515	1,207	0,260	16,7	8331,9	68,9	14,2	19,5	8823,4
		M	0,700	0,046	0,620	0,031	0,122	0,522	1,134	0,220	10,7	3655,6	93,9	10,2	20,4	5373,4
		E	0,051	0,007	0,112	0,008	0,014	0,070	0,109	0,033	4,1	3123,6	18,6	3,0	6,1	2383,9
	30_60	1	0,568	0,031	0,403	0,040	0,170	0,521	1,076	0,175	10,2	2076,8	48,5	12,8	12,5	3533,9
	cm	2	0,539	0,034	0,533	0,023	0,115	0,699	1,341	0,188	9,1	2747,8	47,0	8,1	14,9	4502,5
		3	0,730	0,044	0,541	0,036	0,182	0,700	1,494	0,239	11,1	6084,0	74,4	7,8	13,4	4441,0
		4	0,914	0,053	0,639	0,051	0,165	0,701		0,257	16,6	6297,5	74,6	15,1	18,1	6906,2
		M	0,688	0,041	0,529	0,038	0,158	0,655	1,304	0,215	11,8	4301,5	61,1	11,0	14,7	4845,9
		E	0,173	0,010	0,097	0,012	0,030	0,090	0,211	0,039	3,3	2200,3	15,5	3,6	2,5	1443,2
		R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al
			%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
LA3	0_30	1	0,733	0,041	0,507	0,013	0,104	0,268	0,623	0,211	8,7	2866,3	85,7	7,2	14,4	4258,1
	cm	2	0,541	0,039	0,661	0,022	0,136	0,336	0,918	0,183	7,8	2935,7	57,5	8,0	25,7	3494,3
		3	0,689	0,045	0,686	0,032	0,139	0,341	0,761	0,240	9,3	2744,9	102,2	6,2	19,1	5128,2
		4	0,744	0,055	0,651	0,027	0,139	0,360	0,793	0,221	11,7	4009,0	89,3	12,1	26,1	6741,4
		M	0,677	0,045	0,626	0,024	0,130	0,326	0,774	0,214	9,4	3139,0	83,7	8,4	21,3	4905,5
		E	0,094	0,007	0,081	0,008	0,017	0,040	0,121	0,024	1,7	585,4	18,8	2,6	5,6	1394,1
	30_60	1	0,721	0,041	0,582	0,028	0,166	0,449	0,957	0,270	10,2	5685,1	82,0	7,5	22,5	4320,3
	cm	2	0,528	0,036	0,581	0,021	0,148	0,380	0,953	0,193	10,1	2939,3	75,9	7,9	19,5	5808,5
		3	0,560	0,032	0,468	0,024	0,158	0,425	0,798	0,180	10,1	1971,0	49,4	6,6	15,1	5836,3
		4	0,665	0,050	0,446	0,026	0,202	0,507	0,927	0,216	14,1	3878,7	112,0	9,9	18,5	8551,0
		M	0,619	0,040	0,519	0,025	0,169	0,440	0,909	0,215	11,1	3618,5	79,8	8,0	18,9	6129,0
		E	0,090	0,008	0,072	0,003	0,024	0,053	0,075	0,040	2,0	1582,6	25,7	1,4	3,1	1763,1

R: répétitions-M: moyenne-E: Ecart-type

Annexe XXVIII A : Diagnostic racinaire en saison sèche 1992 sur les sites

Sites			R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	
				%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
LA1	Racines	0_30	1	0,444	0,032	0,546	0,038	0,089	0,406	0,751	0,144	6,0	2348,0	5,5	8,7	11,6	6312,0	
		grosses	cm	2	0,355	0,035	0,600	0,042	0,099	0,306	0,699	0,148	6,4	1928,5	8,3	8,7	9,6	5747,8
				3	0,369	0,030	0,764	0,028	0,116	0,417	0,990	0,132	6,4	1799,0	5,8	8,8	9,0	5983,6
				4	0,391	0,039	0,518	0,032	0,110	0,477	0,978	0,147	5,4	1787,1	9,7	7,7	11,0	4572,8
				M	0,389	0,032	0,637	0,036	0,101	0,376	0,813	0,141	6,3	2025,2	6,5	8,7	10,1	6014,5
				E	0,048	0,003	0,114	0,007	0,014	0,061	0,155	0,008	0,2	287,0	1,5	0,1	1,4	283,4
			30_60	1	0,434	0,035	0,416	0,041	0,102	0,531	0,804	0,163	5,8	2136,5	6,3	10,2	12,3	7705,5
			cm	2	0,381	0,032	0,561	0,027	0,116	0,471	0,896	0,150	7,1	1900,9	8,3	7,5	11,1	7010,5
				3	0,455	0,039	0,520	0,039	0,176	0,542	1,040	0,204	7,6	2471,7	11,3	9,0	15,5	7271,5
				4	0,332	0,027	0,345	0,023	0,108	0,506	0,896	0,142	5,2	1900,2	6,9	6,1	8,0	4598,5
			M	0,401	0,033	0,461	0,033	0,126	0,513	0,909	0,165	6,4	2102,3	8,2	8,2	11,7	6646,5	
			E	0,055	0,005	0,098	0,009	0,034	0,032	0,098	0,028	1,1	270,2	2,2	1,8	3,1	1395,1	
LA2		0_30	1	0,386	0,024	0,447	0,036	0,092	0,415	0,809	0,135	5,9	1341,5	3,8	7,1	9,2	2972,6	
		cm	2	0,382	0,031	0,638	0,022	0,079	0,560	1,094	0,159	6,7	2509,6	4,4	5,6	9,9	3308,5	
			3	0,457	0,036	0,587	0,027	0,105	0,639	1,188	0,159	7,5	2184,7	8,7	9,0	13,3	4770,5	
			4	0,446	0,030	0,802	0,034	0,096	0,534	1,281	0,151	7,4	2696,6	6,0	7,8	9,9	4521,8	
			M	0,418	0,030	0,619	0,030	0,093	0,537	1,093	0,151	6,9	2183,1	5,7	7,4	10,6	3893,4	
			E	0,039	0,005	0,147	0,006	0,011	0,093	0,204	0,011	0,7	599,6	2,2	1,4	1,8	885,8	
			30_60	1	0,397	0,028	0,459	0,046	0,132	0,541	0,986	0,163	6,6	2976,7	5,3	9,1	9,4	3740,7
			cm	2	0,455	0,032	0,529	0,033	0,111	0,719	1,237	0,171	7,4	3207,0	6,1	9,1	15,6	4800,2
				3	0,411	0,032	0,417	0,028	0,136	0,734	1,370	0,184	7,2	3477,9	8,1	7,9	11,5	4610,6
				4	0,447	0,034	0,809	0,034	0,116	0,694	1,410	0,201	8,5	2805,2	7,3	8,7	10,1	5989,0
			M	0,428	0,032	0,554	0,035	0,124	0,672	1,251	0,180	7,4	3116,7	6,7	8,7	11,7	4785,1	
			E	0,028	0,003	0,176	0,008	0,012	0,089	0,191	0,017	0,8	291,7	1,2	0,6	2,8	925,7	

A28A: 1,2,3,4: les 4 répétitions dans la cocoteraie
M: Moyenne- E: Ecart-type

Annexe XXVIII B : Diagnostic racinaire en saison sèche 1992 sur les sites

			R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	
				%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
LA3	Racines	0_30	1	0,391	0,023	0,496	0,020	0,098	0,301	0,683	0,144	5,9	2251,2	8,2	7,3	9,4	2628,8	
			grosses	cm	2	0,398	0,029	1,068	0,014	0,072	0,282	1,020	0,160	6,7	1978,4	6,3	5,4	8,9
				3	0,324	0,024	0,479	0,021	0,088	0,350	0,743	0,147	6,0	1772,2	5,8	4,7	8,0	4107,8
				4	0,405	0,031	0,603	0,020	0,096	0,460	0,904	0,156	7,7	2636,9	6,4	7,4	10,1	4733,3
				M	0,380	0,027	0,662	0,019	0,089	0,348	0,838	0,152	6,6	2159,7	6,7	6,2	9,1	3467,4
				E	0,037	0,004	0,277	0,003	0,012	0,080	0,153	0,008	0,8	373,8	1,1	1,4	0,9	1133,7
			30_60	1	0,317	0,022	0,454	0,020	0,093	0,332	0,699	0,151	5,3	2372,8	5,4	7,0	10,2	4214,3
			cm	2	0,325	0,020	0,423	0,024	0,079	0,399	0,769	0,147	6,3	1976,0	5,1	5,3	9,1	3074,0
				3	0,413	0,024	0,417	0,032	0,100	0,417	0,701	0,157	5,6	1922,0	5,3	6,3	9,4	4558,5
				4	0,386	0,026	0,377	0,031	0,096	0,597	0,913	0,158	6,3	1956,9	5,2	6,6	9,3	4378,1
				M	0,360	0,023	0,418	0,027	0,092	0,436	0,771	0,153	5,9	2056,9	5,3	6,3	9,5	4056,2
				E	0,047	0,003	0,032	0,006	0,009	0,113	0,100	0,005	0,5	211,8	0,1	0,7	0,5	669,7
	DH		0_30	1	0,471	0,037	0,651	0,041	0,190	1,137	2,321	0,194	9,9	2739,0	4,5	10,2	12,4	4212,8
				cm	2	0,430	0,033	0,569	0,043	0,161	1,145	2,228	0,188	10,0	2318,3	4,6	12,0	10,4
				3	0,447	0,038	0,546	0,043	0,165	1,215	2,112	0,207	9,1	3079,3	5,2	13,6	12,8	4904,2
				4	0,371	0,033	0,535	0,033	0,159	1,092	1,971	0,178	8,8	2542,9	5,0	11,7	12,5	4528,9
				M	0,430	0,035	0,575	0,040	0,169	1,147	2,158	0,192	9,5	2669,9	4,8	11,9	12,0	4396,3
				E	0,043	0,003	0,052	0,005	0,014	0,051	0,151	0,012	0,6	322,6	0,3	1,4	1,1	415,5
			30_60	1	0,498	0,047	0,617	0,075	0,303	2,128	3,495	0,323	14,3	6749,2	9,9	16,7	16,6	8806,8
			cm	2	0,533	0,040	0,462	0,055	0,262	1,505	2,577	0,309	11,5	5251,5	8,4	13,6	12,4	8752,1
				3	0,509	0,040	0,407	0,079	0,386	1,049		0,369	13,7	5155,1	8,7	19,9	17,0	7504,1
				4	0,511	0,450	0,483	0,066	0,292	1,937	3,572	0,325	13,5	5803,4	10,1	18,9	14,4	7557,4
				M	0,513	0,144	0,492	0,069	0,311	1,655	3,215	0,332	13,3	5739,8	9,3	17,3	15,1	8155,1
				E	0,015	0,204	0,089	0,011	0,053	0,481	0,554	0,026	1,2	731,0	0,8	2,8	2,1	721,6

A28B: 1,2,3,4: les 4 répétitions dans la cocoteraie
M: Moyenne- E: Ecart-type

Annexe XXVIII C : Diagnostic racinaire en saison sèche 1992 sur les sites

			R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al
				%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
LA1	Racines fines	0_30 cm	1	0,813	0,068	0,647	0,039	0,100	0,430	0,821	0,232	10,3	1903,0	56,8	46,1	13,4	7455,0
			2	0,765	0,075	0,673	0,042	0,102	0,299	0,653	0,176	9,7	2312,3	91,5	33,5	17,5	6056,5
		3	0,646	0,051	0,798	0,022	0,135	0,334	0,826	0,176	11,7	2070,4	47,5	21,1	9,7	9113,4	
		4	0,827	0,073	0,595	0,031	0,125	0,364	0,739	0,194	11,1	3161,9	88,9	39,2	13,8	8576,8	
		M	0,763	0,067	0,678	0,034	0,116	0,357	0,760	0,195	10,7	2361,9	71,2	35,0	13,6	7800,4	
		E	0,082	0,011	0,086	0,009	0,017	0,056	0,082	0,026	0,9	559,2	22,3	10,6	3,2	1352,4	
		30_60 cm	1	0,701	0,047	0,507	0,029	0,104	0,527	0,810	0,166	11,1	1997,7	24,4	30,6	14,1	8228,1
	2		0,664	0,052	0,635	0,038	0,131	0,391	0,767	0,190	11,4	2515,9	70,0	35,4	14,1	7759,3	
	3		0,984	0,083	0,658	0,035	0,180	0,550	1,071	0,272	11,6	2145,2	51,7	17,8	13,1	8764,2	
	4		0,653	0,041	0,400	0,024	0,139	0,480	0,880	0,169	9,3	1372,2	37,5	39,9	6,7	6509,0	
	M		0,751	0,056	0,550	0,032	0,139	0,487	0,882	0,199	10,9	2007,8	45,9	30,9	12,0	7815,2	
	E		0,157	0,019	0,120	0,006	0,031	0,070	0,134	0,050	1,1	476,5	19,6	9,5	3,6	962,7	
LA2	0_30 cm	1	0,799	0,047	0,492	0,030	0,104	0,377	0,692	0,193	11,1	2580,2	56,3	55,7	13,7	5890,7	
		2	0,691	0,054	0,772	0,016	0,084	0,467	0,955	0,214	10,8	2528,3	56,5	23,8	16,9	7602,9	
		3	0,739	0,066	0,604	0,076	0,115	0,557	1,036	0,230	9,2	2018,5	59,4	12,0	10,6	5441,9	
		4	0,713	0,052	0,706	0,049	0,094	0,481	1,037	0,194	9,8	2046,1	41,2	6,4	10,0	6481,5	
		M	0,736	0,055	0,644	0,043	0,099	0,471	0,930	0,208	10,2	2293,3	53,4	24,5	12,8	6354,3	
		E	0,047	0,008	0,122	0,026	0,013	0,074	0,163	0,018	0,9	302,3	8,2	22,0	3,2	935,0	
		30_60 cm	1	0,797	0,039	0,501	0,045	0,168	0,485	0,949	0,305	11,0	1836,4	28,7	22,6	6,3	5119,7
	2		0,732	0,038	0,497	0,027	0,121	0,641	1,130	0,202	8,9	1900,5	23,6	4,8	14,3	6256,9	
	3		0,745	0,054	0,456	0,045	0,154	0,653	1,198	0,318	10,0	1902,2	45,6	7,5	7,2	6100,1	
	4		0,651	0,039	0,658	0,031	0,101	0,602	1,113	0,267	10,0	2534,0	15,5	6,8	5,7	6509,7	
	M		0,731	0,043	0,528	0,037	0,136	0,595	1,098	0,273	10,0	2043,3	28,4	10,4	8,4	5996,6	
	E		0,060	0,008	0,089	0,009	0,031	0,077	0,106	0,052	0,9	328,6	12,7	8,2	4,0	608,5	

A28G: 1,2,3,4: les 4 répétitions dans la cocoteraie
M: Moyenne- E: Ecart-type

Annexe XXVIII D : Diagnostic racinaire en saison sèche 1992 sur les sites

			R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al
				%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
LA3	Racines fines	0_30	1	0,663	0,042	0,500	0,013	0,069	0,250	0,570	0,179	8,0	3431,6	78,3	7,0	12,1	5377,4
		cm	2	0,818	0,063	0,896	0,041	0,087	0,275	0,785	0,249	9,5	3428,6	62,8	7,6	15,2	6214,0
			3	0,669	0,046	0,515	0,032	0,107	0,284	0,657	0,202	8,8	3080,6	86,9	6,3	17,3	5833,7
			4	0,731	0,057	0,581	0,018	0,097	0,354	0,804	0,194	9,2	4158,2	77,1	9,6	18,2	5855,1
			M	0,720	0,052	0,623	0,026	0,090	0,291	0,704	0,206	8,9	3524,8	76,3	7,6	15,7	5820,1
		E	0,072	0,010	0,185	0,013	0,016	0,045	0,111	0,030	0,6	453,3	10,0	1,4	2,7	342,8	
		30_60	1	0,646	0,037	0,519	0,018	0,102	0,355	0,750	0,193	9,2	3679,2	62,1	7,0	14,1	6127,2
		cm	2	0,675	0,040	0,434	0,023	0,110	0,403	0,766	0,216	8,5	3980,0	73,9	7,6	17,8	5823,0
			3	0,671	0,036	0,438	0,024	0,110	0,323	0,657	0,175	8,8	3225,1	82,1	6,0	17,1	5698,5
			4	0,605	0,040	0,351	0,030	0,123	0,500	0,817	0,175	8,2	2765,4	38,2	8,0	10,4	5552,0
		M	0,649	0,038	0,436	0,024	0,111	0,395	0,748	0,190	8,7	3412,4	64,1	7,2	14,9	5800,2	
		E	0,032	0,002	0,069	0,005	0,009	0,077	0,067	0,019	0,4	531,4	19,1	0,9	3,4	244,5	
DH	0_30 cm	1	0,723	0,043	0,453	0,057	0,244	1,252	2,271	0,293	12,8	2109,2	12,9	5,3	7,7	5003,2	
		2	0,744	0,043	0,468	0,061	0,202	1,163	2,268	0,279	12,0	1891,8	12,2	6,5	8,3	5636,9	
		3	0,672	0,045	0,446	0,053	0,220	1,250	2,129	0,276	12,5	2429,5	13,6	8,0	9,3	5653,3	
		4	0,661	0,045	0,442	0,049	0,214	1,162	2,023	0,306	13,5	2131,0	24,9	7,4	9,3	6463,2	
		M	0,700	0,044	0,452	0,055	0,220	1,207	2,173	0,289	12,7	2140,4	15,9	6,8	8,7	5689,2	
		E	0,040	0,001	0,011	0,005	0,018	0,051	0,120	0,014	0,6	220,9	6,0	1,2	0,8	598,2	
		30_60	1	0,889	0,051	0,581	0,082	0,386	2,213	3,974	0,563	15,8	1696,3	10,5	5,5	16,6	5834,9
		cm	2	0,916	0,055	0,540	0,074	0,380	1,771	3,247	0,512	16,0	1974,4	21,5	7,6	14,6	7810,4
			3	0,980	0,067	0,481	0,089	0,514	2,266		0,636	19,4	4750,4	86,9	20,0	60,3	7403,4
			4	0,877	0,063	0,542	0,083	0,407	2,146		0,617	17,6	4652,6	37,5	14,2	15,5	7500,0
		M	0,916	0,059	0,536	0,082	0,422	2,099	3,611	0,582	17,2	3268,4	39,1	11,8	26,8	7137,2	
		E	0,046	0,007	0,041	0,006	0,063	0,224	0,514	0,056	1,7	1659,1	33,7	6,6	22,4	885,4	

A28H: 1,2,3,4: les 4 répétitions dans la cocoteraie
M: Moyenne- E: Ecart-type

Annexe XXVIII E : Diagnostic racinaire en saison des pluies 1992 sur les sites

Sites			R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	Fe	Mn	Al
				%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm
LA1	Racines grosses	0_30	1	0,525	0,042	0,646	0,058	0,113	0,472	1,007	0,374	1716,7	10,9	3892,6
		cm	2	0,405	0,044	0,740	0,044	0,124	0,115		0,164	1584,8	8,6	4000,8
			3	0,393	0,031	0,524	0,047	0,107	0,545	1,084	0,143	1461,1	8,6	3299,4
			4	0,334	0,029	0,642	0,039	0,113	0,374	0,871	0,122	1323,8	9,4	3580,3
			M	0,441	0,039	0,637	0,050	0,115	0,377	1,046	0,227	1587,5	9,4	3730,9
			E	0,073	0,007	0,108	0,007	0,009	0,230	0,054	0,128	127,8	1,3	377,6
		30_60 cm	1	0,491	0,040	0,516	0,057	0,122	0,779	1,313	0,194	1734,0	12,3	5355,8
	2		0,395	0,039	0,648	0,052	0,134	0,660	1,199	0,165	1750,6	9,2	5243,4	
			3	0,489	0,039	0,601	0,078	0,208	0,342	1,256	0,220	3291,4	18,8	6789,8
			4	0,444	0,029	0,442	0,045	0,131	0,678	1,155	0,167	1375,0	8,7	3511,1
			M	0,455	0,037	0,552	0,058	0,149	0,615	1,231	0,187	2037,8	12,3	5225,0
			E	0,045	0,005	0,091	0,014	0,040	0,189	0,069	0,026	853,5	4,6	1342,1
	LA2	0_30 cm	1	0,290	0,026	0,445	0,053	0,099	0,428	0,806	0,142	2367,7	9,5	3286,5
			2	0,479	0,033	0,729	0,029	0,075	0,485	1,097	0,191	2304,1	8,1	3392,6
		3	0,409	0,037	0,613	0,039	0,105	0,693	1,354	0,152	1838,1	7,9	4543,6	
		4	0,404	0,037	0,619	0,047	0,081	0,485	1,016	0,169	1920,4	11,4	3479,1	
		M	0,396	0,033	0,602	0,042	0,090	0,523	1,068	0,164	2107,6	9,2	3675,5	
		E	0,078	0,005	0,117	0,010	0,014	0,117	0,227	0,021	267,0	1,6	584,1	
		30_60 cm	1	0,414	0,030	0,451	0,066	0,145	0,601	1,042	0,205	3092,4	13,9	3508,5
2			0,497	0,041	0,647	0,060	0,116	0,929	1,522	0,214	2461,4	11,1	4665,7	
			3	0,333	0,033	0,432	0,040	0,123	0,730	1,236	0,173	1887,7	7,1	3342,8
			4	0,535	0,047	1,045	0,071	0,126	0,785	1,701	0,270	3235,0	11,4	7988,2
			M	0,445	0,038	0,644	0,059	0,128	0,761	1,375	0,216	2669,1	10,9	4876,3
			E	0,090	0,008	0,285	0,014	0,012	0,136	0,293	0,040	620,0	2,8	2156,4

A28C: 1,2,3,4: les 4 répétitions dans la cocoteraie
M: Moyenne- E: Ecart-type

Annexe XXVIII F : Diagnostic racinaire en saison des pluies 1992 sur les sites

			R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	Fe	Mn	Al	
				%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	
LA3	0_30 cm	1		0,596	0,047	0,816	0,037	0,107	0,339	0,868	0,233	4758,3	12,0	6592,2	
		2		0,358	0,028	0,583	0,044	0,085	0,432	0,971	0,156	2412,3	6,8	3321,6	
		3		0,408	0,033	0,562	0,042	0,111	0,395	0,897	0,154	2118,1	7,7	4075,8	
		4		0,401	0,034	0,587	0,029	0,087	0,420	0,942	0,234	2334,0	7,5	3586,8	
		M		0,441	0,036	0,637	0,038	0,098	0,397	0,920	0,194	2905,7	8,5	4394,1	
			E		0,106	0,008	0,120	0,007	0,013	0,041	0,046	0,045	1241,3	2,4	1498,3
		30_60 cm	1		0,499	0,036	0,617	0,038	0,109	0,413	0,876	0,190	3081,3	9,8	4982,3
	2			0,334	0,027	0,515	0,040	0,099	0,476	0,985	0,160	2458,5	8,2	4523,9	
	3			0,440	0,030	0,454	0,051	0,100	0,495	0,893	0,242	2417,4	8,6	5388,1	
	4			0,357	0,030	0,374	0,042	0,090	0,483	0,799	0,311	2233,4	8,1	4413,2	
M			0,408	0,031	0,490	0,043	0,100	0,467	0,888	0,226	2547,7	8,7	4826,9		
		E		0,076	0,004	0,102	0,006	0,008	0,037	0,076	0,066	369,0	0,8	448,0	
DH	0_30 cm	1		0,487	0,042	0,711	0,050	0,208	1,227	2,338	0,226	2327,6	11,0	3536,6	
		2		0,480	0,037	0,568	0,042	0,200	1,126	2,189	0,168	1887,2	11,2	2902,4	
		3		0,508	0,041	0,650	0,062	0,227	1,306	2,477	0,192	2109,0	16,6	3747,1	
		4		0,729	0,056	0,673	0,076	0,292	1,407	2,521	0,385	2483,1	15,7	5141,2	
		M		0,551	0,044	0,651	0,058	0,232	1,267	2,381	0,243	2201,7	13,6	3831,8	
			E		0,119	0,008	0,060	0,015	0,042	0,119	0,150	0,098	259,8	2,9	943,9
		30_60 cm	1		0,753	0,057	0,713	0,094	0,321	2,103	3,348	0,556	3256,8	12,6	8434,6
	2			0,868	0,063	0,470	0,099	0,358	2,210		0,756	7892,4	13,3	8119,6	
	3			0,657	0,099	0,463	0,145	0,378	1,924	3,066	0,735	11200,9	32,7	8753,9	
	4			0,751	0,029	0,231	0,048	0,178	0,711	2,272	0,314	3199,3	9,7	3558,1	
M			0,757	0,062	0,469	0,097	0,309	1,737	2,895	0,590	6387,4	17,1	7216,6		
		E		0,086	0,029	0,197	0,040	0,090	0,694	0,558	0,205	3890,1	10,5	2452,7	

A28D: 1,2,3,4: les 4 répétitions dans la cocoteraie
M: Moyenne- E: Ecart-type

Annexe XXVIII G : Diagnostic racinaire en saison des pluies 1992 sur les sites

	Racines	0_30	1	0,934	0,083	0,586	0,054	0,145	0,390	0,709	0,300	5252,2	19,0	10497,1
	fines	cm	2	0,748	0,081	0,556	0,037	0,119	0,241	0,579	0,261	3411,0	11,0	7127,1
LA1			3	0,536	0,056	0,532	0,043	0,157	0,260	0,707	0,216	2765,0	12,8	5716,9
			4	0,869	0,077	0,424	0,047	0,120	0,229	0,492	0,255	3797,7	10,9	7831,8
			M	0,772	0,074	0,525	0,045	0,135	0,280	0,622	0,258	3806,5	13,4	7793,2
			E	0,175	0,012	0,071	0,007	0,019	0,074	0,106	0,034	1053,8	3,8	2005,6
		30_60	1	0,808	0,060	0,464	0,053	0,171	0,688			2294,0		7486,0
		cm	2	0,638	0,059	0,553	0,064	0,194	0,547			2135,9	6,2	7263,8
			3	0,763	0,060	0,571	0,063	0,231	0,476			8769,2	19,6	11476,5
			4	0,610	0,053	0,372	0,039	0,174	0,388	0,756	0,252	3993,6	11,7	8133,5
			M	0,705	0,058	0,490	0,055	0,193	0,525	0,756	0,252	4298,2	12,5	8590,0
			E	0,096	0,003	0,092	0,012	0,028	0,127			3097,0	6,7	1959,4
LA2		0_30	1	0,758	0,047	0,450	0,049	0,125	0,274	0,586	0,251	2025,9	10,7	4236,4
		cm	2	0,851	0,049	0,333	0,030	0,056	0,293	0,487	0,273	2707,6	5,9	4657,0
			3	0,649	0,055	0,430	0,036	0,126	0,486	0,926	0,271	1790,6	7,7	4635,3
			4	0,715	0,060	0,434	0,108	0,085	0,275	0,592	0,227	2491,6	17,2	4723,3
			M	0,743	0,053	0,412	0,056	0,098	0,332	0,648	0,256	2253,9	10,4	4563,0
			E	0,085	0,006	0,053	0,036	0,034	0,103	0,192	0,021	419,9	5,0	220,9
		30_60	1	0,718	0,041	0,398	0,066	0,170	0,362	0,708	0,331	3057,9	14,4	4331,3
		cm	2	0,777	0,060	0,534	0,055	0,138	0,550		0,308	5507,7	11,5	8206,3
			3	0,621	0,048	0,313	0,048	0,191	0,569	1,092	0,384	3050,7	6,5	5351,3
			4											
			M	0,705	0,050	0,415	0,056	0,166	0,494	0,900	0,341	3872,1	10,8	5963,0
			E	0,079	0,010	0,111	0,009	0,027	0,114	0,272	0,039	1416,5	4,0	2008,6

A28E: 1,2,3,4: les 4 répétitions dans la cocoteraie
M: Moyenne- E: Ecart-type

Annexe XXVIII H: Diagnostic racinaire en saison des pluies 1992 (racines fines à Long An3)

			R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	Fe	Mn	Al
				%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm
LA3	Racines	0_30	1	0,978	0,075	0,622	0,034	0,122	0,226	0,602	0,339	4691,2	9,0	6465,3
	fines	cm	2	0,624	0,047	0,524	0,065	0,117	0,309	0,782	0,132	3486,9	10,1	4770,5
			3	0,658	0,046	0,448	0,033	0,111	0,193	0,539	0,227	2612,1	6,3	5169,7
			4	0,680	0,065	0,531	0,031	0,106	0,251	0,646	0,226	4040,6	10,0	6522,4
			M	0,735	0,058	0,531	0,041	0,114	0,245	0,642	0,231	3707,7	8,9	5732,0
			E	0,164	0,014	0,071	0,016	0,007	0,049	0,103	0,085	880,8	1,8	895,0
		30_60	1	0,730	0,046	0,440	0,035	0,122	0,284	0,618	0,156	6528,1	9,5	6123,4
		cm	2	0,543	0,037	0,400	0,033	0,129	0,322	0,747	0,211	2835,7	10,6	5394,5
			3	0,626	0,043	0,391	0,043	0,160	0,328	0,688	0,245	3427,9	8,9	7075,2
			4	0,504	0,044	0,345	0,033	0,136	0,347	0,654	0,194	3441,4	12,7	7439,1
			M	0,601	0,043	0,394	0,036	0,137	0,320	0,677	0,202	4058,3	10,4	6508,1
			E	0,100	0,004	0,039	0,005	0,017	0,026	0,055	0,037	1670,6	1,7	926,7

Annexe XXIX A : Variation du potentiel hydrique à Do Hoa

Temps	4/05/93	25/05/93	29/06/93	6/07/93	3/08/93
4h du matin	-5,5	-6,8	-5,8	-7,5	-5,3
14h	-6,5	-12,0	-12,3	-16,0	-6,3
4h du matin	-2,5	-3,8	-2,8	-4,5	-2,3
14h	-3,5	-9,0	-9,3	-13,0	-3,3
Temps	31/08/93	28/09/93	26/10/93	30/11/93	14/12/93
4h du matin	-4,2	-6,8	-6,5		
14h	-4,7	-7,0	-7,2	-7,8	-10,5
4h du matin	-1,2	-3,8	-3,5		
14h	-1,7	-4,0	-4,2	-4,8	-7,5
Temps	28/12/93	11/01/94	26/01/94	8/02/94	22/02/94
4h du matin					
14h	-9,5	-15,2	-6,2	-4,3	-4,7
4h du matin					
14h	-6,5	-12,2	-3,2	-4,3	-4,7
Temps	8/03/94				
4h du matin					
14h	-3,0				
4h du matin					
14h	-3,0				

4h du matin: mesures réalisées à 4 heure du matin

14h : mesures réalisées à 14 heure

Chaque valeur est la moyenne de 3 mesures avec la presse de membrane sur les folioles de feuilles 14.

Annexe XXIX B : Potentiel hydrique à Long An

Temps	1/03/93	4/04/93	17/05/93	28/06/93	7/07/93
4h du matin	-3,8	-1,6	-2,4	-1,8	-2,2
14h	-9,8	-3,3	-6,4	-5,5	-5,6
Temps	4/08/93	1/09/93	29/09/93	27/10/93	1/12/93
4h du matin	-2,5	-2,5	-2,5	-1,1	
14h	-3,7	-3,3	-3,4	-3,2	-3,6
Temps	15/12/93	29/12/93	12/01/94	26/01/94	9/02/94
4h du matin					
14h	-4,2	-4,2	-4,4	-3,5	-4,6
Temps	23/02/94	9/03/94			
4h du matin					
14h	-3,1	-2,7			

4h du matin: mesures réalisées à 4 heure du matin

14h : mesures réalisées à 14 heure

Chaque valeur est la moyenne de 3 mesures avec la presse de membrane sur les folioles de feuilles 14.

Annexe XXIX C : Potentiel hydrique à Binh Thanh

Temps	1/04/93	8/04/93	22/04/93	8/05/93	22/05/93
4h du matin	-2,3	-3,3	-2,4	-3,5	-4,4
14h	-5,8	-4,1	-3,8	-3,2	-6,8
Temps	11/06/93	25/06/93	9/07/93	23/07/93	6/08/93
4h du matin	-3,6	-2,7	-2,8	-3,2	-2,5
14h	-4,2	-4,0	-3,8	-3,8	-4,1
Temps	20/08/93	3/09/93	17/09/93	1/10/93	22/10/93
4h du matin	-2,9	-3,3	-3,3	-3,2	-2,5
14h	-3,9	-4,3	-3,3	-4,2	-3,0
Temps	5/11/93	19/11/93	3/12/93	17/12/93	31/12/93
4h du matin	-2,2	-1,5			
14h	-3,7	-2,2	-5,1	-4,0	-5,3
Temps	14/01/94	28/01/94	11/02/94	25/02/94	11/03/94
4h du matin					
14h	-6,6	-3,7	-3,2	-2,7	-2,0

4h du matin: mesures réalisées à 4 heure du matin

14h : mesures réalisées à 14 heure

Chaque valeur est la moyenne de 3 mesures avec la presse de membrane sur les folioles de feuilles 14.

Annexe XXX A : Conductance stomatique sur les sites de Binh Thanh, Long An et Do Hoa (mol/m²/h)

Sites	Date	Arrosé	Témoin
Binh Thanh	11/2/94	0,267	0,223
	25/2/94	0,245	0,17
	11/3/94	0,218	0,254
Long An	9/2/94		0,246
	23/2/94		0,189
	9/3/94		0,195
Do Hoa	14/2/94		0,189
	25/1/94		0,049
	16/2/94	0,014	0,008
	22/2/94	0,023	0,011
	8/3/94	0,02	0,01

A30:A: Arrosé: arrosage journalier pendant la saison sèche avec l'eau disponible dans le canal sur une distance de 10 m autour du cocotier pour obtenir une tranche d'eau de 5mm.

Témoin : non arrosé.

Chaque traitement comprend 6 cocotiers dont 3 utilisables et 3 en bordure.

Chaque valeur est la moyenne de 3 mesures réalisées sur la face inférieure de la foliole centrale de la feuille 14 avec le poromètre Delta T MK3.

Annexe XXX B Variation de la résistance stomatique à Do Hoa (14/12/93)

PG CORRECTION DELTA T														
							DELTA			CC				
DATE	ECHANTI	trou	HR	COUNT	TCUP	T°K	CUP-L	CVA	DCVA	CC et/pl f	ETALON	RMESUREE		
			40	553		273	0	4,79	0,07	214,51	-0,12	189,545558		
12h	etalon	1	70	933	33,8	306,8	0,1	36,9	0,05	1364	0,08	1478,40871	22.5	
		2	70	485	33,6	306,6	0,2	36,5	0,05	693,28	0,08	750,570306	10.9	
		3	70	288	33,9	306,9	0,2	37,1	0,05	414,49	0,08	449,506564	6.5	
		4	70	152	33,7	306,7	0,4	36,7	0,05	209,87	0,08	227,345501	2.9	a= 0,016
		5	70	82	33,9	306,9	0,5	37,1	0,05	111,61	0,08	121,035706	1.3	b=0,687
		6	70	56	33,9	306,9	0,8	37,1	0,05	71,843	0,08	77,9130082	0.4	
10h	etalon	1	70	581	33,1	306,1	0	35,6	0,05	850,96	0,08	918,648255	22.5	
		2	70	430	33,2	306,2	0,2	35,8	0,05	609,04	0,08	657,869513	10.9	
		3	70	236	33,2	306,2	0,3	35,8	0,05	328,18	0,08	354,485757	6.5	
		4	70	127	33,2	306,2	0,5	35,8	0,05	170,05	0,08	183,682219	2.9	a=0,024
		5	70	72	33,2	306,2	0,6	35,8	0,05	94,548	0,08	102,128103	1.3	b=1,726
		6	70	54	33,3	306,3	0,9	36	0,05	66,895	0,08	72,2986864	0.4	
14h	etalon	1	70	874	34	307	0,1	37,3	0,05	1283,5	0,08	1392,71129	22.5	
		2	70	488	34,1	307,1	0,2	37,5	0,05	705,48	0,08	765,961881	10.9	
		3	70	263	34,1	307,1	0,3	37,5	0,05	373,34	0,08	405,346337	6.5	
		4	70	135	34,1	307,1	0,5	37,5	0,05	184,59	0,08	200,41215	2.9	a= 0,016
		5	70	78	34,2	307,2	0,4	37,7	0,05	108,93	0,08	118,340355	1.3	b=0,7
		6	70	59	34,2	307,2	0,7	37,7	0,05	77,771	0,08	84,4860043	0.4	
								0,07	CCpIte				Rs Plte	
							DELTA				CC			

379

Exemple de calcul de la conductance stomatique à partir des mesures au poromètre Delta T MK3.

Variation de la résistance stomatique à Do Hoa (14/12/93)

DATE	ECHANTI	trou	HR	COUNT	TCUP	T°K	CUP-L	CVA	DCVA	CC et/pl/f	ETALON			
#####	F9	1	70	108	33,5	306,5	0,3	36,4	0,05	151,23	0,08	163,633634		
10h		2	70	223	33,6	306,6	0,1	36,5	0,05	324,55	0,08	351,370953	6,06322	
120.000 lux		3	70	224	33,6	306,6	0,1	36,5	0,05	326,01	0,08	352,946608	6,09815	6,08068822
	F14	1	70	102	33,5	306,5	0,5	36,4	0,05	137,54	0,08	148,824126	1,57503	
		2	70	772	33,4	306,4	0,1	36,2	0,05	1118,5	0,08	1209,51499		
		3	70	130	33,3	306,3	0	36	0,05	191,27	0,08	206,724718	2,86455	2,21979051
	F19	1	70	115	33,2	306,2	-0,1	35,8	0,05	171,79	0,08	185,557274	2,39686	
		2	70	114	33,1	306,1	0,1	35,6	0,05	164,03	0,08	177,080053	2,21076	
		3	70	97	33,2	306,2	0	35,8	0,05	142,39	0,08	153,810059	1,69147	2,09969608
12h	F9	1	70	189	33,4	306,4	0,2	36,2	0,05	268,93	0,08	290,823769	3,61592	
150.000 lux		2	70	977	33,6	306,6	-0,8	36,5	0,05	1650	0,08	1786,38218		
		3	70	298	33,2	306,2	-0,5	35,8	0,05	475,91	0,08	514,057372	6,92749	5,2717032
	F14	1	70	552	33,7	306,7	-0,2	36,7	0,05	848,21	0,08	918,824332		
		2	70	127	33,7	306,7	0,1	36,7	0,05	185,25	0,08	200,674663	2,27702	
		3	70	203	33,4	306,4	0,1	36,2	0,05	294,11	0,08	318,04604	4,01869	3,14785532
	F19	1	70	193	33,2	306,2	0,2	35,8	0,05	273,36	0,08	295,276316	3,68679	
		2	70	98	33,6	306,6	-0,1	36,5	0,05	147,71	0,08	159,919165	1,6764	
		3	70	165	33,6	306,6	-0,1	36,5	0,05	248,7	0,08	269,251655	3,2922	2,88512936
14h	F9	1	70	163	33,7	306,7	-0,1	36,7	0,05	246,23	0,08	266,732609	3,23972	
		2	70	165	33,8	306,8	-0,1	36,9	0,05	249,81	0,08	270,758902	3,29691	
		3	70	97	33,8	306,8	0,1	36,9	0,05	141,81	0,08	153,7038	1,56896	2,70186131
	F14	1	70	117	33,5	306,5	-0,4	36,4	0,05	185,05	0,08	200,228871	2,26082	

Annexe XXXIA: Croissance du cocotier pour les traitements à l'eau salée.

Traitement	Répétitions	NFV	PF de PA	PF de R1	PS de R1	PF de R2	PS de R2	CV
T	1	6,80	872,70	101,20	19,90	79,80	12,42	19,99
	2	7,00	777,00	100,80	18,96	62,90	10,17	19,20
	3	6,90	763,00	90,10	15,81	55,70	9,07	19,25
	4	7,20	950,00	114,70	21,12	91,00	14,22	20,90
	Moyenne	6,98	840,68	101,70	18,95	72,35	11,47	19,84
	Ecart-type	0,17	87,68	10,08	2,27	16,02	2,30	0,80
50/oo	1	7,50	867,50	103,70	15,21	47,20	6,29	20,75
	2	7,00	832,70	103,60	15,70	46,70	6,23	21,28
	3	6,40	761,50	95,10	13,83	43,40	6,97	20,95
	4	7,00	959,70	97,90	14,58	45,20	5,91	21,55
	Moyenne	6,98	855,35	100,08	14,83	45,63	6,35	21,13
	Ecart-type	0,45	82,38	4,28	0,81	1,71	0,45	0,35
100/oo	1	6,30	650,80	72,40	9,31	24,10	2,60	19,07
	2	5,20	456,90	52,79	7,57	11,03	1,50	17,38
	3	5,50	566,50	65,58	9,40	17,17	2,54	19,05
	4	6,00	643,60	68,18	9,96	17,05	2,46	19,65
	Moyenne	5,75	579,45	64,74	9,06	17,34	2,28	18,79
	Ecart-type	0,49	90,17	8,45	1,03	5,34	0,52	0,98
150/oo	1	5,30	398,00	37,68	4,98	4,02	0,50	16,35
	2	4,90	332,30	24,35	3,44	2,98	0,40	15,47
	3	4,75	361,13	39,74	5,47	4,84	0,67	16,79
	4	4,70	438,00	41,22	5,74	4,57	0,59	17,74
	Moyenne	4,91	382,36	35,75	4,91	4,10	0,54	16,59
	Ecart-type	0,27	45,82	7,74	1,03	0,82	0,12	0,94
200/oo	1	4,44	340,00	18,66	2,62	1,69	0,22	15,67
	2	3,80	247,80	12,34	1,66	0,35	0,05	14,32
	3	3,50	246,50	14,17	1,92	0,84	0,12	14,44
	4	4,30	335,00	20,08	2,88	1,06	0,17	15,94
	Moyenne	4,01	292,33	16,31	2,27	0,99	0,14	15,09
	Ecart-type	0,44	52,21	3,65	0,57	0,56	0,07	0,83
250/oo	1	3,80	293,20	19,17	2,49	1,09	0,13	15,05
	2	2,70	229,00	6,77	0,84	0,36	0,05	13,15
	3	2,50	202,60	7,26	0,99	0,33	0,04	13,79
	4	2,50	217,70	10,25	1,40	0,65	0,09	13,02
	Moyenne	2,88	235,63	10,86	1,43	0,61	0,08	13,75
	Ecart-type	0,62	39,88	5,75	0,75	0,35	0,04	0,93

NFV: nombre de feuilles vertes
 PF de PA: poids frais de la partie aérienne
 PF de R1: poids frais des grosses racines
 PS de R1: poids secs des grosses racines
 PF de R2: poids frais des racines fines
 PS de R2: poids secs des racines fines
 CV: circonférence du collet.

	Arbre	NFV	PF de PA	PF de R1	PS de R1	PF de R2	PS de R2	LgFo	LaFo	CV
R1	1	5,00	800,00	83,00	18,18	82,00	13,14	60,00	3,20	19,50
	2	7,00	790,00	121,00	23,27	99,00	15,97	51,50	2,00	17,50
	3	7,00	810,00	111,00	21,04	75,00	11,85	53,00	2,00	18,80
	4	6,00	880,00	130,00	24,80	114,00	17,85	49,00	2,40	20,40
	5	8,00	995,00	130,00	23,18	75,00	10,21	39,50	2,80	21,00
	6	5,00	880,00	110,00	23,30	58,00	8,42	56,00	2,70	20,50
	7	6,00	852,00	42,00	7,61	28,00	3,74	60,50	2,80	19,50
	8	8,00	910,00	100,00	19,45	85,00	13,59	63,00	2,50	20,70
	9	8,00	930,00	95,00	21,04	100,00	16,47	56,00	3,00	21,00
	10	8,00	880,00	90,00	17,18	82,00	13,02	55,00	2,50	21,00
	Moyenne	6,80	872,70	101,20	19,90	79,80	12,43	54,35	2,59	19,99
	Ecart-type	1,23	63,49	26,30	4,96	24,01	4,18	6,75	0,39	1,16
R2	1	6,00	778,00	121,00	22,84	62,00	10,55	55,00	2,30	20,00
	2	7,00	705,00	92,00	17,06	34,00	5,55	40,00	2,20	20,00
	3	7,00	940,00	149,00	28,10	75,00	12,88	42,00	2,50	21,00
	4	7,00	740,00	72,00	14,17	38,00	6,03	44,00	2,50	19,00
	5	6,00	555,00	72,00	13,78	30,00	3,99	41,00	2,30	17,00
	6	7,00	730,00	82,00	14,60	68,00	10,36	34,00	1,80	18,50
	7	8,00	1052,00	110,00	20,24	112,00	19,89	48,00	2,50	22,00
	8	6,00	660,00	100,00	18,95	72,00	11,34	45,00	2,30	18,00
	9	8,00	870,00	100,00	20,34	60,00	9,73	43,00	2,80	20,50
	10	8,00	740,00	110,00	19,44	78,00	11,40	53,00	1,80	16,00
	Moyenne	7,00	777,00	100,80	18,95	62,90	10,17	44,50	2,30	19,20
	Ecart-type	0,82	142,96	23,55	4,41	24,59	4,49	6,20	0,31	1,86
R3	1	7,00	940,00	80,00	13,19	48,00	7,97	38,00	3,10	21,00
	2	8,00	1120,00	98,00	8,74	90,00	13,80	38,00	2,80	22,50
	3	7,00	710,00	80,00	15,38	78,00	12,55	41,00	1,90	19,00
	4	6,00	630,00	79,00	12,29	42,00	5,93	43,00	1,80	17,00
	5	7,00	750,00	152,00	28,42	48,00	7,71	51,00	2,80	19,00
	6	7,00	620,00	80,00	13,91	48,00	7,41	39,00	2,00	18,50
	7	7,00	680,00	70,00	14,54	40,00	7,05	42,00	2,00	18,00
	8	7,00	750,00	72,00	15,00	54,00	9,76	40,50	2,00	21,00
	9	7,00	690,00	78,00	15,98	60,00	11,01	40,50	2,30	19,00
	10	6,00	740,00	112,00	20,80	49,00	7,53	62,00	2,20	17,50
	Moyenne	6,90	763,00	90,10	15,82	55,70	9,07	43,50	2,29	19,25
	Ecart-type	0,57	153,77	25,12	5,37	16,17	2,60	7,50	0,45	1,74
R4	1	7,00	1285,00	130,00	24,94	155,00	24,58	60,00	3,00	23,00
	2	7,00	995,00	160,00	27,90	108,00	16,38	63,00	2,50	21,50
	3	6,00	600,00	84,00	13,57	69,00	9,83	52,00	2,50	17,50
	4	7,00	1085,00	90,00	17,00	89,00	14,90	49,00	2,40	21,50
	5	7,00	850,00	104,00	20,65	86,00	14,31	68,00	1,80	22,00
	6	7,00	670,00	92,00	15,26	47,00	5,99	44,00	2,00	19,00
	7	8,00	1050,00	130,00	23,87	108,00	18,00	51,00	2,40	20,50
	8	8,00	930,00	102,00	21,36	60,00	8,52	46,00	2,60	22,00
	9	7,00	1250,00	140,00	26,72	110,00	18,33	49,00	2,70	23,00
	10	8,00	790,00	115,00	19,92	78,00	11,32	48,00	2,10	19,00
	Moyenne	7,20	950,50	114,70	21,12	91,00	14,22	53,00	2,40	20,90
	Ecart-type	0,63	228,37	24,73	4,83	30,94	5,49	7,93	0,35	1,85

NFE: nombre de feuilles vertes
 PF de PA: poids frais de la partie aérienne
 PF de R1: poids frais des grosses racines
 PF de R2: poids frais des racines fines
 PS de R1: poids sec des grosses racines
 PS de R2: poids sec des racines fines
 CV: circonférence du collet

	Arbre	NFV	PF de PA	PF de R1	PS de R1	PF de R2	PS de R2	LgFo	LaFo	CV
R1	1	8,00	1075,00	108,00	16,22	60,00	9,20	55,00	2,20	23,00
	2	7,00	890,00	108,00	17,19	62,00	8,98	52,00	2,00	20,00
	3	7,00	850,00	64,00	9,56	24,00	3,43	59,00	2,80	19,00
	4	6,00	750,00	138,00	17,82	70,00	9,07	51,50	2,00	16,80
	5	8,00	860,00	110,00	16,10	69,00	9,12	45,00	2,10	22,70
	6	8,00	830,00	100,00	16,04	30,00	3,98	49,50	2,50	22,00
	7	8,00	1070,00	115,00	17,92	42,00	5,35	52,00	2,80	22,50
	8	8,00	800,00	80,00	11,17	42,00	4,97	46,00	2,20	20,50
	9	8,00	680,00	104,00	15,84	35,00	4,54	56,00	2,50	18,50
	10	7,00	870,00	110,00	14,21	38,00	4,24	46,50	2,50	22,50
	Moyenne	7,50	867,50	103,70	15,21	47,20	6,29	51,25	2,36	20,75
	Ecart-type	0,71	124,66	19,92	2,79	16,67	2,47	4,60	0,30	2,13
R2	1	7,00	820,00	88,00	14,55	35,00	5,24	58,00	2,80	20,50
	2	6,00	920,00	105,00	14,91	50,00	6,18	38,00	2,80	23,50
	3	7,00	900,00	94,00	15,55	52,00	7,22	43,00	2,00	21,50
	4	7,00	770,00	120,00	17,05	50,00	6,93	36,00	2,60	21,00
	5	7,00	810,00	121,00	18,61	72,00	9,53	50,00	2,50	21,00
	6	7,00	710,00	52,00	7,39	28,00	3,91	48,50	2,80	19,00
	7	7,00	947,00	108,00	16,86	45,00	5,58	44,00	2,50	20,50
	8	7,00	815,00	88,00	12,89	25,00	3,45	45,50	2,50	23,00
	9	8,00	675,00	120,00	18,74	58,00	7,62	41,00	2,30	19,80
	10	7,00	960,00	140,00	20,46	52,00	6,65	47,00	3,10	23,00
	Moyenne	7,00	832,70	103,60	15,70	46,70	6,23	45,10	2,59	21,28
	Ecart-type	0,47	97,90	24,56	3,69	14,17	1,79	6,34	0,31	1,48
R3	1	6,00	540,00	78,00	11,85	35,00	5,32	48,00	2,10	18,00
	2	7,00	880,00	143,00	21,40	78,00	10,95	50,00	3,00	23,00
	3	6,00	590,00	89,00	11,97	42,00	6,16	37,00	1,80	19,00
	4	6,00	690,00	85,00	11,94	42,00	6,05	40,00	2,00	19,50
	5	7,00	900,00	110,00	14,98	60,00	8,20	8,00	1,90	24,00
	6	6,00	735,00	50,00	7,35	30,00	4,55	42,00	2,80	22,00
	7	7,00	700,00	80,00	11,89	50,00	6,59	42,00	3,00	18,50
	8	7,00	885,00	132,00	22,09	0,00	8,04	41,00	1,80	21,50
	9	6,00	880,00	79,00	10,21	58,00	8,31	47,00	2,80	22,50
	10	6,00	815,00	105,00	14,59	39,00	5,47	40,00	2,00	21,50
	Moyenne	6,40	761,50	95,10	13,83	43,40	6,97	39,50	2,32	20,95
	Ecart-type	0,52	130,58	27,75	4,68	20,78	1,91	11,80	0,51	2,06
R4	1	8,00	1300,00	150,00	22,62	50,00	6,93	50,00	2,50	23,80
	2	7,00	932,00	85,00	13,08	78,00	9,43	43,50	2,70	21,50
	3	6,00	670,00	88,00	13,12	30,00	4,31	40,00	1,60	19,50
	4	7,00	860,00	100,00	13,83	30,00	3,88	41,00	2,50	21,00
	5	7,00	1300,00	104,00	14,74	48,00	5,52	53,00	3,50	22,50
	6	7,00	880,00	80,00	12,66	40,00	4,34	41,00	2,60	21,50
	7	8,00	810,00	72,00	9,52	25,00	3,16	41,00	2,40	20,40
	8	7,00	1000,00	112,00	17,69	61,00	8,29	43,00	2,50	22,30
	9	7,00	900,00	88,00	12,33	31,00	5,69	51,00	3,00	20,50
	10	6,00	945,00	100,00	16,21	59,00	7,53	50,00	3,00	22,50
	Moyenne	7,00	959,70	97,90	14,58	45,20	5,91	45,35	2,63	21,55
	Ecart-type	0,67	200,11	21,89	3,59	17,15	2,07	5,03	0,49	1,26

	Arbre	NFV	PF de Pa	PF de R1	PS de R1	PF de R2	PS de R2	LgFo	LaFo	CV
R1	1	5,00	450,00	50,00	6,61	12,00	1,25	0,00	0,00	18,00
	2	6,00	705,00	80,00	9,29	25,00	2,42	56,00	2,50	19,00
	3	8,00	775,00	102,00	14,60	38,00	4,30	54,00	2,10	20,50
	4	5,00	328,00	42,00	3,81	10,00	0,66	0,00	0,00	16,20
	5	6,00	690,00	102,00	13,34	32,00	3,27	47,00	2,50	19,50
	6	6,00	620,00	45,00	5,56	21,00	1,94	45,00	2,10	18,50
	7	6,00	790,00	98,00	11,00	28,00	3,32	50,00	2,80	21,00
	8	7,00	600,00	100,00	13,66	21,00	2,40	56,00	2,80	20,00
	9	8,00	800,00	50,00	8,02	22,00	2,30	57,50	2,80	21,00
	10	6,00	750,00	55,00	7,19	32,00	4,16	55,00	3,00	17,00
	Moyenne	6,30	650,80	72,40	9,31	24,10	2,60	42,05	2,06	19,07
	Ecart-type	1,06	156,14	26,26	3,71	8,84	1,18	22,54	1,13	1,65
R2	1	6,00	522,00	63,74	9,47	17,05	2,20	37,00	2,20	20,00
	2	5,00	380,00	26,55	2,76	2,97	0,44	37,00	2,20	17,00
	3	6,00	535,00	62,63	8,78	15,22	2,12	0,00	0,00	19,00
	4	5,00	485,00	56,93	9,13	12,36	1,85	0,00	0,00	18,00
	5	5,00	450,00	64,08	9,55	13,34	1,78	0,00	0,00	17,00
	6	5,00	330,00	33,07	4,29	3,09	0,43	0,00	0,00	15,00
	7	5,00	415,00	37,02	5,40	8,37	1,18	0,00	2,40	18,00
	8	6,00	675,00	68,42	10,07	17,20	2,32	43,00	2,20	20,80
	9	5,00	465,00	64,50	9,21	14,81	1,92	0,00	0,00	13,00
	10	4,00	312,00	50,92	7,06	5,88	0,77	27,50	2,00	16,00
	Moyenne	5,20	456,90	52,79	7,57	11,03	1,50	14,45	1,10	17,38
	Ecart-type	0,63	107,28	15,17	2,57	5,53	0,73	19,02	1,16	2,33
R3	1	6,00	560,00	44,06	6,62	13,46	1,66	42,00	2,00	18,50
	2	4,00	455,00	45,13	6,64	14,91	2,20	34,00	2,00	17,00
	3	6,00	680,00	61,67	9,87	33,58	5,35	45,50	3,00	20,00
	4	5,00	570,00	47,24	7,04	7,09	1,15	30,00	1,50	21,00
	5	5,00	540,00	44,80	6,60	11,92	2,01	0,00	0,00	19,00
	6	6,00	500,00	73,63	9,89	8,38	1,26	0,00	0,00	18,00
	7	5,00	610,00	93,26	12,86	13,26	1,96	39,00	2,00	20,50
	8	5,00	650,00	48,90	7,03	17,45	2,52	38,00	1,50	20,50
	9	7,00	680,00	126,42	18,34	34,99	4,89	41,00	2,90	19,50
	10	6,00	420,00	70,73	9,11	16,62	2,46	36,00	1,50	16,50
	Moyenne	5,50	566,50	65,58	9,40	17,17	2,54	30,55	1,64	19,05
	Ecart-type	0,85	90,49	26,88	3,75	9,59	1,43	16,66	1,01	1,54
R4	1	6,00	660,00	83,15	13,28	33,02	4,74	47,00	2,60	19,50
	2	6,00	695,00	111,67	15,59	30,41	4,10	0,00	0,00	19,80
	3	6,00	520,00	63,97	8,61	11,08	1,40	33,00	1,50	17,40
	4	7,00	860,00	84,16	11,78	15,90	2,61	43,00	2,10	21,00
	5	7,00	885,00	115,36	16,88	29,88	4,24	54,00	2,70	22,00
	6	4,00	540,00	44,55	6,53	4,53	0,65	37,00	2,00	18,00
	7	6,00	430,00	35,72	5,92	5,96	1,10	29,00	1,50	19,00
	8	6,00	608,00	56,67	8,01	11,85	1,81	46,00	2,50	20,00
	9	6,00	568,00	34,16	5,87	7,89	1,32	40,00	2,00	18,00
	10	6,00	670,00	52,41	7,16	19,94	2,64	43,00	2,60	21,80
	Moyenne	6,00	643,60	68,18	9,96	17,05	2,46	37,20	1,95	19,65
	Ecart-type	0,82	144,27	29,37	4,11	10,72	1,46	14,91	0,81	1,60

	Arbre	NFV	PF de PA	PF de R1	PS de R1	PF de R2	PS de R2	CV
R1	1	5,00	400,00	36,16	4,78	8,32	1,07	16,00
	2	6,00	390,00	38,83	4,89	2,81	0,36	16,00
	3	5,00	400,00	39,96	7,01	4,45	0,47	18,00
	4	5,00	380,00	26,62	3,31	1,78	0,21	14,00
	5	4,00	390,00	56,62	7,78	2,70	0,35	16,00
	6	5,00	400,00	23,57	2,96	2,34	0,25	16,50
	7	6,00	460,00	45,55	5,21	7,23	0,88	17,00
	8	6,00	400,00	43,66	4,56	5,11	0,57	17,50
	9	6,00	360,00	16,59	2,59	2,02	0,30	17,00
	10	5,00	400,00	49,21	6,74	3,45	0,50	15,50
	Moyenne	5,30	398,00	37,68	4,98	4,02	0,50	16,35
	Ecart-type	0,67	25,30	12,31	1,76	2,25	0,28	1,13
R2	1	5,00	368,00	39,71	5,06	4,15	0,48	15,50
	2	6,00	400,00	53,71	8,25	5,32	0,70	15,40
	3	7,00	548,00	40,05	5,43	4,54	0,69	20,00
	4	6,00	290,00	9,75	1,90	1,86	0,26	15,80
	5	5,00	290,00	23,02	2,90	2,03	0,22	13,00
	6	5,00	370,00	11,18	1,35	3,82	0,46	17,00
	7	5,00	340,00	24,03	3,44	3,48	0,51	16,00
	8	4,00	270,00	5,33	0,59	0,34	0,05	14,00
	9	4,00	325,00	31,70	4,69	3,53	0,55	15,50
	10	2,00	122,00	5,01	0,80	0,77	0,11	12,50
	Moyenne	4,90	332,30	24,35	3,44	2,98	0,40	15,47
	Ecart-type	1,37	108,32	16,74	2,44	1,65	0,23	2,12
R3	1	4,00	210,00	20,16	2,46	1,97	0,24	15,20
	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	5,00	348,00	25,35	3,33	6,84	0,96	16,00
	4	4,00	280,00	18,58	2,16	1,32	0,16	16,40
	5	5,00	340,00	13,23	1,71	2,04	0,28	16,50
	6	4,00	445,00	82,71	11,89	7,45	1,08	17,50
	7	4,00	278,00	26,34	4,26	2,25	0,38	15,70
	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	9	6,00	478,00	31,45	4,35	5,38	0,67	18,50
	10	6,00	510,00	100,10	13,63	11,45	1,59	18,50
	Moyenne	4,75	361,13	39,74	5,47	4,84	0,67	16,79
	Ecart-type	2,15	179,03	33,34	4,68	3,76	0,53	7,16
R4	1	5,00	550,00	64,25	8,96	8,85	1,13	18,00
	2	4,00	380,00	33,62	5,10	7,23	0,95	17,50
	3	4,00	380,00	33,96	4,40	4,20	0,55	18,00
	4	5,00	430,00	33,03	4,17	2,90	0,34	17,50
	5	5,00	350,00	50,74	8,09	4,92	0,58	16,00
	6	4,00	440,00	36,51	4,93	3,17	0,42	18,30
	7	5,00	405,00	54,41	6,75	6,93	0,87	17,60
	8	5,00	480,00	41,91	5,90	3,41	0,45	18,50
	9	5,00	540,00	31,45	4,42	1,17	0,11	19,00
	10	5,00	425,00	32,35	4,65	2,95	0,52	17,00
	Moyenne	4,70	438,00	41,22	5,74	4,57	0,59	17,74
	Ecart-type	0,48	67,09	11,40	1,67	2,39	0,31	0,84

	Arbre	NFV	PF de PA	PF de R1	PS de R1	PF de R2	PS de R2	CV
R1	1	5,00	270,00	4,40	0,74	0,00	0,00	13,00
	2	4,00	340,00	19,56	2,68	0,95	0,16	15,50
	3	5,00	470,00	29,33	3,91	5,25	0,62	18,00
	4	4,00	280,00	21,34	2,71	1,46	0,21	14,50
	5	4,00	300,00	11,26	1,37	0,77	0,10	16,00
	6	4,00	300,00	14,27	2,08	0,30	0,07	14,00
	7	4,00	310,00	14,89	2,51	0,78	0,06	16,00
	8	5,00	400,00	24,91	3,37	3,30	0,31	17,00
	9	5,00	390,00	27,98	4,23	2,37	0,46	17,00
	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Moyenne	4,44	340,00	18,66	2,62	1,69	0,22	15,67
	Ecart-type	1,49	124,56	9,73	1,35	1,68	0,21	5,18
R2	1	4,00	220,00	10,68	1,79	0,30	0,05	12,00
	2	4,00	240,00	11,61	1,63	0,53	0,07	14,00
	3	3,00	321,00	19,59	2,76	0,26	0,03	17,20
	4	4,00	205,00	9,04	1,38	0,40	0,07	13,00
	5	4,00	260,00	14,92	1,96	0,25	0,04	16,00
	6	3,00	150,00	1,43	0,15	0,01	0,05	12,20
	7	4,00	252,00	6,92	0,81	0,05	0,03	13,80
	8	4,00	250,00	4,89	0,46	0,00	0,00	15,00
	9	4,00	310,00	13,38	1,79	0,72	0,03	16,50
	10	4,00	270,00	30,89	3,82	1,00	0,13	13,50
	Moyenne	3,80	247,80	12,34	1,66	0,35	0,05	14,32
	Ecart-type	0,42	49,58	8,32	1,08	0,32	0,04	1,79
R3	1	4,00	208,00	17,48	2,56	1,49	0,18	15,00
	2	3,00	228,00	17,27	2,73	1,29	0,26	14,00
	3	3,00	290,00	11,37	1,48	0,33	0,07	15,00
	4	3,00	200,00	3,65	0,39	0,00	0,00	13,50
	5	4,00	292,00	20,63	2,82	1,70	0,28	16,00
	6	2,00	191,00	5,13	0,70	0,00	0,00	12,40
	7	3,00	278,00	13,18	1,64	0,91	0,11	15,00
	8	5,00	328,00	27,12	3,66	2,63	0,33	16,00
	9	4,00	200,00	11,12	1,10	0,01	0,01	13,50
	10	4,00	250,00	14,79	2,08	0,00	0,00	14,00
	Moyenne	3,50	246,50	14,17	1,92	0,84	0,12	14,44
	Ecart-type	0,85	48,12	7,00	1,04	0,92	0,13	1,16
R4	1	3,00	250,00	17,57	2,60	0,59	0,09	15,00
	2	4,00	370,00	28,57	3,53	0,99	0,15	16,40
	3	5,00	260,00	25,03	3,59	0,94	0,16	14,50
	4	4,00	370,00	22,68	3,57	1,99	0,33	16,00
	5	4,00	450,00	25,20	4,05	1,25	0,22	17,50
	6	5,00	300,00	20,60	3,17	0,71	0,08	16,00
	7	5,00	380,00	26,54	3,84	1,94	0,34	16,00
	8	4,00	300,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00
	9	5,00	390,00	22,50	2,86	1,55	0,20	17,00
	10	4,00	280,00	12,17	1,64	0,61	0,12	16,00
	Moyenne	4,30	335,00	20,08	2,88	1,06	0,17	15,94
	Ecart-type	0,67	65,87	8,49	1,23	0,63	0,11	0,92

	Arbre	NFV	PF de PA	PF de R1	PS de R1	PF de R2	PS de R2	CV
R1	1	4,00	319,00	33,02	4,75	2,35	0,33	15,00
	2	4,00	319,00	18,10	2,26	0,60	0,07	15,00
	3	3,00	290,00	12,16	1,63	0,24	0,05	14,00
	4	4,00	250,00	11,58	1,37	0,80	0,10	16,00
	5	4,00	311,00	45,34	6,04	2,25	0,29	14,50
	6	3,00	205,00	6,65	0,84	0,84	0,01	13,00
	7	4,00	260,00	10,27	1,05	0,90	0,10	15,00
	8	4,00	400,00	20,50	2,44	2,04	0,26	17,00
	9	4,00	308,00	10,18	1,31	0,19	0,04	16,50
	10	4,00	270,00	23,89	3,18	0,65	0,08	14,50
	Moyenne	3,80	293,20	19,17	2,49	1,09	0,13	15,05
	Ecart-type	0,42	52,25	12,14	1,71	0,82	0,12	1,19
R2	1	3,00	240,00	6,72	0,94	0,27	0,05	14,50
	2	2,00	140,00	2,59	0,40	0,00	0,00	12,60
	3	4,00	230,00	3,96	0,50	0,44	0,04	13,60
	4	4,00	310,00	11,76	1,34	0,85	0,10	15,00
	5	2,00	150,00	9,65	1,15	0,76	0,10	10,00
	6	2,00	210,00	4,15	0,45	0,00	0,00	12,60
	7	3,00	300,00	8,39	1,07	0,32	0,04	14,00
	8	3,00	330,00	8,51	1,26	0,66	0,08	15,00
	9	2,00	190,00	4,65	0,58	0,30	0,05	12,20
	10	2,00	190,00	7,29	0,72	0,00	0,00	12,00
	Moyenne	2,70	229,00	6,77	0,84	0,36	0,05	13,15
	Ecart-type	0,82	66,24	2,90	0,36	0,31	0,04	1,58
R3	1	3,00	205,00	0,50	0,06	0,03	0,01	15,40
	2	3,00	260,00	3,63	0,54	0,12	0,07	15,00
	3	1,00	140,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,00
	4	2,00	160,00	0,63	0,01	0,01	0,00	13,00
	5	2,00	238,00	13,61	1,87	1,28	0,15	14,00
	6	3,00	245,00	20,76	2,87	0,93	0,14	14,50
	7	4,00	210,00	13,46	1,93	0,71	0,03	13,80
	8	3,00	240,00	3,62	0,44	0,00	0,01	14,20
	9	3,00	220,00	16,41	2,17	0,24	0,04	14,00
	10	1,00	108,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00
	Moyenne	2,50	202,60	7,26	0,99	0,33	0,04	13,79
	Ecart-type	0,97	50,32	7,93	1,10	0,47	0,06	1,24
R4	1	3,00	300,00	2,72	0,35	0,00	0,00	16,00
	2	2,00	210,00	8,35	1,03	0,79	0,14	13,50
	3	2,00	190,00	5,59	0,73	0,00	0,00	13,50
	4	2,00	282,00	7,01	0,89	0,29	0,05	14,50
	5	5,00	350,00	43,79	5,78	4,21	0,48	16,00
	6	4,00	240,00	10,78	1,37	0,03	0,02	15,00
	7	3,00	215,00	7,20	0,80	0,00	0,00	14,50
	8	3,00	240,00	20,10	3,06	1,20	0,17	13,80
	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	10	1,00	150,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,40
	Moyenne	2,50	217,70	10,55	1,40	0,65	0,09	13,02
	Ecart-type	1,43	95,58	13,05	1,77	1,32	0,15	4,68

Annexe XXXIIA: Nombre de feuilles nécrosées aux différents niveaux

Traitement	Répétitions	Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Témoïn	R1	0	2,55	1,71	2,00
	R2	0	4,17	1,33	1,00
	R3	0	4,08	1,60	1,25
	R4	0	4,17	1,35	1,00
	Moyenne	0	3,74	1,50	1,31
	Ecart-type	0	0,80	0,19	0,47
50/00	R1	0	2,55	2,00	0,00
	R2	0	3,67	1,00	0,00
	R3	0	2,92	1,00	0,00
	R4	0	3,67	1,00	0,00
	Moyenne	0	3,20	1,25	0,00
	Ecart-type	0	0,56	0,50	0,00
100/00	R1	0	2,82	0,00	1,50
	R2	0	2,75	1,50	1,00
	R3	0	3,09	2,00	1,00
	R4	0	2,75	1,50	1,00
	Moyenne	0	2,85	1,25	1,13
	Ecart-type	0	0,16	0,87	0,25
150/00	R1	0	1,82	1,60	1,00
	R2	0	3,52	1,78	1,67
	R3	0	2,30	1,38	1,57
	R4	0	3,25	1,78	1,67
	Moyenne	0	2,72	1,64	1,48
	Ecart-type	0	0,80	0,19	0,32
200/00	R1	0	2,09	1,75	1,22
	R2	0	1,91	2,00	1,60
	R3	0	2,17	1,33	1,17
	R4	0	1,91	2,00	1,60
	Moyenne	0	2,02	1,77	1,40
	Ecart-type	0	0,13	0,32	0,23
250/00	R1	0	1,91	1,60	1,36
	R2	0	1,55	1,43	1,40
	R3	0	1,89	1,38	1,67
	R4	0	1,55	1,43	1,40
	Moyenne	0	1,73	1,46	1,46
	Ecart-type	0	0,20	0,10	0,14

Niveau 1: extrémité des folioles nécrosées

Niveau 2: taches de nécroses s'étendant sur le limbe

Niveau 3: taches coalescentes (tissus entièrement nécrosés)

Annexe XXXIIB : Pourcentage de feuilles nécrosées aux différents niveaux dans les traitements

	Témoin	50/00	100/00	150/00	200/00	250/00
Niveau 1	53,6	45,8	49,6	55,4	50,4	60,1
Niveau 2	21,5	17,9	21,7	33,4	44,1	50,7
Niveau 3	18,8	0,0	19,7	30,1	34,9	50,7

Niveau 1: extrémité des folioles nécrosées- Niveau 2: taches de nécroses s'étendent sur le limbe- Niveau 3: taches coalescentes (tissus entièrement nécroses)

Annexe XXXIII : Analyses des grosses racines dans les traitements à l'eau salée

Répétitions	Traitement	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	SiO2
		%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Témoin	1	0,929	0,14	1,222	0,044	0,092	0,554	1,193	0,066	14,8	551,0	3,5	21,1	11,9	999,7	0,12
	2	0,929	0,128	1,181	0,043	0,095	0,496	1,101	0,068	5,8	488,7	3,0	17,3	10,8	1028,3	0,35
	3	1,107	0,194	1,077	0,076	0,1	0,753	1,428	0,127	11,8	973,2	29,5	29,5	33,1	1535,6	0,53
	4	0,97	0,193	1,254	0,041	0,081	0,622	1,231	0,078	5,5	439,4	4,3	4,3	12,6	922,8	0,42
	Moyenne	0,984	0,164	1,184	0,051	0,092	0,606	1,238	0,085	9,5	613,1	10,1	18,1	17,1	1121,6	0,355
	Ecart-type	0,084	0,035	0,077	0,017	0,008	0,111	0,138	0,029	4,6	244,4	13,0	10,5	10,7	279,6	0,173
50/00	1	1,036	0,153	1,229	0,037	0,09	2,346	3,636	0,083	8,6	497,8	5,0	10,2	15,3	961,1	0
	2	0,82	0,124	1,018	0,029	0,085	2,038	3,437	0,091	14,7	418,6	3,8	5,1	12,6	804,9	0,1
	3	0,956	0,154	1,213	0,036	0,087	2,215	3,35	0,087	7,5	510,6	5,5	5,5	14,9	852,0	0,13
	4	0,82	0,153	1,124	0,031	0,086	2,06	3,285	0,089	6,7	478,7	4,7	4,7	11,2	996,6	0,4
	Moyenne	0,908	0,146	1,146	0,033	0,087	2,165	3,427	0,088	9,4	476,4	4,8	6,4	13,5	903,7	0,158
	Ecart-type	0,107	0,015	0,097	0,004	0,002	0,144	0,153	0,003	3,6	40,7	0,7	2,6	1,9	90,1	0,171
100/00	1	1,253	0,164	1,237	0,03	0,091	3,07	4,7	0,101	17,4	421,0	5,6	7,3	13,9	600,7	0
	2	0,979	0,156	1,183	0,025	0,094	2,559	4,279	0,094	9,0	471,9	5,4	8,1	16,0	827,9	0
	3	1,127	0,192	1,474	0,035	0,1	2,914	4,565	0,1	8,5	350,4	5,5	5,5	16,3	574,4	0
	4	1,175	0,171	1,268	0,033	0,103	2,688	4,198	0,107	8,9	1172,5	6,2	6,2	21,0	1490,0	0,73
	Moyenne	1,134	0,171	1,291	0,031	0,097	2,808	4,436	0,101	11,0	604,0	5,7	6,8	16,8	873,3	0,183
	Ecart-type	0,115	0,015	0,127	0,004	0,005	0,228	0,236	0,005	4,3	382,3	0,4	1,2	3,0	426,6	0,365

M: Moyenne- E: Ecart-type

1,2,3,4: quatre répétitions pour chaque traitement à l'eau salée

Annexe XXXIII Analyses des grosses racines dans les traitements à l'eau salée

Répétitions	Traitement	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	SiO2
		%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
15o/oo	1	1,361	0,199	1,436	0,036	0,012	3,704	5,341	0,118	9,1	769,3	6,8	9,1	17,0	1149,8	0,44
	2	1,357	0,215	1,422	0,036	0,126	3,494	5,283	0,131	10,5	880,6	7,4	7,0	17,5	1346,3	0,22
	3	1,463	0,243	1,58	0,035	0,114	3,578	5,43	0,143	9,7	811,3	9,6	9,6	18,5	1047,2	0,27
	4	1,581	0,252	1,568	0,035	0,121	3,578	5,229	0,141	10,7	916,4	9,3	9,3	22,8	1498,0	0,45
	Moyenne	1,441	0,227	1,502	0,036	0,093	3,589	5,321	0,133	10,0	844,4	8,3	8,8	19,0	1260,3	0,345
	Ecart-type	0,106	0,025	0,084	0,001	0,054	0,087	0,086	0,011	0,7	66,4	1,4	1,2	2,6	201,3	0,117
20o/oo	1	1,55	0,206	1,465	0,019	0,012	3,872	5,703	0,142	8,3	593,4	8,9	11,3	14,8	1024,0	0,28
	2	1,286	0,182	1,103	0,026	0,117	3,704	5,539	0,134	15,7	800,4	7,8	7,0	14,8	1508,3	0,12
	3	1,422	0,214	1,326	0,029	0,109	3,495	5,122	0,156	9,0	772,3	8,9	8,9	16,0	1162,7	0
	4	1,75	0,255	1,323	0,029	0,117	3,787	5,54	0,162	9,0	628,9	11,9	11,9	18,3	1023,4	0
	Moyenne	1,502	0,214	1,304	0,026	0,089	3,715	5,476	0,149	10,5	698,8	9,4	9,8	16,0	1179,6	0,100
	Ecart-type	0,197	0,030	0,150	0,005	0,051	0,162	0,248	0,013	3,5	102,8	1,8	2,3	1,6	228,7	0,133
25o/oo	1	1,55	0,229	1,439	0,025	0,134	4,292	6,251	0,192	8,9	870,3	11,0	10,9	19,5	1237,4	0,39
	2	1,477	0,219	1,389	0,023	0,124	4,337	6,184	0,175	11,0	1270,9	9,7	7,3	17,8	1866,9	0,35
	3	1,513	0,239	1,437	0,025	0,114	4,036	5,908	0,154	8,3	654,5	9,1	9,1	17,8	1017,4	0,34
	4	1,682	0,273	1,573	0,028	0,134	4,544	6,694	0,196	15,6	1727,5	12,1	12,1	23,4	1119,6	0,13
	Moyenne	1,556	0,240	1,460	0,025	0,127	4,302	6,259	0,179	11,0	1130,8	10,5	9,9	19,6	1310,3	0,303
	Ecart-type	0,089	0,023	0,079	0,002	0,010	0,209	0,326	0,019	3,3	472,7	1,3	2,1	2,6	381,8	0,117

1,2,3,4: quatre répétitions pour chaque traitement à l'eau salée

Annexe XXXIII Analyses des racines fines dans les traitements à l'eau salée

Traitement	Répétition	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	SiO2
		%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Témoin	1	0,963	0,181	1,007	0,065	0,102	0,691	1,424	0,13	6,0	948,3	27,9	20,6	31,7	1405,8	0,00
	2	1,018	0,177	1,211	0,07	0,115	0,822	1,648	0,114	5,9	829,5	10,5	21,7	30,3	1919,3	0,50
	3	1,13	0,252	1,251	0,099	0,116	0,755	1,363	0,148	7,9	1755,8	12,1	21,9	30,2	3759,7	1,10
	4	1,089	0,256	1,182	0,067	0,096	0,687	1,245	0,122	5,1	564,4	6,6	10,1	17,1	1299,9	0,41
	Moyenne	1,050	0,217	1,163	0,075	0,107	0,739	1,420	0,129	6,2	1024,5	14,3	18,6	27,3	2096,2	0,50
	Ecart-type	0,074	0,043	0,108	0,016	0,010	0,064	0,169	0,015	1,2	513,3	9,4	5,7	6,9	1141,5	0,45
50/00	1	1,065	0,123	0,567	0,039	0,129	2,021	3,101	0,164	5,6	570,7	10,1	9,5	12,5	1216,0	0,44
	2	0,945	0,148	0,596	0,058	0,146	2,028	3,15	0,174	7,1	653,0	13,9	10,1	13,7	1643,4	0,39
	3	1,097	0,153	0,635	0,043	0,13	2,016	3,086	0,174	6,6	680,5	9,7	9,5	12,8	1610,3	0,00
	4	1,045	0,191	0,608	0,043	0,139	2,104	3,014	0,198	6,9	1041,2	7,2	8,5	20,2	1771,8	0,18
	Moyenne	1,038	0,154	0,602	0,046	0,136	2,042	3,088	0,178	6,6	736,4	10,2	9,4	14,8	1560,4	0,25
	Ecart-type	0,066	0,028	0,028	0,008	0,008	0,041	0,056	0,014	0,7	208,5	2,8	0,7	3,6	239,9	0,20
100/00	1	1,167	0,144	0,664	0,041	0,181	2,619	4,251	0,188	6,6	686,8	9,4	10,5	14,8	1374,3	0,63
	2	1,134	0,182	0,738	0,039	0,17	2,525	3,965	0,206	7,0	1269,5	12,3	15,2	16,1	2065,5	0,69
	3	1,305	0,253	0,813	0,046	0,185	2,578	3,957	0,23	7,1	653,8	9,3	14,4	22,0	1277,7	0,48
	4	1,087	0,158	0,663	0,038	0,17	2,508	3,873	0,181	6,8	964,9	8,1	12,3	15,9	2143,0	0,27
	Moyenne	1,173	0,184	0,720	0,041	0,177	2,558	4,012	0,201	6,9	893,8	9,8	13,1	17,2	1715,1	0,52
	Ecart-type	0,094	0,048	0,072	0,004	0,008	0,051	0,165	0,022	0,2	286,7	1,8	2,1	3,3	452,2	0,19

Annexe XXXIII Analyses des racines fines dans les traitements à l'eau salée

Traitement	Répétition	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	SiO2
		%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
15o/oo	1	1,137	0,17	0,761	0,047	0,2	2,594	4,109	0,229	7,0	1003,0	18,1	14,8	21,7	1795,1	0,73
	2	1,335	0,235	0,823	0,044	0,238	3,064	4,694	0,233	7,8	1486,1	8,9	16,4	20,4	2198,6	0,80
	3	1,245	0,321	0,853	0,043	0,236	2,757	4,507	0,274	6,6	701,7	10,8	21,6	21,3	1000,4	
	4	1,223	0,283	0,899	0,045	0,224	2,769		0,231	5,1	1004,1	10,5	19,5	22,2	2116,0	0,33
	Moyenne	1,235	0,252	0,834	0,045	0,225	2,796	3,328	0,242	6,6	1048,7	12,1	18,1	21,4	1777,5	0,47
	Ecart-type	0,081	0,065	0,058	0,002	0,017	0,196	2,232	0,022	1,1	324,5	4,1	3,1	0,8	546,5	0,37
20o/oo	1	1,27	0,184	1,068	0,04	0,21	3,449		0,262	11,3	1203,4	16,9	19,4	24,9	2100,2	0,69
	2	1,277	0,229	0,888	0,047	0,224	3,321		0,242	8,3	1641,8	13,8	26,9	24,4	3057,7	0,85
	3	1,381	0,305	1,018	0,055	0,259	3,493		0,353	8,6	1283,6	13,0	33,3	27,7	2232,6	0,31
	4															
	Moyenne	1,309	0,239	0,991	0,047	0,231	3,421		0,286	9,4	1376,3	14,6	26,5	25,7	2463,5	0,62
	Ecart-type	0,062	0,061	0,093	0,008	0,025	0,089		0,059	1,7	233,4	2,1	7,0	1,8	518,8	0,28
25o/oo	1		0,27	1,344	0,042	0,285	4,272			11,0	1138,3	17,0	22,7	275,0	2379,8	
	2		0,286	0,844	0,029	0,268	2,623			8,0	2155,3	12,2	25,7	23,1	2336,8	0,35
	3	1,618	0,303	1,155	0,043	0,272	3,832		0,3	8,1	997,0	13,3	30,4	31,4	1711,3	0,13
	4		0,356	1,513	0,071	0,238	4,327			11,2	869,7	12,6	19,9	28,8	1627,9	
	Moyenne	1,618	0,304	1,214	0,046	0,266	3,764			9,6	1290,1	13,8	24,7	89,6	2014,0	0,12
	Ecart-type		0,037	0,287	0,018	0,020	0,792			1,8	587,2	2,2	4,5	123,7	399,5	0,17

Annexe XXXIV : Analyses foliaires dans les différents traitements de l'essai eau salée

Traitement	R	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	SiO2
		%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Témoïn	1	2,287	0,238	2,336	0,192	0,202	0,369	1,316	0,178	12,0	122,0	5,8	81,6	22,2	48,4	0,00
	2	2,285	0,242	2,185	0,161	0,168	0,391	1,263	0,164	11,5	97,5	5,1	66,9	19,8	44,7	0,00
	3	2,270	0,229	2,411	0,169	0,188	0,501	1,405	0,162	10,6	74,9	5,5	95,5	20,7	46,2	0,41
	4	2,190	0,242	2,488	0,159	0,190	0,391	1,340	0,172	12,5	82,2	5,4	105,4	18,9	51,3	0,37
	M	2,258	0,238	2,355	0,170	0,187	0,413	1,331	0,169	11,7	94,2	5,5	87,4	20,4	47,7	0,20
	E	0,046	0,006	0,129	0,015	0,014	0,060	0,059	0,007	0,8	20,8	0,3	16,8	1,4	2,9	0,23
5o/oo	1	2,109	0,219	1,714	0,148	0,191	1,032	1,895	0,146	10,8	73,2	6,3	73,5	20,7	36,7	0,00
	2	2,354	0,213	1,708	0,178	0,197	1,040	1,913	0,156	11,7	73,4	5,9	82,6	18,7	122,6	0,00
	3	2,032	0,217	1,874	0,135	0,196	1,134	1,962	0,132	20,9	59,4	5,7	70,2	17,0	51,0	0,26
	4	1,924	0,224	2,170	0,126	0,185	0,974	2,024	0,117	10,7	56,7	5,7	64,0	19,4	54,6	0,12
	M	2,105	0,218	1,867	0,147	0,192	1,045	1,949	0,138	13,5	65,7	5,9	72,6	19,0	66,2	0,10
	E	0,183	0,005	0,216	0,023	0,005	0,066	0,058	0,017	4,9	8,9	0,3	7,8	1,5	38,4	0,12
10o/oo	1	2,154	0,209	1,853	0,155	0,212	1,017	1,937	0,157	12,1	91,2	6,0	81,9	19,1	47,4	0,00
	2	2,360	0,200	1,826	0,156	0,223	0,928	1,960	0,144	11,1	73,8	5,4	72,2	17,9	82,9	0,00
	3	2,150	0,203	1,776	0,151	0,241	0,968	1,813	0,145	11,3	95,1	5,9	80,1	16,3	68,1	0,39
	4	2,236	0,193	1,790	0,159	0,249	0,927	1,812	0,142	11,3	99,4	5,6	74,6	17,3	79,6	0,73
	M	2,225	0,201	1,811	0,155	0,231	0,960	1,881	0,147	11,5	89,9	5,7	77,2	17,7	69,5	0,28
	E	0,098	0,007	0,035	0,003	0,017	0,043	0,079	0,007	0,4	11,2	0,3	4,6	1,2	16,0	0,35
15o/oo	1	2,326	0,200	1,804	0,180	0,230	0,873	1,825	0,157	12,8	109,1	5,7	94,1	19,5	60,2	0,00
	2	2,292	0,194	1,920	0,146	0,196	0,962	1,648	0,155	10,9	75,7	6,1	79,3	18,2	40,3	0,68
	3	2,256	0,184	1,706	0,170	0,229	1,137	1,916	0,15	13,9	104,8	5,0	97,0	17,8	96,8	0,50
	4	2,258	0,234	2,051	0,163	0,254	0,895	1,885	0,13	12,9	76,9	7,4	75,8	18,2	49,6	0,51
	M	2,283	0,203	1,870	0,165	0,227	0,967	1,819	0,148	12,6	91,6	6,1	86,6	18,4	61,7	0,42
	E	0,033	0,022	0,149	0,014	0,024	0,120	0,120	0,012	1,3	17,8	1,0	10,6	0,7	24,8	0,29
20o/oo	1	2,168	0,194	1,930	0,122	0,160	1,069	1,819	0,15	0,0	71,4	6,4	78,9	18,1	62,8	0,00
	2	2,225	0,214	2,298	0,123	0,171	1,044	1,974	0,138	10,8	90,5	7,6	66,9	20,9	54,4	0,44

Annexe XXXIV Analyses foliaires dans les différents traitements de l'essai eau salée

	3	2,150	0,216	2,224	0,154	0,197	0,954	1,815	0,14	15,4	84,4	7,1	96,9	19,8	64,2	0,24
	4	2,130	0,193	1,990	0,123	0,178	0,979	1,744	0,138	11,6	84,7	5,8	73,8	17,6	50,7	0,47
	M	2,168	0,204	2,111	0,131	0,177	1,012	1,838	0,142	9,5	82,8	6,7	79,1	19,1	58,0	0,29
	E	0,041	0,012	0,178	0,016	0,016	0,054	0,097	0,006	6,6	8,1	0,8	12,8	1,5	6,5	0,22
25o/oo	1	2,192	0,203	2,102	0,117	0,146	1,006	1,918	0,146	12,6	89,5	6,4	72,5	19,5	137,1	0,00
	2	2,184	0,206	2,206	0,167	0,183	1,131	2,109	0,154	15,9	82,6	6,3	60,3	21,6	81,1	0,35
	3	2,086	0,212	2,340	0,168	0,177	1,120	1,938	0,159	17,5	74,2	6,2	97,2	19,9	67,3	0,28
	4	2,090	0,206	2,213	0,139	0,179	0,850	1,806	0,14	11,9	77,5	6,3	81,4	19,3	49,8	0,31
	M	2,138	0,207	2,215	0,148	0,171	1,027	1,943	0,150	14,5	81,0	6,3	77,9	20,1	83,8	0,24
	E	0,058	0,004	0,097	0,025	0,017	0,131	0,125	0,008	2,7	6,7	0,1	15,5	1,0	37,8	0,16

M: Moyenne- E: Ecart-type

Annexe XXXV: Variations moyennes du potentiel hydrique pour tous les traitements à la fin de l'essai.

Traitement	Témoin	5o/oo	10o/oo	15o/oo	20o/oo	25o/oo
8 heures	-2,0	-1,8	-1,8	-2,0	-3,0	-4,0
	-2,0	-2,0	-2,0	-3,0	-4,0	-3,0
	-1,8	-2,0	-2,0	-2,5	-3,0	-4,0
Moyenne	-1,9	-1,9	-1,9	-2,5	-3,3	-3,7
Ecart- type	0,12	0,12	0,12	0,50	0,58	0,58
10 heures	-2,0	-3,0	-3,0	-3,0	-4,0	-4,0
	-3,0	-3,0	-3,0	-4,0	-4,0	-5,0
	-3,0	-2,8	-4,0	-4,0	-5,0	-5,0
Moyenne	-2,7	-2,9	-3,3	-3,7	-4,3	-4,7
Ecart- type	0,58	0,12	0,58	0,58	0,58	0,58
12 heures	-3,0	-3,0	-4,0	-4,0	-5,0	-5,0
	-4,0	-4,0	-4,0	-5,0	-5,0	-6,0
	-4,0	-4,0	-5,0	-5,0	-6,0	-6,0
Moyenne	-3,7	-3,7	-4,3	-4,7	-5,3	-5,7
Ecart- type	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
14 heures	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-5,0	-5,0
	-4,0	-4,0	-4,0	-5,0	-5,0	-6,0
	-4,0	-5,0	-5,0	-5,0	-6,0	-6,0
Moyenne	-4,0	-4,3	-4,3	-4,7	-5,3	-5,7
Ecart- type	0,00	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
16 heures	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-4,0	-5,0
	-3,0	-3,0	-3,0	-4,0	-4,0	-5,0
	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-5,0	-4,0
Moyenne	-3,3	-3,3	-3,3	-3,7	-4,3	-4,7
Ecart- type	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58

Résultats exprimés en bars. Chaque valeur est la moyenne de 9 mesures.

**Annexe XXXVI : Variations de la conductance stomatique pour les traitements.
Résultats exprimés en mol/m²/s.**

	8H	10h	12H	14H	16H
Témoin	0,1098	0,1164	0,0336	0,0470	0,1262
5°/°°	0,0836	0,0523	0,0066	0,0165	0,0516
10°/°°	0,0387	0,0437	0,0068	0,0108	0,0365
15°/°°	0,0490	0,0284	0,0026	0,0055	0,0134
20°/°°	0,0223	0,0149	0,0062	0,0062	0,0122
25°/°°	0,0233	0,0101	0,0035	0,0090	0,0156

Chaque valeur est la moyenne de 4 mesures sur la face inférieure de la foliole centrale de la feuille 1 de 4 cocotiers avec le poromètre Delta T MK3.

Annexe XXXVII La transpiration des plantes dans les traitements Unité exprimé en kg

Témoin	1	1,10	0,77	1,08	1,00	1,15	Moyenne
	2	0,53	0,41	0,51	0,54	0,54	
	3	0,66	0,40	0,76	0,64	0,68	
	4	0,44	0,35	0,41	0,43	0,51	
	Moyenne	0,74	0,48	0,69	0,65	0,72	0,66
	Ecart-type	0,26	0,03	0,30	0,01	0,05	
5°/°	1	0,49	0,24	0,26	0,39	0,29	
	2	0,36	0,23	0,20	0,34	0,29	
	3	0,38	0,33	0,33	0,25	0,35	
	4	0,30	0,26	0,24	0,17	0,19	
	Moyenne	0,38	0,27	0,26	0,29	0,28	0,29
	Ecart-type	0,08	0,04	0,05	-0,06	0,00	
10°/°	1	0,28	0,19	0,15	0,10	0,19	
	2	0,18	0,11	0,11	0,10	0,08	
	3	0,28	0,27	0,24	0,13	0,28	
	4	0,45	0,15	0,19	0,11	0,16	
	Moyenne	0,30	0,18	0,17	0,11	0,18	0,19
	Ecart-type	0,11	0,05	0,06	0,01	0,05	
15°/°	1	0,21	0,11	0,14	0,10	0,14	
	2	0,20	0,15	0,13	0,05	0,05	
	3	0,22	0,08	0,18	0,06	0,17	
	4	0,19	0,06	0,09	0,10	0,09	
	Moyenne	0,21	0,10	0,14	0,08	0,11	0,13
	Ecart-type	0,01	-0,03	0,04	0,02	0,04	
20°/°	1	0,17	0,07	0,08	0,08	0,11	
	2	0,11	0,11	0,05	0,06	0,06	
	3	0,18	0,11	0,05	0,06	0,08	
	4	0,16	0,04	0,10	0,07	0,07	
	Moyenne	0,16	0,08	0,07	0,07	0,08	0,09
	Ecart-type	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	
25°/°	1	0,09	0,01	0,02	0,02	0,05	
	2	0,10	0,03	0,04	0,05	0,04	
	3	0,11	0,08	0,04	0,05	0,07	
	4	0,07	0,03	0,04	0,02	0,05	
	Moyenne	0,09	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05
	Ecart-type	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	

Les mesures ont été réalisées pendant 15 jours. Le sac expérimental contenant le cocotier a été arrosé à saturation en fin de la journée et drainé pendant une heure. Ensuite ce sac a été enfermé dans un second sac polystyrène pour éviter l'évaporation. Puis tout l'ensemble est pesé après 48 heures sans arrosage. On recommence la même manipulation cinq fois. Chaque traitement a été appliqué à 4 cocotiers. La perte d'eau est la différence entre la première pesée et la dernière.

Annexe XXXVIII: Surface mesurée et estimée dans l'essai eau salée

Critères		Témoïn	50/00	100/00	150/00	200/00	250/00
S mesurées	R1	4354,39	3356,34	2713,17	1250,49	1633,41	571,46
cm2	R2	3733,66	3353,9	3403,66	2250,49	923,41	837,8
	R3	4259,76	4481,71	1610,98	1639,27	2125,61	729,27
	M	4115,94	3730,65	2575,94	1713,42	1560,81	712,84
S estimées	R1	5307,4	4186,71	3193,3	1586,03	2031,88	651,75
	R2	4787,89	4079,69	4245,56	3021,3	913,95	1023,5
	R3	5329,1	5915,62	2048,12	1979,48	2450,2	802,1
	M	5141,46	4727,34	3162,33	2195,60	1798,68	825,78
Poids sec/feuille	R1	32,43	24,24	24,36	10,66	13,26	3,94
	R2	26,59	27,11	23,47	20,53	5,08	6,15
	R3	35,06	33,46	13,06	10,43	14,96	4,97
	M	31,36	28,27	20,30	13,87	11,10	5,02
Poids total des feuilles	R1	120,278	100	57	42	35	22
	R2	124,486	122	85	75	47	22
	R3	105,216	140	70	35	38	20
	M	116,66	120,67	70,67	50,67	40,00	21,33
Perte de l'eau moyenne	g	660	290	190	130	90	50

Annexe XXXIX: Variation de la photosynthèse du cocotier dans les différents traitements.

Date	Echantillon	Numéro	Temps (minutes)	E mol/m ² /s	Amax μmol/m ² /s	Gs mol/m ² /s
28/06/94	DH1F1	26	50	0,0001	0,412996	0,007201
		27	52	0,00012	0,608307	0,008453
		28	54	0,00013	0,807172	0,009153
		30	58	0,00015	1,028929	0,010613
		33	64	0,00018	1,167873	0,012346
		35	68	0,00018	1,282404	0,012299
		36	70	0,00018	1,220686	0,012232
		37	72	0,00018	1,296347	0,012973
		40	78	0,0002	1,310371	0,013533
		44	86	0,00021	1,439007	0,014229
		45	88	0,00022	1,567522	0,014868
		47	92	0,00021	1,571117	0,014179
		49	96	0,00021	1,553499	0,01411
		50	98	0,0002	1,442604	0,013474
		52	102	0,00023	1,590373	0,015593
		53	104	0,00023	1,933771	0,015506
				54	106	0,00022
		55	108	0,00022	1,585139	0,014864
			Moyenne	0,00018722	1,30751817	0,01280328
Couper	la foliole	1	0	0,00026	2,728232	0,02227
		3	4	0,00011	2,349428	0,009538
		4	6	0,0001	2,590776	0,008809
		5	8	0,0001	1,985675	0,017962
		6	10	0,00009	3,010273	0,007587
		8	14	0,0002	2,25933	0,017145
		9	16	0,00013	2,161749	0,011022
		13	24	0,00015	1,671984	0,012723
		23	44	0,00017	1,320973	0,013994
		24	46	0,00029	1,326999	0,024439
		26	50	0,00113	0,590552	0,107158
		27	52	0,00126	0,79758	0,120773
		28	54	0,00122	0,934922	0,116184
		29	56	0,00129	1,180039	0,124564
		32	62	0,00044	1,224671	0,039223
		33	64	0,00032	0,759855	0,027196
		34	66	0,00038	1,024568	0,032401
35	68	0,00058	0,703419	0,050474		
36	70	0,00032	1,578066	0,026758		
37	72	0,00036	0,868056	0,03026		
38	74	0,00048	0,7757	0,040748		
39	76	0,00021	0,881219	0,017237		

Les mesures ont été réalisées sur deux cocotiers ramenés du Viet Nam sur sol sulfaté acide et salé. Ces cocotiers ont été désalés pendant 1 mois avec de l'eau douce dans une serre au laboratoire.

Photosynthèse du cocotier à Long An et sa variation après avoir coupé la foliole

Date	Echantillon	Numéro	Temps (minutes)	E mol/m ² /s	Amax μmol/m ² /s	Gs mol/m ² /s
28/06/94	LA3F1	1	0	0,00035	2,142738	0,021093
		2	2	0,00058	3,188519	0,03635
		3	4	0,00091	5,348817	0,060201
		4	6	0,00107	7,619163	0,072785
		6	10	0,00101	8,232038	0,069194
		8	14	0,00089	7,256963	0,060042
		9	16	0,00094	7,246583	0,063528
		10	18	0,00102	7,963937	0,069439
		11	20	0,00109	8,608786	0,074321
		12	22	0,00113	8,762093	0,077327
		13	24	0,00113	8,803883	0,077327
		14	26	0,00111	9,04064	0,075431
		15	28	0,00106	8,85602	0,071674
		16	30	0,00106	8,48676	0,071479
		17	32	0,0011	8,640098	0,07441
		18	34	0,00115	8,887508	0,078308
		20	38	0,00117	9,657114	0,080762
		21	40	0,00115	8,749451	0,079605
		22	42	0,00111	9,420868	0,076057
		23	44	0,0012	9,260813	0,081208
		24	46	0,00119	9,452444	0,080025
		25	48	0,00125	9,633688	0,084452
		26	50	0,00127	9,898567	0,085726
		27	52	0,00127	8,989141	0,085237
		28	54	0,00122	9,915878	0,081221
		31	60	0,00115	9,069124	0,0755
			Moyenne	0,00111913	8,80224174	0,07587209
		COUPER	FOUOLE			
		1	0	0,00095	6,937603	0,056243
		2	2	0,00098	8,292407	0,060114
		3	4	0,00113	9,487466	0,070293
		5	8	0,00097	6,686455	0,057756
		7	12	0,00045	1,606254	0,025347
		9	16	0,00023	0,578382	0,012602
		10	18	0,00018	0,575397	0,009804
		12	22	0,00016	0,9374	0,008696
		13	24	0,00013	0,711804	0,00712
		16	30	0,0002	0,505681	0,010857
		17	32	0,00029	0,417681	0,015832
		19	36	0,00016	0,582585	0,008616
		20	38	0,00015	0,3009	0,00805
		21	40	0,00014	0,735851	0,007494
		22	42	0,00014	0,360141	0,007462
		23	44	0,00014	0,095758	0,007403
		24	46	0,00013	0,141113	0,006857
		26	50	0,00011	0,357007	0,005755

Les mesures ont été réalisées sur un cocotier ramené du Viet nam sur sol sulfaté acide.

Ce cocotier a été utilisé comme le témoin.

Variation d'évaporation, de photosynthèse et de conductance stomatique en fonction du séchage
du sol

Date	Echantillon	Numéro	Temps	E	A	Gs
			minutes	mol/m ² /s	μmol/m ² /s	mol/m ² /s
30/06/94	LAS1F2	4	6	0,00039	2,405524	0,029437
après 1 jour		5	8	0,0004	3,935768	0,030837
séché		6	10	0,00041	5,108307	0,031914
		7	12	0,00042	5,918988	0,032848
		8	16	0,00042	7,126384	0,033762
		10	18	0,00043	7,671108	0,034934
		12	22	0,00042	7,526388	0,032626
		15	28	0,00041	6,765552	0,03194
		16	30	0,00041	6,765524	0,031955
		17	32	0,00042	6,975791	0,03251
		18	34	0,00042	7,933992	0,032644
		19	36	0,00042	6,957517	0,032688
			Moyenne	0,00042	6,8749551	0,032782
5/07/94	LAS2F2	1	0	0,00015	1,160388	0,008265
après		3	4	0,00015	1,060129	0,008254
7 jours		4	6	0,00015	1,071277	0,008231
		5	8	0,00015	1,060127	0,008212
		6	10	0,00015	1,032276	0,008177
		7	12	0,00014	0,980229	0,007622
		8	14	0,00015	0,998868	0,008144
		9	16	0,00014	0,969044	0,007575
		11	20	0,00014	0,879896	0,00752
		12	22	0,00013	0,877959	0,006975
		13	24	0,00013	0,911329	0,006952
		14	26	0,00013	0,894662	0,006946
		15	28	0,00012	0,864762	0,006401
		16	30	0,00013	0,822218	0,006912
		21	40	0,00012	0,74197	0,002286
		22	42	0,00012	0,703244	0,006338
		23	44	0,00012	0,680983	0,006341
			Moyenne	0,00014	0,9240801	0,007127
12/07/94	LAS3 F2	4	6	0,00011	-1,489160	0,008455
après		5	8	0,00005	-1,448600	0,003833
15 jours		6	10	0,00002	-3,780600	0,001521
séchés		7	12	0,00002	-1,261060	0,00152
		9	16	0,00002	-1,305730	0,001538
		12	22	0,00008	-1,394550	0,006088
		13	24	0,00006	-1,392822	0,004715
		15	28	0,00003	-1,509910	0,002333
		16	30	0,00002	-1,394760	0,001515
		18	34	0,00002	-1,411500	0,001517
		19	36	0,00002	-1,288910	0,001517
		20	38	0,00003	-1,281460	0,002276
		24	46	0,00006	-1,437370	0,004521
		25	48	0,00009	-1,381580	0,006797
		27	52	0,00003	-1,404050	0,002245
		28	54	0,00003	-1,448610	0,002241
		29	56	0,00003	-1,370610	0,002243
		30	58	0,00003	-1,331680	0,002249
			Moyenne	4,2E-05	-1,518498	0,003174

Annexe I LA : Nombre de feuilles émises après traitement à l'engrais phosphaté dans le site de Do Hoa

Sites	Traitement	Arbre	Jan-93	Mar-93	Mai-93	Jul-93	Sep-93	Nov-93	Jan-94
Do Hoa	Témoïn	1	2	2	2	2	3	3	2
		2	2	1	1	3	2	3	2
		3	2	2	2	2	3	2	2
		Moyenne	2,0	1,7	1,7	2,3	2,5	2,7	2,0
		Ecart-type	0,0	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,0
	2kg	1	2	1	2	2	3	3	2
		2	2	1	2	3	2	2	2
		3	2	2	2	2	3	3	2
		Moyenne	2,0	1,3	2,0	2,3	2,7	2,7	2,0
		Ecart-type	0,0	0,6	0,0	0,6	0,6	0,6	0,0
	4 kg	1	3	2	2	3	3	3	2
		2	2	1	2	2	3	3	2
		3	2	2	2	2	2	3	2
Moyenne		2,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	2,0	
Ecart-type		0,6	0,6	0,0	0,6	0,6	0,0	0,0	

Annexe IL. B : Nombre de feuilles émises après traitement à l'engrais phosphaté dans le site de Long An

Sites	Traitement	Arbre	Jan-93	Mar-93	Mai-93	Jul-93	Sep-93	Nov-93	Jan-94
Do Hoa	Témoin	1	2	2	2	2	*	3	2
		2	2	1	1	3	2	3	2
		3	2	2	2	2	3	2	2
		Moyenne	2,0	1,7	1,7	2,3	2,5	2,7	2,0
		Ecart-type	0,0	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,0
	2kg	1	2	1	2	2	3	3	2
		2	2	1	2	3	2	2	2
		3	2	2	2	2	3	3	2
		Moyenne	2,0	1,3	2,0	2,3	2,7	2,7	2,0
		Ecart-type	0,0	0,6	0,0	0,6	0,6	0,6	0,0
	4 kg	1	3	2	2	3	3	3	2
		2	2	1	2	2	3	3	2
		3	2	2	2	2	2	3	2
		Moyenne	2,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	2,0
		Ecart-type	0,6	0,6	0,0	0,6	0,6	0,0	0,0

Annexe III.A : Longueur de la foliole de la feuille 14 après 12 mois de traitement à l'engrais phosphaté dans le site de Do Hoa

Sites	N° de foliole	T1	T2	T3	I1	I2	I3	II1	II2	II3
Do Hoa	1	117,0	116,5	118,5	120,0	119,0	120,5	117,0	119,0	117,0
	2	118,0	117,0	117,8	118,5	119,0	120,0	119,5	119,2	118,0
	3	116,5	117,0	118,0	118,0	120,0	119,0	118,5	119,8	118,5
	4	120,0	119,0	117,0	118,5	123,0	118,5	120,0	121,0	118,0
	5	117,0	116,5	116,6	116,0	119,0	121,0	118,0	120,6	117,5
	6	117,5	117,0	117,0	118,0	118,5	120,0	119,0	119,0	118,0
	7	116,5	116,0	116,0	117,6	119,0	119,0	118,5	120,5	118,5
	8	118,0	116,8	115,0	118,0	119,7	118,5	119,5	119,7	119,0
	9	116,0	115,8	116,0	119,0	120,0	119,5	118,0	120,0	120,5
	10	117,0	119,0	117,0	118,0	119,5	121,0	119,5	117,0	119,0
	11	116,5	116,5	118,0	117,0	123,0	118,0	119,8	118,0	120,0
	12	115,0	116,8	115,0	118,5	119,0	118,5	120,0	119,0	119,0
	Moyenne	117,1	117,0	116,8	118,1	119,9	119,5	118,9	119,4	118,6
	Ecart-type	1,2	1,0	1,2	1,0	1,5	1,0	0,9	1,1	1,0

Annexe II.B : Longueur de la foliole de la feuille 14 après 12 mois de traitement à l'engrais phosphaté dans le site de Long An

Sites	N° de foliole	T1	T2	T3	I1	I2	I3	II1	II2	II3
Long An	1	115,3	117,0	120,0	119,0	121,7	122,5	118,0	119,8	120,0
	2	118,4	112,0	118,5	120,3	119,4	119,0	117,0	121,7	121,0
	3	117,3	112,3	121,7	122,0	121,5	121,0	121,0	119,3	121,5
	4	119,0	112,2	125,0	122,9	119,0	121,2	121,0	122,0	120,2
	5	119,0	118,2	129,2	129,5	120,3	124,7	118,5	119,1	119,2
	6	119,0	115,0	118,2	121,2	125,0	123,5	120,9	124,5	119,6
	7	118,8	116,5	119,2	121,2	124,0	122,5	119,0	123,0	122,2
	8	116,0	119,0	120,5	118,2	120,0	120,0	118,0	124,0	119,2
	9	119,0	119,0	123,1	125,0	120,6	120,8	121,8	125,0	119,0
	10	119,2	121,0	122,0	118,2	120,5	121,3	127,0	124,4	123,1
	11	115,0	121,0	112,3	121,0	122,1	120,9	125,5	122,0	120,7
	12	112,5	119,5	123,0	123,8	121,0	120,3	120,0	124,7	120,0
	Moyenne	117,4	116,9	121,1	121,9	121,3	121,5	120,6	122,5	120,5
	Ecart-type	2,2	3,3	4,1	3,2	1,8	1,6	3,0	2,2	1,3

Résultats exprimés en centimètre- T: témoin-I: traitement de 2kg de P- II: traitement de 4kg de P- 1,2,3: cocotier 1, 2, 3

Annexe II.A: Largueur de la foliole de la feuille 14 , 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté dans le site de Do Hoa

N° de foliole	T1	T2	T3	I1	I2	I3	II1	II2	II3
1	5,3	5,2	5,4	5,7	5,7	4,7	6,2	5,5	5,6
2	5,0	4,6	5,4	5,8	6,0	5,3	6,0	5,8	5,6
3	5,1	5,6	5,5	6,0	5,8	4,8	6,0	5,9	5,2
4	5,2	5,6	6,5	6,0	5,9	5,3	6,0	5,4	5,3
5	5,4	6,0	6,3	6,0	5,4	5,4	6,0	5,1	5,3
6	5,5	4,5	5,5	5,9	5,6	4,9	5,9	5,3	5,5
7	5,3	5,0	6,6	6,2	5,7	5,0	6,0	5,5	5,7
8	5,1	5,3	5,7	5,9	5,6	5,3	6,2	5,6	5,7
9	5,0	5,5	6,6	6,2	5,7	5,5	5,9	5,6	5,7
10	4,9	6,1	5,3	6,0	5,6	5,3	6,0	5,6	5,6
11	4,8	6,0	5,5	6,0	5,6	4,6	6,2	5,6	5,4
12	5,0	5,3	5,6	6,2	5,9	5,0	6,0	5,5	5,1
Moyenne	5,1	5,4	5,8	6,0	5,9	5,1	6,0	5,5	5,5
Ecart-type	0,2	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2

Annexe II.B: Largeur de la foliole de la feuille 14 , 12 mois après l'apport d'engrais phosphaté dans le site de Long An

N° de foliole	T1	T2	T3	I1	I2	I3	II1	II2	II3
1	5,5	5,5	5,3	6,0	6,5	5,5	5,9	5,8	5,7
2	5,7	5,0	5,6	5,5	6,0	5,6	5,7	6,0	6,0
3	5,8	5,6	5,7	5,4	5,9	5,8	5,6	5,8	5,5
4	5,4	6,0	6,3	5,3	6,0	5,5	5,9	5,6	5,6
5	5,5	5,5	6,0	6,0	5,5	5,0	6,2	5,6	5,5
6	5,3	5,7	5,5	6,5	5,0	5,6	6,0	5,5	6,0
7	5,0	5,0	5,5	6,2	5,7	6,0	5,9	6,0	5,8
8	5,5	5,3	5,7	5,9	5,8	5,5	6,0	6,2	5,5
9	5,6	5,5	6,6	6,2	5,6	5,6	5,8	5,7	6,0
10	5,5	6,3	6,0	6,0	6,0	5,7	5,7	5,8	6,2
11	5,5	6,0	5,5	6,0	6,0	5,0	6,2	6,0	5,9
12	5,0	5,0	5,6	6,2	5,9	5,8	5,5	5,8	6,0
Moyenne	5,4	5,5	5,8	5,9	5,8	5,6	5,9	5,8	5,8
Ecart-type	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2

T: témoin- I: 2kg de P- II: 4kg de P-1,2,3: cocotier 1, 2, 3

Annexe ILIII.A : Variation de nombre de fleurs dans l'essai d'engrais phosphaté à Do Hoa.

	Temps(semaines)	0	8	16	20	24	28	32	36	40	44	48
TEMOIN	4	4	7	15	21	19	15	14	8	9	7	8
	5	1	5	8	5	7	21	19	20	17	14	9
	6	4	2	6	8	12	18	10	17	14	15	7
	Moyenne	3,0	4,7	9,7	11,3	12,7	18,0	14,3	15,0	13,3	12,0	8,0
	Ecart-type	1,7	2,5	4,7	8,5	6,0	3,0	4,5	6,2	4,0	4,4	1,0
2 KG DE P	6	1	2	6	8	12	18	10	17	14	15	14
	8	3	5	14	15	17	15	17	16	10	8	11
	9	5	7	12	18	19	18	16	15	10	14	17
	Moyenne	3,0	4,7	10,7	13,7	16,0	17,0	14,3	16,0	11,3	12,3	14,0
	Ecart-type	2,0	2,5	4,2	5,1	3,6	1,7	3,8	1,0	2,3	3,8	3,0
4 KG DE P	10	1	7	9	10	10	21	22	15	10	15	12
	11	5	8	11	28	24	32	19	20	22	23	16
	12	7	11	11	12	11	10	10	12	10	11	15
	Moyenne	4,3	8,7	10,3	16,7	15,0	21,0	17,0	15,7	14,0	16,3	14,3
	Ecart-type	3,1	2,1	1,2	9,9	7,8	11,0	6,2	4,0	6,9	6,1	2,1

Annexe ILIII.B : Variation de nombre de noix dans l'essai d'engrais phosphaté à Do Hoa.

Temps(semaines)	0	8	16	20	24	28	32	36	40	44	48
Témoin	2	3	3	8	2	4	4	3	4	3	2
	1	2	6	3	1	3	2	3	4	5	2
	2	2	3	3	5	3	2	5	1	3	1
Moyenne	1,7	2,3	4,0	4,7	2,7	3,3	2,7	3,7	3,0	3,7	1,7
Ecart-type	0,6	0,6	1,7	2,9	2,1	0,6	1,2	1,2	1,7	1,2	0,6
2 kg de P	1	3	2	3	3	4	4	2	5	6	5
	1	1	4	5	3	4	5	3	3	5	3
	2	3	7	8	5	4	6	3	3	5	5
Moyenne	1,3	2,3	4,3	5,3	3,7	4,0	5,0	2,7	3,7	5,3	4,3
Ecart-type	0,6	1,2	2,5	2,5	1,2	0,0	1,0	0,6	1,2	0,6	1,2
4 kg de P	1	3	5	7	5	4	7	6	4	7	5
	2	2	3	3	7	5	7	3	5	8	5
	3	5	4	3	5	5	7	3	3	4	7
Moyenne	2,0	3,3	4,0	4,3	5,7	4,7	7,0	4,0	4,0	6,3	5,7
Ecart-type	1,0	1,5	1,0	2,3	1,2	0,6	0,0	1,7	1,0	2,1	1,2

Annexe II.III.C : Variation de pourcentage de nouaison dans l'essai d'engrais phosphaté à Do Hoa.

Temps	0	8	16	20	24	28	32	36	40	44	48
Témoin	50,0	42,9	20,0	38,1	10,5	26,7	28,6	37,5	44,4	42,9	25,0
	100,0	40,0	75,0	60,0	14,3	14,3	10,5	15,0	23,5	35,7	22,0
	50,0	100,0	50,0	37,5	41,7	16,7	20,0	29,4	7,1	20,0	14,3
Moyenne	66,7	61,0	48,3	45,2	22,2	19,2	19,7	27,3	25,0	32,9	20,4
Ecart-type	28,9	33,8	27,5	12,8	17,0	6,6	9,0	11,4	18,7	11,7	5,5
2 kg de P	50,0	60,0	16,7	27,3	27,3	26,7	26,7	16,7	26,3	42,9	35,7
	33,3	100,0	28,6	33,3	17,6	26,7	29,4	18,8	30,0	62,5	27,3
	40,0	42,9	58,3	44,4	26,3	22,2	37,5	20,0	30,0	35,7	29,4
Moyenne	41,1	67,6	34,5	35,0	23,7	25,2	31,2	18,5	28,8	47,0	30,8
Ecart-type	8,4	29,3	21,5	8,7	5,3	2,6	5,6	1,7	2,1	13,9	4,4
4 kg de P	100,0	42,9	55,6	70,0	50,0	19,0	31,8	40,0	40,0	46,7	41,7
	20,0	25,0	27,3	10,7	29,2	15,6	36,8	15,0	22,7	34,8	31,3
	42,9	45,5	36,4	25,0	45,5	50,0	70,0	25,0	30,0	36,4	46,7
Moyenne	54,3	37,8	39,7	35,2	41,5	28,2	46,2	26,7	30,9	39,3	39,9
Ecart-type	41,2	11,1	14,4	30,9	11,0	18,9	20,7	12,6	8,7	6,5	7,9

Annexe ILIV A : Variation de nombre de fleurs dans l'essai d'engrais phosphaté à Long An.

	Temps	F11	F10	F9	F8	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F-1	F-2	F-3
	Semaines	0	4	8	12	16	20	24	26	30	34	38	42	46	48
Témoïn	1	17	18	12	12	15	8	3	8	6	5	5	5	6	6
	2	14	17	11	13	12	9	8	9	8	8	9	4	8	9
	3	14	12	9	8	12	8	11	9	9	7	9	6	9	9
	Moyenne	15	16	11	11	13	8	7	9	8	7	8	5	8	8
	Ecart-type	1,73	3,21	1,53	2,65	1,73	0,58	4,04	0,58	1,53	1,53	2,31	1,00	1,53	1,73
2kg de P	4	10	14	14	11	12	13	12	11	11	7	10	11	7	12
	5	11	13	15	14	12	11	7	10	19	9	11	5	7	11
	6	16	16	12	15	14	15	16	11	11	7	10	6	8	9
	Moyenne	12	14	14	13	13	13	12	11	14	8	10	7	7	11
	Ecart-type	3,21	1,53	1,53	2,08	1,15	2,00	4,51	0,58	4,62	1,15	0,58	3,21	0,58	1,53
4kg de P	7	17	15	17	13	11	19	20	18	12	14	9	3	14	11
	8	14	15	8	17	16	16	17	15	14	13	14	10	8	15
	9	16	17	16	19	17	17	16	12	13	12	12	14	10	14
	Moyenne	16	16	14	16	15	17	18	15	13	13	12	9	11	13
	Ecart-type	1,53	1,15	4,93	3,06	3,21	1,53	2,08	3,00	1,00	1,00	2,52	5,57	3,06	2,08

Annexe ILIV B : Variation de nombre de noix dans l'essai d'engrais phosphaté à Long An.

Temps	F11	F10	F9	F8	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F-1	F-2	F-3
Semaines	0	4	8	12	16	20	24	26	30	34	38	42	46	48
1	6	5	4	3	4	3	3	2	3	2	3	2	2	2
2	5	7	5	4	2	2	2	1	2	1	1	1	3	4
3	5	2	3	4	3	5	3	5	1	4	2	2	4	3
Moyenne	5	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3
Ecart-type	0,58	2,52	1,00	0,58	1,00	1,53	0,58	2,08	1,00	1,53	1,00	0,58	1,00	1,00
4	7	7	3	3	6	5	0	0	2	3	2	7	5	6
5	4	2	5	8	9	5	6	2	1	2	4	2	4	5
6	4	5	5	7	4	8	3	4	5	3	3	2	3	4
Moyenne	5	5	4	6	6	6	3	2	3	3	3	4	4	5
Ecart-type	1,73	2,52	1,15	2,65	2,52	1,73	3,00	2,00	2,08	0,58	1,00	2,89	1,00	1,00
7	5	7	6	3	9	3	1	8	4	7	7	3	8	6
8	2	9	0	0	3	3	7	9	8	8	9	8	4	8
9	5	7	8	4	5	6	3	3	5	9	2	7	5	7
Moyenne	4	8	5	2	6	4	4	7	6	8	6	6	6	7
Ecart-type	1,73	1,15	4,16	2,08	3,06	1,73	3,06	3,21	2,08	1,00	3,61	2,65	2,08	1,00

Annexe ILIV C : Variation de pourcentage de nouaison dans l'essai d'engrais phosphaté à Long An.

Temps	F11	F10	F9	F8	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F-1	F-2	F-3
Semaines	0	4	8	12	16	20	24	26	30	34	38	42	46	48
1	35	28	33	25	27	38	100	25	50	40	60	40	33	33
2	36	41	45	31	17	22	25	11	25	13	11	25	38	44
3	36	17	33	50	25	63	27	56	11	57	22	33	44	33
Moyenne	36	29	37	35	23	41	51	31	29	37	31	33	38	37
Ecart-type	0,24	12,27	7,00	13,09	5,36	20,33	42,66	22,74	19,71	22,52	25,63	7,52	5,61	6,42
4	70	50	21	27	50	38	0	0	18	43	20	64	71	50
5	36	15	33	57	75	45	86	20	5	22	36	40	57	45
6	25	31	42	47	29	53	19	36	45	43	30	33	38	44
Moyenne	44	32	32	44	51	46	35	19	23	36	29	46	55	47
Ecart-type	23,40	17,33	10,17	15,16	23,24	7,44	45,06	18,21	20,52	11,91	8,25	15,92	17,03	2,96
7	29	47	35	23	82	16	5	44	33	50	78	100	57	55
8	14	60	0	0	19	19	41	60	57	62	64	80	50	53
9	31	41	50	21	29	35	19	25	38	75	17	50	50	50
Moyenne	25	49	28	15	43	23	22	43	43	62	53	77	52	53
Ecart-type	9,31	9,68	25,70	12,78	33,76	10,51	18,26	17,54	12,53	12,51	32,10	25,17	4,12	2,35

Annexe ILV A : Composition de la noix dans les traitements à Do Hoa après 12 mois d'apport d'engrais phosphaté.

Do Hoa	FN	PND	Pcq	Peau	PAF	P coprah
Témoin	1150	550	150	180	220	108
	1050	520	160	140	220	112
	1100	500	140	160	200	98
Moyenne	1100	523	150	160	213	106
Ecart-type	50	25	10	20	12	7
2 kg de P	1500	850	200	340	310	136
	1750	920	210	380	330	135
	1630	850	220	300	330	142
Moyenne	1627	873	210	340	323	138
Ecart-type	125	40	10	40	12	4
4 kg de P	1650	750	170	380	240	115
	1850	800	160	470	250	128
	1740	870	230	320	230	113
Moyenne	1747	807	187	390	240	118
Ecart-type	100	60	38	75	10	8

Annexe ILV B : Composition de la noix dans les traitements à Long An après 12 mois d'apport d'engrais phosphaté.

Long An	PN	PND	PCq	Peau	PAF	P Coprah
Témoin	1450	950	210	310	430	249
	1520	950	210	330	410	242
	1500	900	200	290	410	238
Moyenne	1490	933	207	310	417	246
Ecart-type	36	29	6	20	12	6
2 kg de P	1550	900	200	260	440	255
	1500	850	180	220	450	263
	1430	950	210	300	440	242
Moyenne	1493	900	197	260	443	253
Ecart-type	60	50	15	40	6	11
4 kg de P	1650	1200	225	530	445	258
	1450	950	220	290	440	257
	1450	1100	230	410	460	258
Moyenne	1517	1083	225	410	448	258
Ecart-type	115	126	5	120	10	1

Annexe ILVI - Effet du phosphate naturel sur l'échange des ions dans le sol.

à Do Hoa

Traitement	Horizon (cm)	Ca éch.	Mg éch.	K éch.	Na éch.	pH	P total
		meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	H ₂ O	%
Témoin	0-10	3,45	5,69	1,01	13,26	4,0	0,30
	25-35	3,01	5,40	0,92	13,60	3,7	0,39
	70-80	5,27	14,15	0,85	24,55	3,3	0,22
2 kg de P	0-10	4,26	6,81	1,02	8,21	4,5	0,70
	25-35	9,97	6,60	0,89	11,13	6,7	0,43
	70-80	3,90	12,16	0,12	16,67	2,9	0,26
4 kg de P	0-10	4,27	6,50	1,05	11,57	4,0	0,88
	25-35	2,84	7,42	0,95	16,42	3,7	0,35
	70-80	3,35	16,54	0,63	29,59	3,0	0,18

à Long An

Traitement	Horizon (cm)	Ca éch.	Mg éch.	K éch.	Na éch.	pH	P total
		meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	H ₂ O	%
Témoin	0-10	0,55	0,71	0,56	0,66	3,30	0,90
	25-35	0,79	1,50	0,51	0,65	3,45	0,52
	70-80	1,33	2,86	0,51	1,84	3,00	0,30
2 kg de P	0-10	0,89	0,95	0,74	0,47	3,40	0,98
	25-35	1,27	2,17	0,55	1,15	3,50	0,47
	70-80	2,69	5,28	0,63	4,11	3,60	0,36
4 kg de P	0-10	0,93	1,60	0,74	0,19	3,40	1,75
	25-35	0,98	2,07	0,52	0,91	3,50	0,51
	70-80	1,41	4,28	0,66	4,87	3,60	0,30

Annexe ILVII

Résultats d'analyse des sols pour l'essai d'incubation après 1 mois de traitement avec les différents engrais phosphatés sur sols sulfatés acides et salés. Les éléments Ca, Mg, K, Na, Mn, Al, H échangeables et la CEC sont exprimés en meq/100 g. Le P Olsen est exprimé en ppm.

		Témoin	Engrais E	Engrais M	Super SP	LaoKay2	Ca160	Ca 300
Ca ech (meq/100)	R1	2.93	4.02	4.38	4.08	3.22	5.29	7.83
	R2	3.01	4.27	4.25	4.02	4.97	5.59	8.19
	R3	2.93	4.25	4.30	4.09	3.27	5.59	8.33
	Moy	2.96	4.18	4.31	4.06	3.82	5.49	8.12
	STD	0.05	0.14	0.07	0.04	1.00	0.17	0.26
Mg ech	R1	11.03	11.24	11.67	11.20	11.61	11.02	11.19
	R2	10.93	11.31	11.58	11.10	11.38	11.01	11.22
	R3	10.87	11.34	11.61	11.29	11.37	11.26	10.64
	Moy	10.94	11.30	11.62	11.20	11.45	11.10	11.02
	STD	0.08	0.05	0.05	0.10	0.14	0.14	0.33
K ech	R1	1.77	1.76	1.78	1.73	1.72	1.75	1.75
	R2	1.69	1.80	1.86	1.73	1.92	1.80	1.75
	R3	1.79	1.74	1.73	1.74	1.64	1.73	1.79
	Moy	1.75	1.77	1.79	1.73	1.76	1.76	1.76
	STD	0.05	0.03	0.07	0.01	0.14	0.04	0.02
Na ech	R1	15.56	15.56	15.85	15.65	16.24	15.17	15.81
	R2	14.89	15.49	15.66	15.42	15.62	15.23	15.99
	R3	15.23	15.84	15.80	15.70	15.74	15.56	15.57
	Moy	15.23	15.63	15.77	15.59	15.87	15.32	15.79
	STD	0.34	0.19	0.10	0.15	0.33	0.21	0.21
Mn ech	R1	0.03	0.01	0.05	0.05	0.05	0.02	0.01
	R2	0.03	0.01	0.05	0.05	0.07	0.01	0.01
	R3	0.03	0.01	0.05	0.05	0.04	0.01	0.01
	Moy	0.03	0.01	0.05	0.05	0.05	0.01	0.01
	STD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00
Al ech	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Moy	0.00						
	STD	0.00						
H ech	R1	0.08	0.02	0.07	0.07	0.07	0.03	0.01
	R2	0.07	0.02	0.06	0.09	0.07	0.02	0.01
	R3	0.08	0.02	0.07	0.08	0.06	0.02	0.01
	Moy	0.08	0.02	0.07	0.08	0.07	0.02	0.01
	STD	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00

S. cations	R1	31.29	32.58	33.67	32.66	32.79	33.23	36.58
	R2	30.53	32.86	33.35	32.27	33.88	33.63	37.14
	R3	30.81	33.17	33.45	32.82	32.02	34.13	36.32
	Moy	30.88	32.87	33.49	32.58	32.90	33.66	36.68
	STD	0.38	0.30	0.16	0.28	0.93	0.45	0.42

CEC	R1	22.84	24.95	23.41	23.48	23.38	24.59	26.72
	R2	23.09	24.95	23.50	22.74	24.29	24.96	26.15
	R3	22.81	24.90	23.54	22.95	23.22	24.95	26.60
	Moy	22.91	24.93	23.48	23.06	23.63	24.83	26.49
	STD	0.15	0.03	0.07	0.38	0.58	0.21	0.30

pH Eau	R1	4.95	5.50	5.00	5.00	5.00	5.40	5.85
	R2	5.05	5.50	5.05	4.90	5.45	5.50	5.85
	R3	5.00	5.55	4.95	4.95	5.05	5.50	5.95
	Moy	5.00	5.52	5.00	4.95	5.17	5.47	5.88
	STD	0.05	0.03	0.05	0.05	0.25	0.06	0.06

pH KCl	R1	4.45	4.95	4.45	4.45	4.50	4.85	5.35
	R2	4.50	5.00	4.55	4.35	4.95	5.00	5.30
	R3	4.45	5.00	4.45	4.40	4.55	4.95	5.45
	Moy	4.47	4.98	4.48	4.40	4.67	4.93	5.37
	STD	0.03	0.03	0.06	0.05	0.25	0.08	0.08

Phosphore	R1	12.89	31.09	58.73	51.49	16.42	13.10	13.18
OLSEN	R2	13.55	30.29	70.08	50.27	14.55	13.17	12.57
	R3	14.21	29.10	60.86	43.80	15.63	14.62	13.40
	Moy	13.55	30.16	63.22	48.52	15.53	13.63	13.05
	STD	0.66	1.00	6.03	4.13	0.94	0.86	0.43

Annexe ILVIII: Analyses statistiques de la variance du pH eau dans les traitements après un mois d'incubation.

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Source :	ddl :	S. des carrés :	Carré moyen :	Test-F :	Valeur P :
inter-individus	2	.026	.013	.1	.905
Intra-individus	18	2.326	.129		
facteur répété	6	2.2	.367	35	.0001
résidus	12	.126	.01		
Total	20	2.352			

Fiabilité pour- toutes les séries : -8.957 Une seule série : -.147

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Groupe :	Fréqu. :	Moy. :	Dév.Std. :	Erreur Std. :
Témoin	3	5	.05	.029
Engrais E	3	5.517	.029	.017
Engrais M	3	5	.05	.029
Super P LT	3	4.95	.05	.029
Lao Kay 2	3	5.167	.247	.142

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Groupe :	Fréqu. :	Moy. :	Dév.Std. :	Erreur Std. :
Ca 160	3	5.467	.058	.033
Ca 300	3	5.883	.058	.033

Exemple de calcul statistique de la variance entre les différents traitements pour chaque élément dans l'essai d'incubation après 1 mois et 3 mois de traitement.

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Comparaison :	Diff. Moy. :	PLSD de Fisher :	F de Scheffé :	t de Dunnett :
Témoin vs. Engrais E	-.517	.182*	6.37*	6.182
Témoin vs. Engrais M	0	.182	0	0
Témoin vs. Super P LT	.05	.182	.06	.598
Témoin vs. Lao Kay 2	-.167	.182	.663	1.994
Témoin vs. Ca 160	-.467	.182*	5.197*	5.584

* Significatif à 95%

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Comparaison :	Diff. Moy. :	PLSD de Fisher :	F de Scheffé :	t de Dunnett :
Témoin vs. Ca 300	-.883	.182*	18.62*	10.57
Engrais E vs. Engrais M	.517	.182*	6.37*	6.182
Engrais E vs. Super P LT	.567	.182*	7.663*	6.781
Engrais E vs. Lao Kay 2	.35	.182*	2.923	4.188
Engrais E vs. Ca 160	.05	.182	.06	.598

* Significatif à 95%

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Comparaison :	Diff. Moy. :	PLSD de Fisher :	F de Scheffé :	t de Dunnett :
Engrais E vs. Ca 300	-.367	.182*	3.208*	4.387
Engrais M vs. Super P LT	.05	.182	.06	.598
Engrais M vs. Lao Kay 2	-.167	.182	.663	1.994
Engrais M vs. Ca 160	-.467	.182*	5.197*	5.584
Engrais M vs. Ca 300	-.883	.182*	18.62*	10.57

* Significatif à 95%

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Comparaison : Diff. Moy. : PLSD de Fisher : F de Scheffé : t de Dunnett :

Super P LT vs. Lao Kay 2	-.217	.182*	1.12	2.593
Super P LT vs. Ca 160	-.517	.182*	6.37*	6.182
Super P LT vs. Ca 300	-.933	.182*	20.788*	11.168
Lao Kay 2 vs. Ca 160	-.3	.182*	2.148	3.59
Lao Kay 2 vs. Ca 300	-.717	.182*	12.257*	8.576

* Significatif à 95%

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Comparaison : Diff. Moy. : PLSD de Fisher : F de Scheffé : t de Dunnett :

Ca 160 vs. Ca 300	-.417	.182*	4.143*	4.986
-------------------	-------	-------	--------	-------

* Significatif à 95%

Annexe ILIX: Analyses statistiques de la variance du pH après 3 mois d'incubation

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Source :	ddl :	S. des carrés :	Carré moyen :	Test-F :	Valeur P :
inter-individus	2	,039	,019	,366	,6984
Intra-individus	18	,954	,053		
facteur répété	6	,739	,123	6,89	,0024
résidus	12	,215	,018		
Total	20	,992			

Fiabilité pour- toutes les séries : -1,73 Une seule série : -,1

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Groupe :	Fréq. :	Moy. :	Dév.Std. :	Erreur Std. :
Témoin	3	5,4	,05	,029
Engrais E	3	5,617	,144	,083
Engrais M	3	5,683	,029	,017
Engrais SP LT	3	5,767	,104	,06
Lao kay 2	3	5,7	,05	,029

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Groupe :	Fréq. :	Moy. :	Dév.Std. :	Erreur Std. :
Ca 160	3	5,967	,252	,145
Ca 300	3	5,983	,161	,093

Annexe ILIX: Analyses statistiques de la variance du pH après 3 mois d'incubation

ANOVA à un facteur avec mesures répétées		X ₁ ... X ₇		
Comparaison :	Diff. Moy. :	PLSD de Fisher :	F de Scheffé :	t de Dunnett :
Témoin vs. Engrais E	-,217	,238	,656	1,985
Témoin vs. Engrais M	-,283	,238*	1,123	2,595
Témoin vs. Engrais SP LT	-,367	,238*	1,88	3,359
Témoin vs. Lao kay 2	-,3	,238*	1,259	2,748
Témoin vs. Ca 160	-,567	,238*	4,491*	5,191

* Significatif à 95%

ANOVA à un facteur avec mesures répétées		X ₁ ... X ₇		
Comparaison :	Diff. Moy. :	PLSD de Fisher :	F de Scheffé :	t de Dunnett :
Témoin vs. Ca 300	-,583	,238*	4,759*	5,343
Engrais E vs. Engrais M	-,067	,238	,062	,611
Engrais E vs. Engrais SP LT	-,15	,238	,315	1,374
Engrais E vs. Lao kay 2	-,083	,238	,097	,763
Engrais E vs. Ca 160	-,35	,238*	1,713	3,206

* Significatif à 95%

ANOVA à un facteur avec mesures répétées		X ₁ ... X ₇		
Comparaison :	Diff. Moy. :	PLSD de Fisher :	F de Scheffé :	t de Dunnett :
Engrais E vs. Ca 300	-,367	,238*	1,88	3,359
Engrais M vs. Engrais SP ...	-,083	,238	,097	,763
Engrais M vs. Lao kay 2	-,017	,238	,004	,153
Engrais M vs. Ca 160	-,283	,238*	1,123	2,595
Engrais M vs. Ca 300	-,3	,238*	1,259	2,748

* Significatif à 95%

Annexe ILIX: Analyses statistiques de la variance du pH après 3 mois d'incubation

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Comparaison : Diff. Moy. : PLSD de Fisher : F de Scheffé : t de Dunnett :

Engrais SP ... vs. Lao kay 2	,067	,238	,062	,611
Engrais SP ... vs. Ca 160	-,2	,238	,559	1,832
Engrais SP ... vs. Ca 300	-,217	,238	,656	1,985
Lao kay 2 vs. Ca 160	-,267	,238*	,994	2,443
Lao kay 2 vs. Ca 300	-,283	,238*	1,123	2,595

* Significatif à 95%

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Comparaison : Diff. Moy. : PLSD de Fisher : F de Scheffé : t de Dunnett :

Ca 160 vs. Ca 300	-,017	,238	,004	,153
-------------------	-------	------	------	------

ILIX: Analyses statistiques de la variance du P Olsen à Do Hoa après 3 mois d'incubation

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Source :	ddl :	S. des carrés :	Carré moyen :	Test-F :	Valeur P :
inter-individus	2	25,194	12,597	,014	,9861
Intra-individus	18	16152,972	897,387		
facteur répété	6	15508,264	2584,711	48,109	,0001
résidus	12	644,708	53,726		
Total	20	16178,166			

Fiabilité pour- toutes les séries : -70,24 Une seule série : -,164

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Groupe :	Fréqu. :	Moy. :	Dév.Std. :	Erreur Std. :
Témoin	3	14,167	1,32	,762
Engrais E	3	60,1	10,36	5,981
Engrais M	3	62,783	14,701	8,488
Super P LT	3	83,5	1,249	,721
Lao Kay 2	3	25,85	1,621	,936

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X₁ ... X₇

Groupe :	Fréqu. :	Moy. :	Dév.Std. :	Erreur Std. :
Ca 160	3	12,267	,981	,567
Ca 300	3	13,033	2,146	1,239

ILIX: Analyses statistiques de la variance du P Olsen à Do Hoa après 3 mois d'incubation

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X ₁ ... X ₇				
Comparaison :	Diff. Moy. :	PLSD de Fisher :	F de Scheffé :	t de Dunnett :
Témoin vs. Engrais E	-45,933	13,041 *	9,818 *	7,675
Témoin vs. Engrais M	-48,617	13,041 *	10,998 *	8,123
Témoin vs. Super P LT	-69,333	13,041 *	22,369 *	11,585
Témoin vs. Lao Kay 2	-11,683	13,041	,635	1,952
Témoin vs. Ca 160	1,9	13,041	,017	,317

* Significatif à 95%

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X ₁ ... X ₇				
Comparaison :	Diff. Moy. :	PLSD de Fisher :	F de Scheffé :	t de Dunnett :
Témoin vs. Ca 300	1,133	13,041	,006	,189
Engrais E vs. Engrais M	-2,683	13,041	,034	,448
Engrais E vs. Super P LT	-23,4	13,041 *	2,548	3,91
Engrais E vs. Lao Kay 2	34,25	13,041 *	5,459 *	5,723
Engrais E vs. Ca 160	47,833	13,041 *	10,647 *	7,993

* Significatif à 95%

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X ₁ ... X ₇				
Comparaison :	Diff. Moy. :	PLSD de Fisher :	F de Scheffé :	t de Dunnett :
Engrais E vs. Ca 300	47,067	13,041 *	10,308 *	7,864
Engrais M vs. Super P LT	-20,717	13,041 *	1,997	3,462
Engrais M vs. Lao Kay 2	36,933	13,041 *	6,347 *	6,171
Engrais M vs. Ca 160	50,517	13,041 *	11,875 *	8,441
Engrais M vs. Ca 300	49,75	13,041 *	11,517 *	8,313

* Significatif à 95%

ILIX: Analyses statistiques de la variance du P Olsen à Do Hoa après 3 mois d'incubation

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X ₁ ... X ₇				
Comparaison :	Diff. Moy. :	PLSD de Fisher :	F de Scheffé :	t de Dunnett :
Super P LT vs. Lao Kay 2	57,65	13,041 *	15,465 *	9,633
Super P LT vs. Ca 160	71,233	13,041 *	23,612 *	11,902
Super P LT vs. Ca 300	70,467	13,041 *	23,106 *	11,774
Lao Kay 2 vs. Ca 160	13,583	13,041 *	,859	2,27
Lao Kay 2 vs. Ca 300	12,817	13,041	,764	2,142

* Significatif à 95%

ANOVA à un facteur avec mesures répétées X ₁ ... X ₇				
Comparaison :	Diff. Moy. :	PLSD de Fisher :	F de Scheffé :	t de Dunnett :
Ca 160 vs. Ca 300	-,767	13,041	,003	,128

Annexe L: Evolution des ions solubles dans les percolats (avec eau distillée).

Colonne	Semaine	S	Fe	Mg	Al	Ca	Na	K	P	Mn
		meq	µeq	µeq						
1	0,3	1,264	0,002	0,661	1,958	0,311	0,404	0,056	1,097	25,676
Témoin	2	2,967	0,032	1,477	4,553	0,669	0,92	0,133	2,608	56,198
	3	3,222	0,357	1,763	5,527	0,767	1,042	0,138	3,421	66
	4	2,859	0,776	1,442	4,16	0,642	0,699	0,113	2,561	55,385
	5	1,877	0,844	0,878	2,142	0,422	0,279	0,104	1,334	34,74
	6	1,246	1,23	0,566	1,037	0,275	0,11	0,061	1,492	22,915
	7	1,406	1,777	0,609	0,846	0,294	0,058	0,044	2,107	27,533
	Cumul	14,84	5,02	7,40	20,22	3,38	3,51	0,65	14,62	288,45
2	0,3	0,54	0,001	0,262	0,604	0,406	0,181	0,022	0,429	9,691
FN	2	4,139	0,006	1,932	4,986	3,692	1,36	0,108	3,165	66,459
	3	3,524	0,131	1,78	4,378	3,815	1,207	0,115	3,166	60
	4	3,837	1,501	1,563	3,358	3,528	0,987	0,097	2,566	56,474
	5	2,916	2,191	1,107	1,49	2,57	0,532	0,104	1,568	39,964
	6	1,729	2,597	0,627	0,248	1,528	0,211	0,061	1,501	22,465
	7	1,893	3,586	0,58	0,023	1,472	0,112	0,076	1,654	23,005
	Cumul	18,58	10,01	7,85	15,09	17,01	4,59	0,58	14,05	278,06
3	0,3	0,788	0,001	0,356	0,891	0,189	0,252	0,042	0,794	14,278
DAP	2	4,832	0,014	2,265	6,814	1,009	1,534	0,185	3,729	83,195
	3	4,065	0,219	2,042	6,062	0,9	1,281	0,171	3,658	74
	4	3,531	1,648	1,429	3,412	0,65	0,613	0,122	2,403	56,55
	5	2,268	1,866	0,903	1,273	0,431	0,22	0,124	0,892	35,178
	6	1,351	1,952	0,509	0,227	0,235	0,051	0,075	1,075	20,312
	7	1,403	2,401	0,428	0	0,184	0,023	0,064	1,332	20,312
	Cumul	18,24	8,10	7,93	18,68	3,60	3,97	0,78	13,88	303,83

Annexe L: Evolution des ions solubles dans les percolats (avec eau distillée).

4	0,3	1,468	0,002	0,771	2,403	0,359	0,499	0,056	1,503	29,948
Témoin	2	5,074	0,007	2,594	8,42	1,136	1,624	0,19	4,479	95,003
	3	3,212	0,007	1,81	5,685	0,802	0,862	0,147	3,445	66
	4	1,951	0,054	1,054	3,165	0,504	0,363	0,093	2,052	42,419
	5	1,615	0,654	0,707	1,789	0,37	0,182	0,106	0,882	30,64
	6	1,252	1,881	0,444	0,78	0,24	0,059	0,051	1,596	20,937
	7	1,5	3,547	0,383	0,289	0,189	0,024	0,035	2,05	20,752
	Cumul	16,07	6,15	7,76	22,53	3,60	3,61	0,68	16,01	305,70
5	0,3	0,168	0	0,083	0,187	0,13	0,062	0,007	0,155	3,149
FN	2	4,584	0,751	2,116	5,252	3,82	1,518	0,133	3,539	74,238
	3	4,689	4,122	1,855	3,496	3,759	1,31	0,123	3,987	66
	4	4,034	4,743	1,258	1,464	2,675	0,824	0,079	2,805	46,358
	5	2,934	3,959	0,851	0,671	1,846	0,435	0,092	1,341	30,961
	6	1,662	3,35	0,486	0,185	1,108	0,174	0,05	1,492	17,612
	7	1,655	3,114	0,405	0,011	0,969	0,097	0,025	1,666	16,83
	Cumul	19,73	20,04	7,05	11,27	14,31	4,42	0,51	14,99	255,15
6	0,3	0,406	0	0,17	0,371	0,085	0,134	0,029	0,425	7,224
DAP	2	4,651	0,82	2,161	5,916	0,967	1,484	0,188	3,381	82,814
	3	4,419	2,821	1,993	4,773	0,872	1,247	0,172	3,285	75
	4	3,27	2,732	1,246	2,206	0,56	0,519	0,113	1,925	48,921
	5	2,086	2,155	0,691	0,787	0,326	0,185	0,113	1,02	27,594
	6	1,241	2,075	0,369	0,156	0,162	0,038	0,049	1,096	15,21
	7	1,306	2,542	0,309	0	0,111	0,026	0,083	0,994	14,445
	Cumul	17,38	13,15	6,94	14,21	3,08	3,63	0,75	12,13	271,21

Annexe L: Evolution des ions solubles dans les percolats (avec eau distillée).

13	0,3	2,246	0,006	1,319	4,472	0,626	0,827	0,13	2,778	44,372
Témoin	2	6,792	0,012	4,1	12,894	1,813	2,597	0,457	7,356	132,64
50-70	3	4,759	0,019	3,149	9,155	1,371	1,759	0,383	5,197	98,819
	4	2,87	0,058	1,962	4,737	0,86	0,762	0,283	2,478	63,04
	5	1,829	0,141	1,213	2,303	0,54	0,281	0,254	1,174	38,635
	6	1,151	0,228	0,753	1,081	0,32	0,052	0,186	1,29	23,475
	7	1,142	0,446	0,738	0,802	0,289	0,003	0,22	1,577	24,213
	8	0,164	0,071	0,104	0,11	0,049	0,005	0,038	0	0
	Cumul	20,95	0,98	13,34	35,55	5,87	6,29	1,95	21,85	425,20
14	0,3	4,035	0,011	2,138	6,435	3,409	1,483	0,208	4,968	65,566
FN	2	8,367	0,015	4,334	11,809	7,864	2,927	0,46	8,662	128,88
50-70	3	3,958	0,047	2,232	4,965	3,953	1,161	0,295	3,438	65,584
	4	2,173	0,267	1,205	2,085	2,178	0,376	0,191	1,835	36,98
	5	1,365	0,443	0,715	0,94	1,293	0,127	0,18	0,289	21,57
	6	0,851	0,589	0,41	0,354	0,758	0	0,094	0,723	12,428
	7	0,937	0,821	0,425	0,216	0,782	0	0,162	0,741	13,827
	8	0,133	0,049	0,062	0,044	0,111	0,002	0,025	0	0
	Cumul	21,82	2,24	11,52	26,85	20,35	6,08	1,62	20,66	344,84
15	0,3	3,586	0,013	1,972	6,337	1,126	1,244	0,229	5,457	65,594
DAP	2	8,146	0,018	4,418	13,696	2,06	2,7	0,57	10,576	142,73
50-70	3	3,928	0,061	2,302	5,741	1,027	1,059	0,368	3,516	72,93
	4	2,113	0,538	1,142	2,124	0,512	0,269	0,23	1,71	37,936
	5	1,372	0,841	0,613	0,794	0,273	0,084	0,202	0,569	20,002
	6	0,803	0,883	0,321	0,167	0,118	0	0,106	0,686	10,526
	7	0,903	1,132	0,298	0,003	0,083	0	0,152	1,006	11,006
	8	0,448	0,488	0,149	0,057	0,069	0	0,085	0	0
	Cumul	21,30	3,97	11,22	28,92	5,27	5,36	1,94	23,52	360,72

Annexe L: Evolution des ions solubles dans les percolats (avec eau distillée).

16	0,3	2,012	0,007	1,155	4,212	0,537	0,742	0,099	2,656	38,964
Témoin	2	6,848	0,014	4,101	13,17	1,8	2,568	0,435	7,045	131,39
50-70	3	5,221	0,011	3,358	9,967	1,464	1,867	0,392	5,725	105,53
	4	2,67	0,018	1,889	4,477	0,826	0,71	0,27	2,493	60,972
	5	1,586	0,06	1,078	1,894	0,474	0,227	0,246	0,862	34,387
	6	1	0,134	0,662	0,876	0,276	0,021	0,157	1,065	20,892
	7	1,107	0,353	0,739	0,737	0,272	0,028	0,232	1,323	24,184
	8	0,178	0,067	0,118	0,123	0,049	0,011	0,04	0	0
	Cumul	20,62	0,66	13,10	35,46	5,70	6,17	1,87	21,17	416,32
17	0,3	4,407	0,01	2,307	6,903	3,724	1,604	0,224	5,392	70,334
FN	2	6,378	0,011	3,312	8,518	6,016	2,183	0,386	6,068	98,723
50-70	3	3,947	0,068	2,183	4,939	3,908	1,179	0,287	3,191	64,178
	4	2,278	0,391	1,3	2,39	2,387	0,444	0,193	2,367	39,522
	5	1,483	0,566	0,744	1,042	1,385	0,147	0,186	1,14	22,543
	6	0,935	0,648	0,446	0,432	0,85	0	0,085	0,846	13,443
	7	1,041	0,946	0,46	0,294	0,889	0	0,163	1,145	15,005
	8	0,155	0,134	0,069	0,055	0,128	0,001	0,025	0	0
	Cumul	20,62	2,77	10,82	24,57	19,29	5,56	1,55	20,15	323,75
18	0,3	4,047	0,012	2,211	7,519	1,153	1,425	0,246	7,605	72,951
DAP	2	7,242	0,015	4	11,877	1,833	2,455	0,537	9,147	128,79
50-70	3	4,33	0,084	2,45	6,314	1,088	1,097	0,38	4,227	77,401
	4	2,095	0,433	1,167	2,171	0,514	0,265	0,217	1,572	38,771
	5	1,35	0,581	0,643	0,869	0,285	0,077	0,212	0,802	21,008
	6	0,844	0,655	0,356	0,281	0,137	0	0,106	0,931	11,64
	7	0,95	0,932	0,362	0,148	0,117	0	0,19	0,953	12,712
	8	0,482	0,453	0,182	0,108	0,086	0	0,087	0	0
	Cumul	21,34	3,17	11,37	29,29	5,21	5,32	1,98	25,24	363,27

Annexe LI: Evolution des ions solubles dans les percolats (avec l'eau salée).

7	0,3	2,621	0,002	1,641	8,31	0,858	35,15	0,18	1,599	62,379
Témoin	2	6,061	0,008	3,754	25,069	2,058	98,071	0,549	4,628	143,22
0-20	3	3,419	0,221	1,618	19,187	1,083	121,57	0,359	12,464	77,863
	4	2,779	2,803	0,796	13,162	0,577	134,67	0,528	7,84	48,082
	5	2,152	4,685	0,468	9,125	0,385	145,53	0,721	5,863	27,995
	6	1,23	5,663	0,173	5,297	0,112	150,11	0,535	7,556	16,199
	7	1,511	9,604	0,069	6,198	0,023	257,83	0,879	14,685	19,008
	8	0,836	3,633	0,118	2,84	0,151	32,012	0,215	0	0
	Cumul	20,61	26,62	8,64	89,19	5,25	974,94	3,97	54,64	394,74
8	0,3	1,239	0,001	0,787	3,032	1,293	20,265	0,096	0,762	27,752
FN	2	6,428	0,16	4,086	16,728	8,57	72,306	0,444	3,389	136,2
0-20	3	5,875	0,136	4,073	21,13	10,363	93,237	0,324	14,843	149,74
	4	4,334	1,514	1,804	20,62	7,475	134,5	0,756	12,368	91,529
	5	2,387	1,414	0,33	13,082	3,285	148,02	0,909	7,39	28,276
	6	1,303	2,342	0	7,33	1,217	150,78	0,534	8,31	8,4
	7	1,401	4,792	0	8,497	0,825	258,98	1,499	15,337	6,159
	8	0,684	1,59	0,015	4,104	0,319	31,931	0,273	0	0
	Cumul	23,65	11,95	11,10	94,52	33,35	910,01	4,84	62,40	448,05
9	0,3	1,286	0,001	0,782	3,797	0,422	31,847	0,148	1,235	31,051
DAP	2	6,098	0,215	3,834	18,551	1,905	76,052	0,517	3,94	142,25
0-20	3	5,931	0,216	3,417	22,612	1,96	94,683	0,39	16,095	146,37
	4	4,945	4,364	1,561	21,604	1,385	134,62	1,05	12,342	92,888
	5	2,62	3,974	0,315	12,748	0,523	146,97	1,154	4,264	28,032
	6	1,393	4,148	0	7,096	0,061	149,72	0,684	7,543	9,477
	7	1,512	8,77	0	8,319	0	252,68	1,422	16,44	7,655
	8	0,862	4,349	0,021	3,969	0,067	36,579	0,354	0	0
	Cumul	24,65	26,04	9,93	98,70	6,32	923,15	5,72	61,86	457,72

Annexe LI: Evolution des ions solubles dans les percolats (avec l'eau salée).

10	0,3	2,222	0,002	1,36	7,596	0,712	38,855	0,209	1,724	53,141
Témoin	2	4,809	1,033	2,774	17,973	1,512	102,65	0,549	3,466	109,77
0-20	3	3,668	1,332	1,867	14,528	1,042	105,08	0,335	10,293	81,314
	4	3,642	1,084	1,936	18,523	1,181	123,59	0,99	7,736	90,09
	5	2,738	1,349	1,011	17,376	0,851	145,8	1,226	7,433	57,38
	6	1,781	2,667	0,177	10,543	0,287	156,19	0,897	9,928	22,512
	7	1,599	4,232	0	11,001	0	252,71	1,305	18,143	12,575
	8	0,739	1,775	0,017	4,747	0,082	32,24	0,351	0	0
	Cumul	21,20	13,47	9,14	102,29	5,67	957,10	5,86	58,72	426,78
11	0,3	0,603	0	0,36	1,681	0,718	26,908	0,09	0,45	13,375
FN	2	6,306	0,864	4,08	15,175	8,27	62,748	0,415	3,323	137,3
0-20	3	5,59	3,534	3,641	20,735	9,906	97,713	0,487	14,362	141,15
	4	4,075	3,036	1,445	16,205	6,077	135,58	1,212	6,807	69,775
	5	2,305	2,755	0,459	10,51	3,108	146,14	1,346	3,282	30,371
	6	1,315	3,509	0	6,394	1,333	151,48	0,981	8,537	11,488
	7	1,367	7,907	0	7,552	0,766	257,53	1,45	14,951	8,07
	8	0,662	3,019	0,019	3,126	0,288	32,656	0,365	0	0
	Cumul	22,22	24,62	10,00	81,38	30,47	910,75	6,35	51,71	411,53
12	0,3	2,478	0,004	1,631	8,169	0,855	29,325	0,209	2,759	63,022
DAP	2	5,241	2,604	2,755	16,409	1,542	111,99	0,611	3,821	112,99
0-20	3	5,422	5,469	2,725	14,718	1,59	107,19	0,444	12,037	117,71
	4	4,21	4,153	1,664	16,437	1,211	131,54	1,22	7,874	85,425
	5	2,565	2,624	0,697	12,598	0,675	143,39	1,452	4,607	41,907
	6	1,522	2,474	0,147	7,912	0,211	149,8	1,057	8,784	18,38
	7	1,629	4,003	0	9,575	0,03	256,69	1,594	14,644	15,802
	8	0,817	1,378	0,044	4,928	0,13	36,867	0,438	0	0
	Cumul	23,88	22,71	9,66	90,75	6,24	966,78	7,03	54,53	455,23

Annexe LI: Evolution des ions solubles dans les percolats (avec l'eau salée).

19	0,3	2,391	0,018	1,814	8,482	0,878	20,256	0,209	1,864	58,722
Témoin	2	8,782	0,031	6,967	34,865	3,311	87,935	0,88	6,081	213,92
50-70	3	6,643	0,026	5,722	35,139	2,777	102,68	0,85	21,971	183,4
	4	3,833	0,035	3,343	29,286	1,771	130,36	1,429	10,781	108,09
	5	1,899	0,023	1,257	18,825	0,769	140,88	1,514	7,984	41,037
	6	1,139	0,024	0,318	11,65	0,175	146,41	1,291	12,045	13,944
	7	1,179	0,036	0	14,235	0	250,59	1,017	15,108	8,088
	8	0,688	0,062	0,048	7,52	0,069	37,586	0,636	0	0
	Cumul	26,55	0,26	19,47	160,00	9,75	916,70	7,83	75,83	627,20
20	0,3	4,333	0,018	3,05	12,217	5,474	35,156	0,356	3,874	89,72
PN	2	9,846	0,026	7,702	32,346	14,617	90,064	0,885	9,611	217,83
50-70	3	5,951	0,02	4,946	29,404	10,221	117,28	0,874	19,221	147,24
	4	2,832	1,931	1,562	17,13	4,229	130,17	1,413	7,157	49,484
	5	1,562	2,785	0,412	10,323	1,558	128,88	1,461	4,721	13,759
	6	0,854	3,483	0,014	6,394	0,465	131,96	1,152	6,438	4,105
	7	0,898	5,002	0	7,759	0,1	212,59	1,162	11,086	2,617
	8	0,981	0,135	0,114	9,676	0,139	31,321	0,772	0	0
	Cumul	27,26	13,40	17,80	125,25	36,80	877,41	8,08	62,11	524,76
21	0,3	3,407	0,018	2,329	9,86	1,169	15,499	0,24	6,536	75,274
DAP	2	9,962	0,03	7,808	38,424	3,752	87,84	1,114	13,19	237,72
50-70	3	5,81	0,023	4,607	33,247	2,409	120,73	1,036	20,033	148,71
	4	2,855	2,087	1,37	18,918	0,824	136,01	1,595	6,835	48,272
	5	1,567	3,108	0,329	10,872	0,25	129,35	1,465	2,393	13,09
	6	0,832	3,097	0	6,46	0	129,48	1,156	7,018	3,951
	7	0,818	3,327	0	7,391	0	202,3	1,045	9,66	2,493
	8	0,572	2,389	0,017	4,396	0,096	31,773	0,55	0	0
	Cumul	25,82	14,08	16,46	129,57	8,50	852,98	8,20	65,67	529,50

Annexe LI: Evolution des ions solubles dans les percolats (avec l'eau salée).

22	0,3	0,526	0,003	0,371	1,728	0,178	3,02	0,037	0,443	12,38
Témoin	2	8,539	0,027	7,086	34,799	3,325	72,761	0,859	6,112	216,4
50-70	3	6,327	0,025	5,549	35,309	2,758	100,13	0,979	22,66	177,34
	4	3,262	0,03	2,784	28,024	1,556	131,12	1,732	12,358	91,189
	5	0,755	0,018	0,436	8,183	0,294	82,994	0,951	2,844	15,145
	6	0,466	0,019	0,095	5,134	0,048	93,193	0,829	4,68	5,632
	7	0,578	0,054	0,044	6,645	0,017	90,202	0,598	6,18	4,623
	8	0,133	0,381	0,004	1,054	0,008	7,573	0,126	0	0
	Cumul	20,59	0,56	16,37	120,88	8,18	580,99	6,11	55,28	522,71
23	0,3	4,299	0,016	3,09	12,454	5,285	34,606	0,342	4,206	90,118
FN	2	9,245	0,018	6,908	29,668	13,343	93,565	0,884	8,113	195,76
50-70	3	6,586	0,135	5,5	30,324	11,213	118,47	0,991	20,928	162,87
	4	2,539	1,415	1,637	17,006	4,309	127,9	1,58	6,586	51,453
	5	1,487	2,198	0,383	10,891	1,483	134,53	1,691	2,779	13,182
	6	0,857	2,922	0	7,021	0,359	140,48	1,514	7,156	3,55
	7	0,78	4,492	0	7,068	0	193,68	1,089	9,156	1,873
	8	0,58	2,26	0,014	4,618	0,072	33,658	0,597	0	0
	Cumul	26,37	13,46	17,53	119,05	36,06	876,89	8,69	58,92	518,80
24	0,3	4,165	0,024	2,923	13,156	1,582	35,063	0,397	9,725	92,733
DAP	2	9,407	0,038	7,364	35,565	3,579	87,448	1,051	14,077	227,61
50-70	3	5,899	0,117	4,644	33,174	2,461	119,07	1,136	22,497	149,51
	4	2,687	1,345	1,368	20,49	0,861	141,21	1,754	6,965	48,278
	5	1,516	2,13	0,28	11,936	0,214	141,3	1,763	3,277	11,761
	6	0,817	2,684	0	7,218	0	144,91	1,621	7,493	2,842
	7	0,923	5,03	0	8,911	0	240,62	1,17	11,664	2,275
	8	0,519	2,34	0,009	4,226	0,024	31,775	0,509	0	0
	Cumul	25,93	13,71	16,59	134,68	8,72	941,39	9,40	75,70	535,01

Annexe LII : Analyse du complexe d'échange dans le sol après 8 semaines de percolation.

Résultats exprimés en meq/100g

N° COL	n°	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	pH	Somme	CEC	Sat
1	1	0.903	0.135	0.054	8.71E-02	6.537	0.051	3.850	8.056	9.161	0.879
	2	0.307	0.142	0.055	5.98E-02	7.322	0.042	3.800	8.251	9.442	0.874
	3	0.290	0.187	0.051	6.99E-02	7.287	0.055	3.830	8.244	9.503	0.867
	4	0.349	0.197	0.067	5.29E-02	7.199	0.048	3.860	8.197	9.514	0.862
	5	0.518	0.263	0.084	6.59E-02	6.739	0.102	3.920	8.024	8.745	0.917
	6	0.278	0.287	0.059	5.46E-02	7.076	0.078	3.890	8.101	9.266	0.874
2	7	0.650	0.135	0.045	6.30E-02	6.353	0.241	3.970	7.708	8.767	0.879
	8	0.697	0.170	0.057	6.02E-02	6.352	0.176	3.950	7.744	9.077	0.853
	9	0.867	0.241	0.075	5.68E-02	6.055	0.163	3.960	7.686	8.628	0.891
	10	0.834	0.248	0.052	5.48E-02	6.315	0.120	3.940	7.862	9.409	0.836
	11	0.939	0.316	0.088	7.03E-02	5.732	0.292	3.970	7.663	8.772	0.874
	12	1.136	0.393	0.075	5.96E-02	5.643	0.190	3.990	7.714	9.093	0.848
3	13	0.253	0.104	0.038	6.37E-02	6.820	0.083	3.940	7.594	9.124	0.832
	14	0.198	0.135	0.060	7.06E-02	6.617	0.150	3.930	7.472	9.305	0.803
	15	0.183	0.147	0.040	6.61E-02	6.786	0.125	3.910	7.599	8.916	0.852
	16	0.293	0.176	0.054	5.92E-02	6.676	0.162	3.930	7.662	9.137	0.839
	17	0.225	0.207	0.077	6.41E-02	6.853	0.123	3.910	7.803	8.908	0.876
	18	0.251	0.218	0.065	5.21E-02	6.598	0.235	3.940	7.659	9.319	0.822
4	18	0.238	0.239	0.077	1.01E-01	6.731	0.167	3.900	7.815	9.060	0.863
	18	0.340	0.357	0.114	1.80E-01	6.186	0.170	3.950	7.586	9.041	0.839
	19	0.195	0.104	0.044	6.41E-02	6.964	0.069	3.940	7.673	9.053	0.848
	20	0.184	0.113	0.066	6.85E-02	6.808	0.189	3.940	7.663	9.005	0.851
	21	0.185	0.150	0.069	7.34E-02	6.873	0.117	3.900	7.725	8.908	0.867
	22	0.204	0.169	0.058	6.83E-02	7.346	0.076	3.880	8.192	9.561	0.857
5	23	0.231	0.212	0.052	6.34E-02	7.017	0.111	3.900	7.947	9.154	0.868
	24	0.275	0.284	0.072	7.69E-02	6.519	0.233	3.940	7.701	9.436	0.816
	25	0.645	0.146	0.057	7.34E-02	6.163	0.119	3.940	7.437	8.859	0.839
	26	0.870	0.232	0.072	8.29E-02	5.936	0.176	3.980	7.586	9.392	0.808
	27	0.899	0.264	0.079	7.82E-02	6.057	0.167	3.980	7.763	9.065	0.856
	28	0.775	0.232	0.058	6.90E-02	6.460	0.112	3.940	7.944	9.867	0.805
6	29	1.098	0.361	0.063	5.93E-02	6.021	0.109	3.990	7.929	9.715	0.816
	30	1.115	0.389	0.078	6.65E-02	5.749	0.178	3.990	7.794	9.318	0.836
6	31	0.186	0.108	0.039	6.19E-02	6.654	0.096	3.920	7.388	9.251	0.799
	32	0.150	0.129	0.049	5.14E-02	6.646	0.117	3.910	7.393	8.834	0.837
	33	0.199	0.177	0.054	6.61E-02	6.336	0.315	3.940	7.389	8.737	0.846
	34	0.193	0.221	0.063	5.51E-02	6.441	0.169	3.910	7.397	8.700	0.850
	35	0.241	0.304	0.070	6.09E-02	5.800	0.358	4.010	7.041	8.662	0.813
	36	0.249	0.335	0.096	6.42E-02	5.868	0.259	3.980	7.092	8.355	0.849

Complexe d'Echange Sols du Delta du Mékong

Résultats exprimés en meq/100g

N° COL.	n°	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	pH	Somme	CEC	Sat
7	37	0.080	0.065	0.041	3.14	3.473	0.079	4.010	5.829	11.175	0.522
	38	0.070	0.047	0.041	2.68	3.615	0.082	3.980	5.270	10.688	0.493
	39	0.069	0.062	0.054	3.03	4.041	0.077	3.980	6.076	10.229	0.594
	40	0.065	0.061	0.044	2.42	4.377	0.064	3.980	6.728	11.088	0.607
	41	0.097	0.062	0.043	6.63	4.007	0.062	3.960	9.408	11.737	0.802
	42	0.147	0.069	0.053	2.76	4.279	0.062	3.980	5.654	11.527	0.491
8	43	0.058	0.036	0.050	5.42	2.186	0.032	4.080	23.492	11.516	2.040
	44	0.104	0.051	0.042	2.95	3.183	0.038	4.010	4.399	11.875	0.370
	45	0.077	0.051	0.054	2.80	3.953	0.025	3.970	5.069	11.114	0.456
	46	0.144	0.050	0.059	1.45	4.260	0.031	3.980	4.825	11.013	0.438
	47	0.102	0.047	0.047	1.62	4.710	0.048	3.960	4.899	11.422	0.429
	48	0.115	0.050	0.074	3.22	4.602	0.052	3.990	6.322	10.541	0.600
9	49	0.068	0.035	0.047	3.43	2.193	0.040	4.060	5.495	12.229	0.449
	50	0.070	0.050	0.048	5.97	2.997	0.054	3.990	8.637	11.848	0.729
	51	0.072	0.055	0.044	2.99	3.571	0.065	4.000	5.445	11.457	0.475
	52	0.082	0.056	0.055	2.87	4.001	0.056	4.000	5.123	11.606	0.441
	53	0.062	0.053	0.054	2.51	3.987	0.061	3.980	5.956	11.225	0.531
	54	0.061	0.036	0.057	2.16	3.998	0.074	3.980	3.563	10.834	0.329
10	55	0.069	0.038	0.038	3.97	2.641	0.028	4.080	6.081	12.524	0.486
	56	0.057	0.035	0.048	1.42	3.631	0.035	4.010	4.650	12.183	0.382
	57	0.065	0.040	0.045	0.51	3.896	0.046	3.990	3.498	11.892	0.294
	58	0.075	0.042	0.049	2.52	4.173	0.067	3.970	5.368	11.881	0.452
	59	0.094	0.057	0.049	3.79	4.509	0.082	3.960	7.653	11.438	0.669
	60	0.115	0.059	0.065	1.79	4.752	0.083	3.960	5.888	11.487	0.513
11	61	0.088	0.045	0.094	6.25	2.515	0.029	4.090	8.226	12.276	0.670
	62	0.068	0.051	0.037	2.45	3.434	0.026	4.020	4.388	12.034	0.365
	63	0.068	0.050	0.031	2.43	3.853	0.054	4.010	5.479	11.572	0.473
	64	0.076	0.047	0.040	1.71	4.191	0.045	4.000	5.778	11.630	0.497
	65	0.118	0.053	0.052	1.59	4.296	0.066	4.020	5.264	11.358	0.463
	66	0.160	0.063	0.044	3.06	4.166	0.054	4.020	6.878	12.038	0.571
12	67	0.069	0.041	0.022	3.23	3.279	0.030	4.020	6.682	11.716	0.570
	68	0.082	0.056	0.030	3.52	3.483	0.053	4.000	6.600	12.186	0.542
	69	0.085	0.057	0.057	4.38	3.760	0.068	4.000	6.603	11.720	0.563
	70	0.063	0.048	0.042	2.06	4.337	0.073	3.900	8.164	11.558	0.706
	71	0.070	0.053	0.048	1.75	4.525	0.077	3.820	4.753	10.733	0.443
	72	0.058	0.040	0.049	0.59	4.393	0.069	3.880	4.553	10.620	0.429

Complexe d'Echange Sols du Delta du Mékong

Résultats exprimés en meq/100g

N° COL	n°	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	pH	Somme	CEC	Sat
13	73	0.257	0.218	0.131	3.61E-01	8.520	0.210	3.580	10.229	11.432	0.895
	74	0.241	0.275	0.180	1.20E-01	8.743	0.344	3.640	10.369	11.863	0.874
	75	0.210	0.325	0.161	9.58E-02	8.871	0.145	3.550	10.379	12.032	0.863
	76	0.256	0.378	0.159	1.14E-01	8.582	0.277	3.580	10.302	11.840	0.870
	77	0.268	0.399	0.187	8.22E-02	8.518	0.360	3.620	10.306	11.788	0.874
	78	0.350	0.453	0.209	1.31E-01	8.552	0.375	3.610	10.574	11.596	0.912
	78	0.292	0.401	0.179	9.70E-02	8.439	0.116	3.570	10.073	11.524	0.874
14	79	0.000	0.007	0.188	6.99E-02	8.564	0.000	3.680	9.247	11.414	0.810
	80	0.929	0.419	0.175	7.90E-02	8.094	0.464	3.720	10.552	12.139	0.869
	81	0.932	0.451	0.189	6.18E-02	7.896	0.521	3.670	10.490	11.773	0.891
	82	1.403	0.515	0.184	9.53E-02	7.753	0.446	3.740	10.775	12.017	0.897
	83	1.051	0.511	0.193	7.32E-02	8.019	0.393	3.640	10.711	12.052	0.889
15	85	0.277	0.244	0.125	8.54E-02	9.263	0.102	3.650	10.550	11.775	0.896
	86	0.274	0.342	0.151	8.06E-02	8.998	0.136	3.610	10.482	11.910	0.880
	87	0.272	0.338	0.120	5.43E-02	8.776	0.267	3.600	10.340	12.245	0.844
	88	0.256	0.382	0.136	5.46E-02	8.631	0.433	3.600	10.406	12.089	0.861
	89	0.269	0.426	0.141	6.72E-02	8.457	0.575	3.620	10.426	11.762	0.886
	90	0.266	0.404	0.174	5.61E-02	7.928	0.629	3.630	9.937	11.234	0.885
16	91	0.266	0.231	0.122	8.96E-02	8.650	0.150	3.570	10.052	11.719	0.858
	92	0.225	0.316	0.137	5.96E-02	8.946	0.166	3.570	10.396	11.935	0.871
	93	0.244	0.344	0.153	6.11E-02	8.833	0.150	3.570	10.333	11.839	0.873
	94	0.274	0.393	0.168	9.46E-02	8.916	0.163	3.570	10.557	12.055	0.876
	95	0.271	0.410	0.153	6.34E-02	9.033	0.167	3.600	10.610	12.029	0.882
	96	0.288	0.420	0.177	7.35E-02	9.175	0.104	3.580	10.776	12.215	0.882
	96	0.280	0.425	0.181	8.40E-02	8.985	0.187	3.600	10.656	12.008	0.887
17	97	0.669	0.277	0.128	5.00E-02	8.547	0.109	3.680	10.204	12.063	0.846
	98	0.748	0.343	0.183	6.04E-02	8.678	0.135	3.650	10.604	11.502	0.922
	99	0.833	0.391	0.174	6.98E-02	8.697	0.145	3.660	10.757	11.557	0.931
	100	0.950	0.436	0.160	4.67E-02	8.438	0.126	3.660	10.605	12.158	0.872
	101	0.982	0.471	0.177	5.45E-02	8.245	0.349	3.680	10.709	12.146	0.882
	102	1.076	0.468	0.186	5.80E-02	8.369	0.405	3.670	11.002	11.772	0.935
18	103	0.292	0.254	0.125	8.54E-02	8.946	0.166	3.620	10.355	11.687	0.886
	104	0.317	0.339	0.139	5.50E-02	8.796	0.469	3.730	10.499	11.864	0.885
	105	0.240	0.334	0.145	5.54E-02	8.881	0.214	3.620	10.358	11.800	0.878
	106	0.317	0.367	0.146	5.54E-02	8.614	0.567	3.740	10.441	11.858	0.881
	107	0.260	0.390	0.156	5.43E-02	8.547	0.524	3.650	10.390	11.935	0.871
	108	0.271	0.399	0.145	4.92E-02	8.266	0.532	3.650	10.121	11.852	0.854

Annexe LIII

Analyse des extraits à l'eau sur sols humides après 8 semaines de percolation. Résultats

exprimés en meq/l

N°	Fe	Mg	Al	Ca	Na	K	CL-	S	pH	SCat.	S An	Diff Cat-An	%
1	0.0038	0.045	0.144	0.087	0.029	0.005	0.023	0.400	3.90	0.44	0.42	-0.02	-4
2	0.0027	0.143	0.378	0.138	0.022	0.015	0.019	0.900	3.84	0.84	0.91	0.06	7
3	0.0027	0.203	0.495	0.170	0.021	0.023	0.039	1.100	3.84	1.06	1.11	0.06	5
4	0.0021	0.283	0.688	0.207	0.021	0.040	0.103	1.300	3.82	1.39	1.34	-0.05	-4
5	0.0021	0.230	0.515	0.173	0.011	0.036	0.026	1.340	3.79	1.13	1.35	0.22	16
6	0.0021	0.310	0.689	0.217	0.024	0.043	0.039	1.600	3.78	1.45	1.61	0.16	10
7	0.0011	0.017	0.014	0.090	0.000	0.000	0.029	0.200	4.13	0.20	0.21	0.02	9
8	0.0016	0.096	0.101	0.344	0.018	0.011	0.018	0.700	4.04	0.66	0.71	0.05	7
9	0.0021	0.132	0.106	0.400	0.022	0.021	0.034	0.850	4.07	0.77	0.87	0.10	11
10	0.0016	0.181	0.182	0.562	0.022	0.034	0.050	1.290	4.00	1.08	1.32	0.23	18
11	0.0043	0.247	0.232	0.694	0.027	0.048	0.042	1.600	3.96	1.36	1.62	0.26	16
12	0.6139	0.346	0.195	0.864	0.054	0.079	0.042	2.300	4.07	2.24	2.32	0.08	4
13	0.0032	0.036	0.056	0.060	0.023	0.011	0.025	0.320	3.97	0.30	0.35	0.05	14
14	0.0027	0.047	0.091	0.060	0.014	0.010	0.018	0.400	3.96	0.33	0.42	0.09	20
15	0.0027	0.089	0.185	0.092	0.029	0.025	0.039	0.616	3.89	0.55	0.66	0.10	16
16	0.0021	0.118	0.182	0.118	0.028	0.019	0.084	0.662	3.87	0.60	0.75	0.14	19
17	0.0021	0.164	0.233	0.131	0.029	0.033	0.035	0.824	3.96	0.70	0.86	0.16	18
18	0.4099	0.259	0.141	0.162	0.040	0.086	0.042	1.369	3.98	1.20	1.41	0.21	15
19	0.0043	0.038	0.097	0.076	0.049	0.020	0.041	0.422	3.83	0.43	0.44	0.01	3
20	0.0043	0.058	0.197	0.081	0.045	0.017	0.041	0.567	3.83	0.55	0.59	0.04	7
21	0.0038	0.113	0.300	0.113	0.046	0.032	0.025	0.840	3.80	0.77	0.85	0.09	10
22	0.0032	0.158	0.343	0.154	0.047	0.041	0.048	0.982	3.82	0.90	1.01	0.11	11
23	0.0032	0.224	0.384	0.168	0.046	0.049	0.101	1.054	3.81	1.03	1.11	0.08	7
24	0.0032	0.254	0.252	0.163	0.051	0.066	0.101	1.078	3.92	0.91	1.13	0.22	20
25	0.0021	0.025	0.025	0.120	0.036	0.011	0.041	0.290	4.19	0.28	0.31	0.03	9
26	0.1793	0.043	0.025	0.147	0.041	0.014	0.037	0.530	4.28	0.50	0.55	0.05	9
27	0.2535	0.065	0.026	0.199	0.048	0.032	0.049	0.780	4.21	0.68	0.80	0.12	15
28	0.0052	0.166	0.182	0.474	0.050	0.044	0.057	1.060	4.05	0.99	1.09	0.10	9
29	0.6376	0.180	0.071	0.462	0.057	0.044	0.062	1.560	4.21	1.51	1.59	0.08	5
30	0.9322	0.167	0.042	0.500	0.055	0.034	0.065	1.920	4.26	1.79	1.95	0.17	9
31	0.0038	0.034	0.046	0.063	0.071	0.017	0.700	0.236	3.68	0.44	0.47	0.03	5
32	0.0043	0.075	0.150	0.100	0.076	0.023	0.075	0.620	3.67	0.64	0.65	0.00	1
33	0.0038	0.132	0.226	0.126	0.079	0.045	0.085	0.916	3.61	0.86	0.94	0.09	9
34	0.0038	0.195	0.296	0.153	0.069	0.068	0.064	1.137	3.61	1.03	1.16	0.13	11
35	0.2854	0.263	0.147	0.192	0.121	0.093	0.120	1.457	3.85	1.24	1.50	0.25	17
36	0.5772	0.251	0.126	0.148	0.078	0.082	0.080	1.712	3.80	1.42	1.74	0.32	18

N°	Fe	Mg	Al	Ca	Na	K	CL	S	pH	S Cat.	S An.	Diff Cat-An	%
37	0.0016	0.003	0.107	0.020	95.2	0.051	96.2	0.360	3.82	95.56	96.6	1.04	1
38	0.0017	0.012	0.333	0.036	130.5	0.135	141.3	0.540	3.83	131.21	141.8	10.61	7
39	0.0009	0.006	0.063	0.019	68.9	0.077	76.4	0.342	4.03	69.13	76.7	7.61	10
40	0.0018	0.013	0.213	0.033	87.1	0.123	95.8	0.803	3.91	87.64	96.6	8.93	9
41	0.0185	0.024	0.344	0.053	110.7	0.172	119.1	1.132	3.92	111.43	120.3	8.82	7
42	0.0325	0.015	0.111	0.032	81.4	0.138	87.4	0.827	4.04	81.81	88.3	6.46	7
43	0.0015	0.004	0.045	0.024	109.3	0.120	118.9	0.151	4.10	109.58	119.0	9.45	8
44	0.0017	0.007	0.175	0.041	116.7	0.183	123.8	0.361	3.96	117.21	124.2	6.94	6
45	0.0009	0.005	0.191	0.045	99.0	0.164	115.1	0.450	4.21	99.51	115.6	16.06	14
46	0.0013	0.009	0.501	0.072	109.5	0.218	118.5	0.740	4.04	110.37	119.2	8.85	7
47	0.0015	0.008	0.516	0.078	115.3	0.183	118.3	0.792	4.03	116.18	119.1	2.93	2
48	0.0037	0.006	0.218	0.051	93.3	0.125	109.6	0.545	4.11	93.79	110.1	16.36	15
49	0.0007	0.004	0.021	0.025	80.4	0.103	92.6	0.120	4.16	80.66	92.7	12.02	13
50	0.0010	0.009	0.058	0.070	69.0	0.251	92.4	0.269	4.09	69.51	92.7	23.16	25
51	0.0011	0.007	0.084	0.052	86.3	0.110	100.7	0.329	3.96	86.63	101.0	14.42	14
52	0.0010	0.018	0.239	0.117	107.0	0.132	117.6	0.432	3.81	107.62	118.0	10.41	9
53	0.0022	0.007	0.483	0.042	136.3	0.295	138.8	0.753	3.76	137.26	139.6	2.29	2
54	0.2393	0.026	0.750	0.202	125.4	0.298	112.2	1.315	3.78	128.12	113.5	-14.64	-13
55	0.0064	0.003	0.044	0.013	96.0	0.136	106.9	0.185	3.96	96.31	107.1	10.75	10
56	0.0026	0.003	0.075	0.016	85.2	0.105	85.3	0.331	3.94	85.53	85.6	0.08	0
57	0.0011	0.005	0.245	0.024	111.3	0.097	128.8	0.422	3.89	111.80	129.2	17.42	13
58	0.0009	0.003	0.179	0.016	98.5	0.075	103.0	0.359	3.90	98.92	103.4	4.48	4
59	0.0019	0.008	0.458	0.029	104.6	0.137	123.4	0.733	3.85	105.38	124.2	18.79	15
60	0.0342	0.006	0.334	0.025	97.4	0.120	111.3	0.701	3.87	98.05	112.0	13.94	12
61	0.0011	0.002	0.029	0.024	103.5	0.090	116.2	0.139	4.44	103.66	116.4	12.72	11
62	0.0016	0.006	0.112	0.040	110.1	0.145	107.5	0.299	4.27	110.45	107.8	-2.63	-2
63	0.0014	0.006	0.224	0.043	114.1	0.162	133.2	0.400	4.18	114.59	133.6	19.01	14
64	0.0020	0.005	0.246	0.052	96.3	0.149	109.0	0.646	4.00	96.90	109.6	12.70	12
65	0.0784	0.005	0.107	0.046	65.0	0.092	66.0	0.627	4.12	65.45	66.6	1.18	2
66	0.0179	0.004	0.086	0.035	65.1	0.084	65.8	0.584	4.09	65.44	66.3	0.91	1
67	0.0010	0.009	0.106	0.063	99.0	0.081	105.0	0.335	3.96	99.33	105.3	5.97	6
68	0.0015	0.020	0.279	0.137	116.8	0.149	121.1	0.587	3.89	117.50	121.7	4.21	3
69	0.0018	0.010	0.260	0.064	111.7	0.139	127.9	0.617	3.85	112.27	128.5	16.27	13
70	0.0015	0.026	0.537	0.184	96.6	0.174	119.1	0.840	3.82	97.68	120.0	22.28	19
71	0.0028	0.012	0.669	0.047	123.0	0.217	129.4	0.978	3.89	124.12	130.4	6.30	5
72	0.0701	0.011	0.411	0.041	95.7	0.174	111.8	0.953	3.99	96.55	112.8	16.24	14

Nº	Fe	Mg	Al	Ca	Na	K	CL-	S	pH	S.Cat.	S.An.	Diff. Cat-An	%
73	0.0027	0.037	0.000	0.037	0.031	0.023	0.031	0.268	3.73	0.32	0.299	-0.02	-6
74	0.0016	0.035	0.000	0.020	0.011	0.013	0.011	0.300	3.61	0.33	0.311	-0.01	-5
75	0.0027	0.076	0.016	0.046	0.032	0.041	0.032	0.388	3.61	0.46	0.420	-0.04	-9
76	0.0038	0.135	0.046	0.077	0.036	0.075	0.025	0.625	3.59	0.63	0.650	0.02	3
77	0.0032	0.160	0.052	0.081	0.032	0.076	0.032	0.685	3.57	0.67	0.716	0.04	6
78	0.0027	0.116	0.041	0.065	0.018	0.047	0.018	0.514	3.55	0.57	0.532	-0.04	-8
												0.00	
79	0.0016	0.063	0.021	0.132	0.057	0.034	0.057	0.390	3.80	0.47	0.447	-0.02	-5
80	0.0215	0.097	0.019	0.190	0.033	0.054	0.033	0.590	3.74	0.60	0.623	0.03	4
81	0.0338	0.104	0.022	0.199	0.037	0.060	0.037	0.650	3.77	0.63	0.667	0.06	9
82	0.1061	0.106	0.019	0.210	0.033	0.052	0.033	0.684	3.76	0.70	0.717	0.02	2
83	0.1614	0.113	0.037	0.229	0.024	0.055	0.024	0.767	3.80	0.78	0.791	0.01	2
85	0.0009	0.015	0.000	0.020	0.026	0.027	0.026	0.180	3.88	0.22	0.206	-0.01	-7
86	0.0038	0.058	0.005	0.042	0.029	0.029	0.029	0.420	3.51	0.48	0.449	-0.03	-6
87	0.0048	0.020	0.000	0.011	0.024	0.004	0.024	0.500	3.40	0.46	0.524	0.06	12
88	0.0724	0.093	0.009	0.050	0.025	0.074	0.025	0.770	3.36	0.76	0.795	0.04	4
89	0.0980	0.093	0.008	0.047	0.022	0.086	0.022	0.899	3.36	0.79	0.921	0.13	14
90	0.1615	0.076	0.003	0.042	0.022	0.085	0.022	0.919	3.40	0.79	0.941	0.15	16
91	0.0016	0.017	0.000	0.017	0.015	0.012	0.015	0.250	3.75	0.24	0.265	0.03	10
92	0.0048	0.069	0.021	0.050	0.049	0.044	0.049	0.423	3.67	0.45	0.472	0.02	4
93	0.0032	0.125	0.038	0.073	0.030	0.059	0.030	0.563	3.55	0.61	0.593	-0.02	-3
94	0.0027	0.125	0.033	0.070	0.030	0.050	0.030	0.520	3.50	0.63	0.550	-0.08	-14
95	0.0048	0.237	0.116	0.124	0.054	0.121	0.054	1.053	3.54	0.95	1.107	0.16	15
96	0.0054	0.312	0.197	0.163	0.055	0.196	0.055	1.505	3.48	1.26	1.561	0.30	19
97	0.0016	0.022	0.002	0.057	0.044	0.013	0.044	0.180	4.03	0.23	0.224	-0.01	-4
98	0.0011	0.027	0.000	0.058	0.016	0.011	0.016	0.260	3.80	0.27	0.276	0.00	0
99	0.0048	0.021	0.000	0.039	0.008	0.009	0.008	0.300	3.73	0.27	0.308	0.04	13
100	0.0575	0.104	0.042	0.242	0.056	0.065	0.056	0.676	3.70	0.77	0.732	-0.03	-5
101	0.0769	0.088	0.018	0.222	0.020	0.047	0.020	0.614	3.71	0.67	0.634	-0.03	-5
102	0.1386	0.187	0.082	0.356	0.040	0.110	0.040	1.215	3.67	1.13	1.255	0.13	10
103	0.0032	0.013	0.001	0.012	0.015	0.004	0.015	0.180	3.89	0.18	0.195	0.02	8
104	0.0070	0.052	0.001	0.033	0.030	0.031	0.030	0.338	3.67	0.37	0.368	0.00	0
105	0.0694	0.066	0.008	0.040	0.039	0.045	0.039	0.549	3.51	0.58	0.588	0.01	2
106	0.0516	0.042	0.013	0.028	0.022	0.032	0.022	0.600	3.46	0.54	0.622	0.09	14
107	0.1070	0.112	0.020	0.060	0.038	0.089	0.038	0.700	3.77	0.60	0.738	0.14	16
108	0.1781	0.131	0.033	0.071	0.038	0.103	0.038	1.140	3.36	0.99	1.178	0.19	16

Complexe d'Echange Sols du Delta du Mékong

Résultats exprimés en meq/100g

N° COL.	n°	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	pH	Somme	CEC	Sat
19	109	0.083	0.064	0.181	8.27	2.027	0.096	3.710	11.107	13.389	0.830
	110	0.120	0.036	0.186	5.50	3.353	0.060	3.660	9.719	13.287	0.731
	111	0.097	0.045	0.203	3.72	4.101	0.084	3.490	8.903	12.726	0.700
	112	0.141	0.041	0.190	4.63	4.607	0.081	3.530	10.283	12.889	0.798
	113	0.087	0.044	0.220	3.79	5.139	0.069	3.550	9.916	12.991	0.763
	114	0.083	0.037	0.217	5.38	5.455	0.094	3.580	11.793	12.142	0.971
20	115	0.146	0.070	0.224	8.00	1.953	0.179	3.820	10.877	13.310	0.817
	116	0.128	0.071	0.262	4.24	3.300	0.142	3.760	8.490	12.417	0.684
	117	0.091	0.059	0.175	3.91	4.444	0.275	3.710	9.349	13.880	0.674
	118	0.174	0.082	0.241	4.11	4.301	0.708	3.790	9.946	13.400	0.742
	119	0.102	0.040	0.188	3.85	5.163	0.602	3.810	10.262	13.350	0.769
21	121	0.250	0.060	0.150	6.97	2.037	0.099	3.820	9.868	14.093	0.700
	122	0.090	0.030	0.141	5.99	3.254	0.108	3.690	10.026	13.885	0.722
	123	0.085	0.041	0.113	4.86	4.046	0.123	3.700	9.667	14.088	0.686
	124	0.082	0.033	0.137	4.73	4.536	0.142	3.650	10.105	13.539	0.746
	125	0.088	0.032	0.139	4.95	4.970	0.148	3.620	10.804	13.521	0.799
	126	0.092	0.045	0.133	5.93	4.699	0.141	3.650	10.670	12.329	0.865
22	127	0.076	0.030	0.149	5.16	2.442	0.034	3.730	8.265	13.617	0.607
	128	0.068	0.034	0.116	4.89	4.021	0.042	3.690	9.576	13.448	0.712
	129	0.089	0.026	0.143	3.39	4.938	0.057	3.640	9.099	13.612	0.668
	130	0.058	0.043	0.143	3.13	5.588	0.082	3.630	9.510	13.544	0.702
	131	0.070	0.041	0.137	2.59	6.054	0.071	3.590	9.479	13.249	0.715
	132	0.186	0.050	0.153	3.85	6.030	0.040	3.670	10.735	11.858	0.905
23	133	0.221	0.053	0.188	6.70	1.782	0.127	3.810	9.380	13.497	0.695
	134	0.085	0.033	0.167	5.81	3.016	0.093	3.680	9.619	13.277	0.724
	135	0.066	0.043	0.153	4.19	3.630	0.130	3.730	8.585	13.452	0.638
	136	0.204	0.050	0.166	5.44	4.164	0.114	3.690	10.543	13.475	0.782
	137	0.114	0.037	0.152	4.40	4.740	0.140	3.680	9.997	13.022	0.768
	138	0.068	0.021	0.167	6.23	4.926	0.128	3.670	11.971	12.761	0.938
24	139	0.239	0.036	0.133	8.19	2.202	0.019	3.820	11.120	13.646	0.815
	140	0.066	0.030	0.145	4.17	3.427	0.065	3.750	8.257	13.213	0.625
	141	0.065	0.032	0.146	8.22	3.947	0.138	3.750	12.906	13.856	0.931
	142	0.071	0.033	0.165	4.75	4.533	0.166	3.680	10.133	13.401	0.756
	143	0.086	0.044	0.149	3.26	4.648	0.162	3.620	8.832	13.008	0.679
	144	0.092	0.040	0.155	2.55	4.611	0.292	3.630	8.207	12.919	0.635