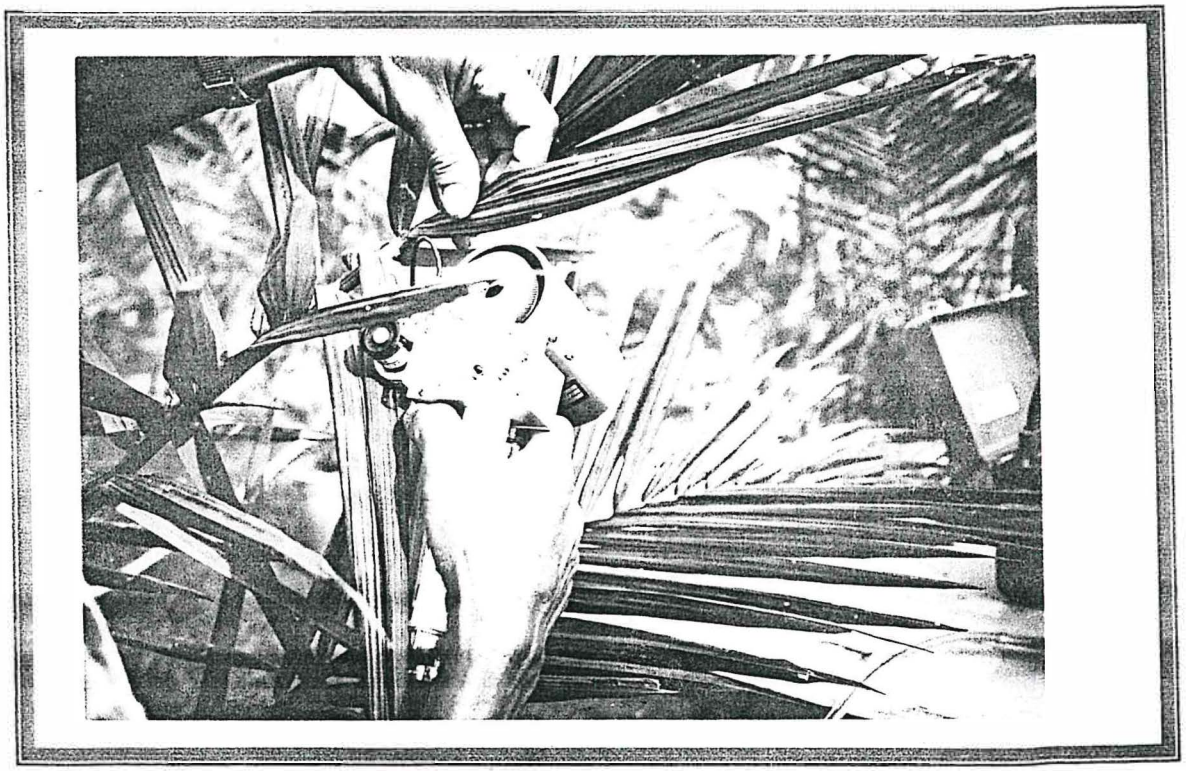
Etude physiologique des composantes de la production pour le palmier à huile à Sumatra

IOPRI-CIRAD
Déc 93 - Nov 96



Projet et Résultats

Indra Eko Setiyo, IOPRI, Indonésie
Emmanuelle Lamade, CIRAD-CP, France

1997 - Version provisoire

Le palmier à huile

modélisation de la production

les 3 étapes

concepts

Dufrêne (1989) : modèle déterministe à compartiments de type BACROS

SIMPALM (1994): version interactive, outil de validation stationnelle et fonctionnelle

1995 et plus:Reformulation et prise en compte de critères architecturaux (AMAP), exploration fonctionnelle des relations carbone-eau-éléments nutritifs

mesures

1989 :Etude photosynthèse, conductance stomatique, transpiration pour le palmier en Côte d'Ivoire

1992-1995 : Estimation de paramètres "essentiels" dans des conditions écologiques larges (Afrique, Asie)

1995 et plus : mise en place de nouveaux protocoles (sexualisation , répartition des assimilats, notion de réserve et de relation

Introduction

Suite aux travaux de E. Dufrêne en physiologie et modélisation du palmier à huile à Lamé en Côte d'Ivoire (Dufrêne, 1989; Dufrêne and Saugier, 1993; Dufrêne et al., 1990), un nouveau programme de physiologie à été élaboré pour étudier le comportement du palmier en Indonésie et plus particulièrement dans les conditions optimales du Nord de Sumatra. Ce programme a débuté fin 93 à la Station de Recherche de Marihat (MRS, Pematang Siantar, Sumatera Utara), supervisé par l'IOPRI (Indonesian Oil Palm Research Institute, Medan). Il s'est poursuivie durant 4 années donnant un ensemble de résultats importants décrit dans le présent document.

Les principaux objectifs du programme entrepris sont d'estimer des paramêtres physiologiques pertinents comme la photosynthèse potentielle, le rendement quantique apparent, la conductance stomatique, la respiration en relation avec des paramêtres biométriques comme le LAI, la biomasse aérienne et souterraine, ainsi que certains facteurs de l'environnement comme le rayonnement, la température et le VPD (Vapour Pressure Deficit), tout ceci dans une zone agroécologique potentielle pour cette culture.

Par ailleurs, à partir de ces paramêtres physiologiques déjà mesurés sur la lignée témoin L2T x D10D en Côte d'Ivoire par E. Dufrêne (1989), un modèle de simulation de production a été élaborée (en Qbasic) permettant d'estimer la production en régimes sur une année (Dufrêne et al. 1990). Les résultats de cette simulation sont satisfaisantes en Côte d'Ivoire : il convient donc de tester ce modèle dans les conditions indonésiennes. Une version plus interactive de ce modèle, SIMPALM (en C++) a été réalisé par le service de Biométrie du CIRAD-CP (Bonnot, 1995).Il sert de base aux investigations expérimentales du programme de physiologie commun IOPRI-CIRAD à North-Sumatra.

Parallèllement au test du modèle "Dufrêne", inovant par rapport au programme réalisé en Côte d'Ivoire, une comparaison de matériel génétique - actuellement les clones représentent le dernier type de matériel sélectionné - a été entepris sur certains paramêtres physiologiques comme la photosynthèse potentielle, la conductance ou la sensibilité générale au VPD afin de mettre en évidence éventuellement un critère de sélection.

L'ensemble de ces activités de recherche donne l'opportunité de former un homologue indonésien le conduisant, en principe, jusqu'au doctorat ainsi qu'une équipe de 5 techniciens sur le terrain.

Functional
Ecology 1993
7, 97–104

E. DUFRENE and B. SAUGIER

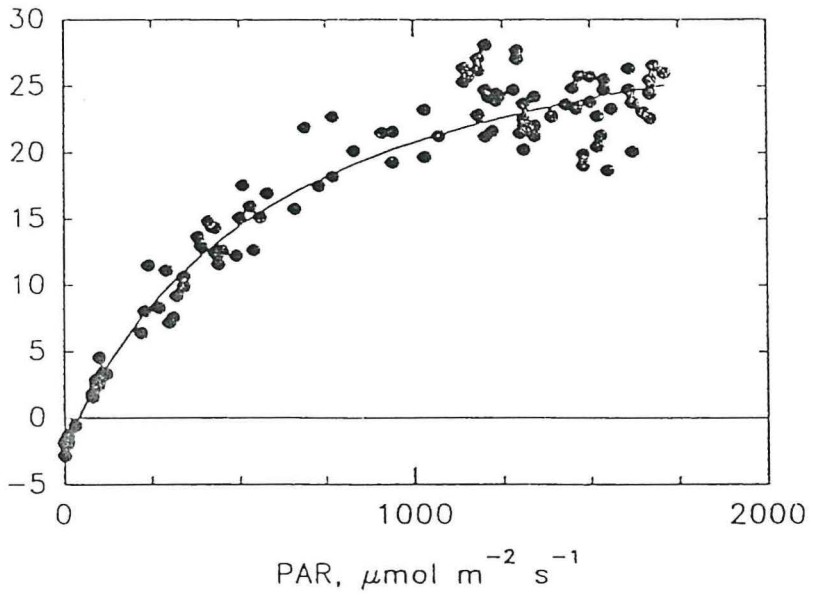


fig. 1. Réponse potentielle de la photosynthèse foliaire du palmier à huile en Côte d'Ivoire pour la famille témoin L2T x D10D.

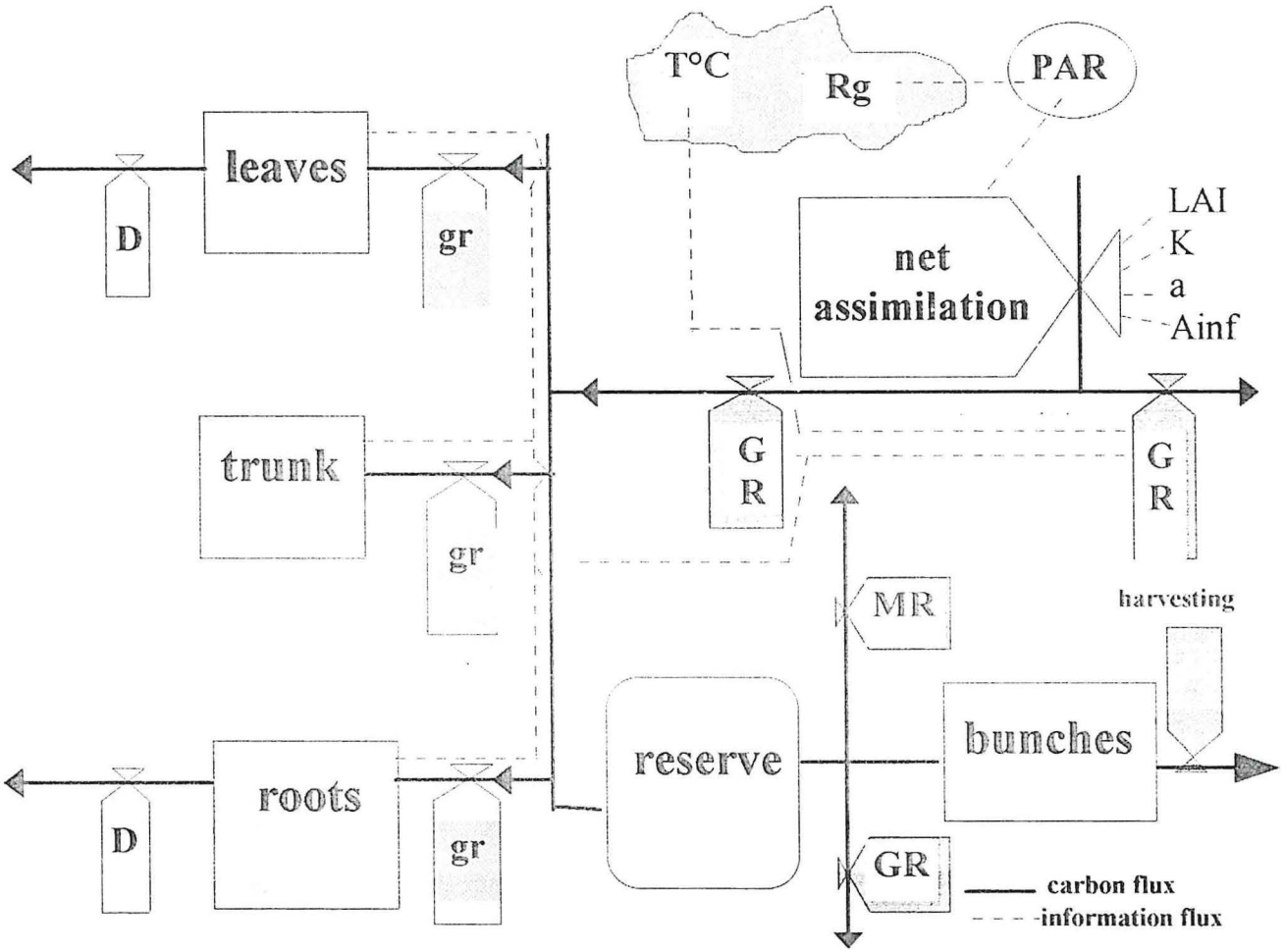


fig. 2 . Diagramme du modèle de simulation de production établi par Dufrêne (1989) sur L2T x D10D en Côte d'Ivoire.

Programme général

A. Phase préliminaire et début des expérimentations : décembre 93-juin 94.

Homologue indonésien : Indra Eko Setiyo, Ingénieur MRS, Physiologie Végétale.

Objectifs : acquisition des paramêtres physiologiques nécessaires au test du modèle "Dufrêne" dans les conditions de Sumatra.

- identification du matériel à étudier (clones : MK04, MK22, MK10 agés de 4 ans; adultes sexuée 2 lignées d'origine génétique différente agées de 9 ans , matériel commercial au stade pépinière).

- Etude de la photosynthèse potentielle en réponse à l'éclairement pour 3 clones morphologiquement contrastés.

- Evolution nocturne et diurne de la respiration foliaire et racinaire sur 3 clones MK04, MK22 et MK10.

- Observations phénologiques sur deux lignées adultes d'origine génétique contrastée.

- Etude de tranfert radiatifs pour l'ensemble du matériel végétal étudié; Détermination du coefficient d'extinction.

- Météorologie : suivi horaire du rayonnement photosynthétiquement actif.

- Evaluation de la biomasse sur pied (biomasse aérienne et souterraine) pour l'ensemble du matériel végétal étudié.

B. Deuxieme phase : exploration fonctionnelle des contraintes du bilan carboné (niveau 2 : bilan hydrique et 3 : bilan nutritif au sens de Wit (1965). Octobre 94-Avril 95.

Homologue indonésien : Indra Eko Setiyo.

Objectifs : identification des principaux facteurs de contraintes à la photosynthèse.

- Effet du VPD sur la conductance stomatique et la photosynthèse foliaire pour les 3 clones MK22, MK04, MK10.

- Rythme journalier de la conductance stomatique et de la photosynthèse foliaire en relation avec le rayonnement, la température et le VPD sur la feuille de rang 17, représentative de la canopée pour les lignées adultes.

- Suite des observations phénologiques sur les deux lignées adultes.

- Effet d'un gradient d'azote sur la photosynthèse de jeunes plants au stade pépinière.

- Fluorescence et photosynthèse maximale de 3 clones en relation avec le contenu en chlorophylle des folioles et en azote.

- Variation de la respiration foliaire à l'obscurité en fonction du rang pour le clone MK10 (étude de la varition des couts respiratoires d'un organe source : la feuille, à travers la canopée.

- suite des estimations de biomasse sur pieds pour l'ensemble du matériel végétal étudié.

- Evaluation de l'indice foliaire : comparaison de la méthode traditionnelle avec les résultats du PCA LAI 2000.

C. Troisième phase : Variation de la photosynthèse et de la respiration à l'échelle de la canopée. Identification de facteurs locaux de contraintes de la conductance stomatique et de la photosynthèse maximale . Modélisation. Mars 96-Novembre 96.

Homologues :

- Yani Harapa, Ingénieur Physiologie Végétale en cours de thèse "Modélisation du bilan hydrique à Marihat"
- Indra Eko Setiyo, Ingénieur Physiologie Végétale, préparation master (éventuellement DEA en France)

Principales expériences :

- Etude de la variation de la photosynthèse maximale avec le rang de la feuille, la position de la foliole et le contenu en azote foliaire sur les clones MK04, MK10 et MK22.

- Estimation de la photosynthèse et de la conductance à l'échelle de la canopée en relation avec l'évolution saisonnière du bilan hydriaue du sol au Nord de Sumatra sur le clone MK15.

- Modélisation du bilan hydrique à l'échelle de la parcelle (clone MK15 et MK60).

- Effet de l'ennoyage partiel des racines de jeunes plants de palmiers sur les échanges gazeux foliaires et sur l'allocation de biomasse.

- Comparaison de l'estimation du volume de la canopée et de la densité du feuillage des palmiers au jeune âge, avec le PCA LAI 2000 et la méthode traditionnelle (estimation de la surface foliaire).

- Suivi des observations phénologiques sur les deux lignées adultes.

- Poursuite des enregistrements du PAR au parc météo de MRS

Remarque :

Ce document a pour but essentiel de présenter synthétiquement l'ensemble de l'activité du projet commun IOPRI-CIRAD depuis 1993, à travers les diverses réalisations expérimentales et les résultats qui seront évoqués tout au long du document mais non explicités en détails.

A. Mise en place expérimentale

1.Ecophysiologie

(En collaboration avec E. Dufrêne, Ecophysiologiste, LA 121 CNRS-Paris XI)

Afin d'estimer les paramêtres physiologiques indispensables pour tester le modèle "Dufrêne" (SIMPALM), une structure d'écophysiologie (laboratoire de terrain) a été réalisée à Marihat grâce l'apport de matériel par le CIRAD comme :

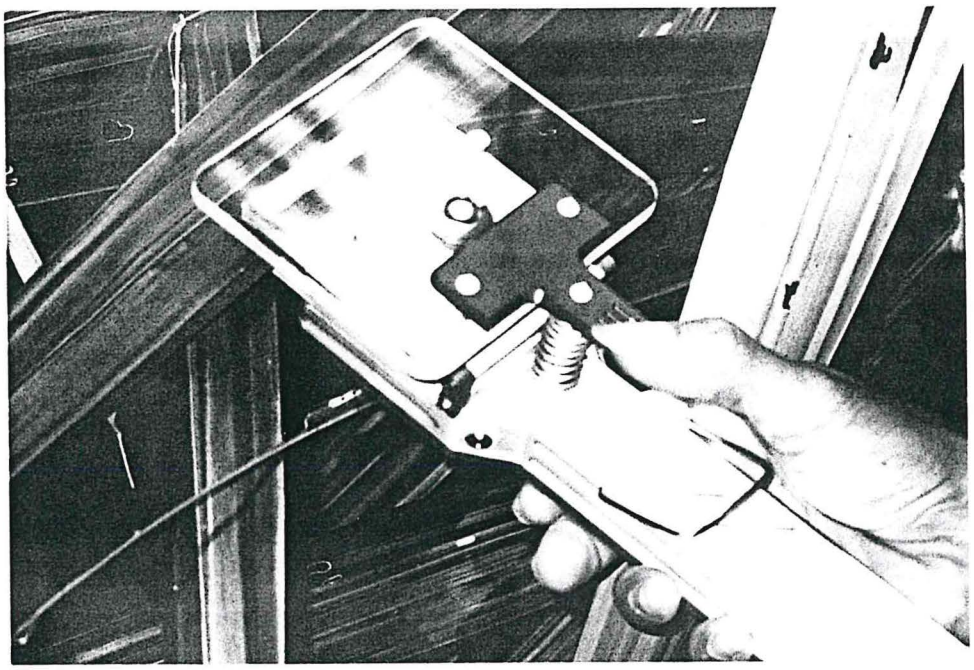
- un analyseur de CO2 IRGA (LCA2, ADC) avec une pince PLNC (Parkinson Leaf narrow Chamber), des enceintes PVC élaborées au laboratoire d'Ecophysiologie à Paris XI pour l'étude des échanges gazeux en système fermé.
- des capteurs humidité/rayonnements/température (delta T et Vaisala).
- des centrales d'acquisitions de données, tuyaux adéquates et produits chimiques.
- un ordinateur portable et logiciels de transferts de données des appareils de mesures.

et par l'achat de matériels performants par l'IOPRI (conseillé par le CIRAD) :

- un analyseur LCA4 (ADC) et une pince PLN4
- Plant Canopy Analyzer LAI-2000 (2 unités)(Li-Cor).

Des dispositifs expérimentaux ont été réalisés pour effectuer les types de mesures suivants :

- des mesures in situ de photosynthèse foliaire avec le LCA2 (fig.3) sur des palmiers de 4-6 ans sur la feuille de rang 9 et un ensemble de folioles afin de déterminer la réponse potentielle de la photosynthèse aux rayonnements.



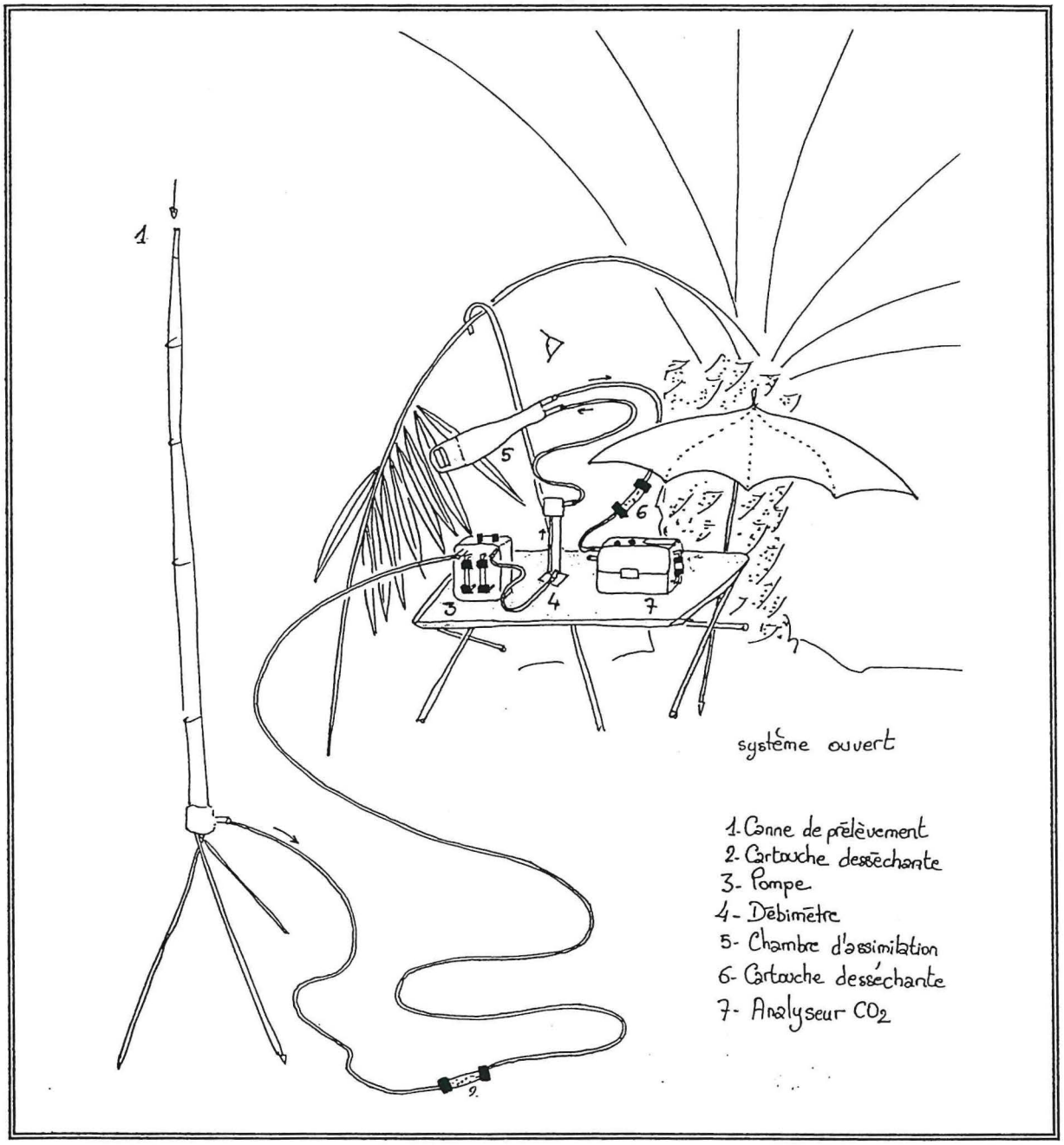
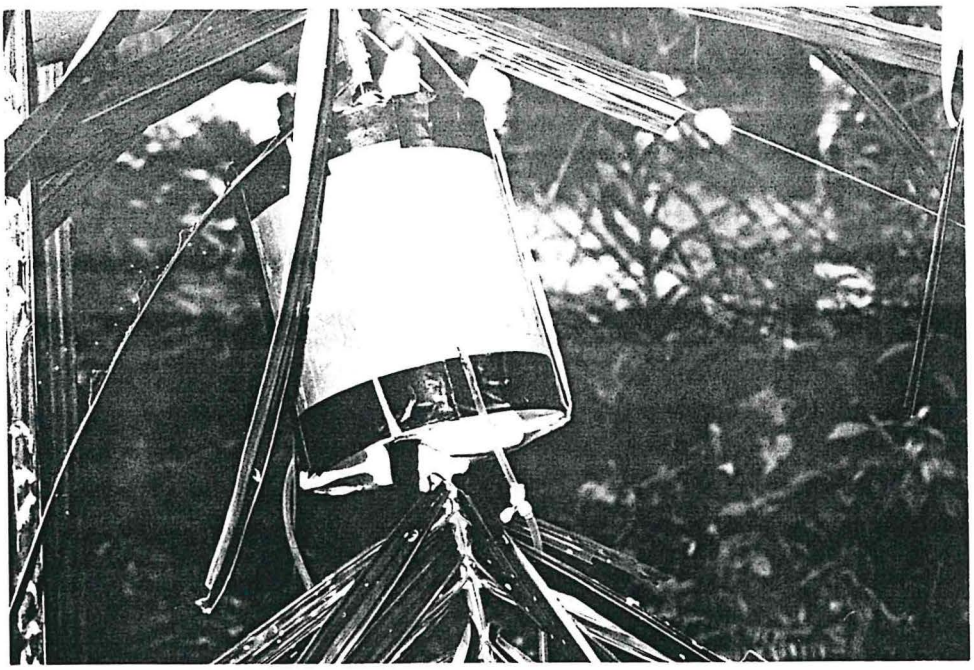


Fig. 3. Schéma du montage expérimental pour les mesures de photosynthèse *in situ* .

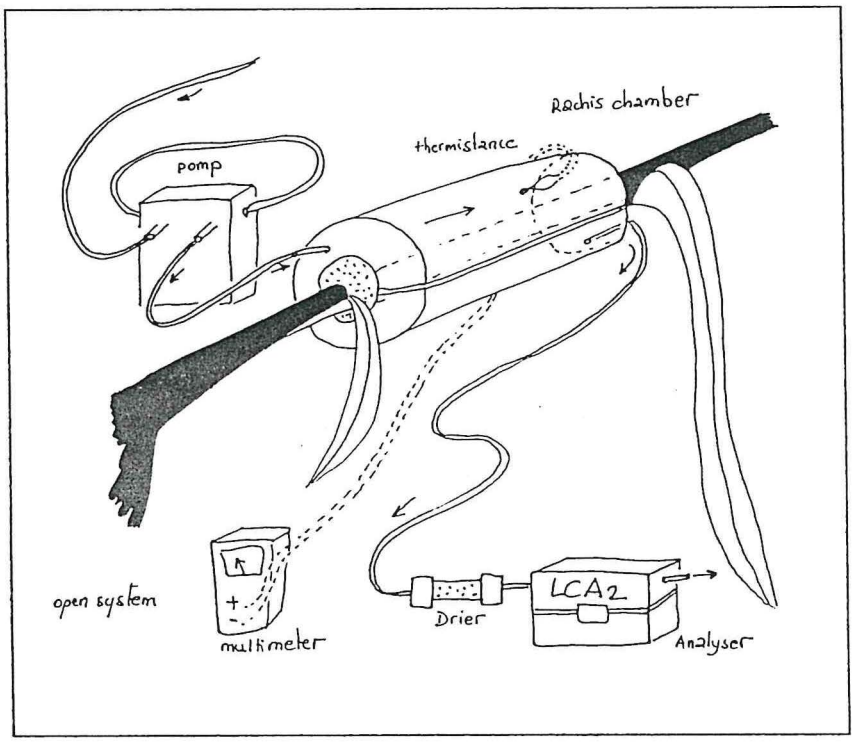
L'ensemble du dispositif et protocole est décrit entièrement dans Lamade (1996).

- des mesures in situ de respiration foliaire (fig. 4) grâce à une goutière PVC opaque, en système fermé . L'ensemble du dispositif est décrit dans Lamade b (1996). Des mesures ont été effectué de jours et de nuit.
- des mesures in situ de respiration du rachis (fig. 5 et photo) en système ouvert



2. Tranfert radiatifs

- mesures de transferts radiatifs sous la canopée (estimation du coefficient d'extinction): à l'aide d'une batterie de 8 capteurs "quantum", dont six circulants sous la canopée mesurant le rayonnement transmis, et deux situés au dessus du couvert mesurants le rayonnement direct et réfléchi. Ces capteurs sont reliés à une centrale delta T devices. Suivant un pas de temps horaire, les 6 capteurs circulent parmi les centres de 9 triangles (fig.6), parmi les 54 totaux définis dans une maille élémentaire comprenant 7 palmiers. Les mesures s'effectuent par temps clair de 10h à 15 h (pour plus de détail cf. Lamade, 1994. Progress Report I).



3. Biométrie

- surface foliaire

Sur l'ensemble du matériel végétal étudié et suivant la méthode classique de l'IRHO (Tailliez et Koffi, 1992), un ensemble de mesures a été entrepris afin de caractériser l'ensemble des lignées du dispositif général. Les mesures sont réalisées généralement et préférentiellement sur les palmes de rang 3, 9, 17, 25 et 33 avec au minimum 5 individus par répétition.(cf. Lamade, 1994. Progress Report I)

- Indice foliaire

Pour la première fois sur le palmier, on désire calibrer le Plant Canopy Analyzer LAI 2000 (Li-Cor), permettant de mesurer l'indice foliaire très rapidement en établissant un protocole de mesure adapté à cette culture "haute" en ligne (cf. Lamade, 1995. Progress Report II).

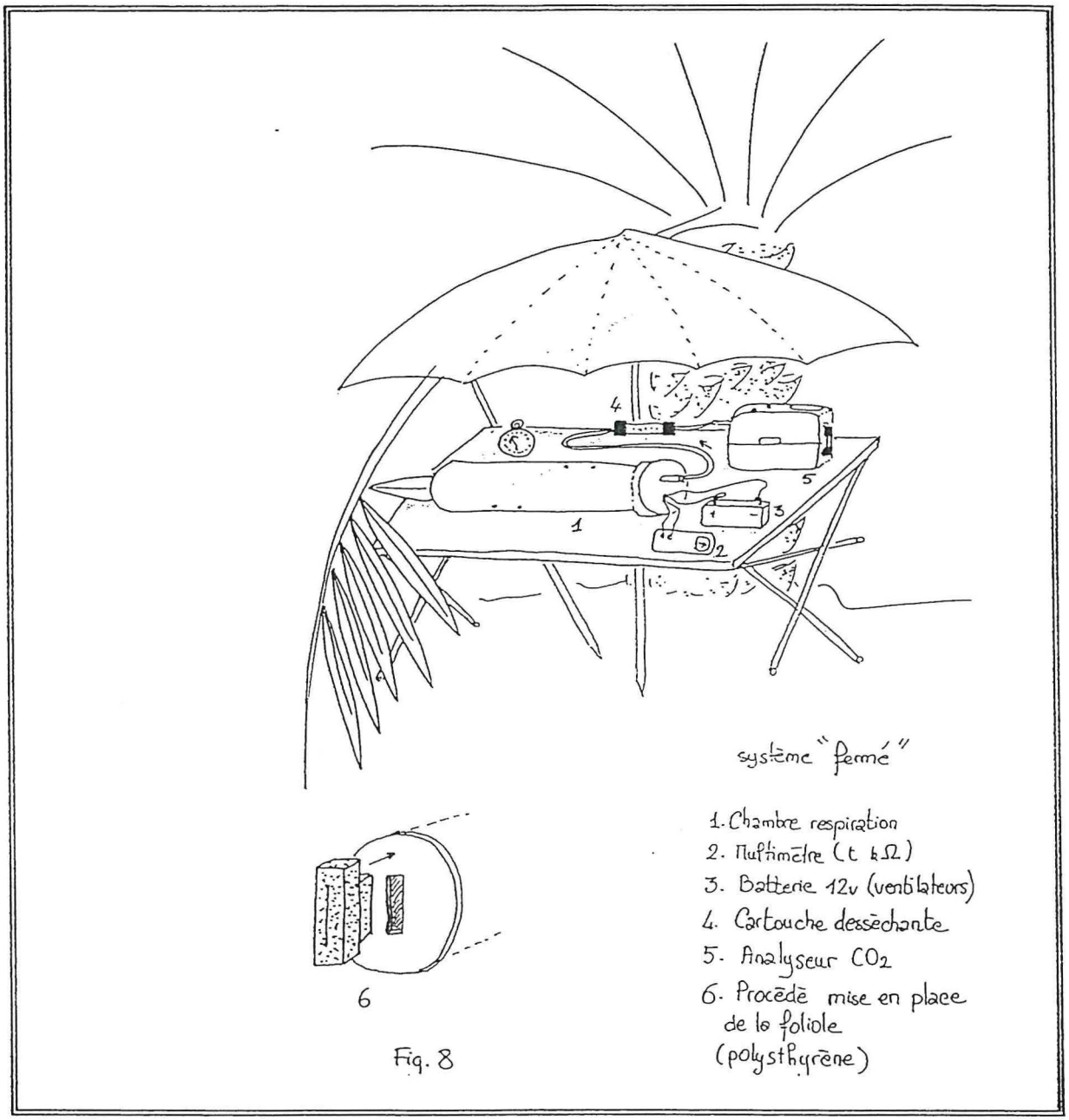


fig. 4 Mesure de la respiration foliaire in situ diurne et nocturne : montage expérimental sur le terrain.

- biomasse aérienne

E. Dufrêne a déjà mesuré en Côte d'Ivoire (Dufrêne, 1989) la masse surfacique des folioles, la densité du tronc, ainsi que la matière sèche de différents organes aériens (rachis, pétioles, folioles), ceci pour des palmiers de différents âges. Des relations linéaires ont déjà été démontré entre les biomasses des organes aériens. Suivant la même méthodologie, afin de déterminer la biomasse sur pied des lignées étudiées (paramêtres d'entrée indispensables au modèle de bilan carboné), des prélèvements sélectifs ont été effectuée sur le terrain suivant un plan d'échantillonnage équilibré statistiquement (cf. Lamade, 1994. Progress Report I)

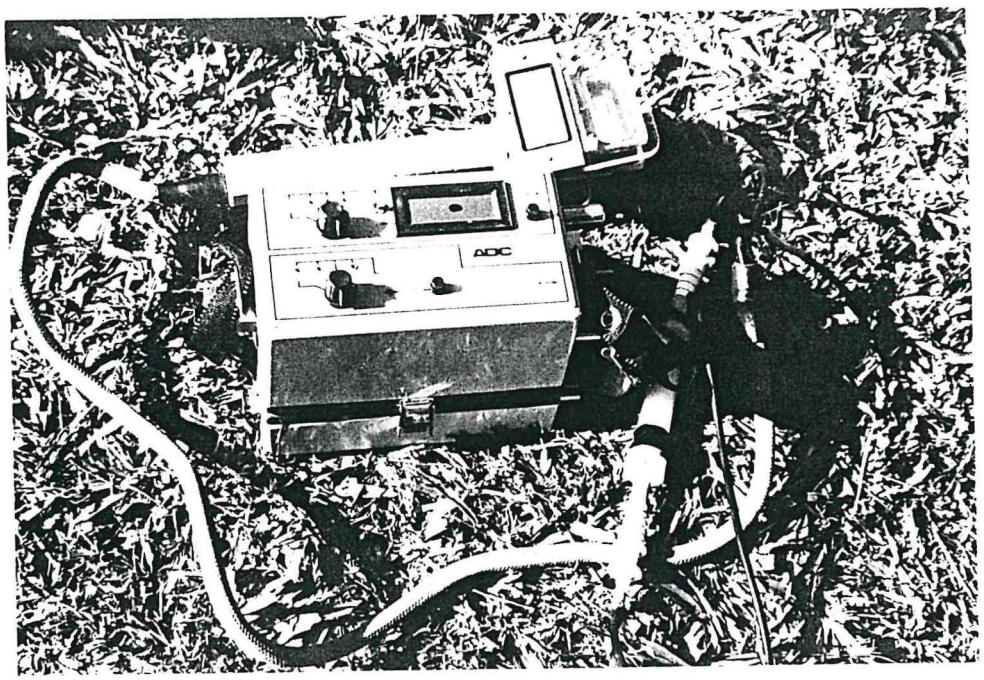
- biomasse souterraine

Afin d'estimer la biomasse racinaire des lignée étudiées (on distinguera dans le système racinaire du palmier , les racines I et II - racines au diamêtre important - et les racines absorbantes III et IV plus fines qui subissent un renouvellement annuel presque total, des prélèvements d'échantillon de terre ont été réalisés avec une tarière holandaise suivant le protocole suivant : dans une maille élémentaire composé de 7 palmiers, on trace 6 transects avec 3 trous par transect et 7 répétitions s en profondeur (jusqu'à 1.05 m). Les racines de chaque échantillon sont triées et séchées selon un protocole décrit dans Lamade 1995 (Progress Report II). Une fosse de 3m de profondeur a été creusée pour considérer (qualitativement) le profil racinaire en condition indonésienne.

4. En pépinière :

a . Mesure en système fermé de la photosynthèse de plants en pépinière soumis à un gradient d'azote.(en collaboration avec J.P Caliman, Agronome Palmier, CIRAD-CP)

Afin de travailler à l'échelle "plante entière" une enceinte en film "fleuriste" en polypropylène avec des cornières en aluminium (fig.3) a été réalisée pour pouvoir "englober" des palmiers de 6 mois. L'enceinte comprend un capteur d'humidité et de température, un capteur de rayonnement et une cannette de prélèvement d'air. Celle-ci reliée à un analyseur LCA2 (fig.3) permet de suivre la vitesse d'absorption du CO2 au cours du temps.



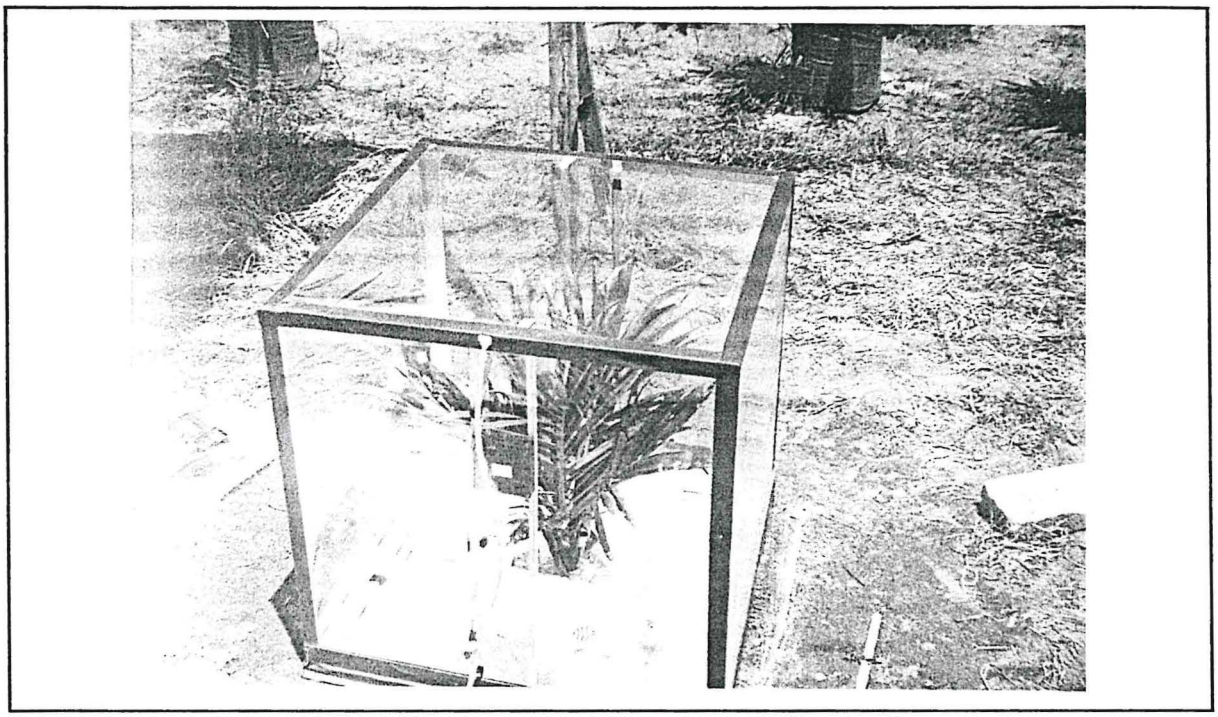


fig. 3. Dispositif de mesure de la photosynthèse en système fermé, d'un palmier en pépinière.

b. Effet de l'ennoyage partiel des racines sur les échanges gazeux et l'allocation de biomasse de palmiers de 2 ans soumis également à un gradient d'azote.

En trouve très souvent, au Nord de Sumatra, des plantations inondées temporairement à cause de la pluviométrie importante ou des plantations en zones tourbeuses (Ce cas est de plus en plus fréquent compte-tenue de l'expansion intense de cette culture à Sumatra). Il est donc important de connaître l'effet de cette contrainte au niveau du bilan carboné général de l'arbre sur une année

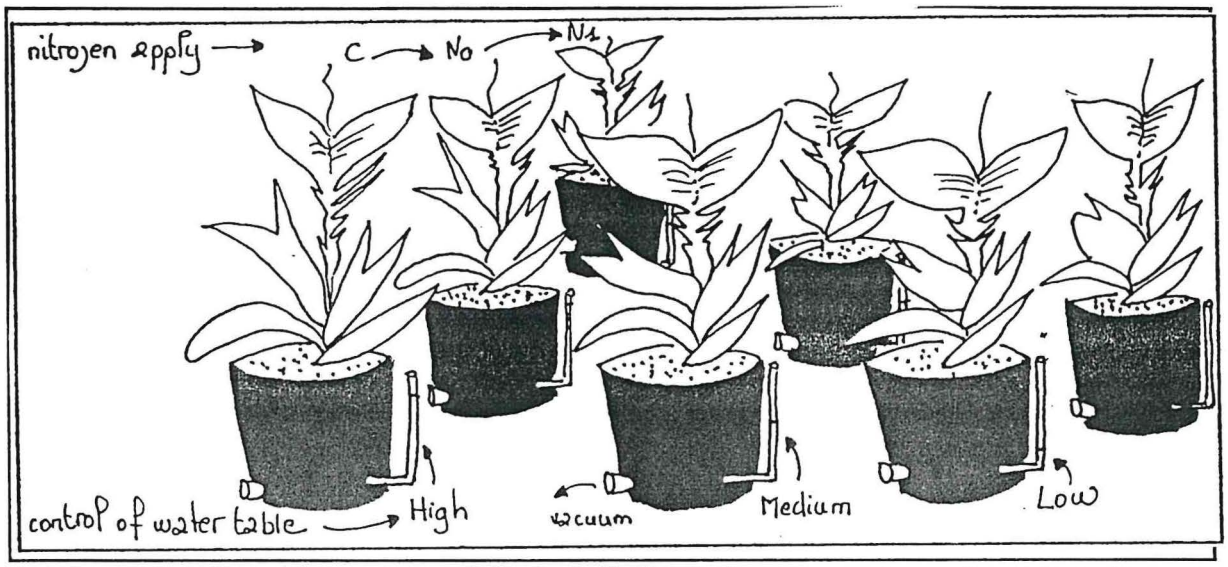


fig. 4. Dispositif expérimental pour l'étude de l'effet de l'ennoyage des racines : 3 traitements "eau " et 3 traitements "azote" (cf. Lamade, 1996. Planned Operations).

par exemple et de connaître aussi l'efficience d'une application d'engrais azoté dans de telles conditions.

5. Météo

(En collaboration avec le service de Biométrie, CIRAD-CP)

Objectif : avoir un fichier météo (input file) pour le modèle SIMPALM

Pour compléter les données classiques de la station météorologique de MRS, on a installé un enregistrement précis du rayonnement journalier du VPD et de la température de l'air (pas de temps horaire) grâce au Li-190SA quantum sensor et la centrale Il-1600. Le début des enregistrements a commencé en mars 1994.
Par ailleurs une synthèse des données climatiques de la station depuis 1972 par le service de Biométrie du CIRAD-CP.

6. Observations phénologiques

(En collaboration avec le service de Biométrie)

Objectif : modèle de sexualisation du palmier.

Etablissement d'un protocole d'observations phénologiques hebdomadaires sur deux lignées morphologiquement et génétiquement contrasté avec 24 arbres par lignée. L'expérimentation est

entièrement conduite par les indonésiens (photo 4) depuis mars 94 (équipe de 3 techniciens supervisés par E. Setiyo , IOPRI-MRS).

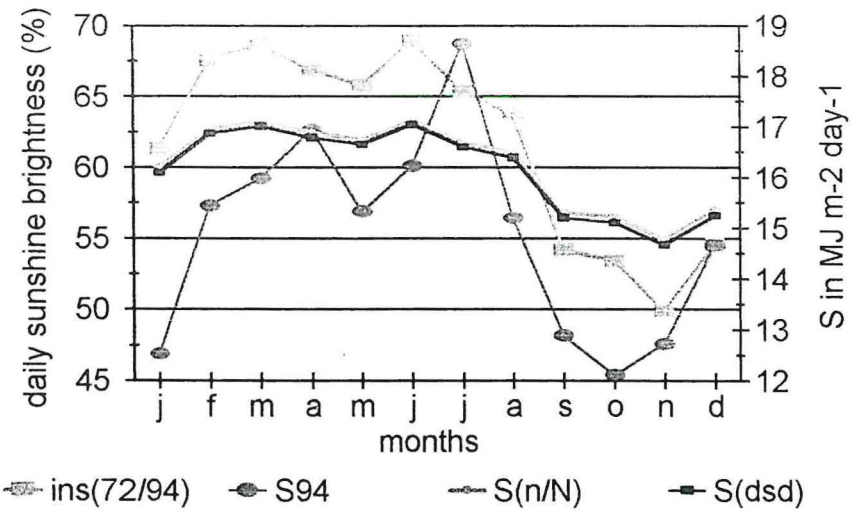
Types d'observations :
-date d'émission foliaire, d'épanouissement de la feuille, de la floraison de l'inflorescence axillante, du sexe de l'inflorescence, de la récolte des régimes, de la coupe de la feuille.

B. Principaux résultats

1. Caractérisation des conditions climatiques

Les données de la station météorologique de Marihat, bien qu'interressante ne pouvait pas suffire à alimenter correctement un modèle de simulation de production puisqu'il manque principalement un enregistrement précis du rayonnement journalier, du VPD et de la température horaire de l'air. Depuis 1994, un enregistrement horaire du PAR (Photosynthetically Active Radiation) avec un capteur quantum et une centrale Il-Cor a permis d'évaluer précisement le rayonnement global journalier moyen sur la période 1972-1994 à 16.24 MJ. m-2.j-1 (fig. 5).

fig. 5. Evolution annuelle des caractéristiques climatiques principales de la station de Marihat (Nord Sumatra)
ins : en %, S : rayonnement global en MJ.m-2.jour-1.



1. La photosynthèse potentielle en Indonésie

Après l'élaboration de la courbe de réponse de la photosynthèse à la lumière établie par E. Dufrêne en Côte d'Ivoire sur la famille témoin (hyperbole équilatère PN = 30.7 * 0.053 * (PAR-41)/ 30.7 + 0.053 *(PAR- 41), comprenant une asympote Pnmax égale à 23.7 µmol.m-2.s-1 et un rendement quantique égal à 0.053 mol.mol-1, ainsi que le point de saturation à la lumière égale à 41 µmol.m-2.s-1), il convenait de tester la valeur de ces paramêtres en Indonésie. Des mesures de photosynthèse ont été réalisées, avec un analyseur portable LCA2 (ADC) ,sur la feuille de rang 9 pendant plusieurs mois sur trois clones MK04 (issu de parents DS9D x LM2T) , MK22 (RS4T x TI221D) et MK10 (BJ169D x RS14P), plantés en 1990, à Bah Jambi estate (2°59' N - 99°13' E). Un ajustement statistique (hyperbole équilatère) a été effectué sur les données de photosynthèse présentant un caractère potentiel (sélection des points avec une conductance supérieures à 9 mm.s-1 et un VPD inférieur à 1.8 kPa). Les valeurs des paramêtres Pninf (Photosynthèse nette lorsque le rayonnement est infini) et ef (rendement quantique) sont bien plus élevés que celles établies en Côte d'Ivoire. On trouve pour MK04, Pninf égale à 33.1 µmol.m-2.s-1 (intervalle de confiance à 5%:29.6; 36.7), ef égale à 0.082 mol.mol-1 (0.066; 0.097) avec un pourcentage de variance expliquée de 0.84, pour MK22 (fig.6), Pninf égale à 40.3 µmol.m-2.s-1 (37.5; 43) ef égale à 0.071 (0.064; 0.078) avec un pourcentage de variance expliquée de 0.93. Le clone MK10 présente des valeurs intermédiaires comparées aux 2 autres : Pninf est égale à 39.6 (35.8; 43.3) avec ef égale à 0.063 (0.054; 0.073) et un pourcentage de variance expliquée par le modèle de 0.88. Les conséquences de ces valeurs plus fortes sont, bien sur, à correler avec la production mais pas directement compte-tenu de nombreux facteurs de contraintes (limitation de la photosynthèse par la température, par le VPD, par la conductance ou feed back des photosynthetats ou encore phénomène de photoinhibition) à l'assimilation nette dans la zone du nord de Sumatra (Indonésie). L'ensemble des résultats sont réunies dans Lamade and Setiyo (1997).

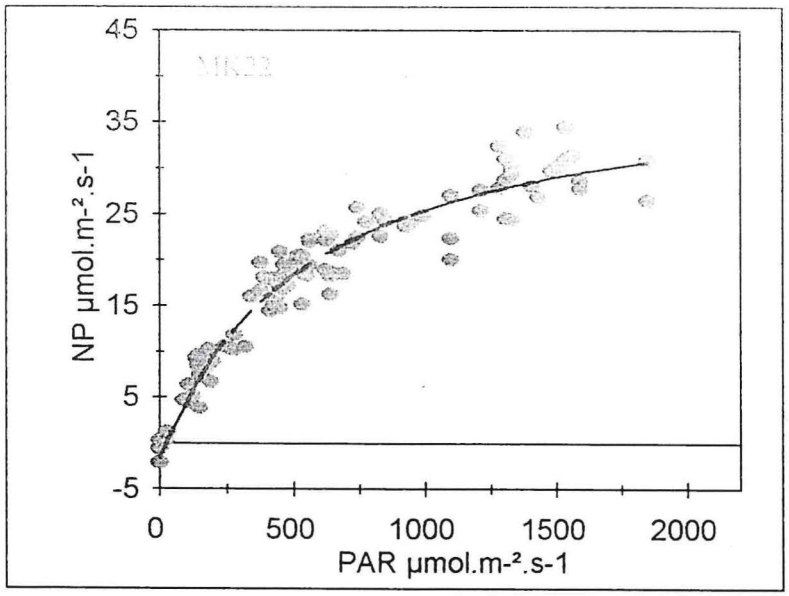


fig. 6. Réponse potentielle de la photosynthèse foliaire du clone MK22 au rayonnement photosynthétiquement actif (PAR). Il s'agit d'un matériel montrant le niveau de photosynthèse

le plus élevé.

2. L'interdépendance entre la conductance stomatique et la photosynthèse : essai de prédiction de la photosynthèse

Lorsque le rayonement est saturant (PAR > 1100 µmol.m-2.s-1), il est possible d'obtenir une très bonne relation (exponentielle avec une asymptote limite) entre Pnmax (photosynthèse maximale en µmol.m-2.s-1) et gsmax (conductance stomatique maximale en mm.s-1) suivant l'équation Pnsat = Pn max * (1-exp(-B*gs))). Pour les trois clones MK04, MK10 et MK22 déjà précédement cités, les valeurs respectives sont les suivantes Pnmax : 34.8 (MK04), 31.8 (MK10), 35.9 (MK22) (fig. 7) avec des valeurs pour B égales à 0.088 (MK04), 0.1 (MK10) et 0.087 (MK22) (proportion de la variance expliquée par la courbe pour MK04 , r2 = 0.79 ; MK10 , r2 = 0.87; MK22, r2=0.95)

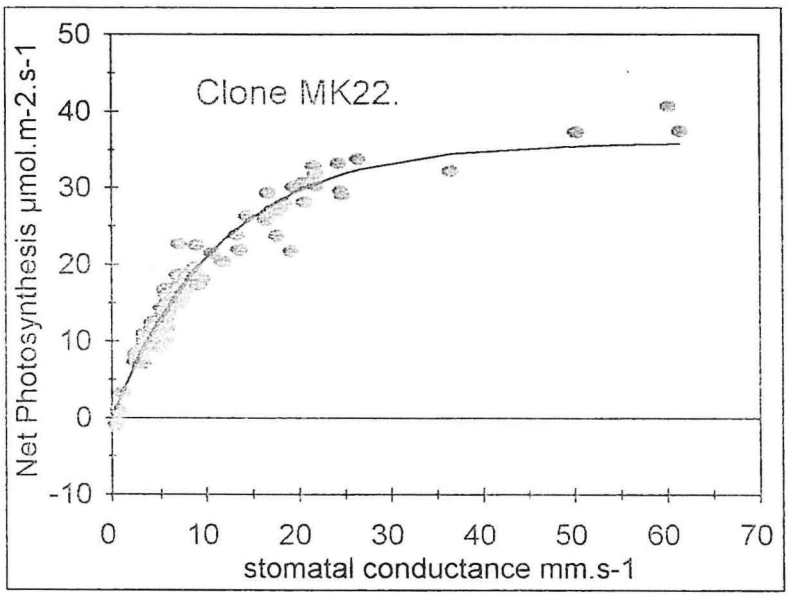


fig. 7. Relation entre la photosynthèse et la conductance stomatique quand le rayonnement est saturant.

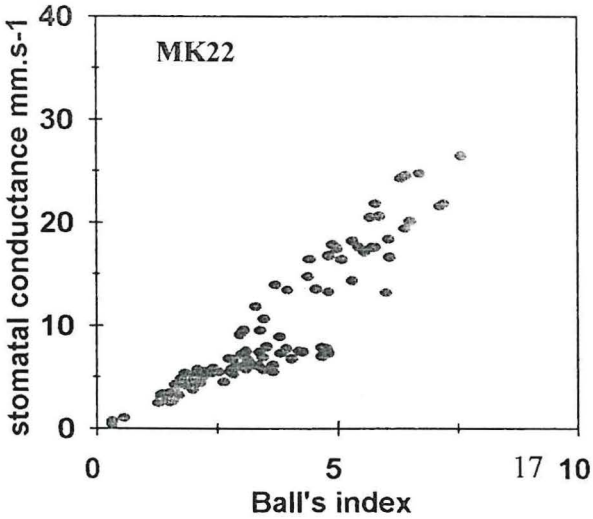


fig. 8 . Relation entre la conductance stomatique et l'index de Ball et al. (1987) .

Cette courbe dont les variations sont expérimentalement plus maîtrisables peut représenter, par la suite, une bonne alternative pour obtenir PNmax, à la classique courbe de réponse de la photosynthèse au rayonement (cf hyperbole équilatère de Dufrêne, 1989). Des modèles de linéarisation expérimentale de cette relation existe en particulier celui, très simple, de Ball et al. (1987) permettant de relier la conductance stomatique et la photosynthèse à des facteurs ambiants tels que l'humidité relative et la concentration en CO_2 (gsmax = go + g1 * Pnmax * h/cs avec go et g1 des paramêtres, h l'humidité ambiante et cs la concentration de CO_2 dans laquelle baigne la feuille) (fig.8)

. Les trois clones étudiés différent par les valeures respectives de go et g1 (MKO4 : go= 0.2, g1 = 2.35 r2=0.86, ddl = 206; MK10 : go=-2.53, g1=3.54, r2= , ddl= ; MK22 : go = -5.7, g1 = 4.205, r2 =0.85, ddl=102). Les clones diffèrent par les valeurs de paramêtres go et g1.On trouve ici un résultat intéressant : le clone MK22, par des valeurs de go et g1 notablement plus élevées, montre une plus grande dépendance entre la photosynthèse et la conductance stomatique que les deux autres clones en particulier avec MK04 dont les valeurs de go et g sont les plus faibles.
Par ailleurs, il est possible d'obtenir une bonne prédiction de la photosynthèse à partir du rayonnement, de la conductance stomatique et du VPD suivant l'équation : $Pn = \alpha * gs * VPD * ef * (PAR-\Gamma) / (\alpha * gs * VPD + ef * (PAR-\Gamma))$ avec α et ef des paramêtres et Γ le point de compensation à la lumière . Les valeurs de α et ef pour les trois clones sont respectivement (MK22 : $\alpha = 1.37$ (intervalle de confiance à 5% : 1.27; 1.46) , ef = 0.087 (0.072; 0.103), ddl= 256 ; MK04 : $\alpha = 1.07$ (1.03; 1.109), ef = 0.136 (0.111; 0.161) ddl = 384; MK10 : $\alpha = 1.15$ (1.07; 1.22), ef = 0.114 (0.084; 0.145).

Pour l'ensemble des résultats se référer à l'article Lamade et al. (1996).

3. La sensibilité au VPD : comparaison clonale

Il apparait de plus en plus clairement que la relation entre la photosynthèse et le VPD discrimine le matériel végétal d'une part en fonction de la zone agroécologique dans laquelle il se trouve mais aussi suivant une composante génétique.

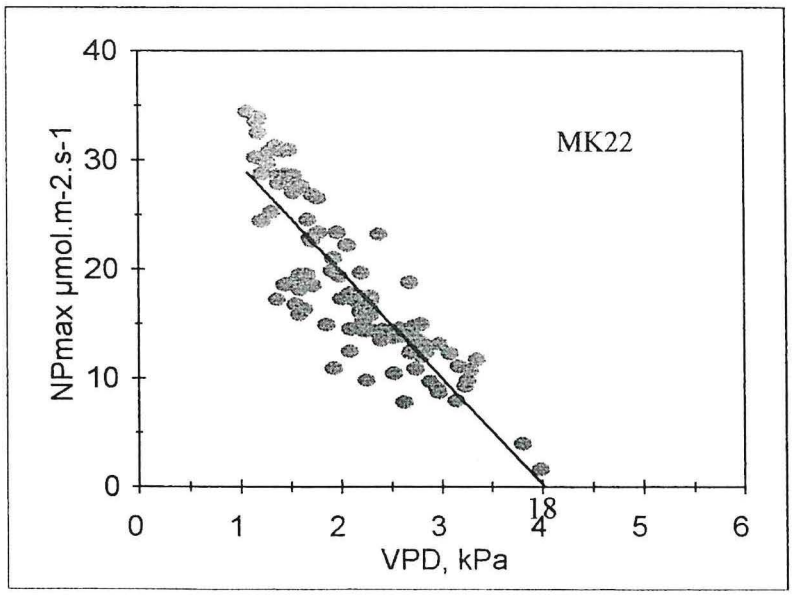


fig. 9. Sensibilité de la photosynthèse au VPD pur le clone MK22.

Lorsque on compare, en Indonésie les trois clones MK04, MK10 et MK22 on observe que le clone MK22 (fig. 9) montre significativement une sensibilité plus grande au VPD (régression linéaire entre Pnsat et VPD en kPa MK04 : Pnsat = -5.83 * VPD + 30.4 , ddl=152, r = 0.5; MK10 : Pnsat = -6.5 * VPD + 34.9 ddl=78, r2 = 0.83; MK22 Pnsat = -9.78 * VPD + 39.4 ddl=100, r2 = 0.76) que les trois autres. D'autre part en comparant le comportement des clones en Indonésie avec celui de la famille témoin L2T x D10D, on se rend compte que d'une part que celui-ci, dans les conditions de Côte d'Ivoire montre une sensibilité beaucoup plus faible au VPD que les clones en Indonésie. Est ce un effet environemental ? Pas uniquement puisque on peut noter que le clone MK04, le plus proche génétiquement de L2Tx D10D, montre aussi une sensibilité du même type (fig.10).

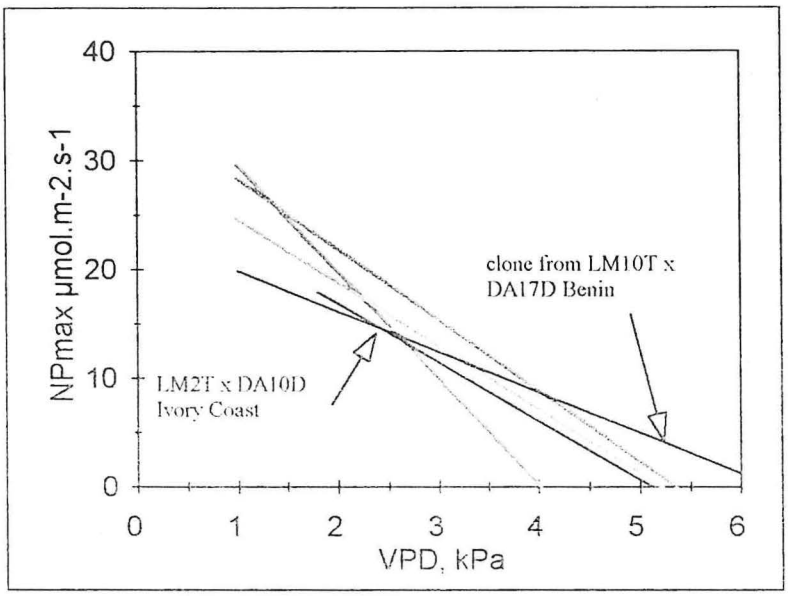


fig. 10. Sensibilité de la photosynthèse du palmier au VPD. Comparaison des sites indonésiens (Marihat), ivoirien (La Mé) et béninois (Pobè) et comparaison génétique entre MK22, MK04 et MK10 (matériel clonal) et L2T x D10D.

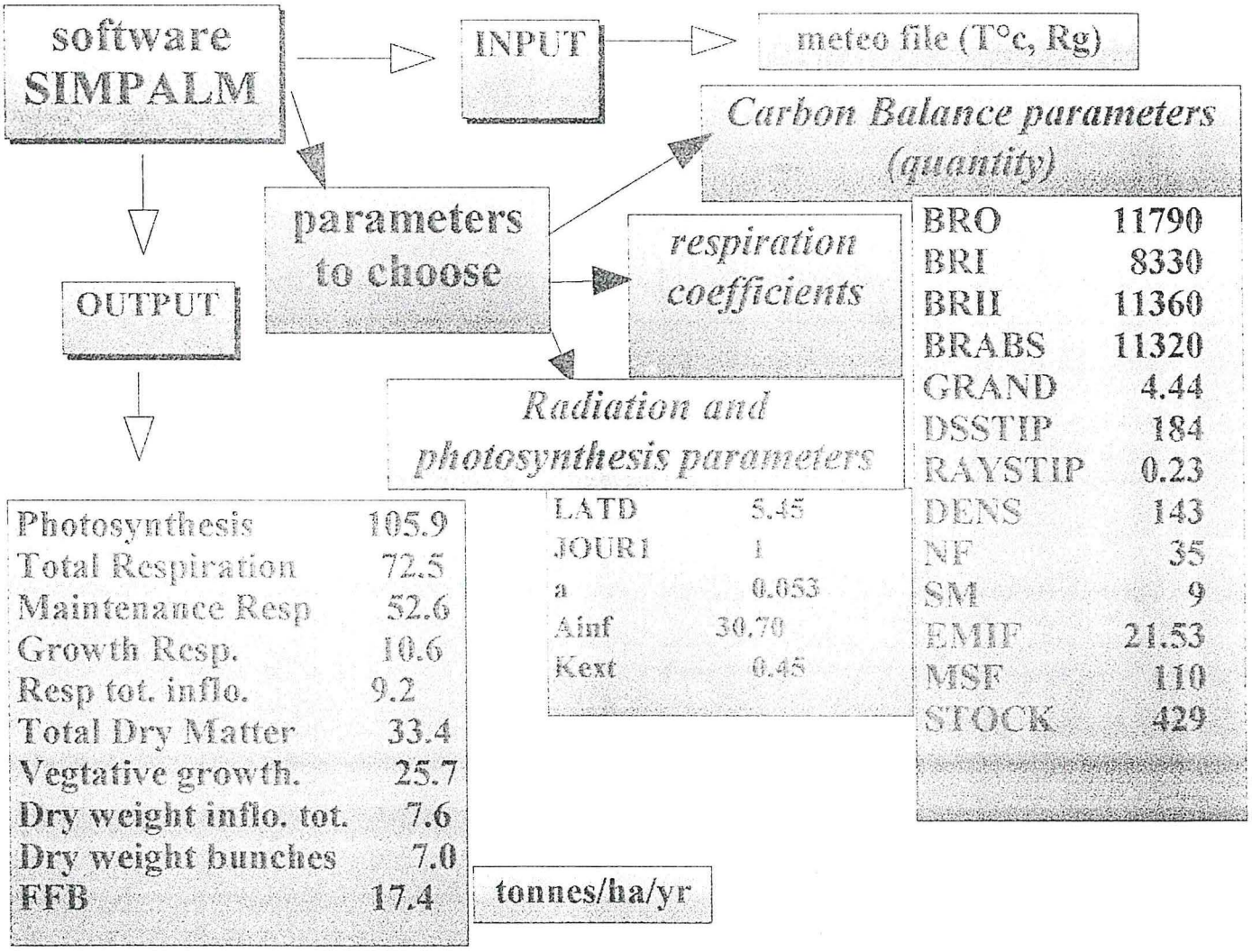
Ce critère de sensibilité n'est peut-être pas à négliger : losqu'on observe l'évolution des productions sur 3 ans des clones , on remarque que le clone le plus sensible, MK22 , malgré un taux de photosynthèse maximale très élevé (Pnmax = 31.6 µmol.m-2.s-1), voit sa production évoluée bien plus faiblement que les deux autres clones. C'est ainsi que, dans une première phase, des tests "VPD" peuvent être envisagée au jeune âge en pépinière, également en champs et voire, après un suivi de production sur plusieurs années, si ce critère est pertinent pour la sélection ou non.

4. Le test du modèle de bilan carbone de Dufrêne au Nord de Sumatra

SOFTWARE SIMPALM (C++)
(fig.11)

Afin de tester le modèle de simulation de production établie par E. Dufrêne (1989) dans les conditions écologiques de Côte d'Ivoire sur la famille témoin L2T x D10D dans les conditions indonésiennes cette fois-ci, un ensemble de paramêtres (au moins 14) ont été mesurés. Ce sont à la fois des paramêtres physiologiques telles que la photosynthèse maximale, le rendement quantique apparent, mais aussi biométriques tels que l'indice foliaire, la biomasse sur pieds (stipe, feuille, racine) , ou encore le nombre de palmes par couronnes (en tout 14) qui ont été mesurés sur deux familles (La première d'origine "Lamé" : DA128self x LM7T self, la deuxième "Rispa" : BJ13D self x BJ221P), par ailleurs faisant l'objet d'un suivi phénologique préçis. Un enregistrement précis journalier du rayonement solaire incident établie sur toute l'année 1994 a servie à établir un fichier méteo indispensable pour faire tourner le modèle. Lorsqu'on tient compte uniquement du rayonnement et que, toute chose étant égale par ailleurs, il est possible d'observer qu'une différence de 2 Mj m-2 jour-1 entre Lamé et Marihat, provoque un accroissement théorique de la quantité des assimilats égale à 4%, qu'une différence dans la température moyenne d'environ 2° C provoque un décroissement des besoins en carbone pour la respiration égale à 18 %. Ceci conduit à une simulation théorique de la production égale à 30 t.ha-1 en Indonésie contre 18 en Côte d'Ivoire. Si maintenant on tient compte des caractéristiques propres des deux familles étudiées, on obtient pour "Lamé" une simulation égale à 38 t.ha-1 contre 30 pour la famille "Rispa"). Si les différences observées entre la simulation et le résultat vont bien dans le même sens pour les deux familles (production respectivement 24 t.ha-1 et 17 t.ha-1) , la comparaison entre les résultats théoriques et les résultats observés met en évidence cependant une différence entre les deux familles. L'observations des arbres sur le terrain permet d'émettre deux types d'hypothèses concernant l'écart au potentiel : un manque en assimilats carboné pourrait provenir des importants dégats foliaires observés ,due aux ravageurs, ou à un phénomène d'ennoyage racinaire temporaire très fréquent dans cette zone dont la pluviométrie annuelle dépasse 3000 mm par an en moyenne.

Ces hypothèses restent à verifier sur le terrain de manière beaucoup plus précise.L'ensemble des résultats se trouve dans Lamade and Setiyo (1996).


software SIMPALM
INPUT
meteo file (T°c, Rg)
Carbon Balance parameters (quantity)
parameters to choose
respiration coefficients
OUTPUT
Radiation and photosynthesis parameters
BRO 11790
BRI 8330
BRII 11360
BRABS 11320
GRAND 4.44
DSSTIP 184
RAYSTIP 0.23
DENS 143
NF 35
SM 9
EMIF 21.53
MSF 110
STOCK 429
LATD 5.45
JOUR1 1
a 0.053
Ainf 30.70
Kext 0.45
Photosynthesis 105.9
Total Respiration 72.5
Maintenance Resp 52.6
Growth Resp. 10.6
Resp tot. inflo. 9.2
Total Dry Matter 33.4
Vegtative growth. 25.7
Dry weight inflo. tot. 7.6
Dry weight bunches 7.0
FFB 17.4
tonnes/ha/yr

5. L'utilisation d'un outil adapté pour l'estimation de l'indice foliaire : le LAI 2000 (Li-Cor)

Une méthode simple d'estimation de l'indice foliaire a été testée à la Station de recherche de Marihat en comparaison avec la méthode classique CIRAD (Tailliez et al., 1992) grâce à l'utilisation du PCA (Plant Canopy Analyzer) LAI-2000 de Il-Cor. L'échantillonnage contient des palmiers jeunes et adultes appartenant à des origines différentes. Avec la méthode directe d'estimation de l'indice foliaire on obtient des valeurs comprises entre 3.4 et 7 avec des valeurs de surfaces foliaires comprises entre 5.6 m2 et 11.7 m2. La meilleure correlation (r2 = 0.96, ddl = 8) entre les deux méthodes, directe et indirecte s'obtient lorsqu'on réduit le champ de vision du capteur des deux bagues circulaires externes (N° 4 et n° 5) (fig. 12) et lorsque l'équipement global comprend 2 capteurs et deux centrales d'enregistrements pour mesurer simultanéement le rayonnement diffus arrivant au dessus de la canopée et le rayonement transmis sous la canopée. L'utilisation de cet appareil dans les conditions tropicales humides, très nuageuses, du Nord de Sumatra (Indonésie) s'avère particulièrement adéquate : cette méthode représente un gain de temps considérable en comparaison de la méthode classique.Très fiable, elle permet le suivi saisonnier de la canopée directement en relation avec les pratiques culturales.

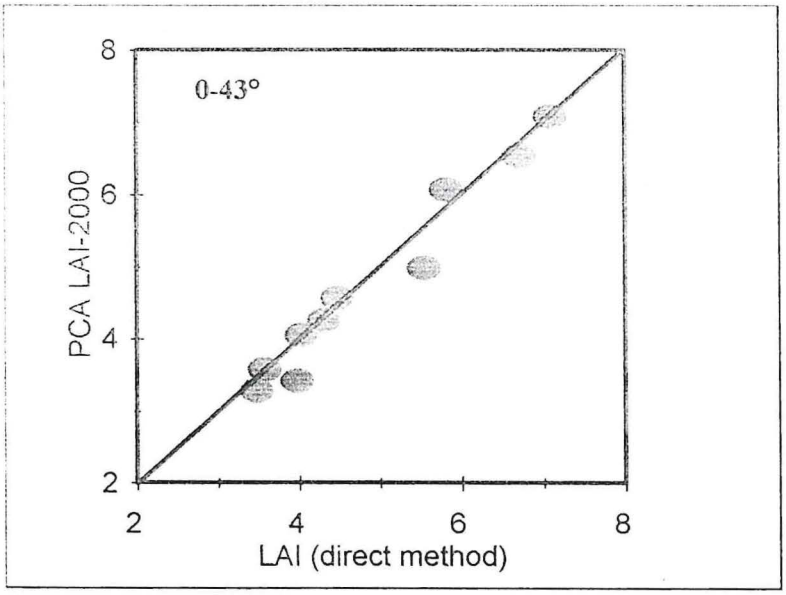


fig. 12. Relation entre la méthode d'évaluation directe de l'indice foliaire avec la méthode Tailliez et Koffi (1992) et le PCA LAI 2000 lorsque les bagues 4 et 5 sont enlevées.

6. Respiration à l'obscurité à l'échelle d'un arbre

Un ensemble de montage expérimentaux a permis de mesurer la respiration des folioles (Lamade, 1996a) et (indirectement) les racines (Lamade, 1996b, Lamade et al. 1996b). On observe nettement une diminution de la respiration à l'obscurité en fonction des rangs de feuilles retrouvant ainsi un résultat classique : l'intensité respiratoire est directement en relation avec l'activité de l'organe.

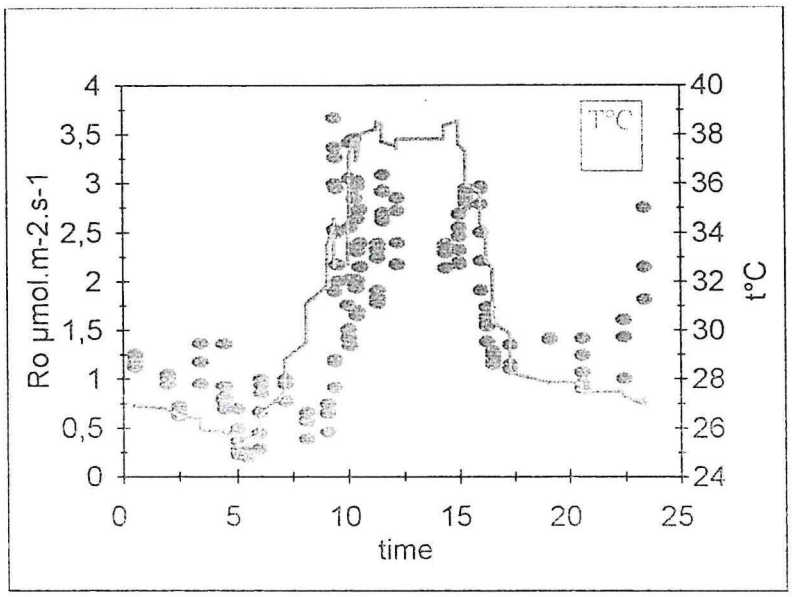


fig. 12. Suivi sur un jour/nuit de la respiration à l'obscurité de plusieurs folioles du clone MK04, Marihat. Illustration de l'effet de la température.

Dans l'ensemble la respiration à l'obscurité des folioles et des racines s'avère beaucoup plus faible au Nord de Sumatra, quelque soit le matériel, à température égale, qu'au Bénin par exemple.

Le suivi de la respiration à l'obscurité tout au long de la journée et de la nuit au Nord de Sumatra (fig.12) permet d'avoir une idée de la dépendance de la respiration aux variations de température et d'estimer la respiration de base aux alentours de 0,5 à 1,5 µmol.m-2.s-1.

7. Effet de la nutrition azotée sur la photosynthèse à l'échelle de la canopée

Le passage de l'estimation de la photosynthèse foliaire à celle de la canopée sous-entend la connaissance de la variation de celle-ci en fonction des rangs. C'est ainsi que de nouvelles investigations ont été enteprises sur le matériel clonal (MK22, MK04 et MK10) avec deux nouveaux types d'appareils : le LCA4 (ADC, GB) pour la mesure de la photosynthèse foliaire et le poromêtre Il-Cor 1600 (Il-Cor, USA) pour la mesure directe de la conductance stomatique. Le long de la spirale , des mesures conjointes ont été effectuées sur 10 folioles par palmes avec les deux types d'appareils. Des dosages d'azote foliaire ont été effectués pour chaque palme étudiés. Les résultats sont en cours d'exploitation.

Préalablement une série de mesures de contenu en chlorophylle a+b grâce au SPAD 501 (fig.13) de chez Minolta, conjointement à des détermination de contenu en azote des folioles pour l'ensemble des rangs de la spirale 1 a été effectué sur un nombre conséquent d'arbres pour les 3 clones.

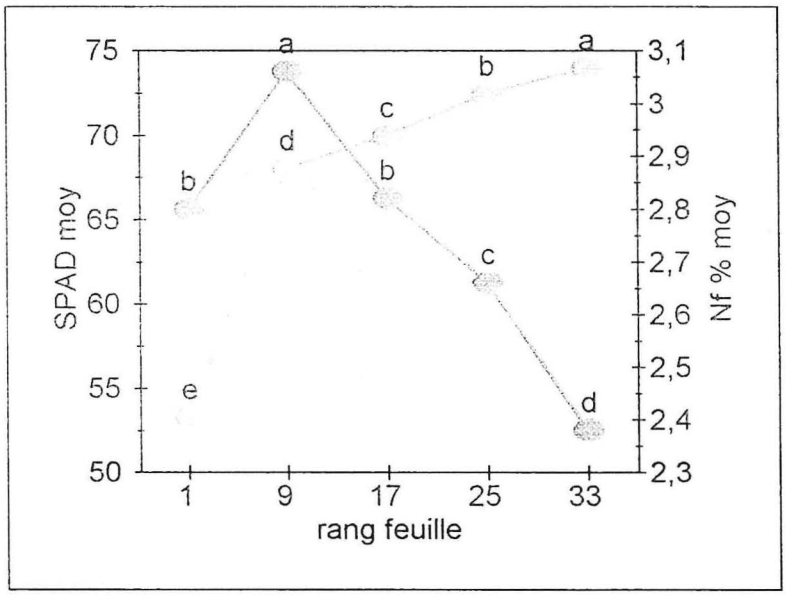


fig. 13. Variation en fonction du rang de la palme du contenu en chlorophylle a+b et du contenu en azote. Les clones MK22, MK04 et MK10 sont mis en commun sur ce graphe.

Les mesures de contenu en chlorophylle a+b effectuées avec le SPAD 501 ont permis de mettre en évidence une différence significative, à l'échelle de la canopée, entre les clones en relation avec leur croissance (fig.14).

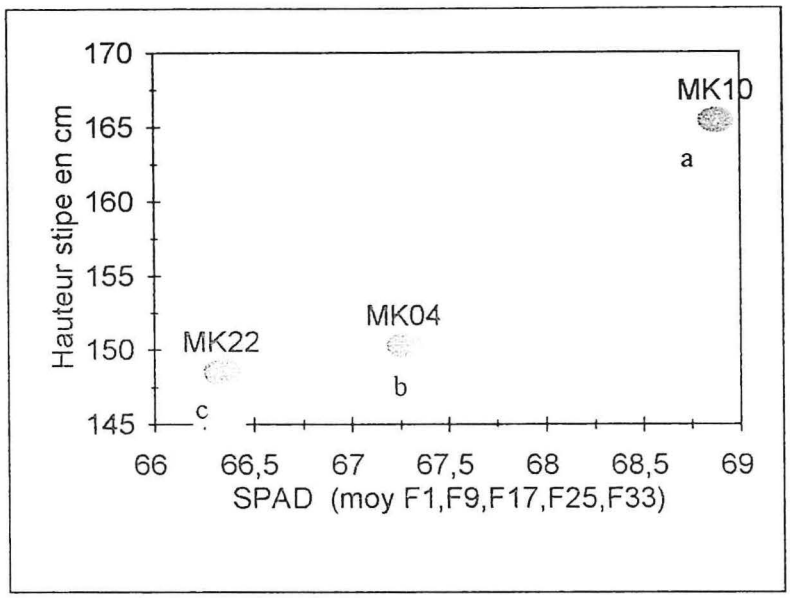


fig. 14. Relation entre la biomasse aérienne produite et le contenu en chlorophylle des clones MK22, MK04 et MK10.

8. Effet d'un ennoyage partiel et total sur les échanges gazeux foliaire et l'allocation de biomasse de jeunes plants de palmiers à huile.

Relativement caractéristique de la zone agroécologique de Marihat, des phénomènes d'ennoyage temporaires sont à signaler tout au long de l'année dans certains bas-fonds d'où l'intérêt d'en connaitre l'effet sur la production. Des palmiers de deux ans ont été soumis pendant deux mois à trois traitements d'ennoyages différents et simultanéement à trois traitements d'engrais (photo 7 et 8). Des mesures de photosynthèse et de conductance stomatique ont été réalisées (photo 9) sur tous les arbres ainsi qu'un suivi de la densité individuelle de leur canopée. A la fin de l'expérience les biomasse aérienne et souterraine ont été mesurée pour chaque arbre. Il ressort que l'ennoyage à un effet négatif très significatif sur la conductance stomatique ainsi que sur la production de racines absorbantes. L'efficacité des doses standard d'engrais est aussi très diminuée par l'ennoyage total et partiel du système racinaire.

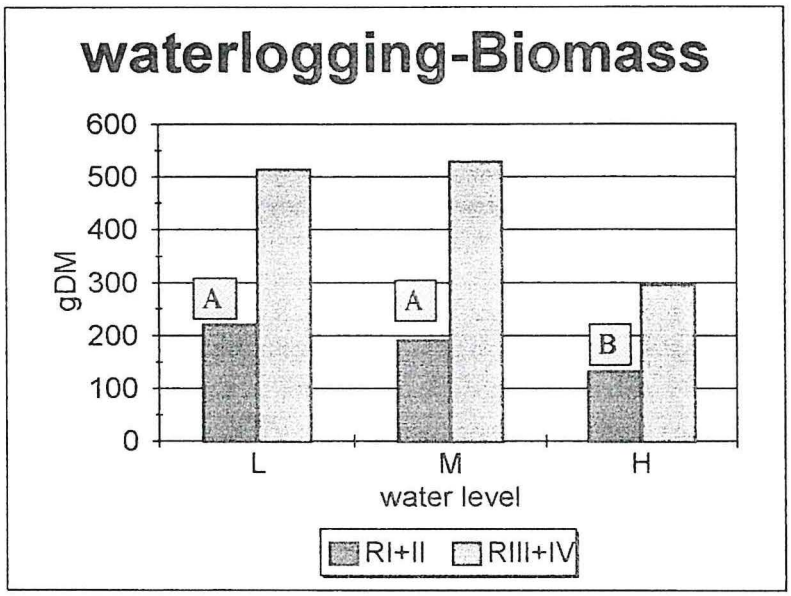
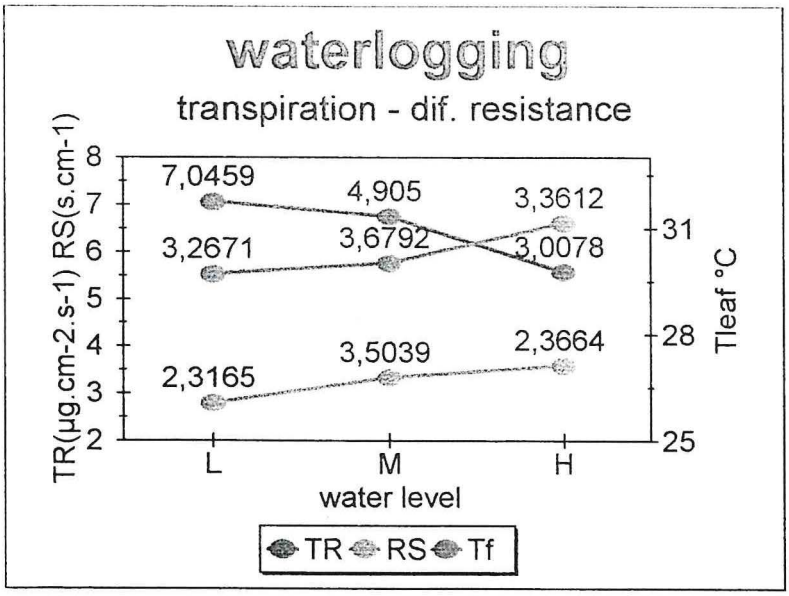


fig. 15. Effet significatif de l'ennoyage partiel et total sur la production de racines absorbantes (RIII+IV) (L, M, H pour Low, Medium, High : les niveaux d'ennoyage des arbres).

fig. 16. Effet de l'ennoyage partiel des racines sur la transpiration et la résistance diffusive de jeunes plants de palmiers en pépinière.



Bilan des activités de recherches 1994-1996

Publications

Bénin :

- Lamade, N Djegui and P. Leterme. 1996
Estimation of carbon allocation to the roots from soil respiration measurements of oil palm.
Plant and Soil, 181 : 329-339.

Bénin et Indonésie :

- Lamade. 1996.
Oil palm : measuring photosynthesis and respiration.
Plant. Rech. Dév. 3(1) : 23-27.

- Lamade. 1996.
Méthode de mesure de la respiration du sol pour le palmier à huile.
Plant. Rech. Dév. 3(3).

- Lamade and Setiyo. 1997.
Variation in maximum photosynthesis of oil palm in Indonesia : comparaison of three morphologically contrasting clones.
Plant Rech. Dév. 3(6)- 429-438.

Communications Colloques :

PIPOC 96, Kuala Lumpur , 23-29 septembre 96.

- Lamade, Bonnot and Z Poeloengan. 1996
Modelling photosynthesis and stomatal response of Oil Palm Clones to Environmental Conditions in North Sumatra (Indonesia). Implication for Plant Breeding. p. 87-96. Proceedings of the Agriculture Conference. PORIM, Malaysia.

- Lamade and Setiyo. 1996.
A rapid method for Estimating Leaf Area Index with the Il-Cor "LAI-2000 PCA" for Oil Palm p.415-420. Proceedings of the Agriculture Conference. PORIM, Malaysia.

- Setiyo, Subronto and Lamade 1996.
Photosynthetic rate of three different DxP clones : the sensitivity to vapour pressure deficit in North Sumatra. p. 421-426. Proceeding of the Agriculture Conference. PORIM, Malaysia.

- Lamade and Setiyo. 1996.
Test of the Dufrêne's Production model on two contrasting families of oil Palm in North Sumatra. p. 427-435.Proceeding of the Agriculture Conference. PORIM, Malaysia.

Rapports d'activités :

Bénin :

- Lamade, 1993.
Echanges gazeux foliaire chez le palmier à huile au Bénin.
Rapport interne CIRAD, n° 118.

- Lamade, 1993.
Respiration du sol chez le palmier à huile au Bénin.
Rapport interne CIRAD, n° 119.

Montpellier :

- Lamade, 1994.
Descriptif général d'un modèle de simulation de production. Doc. Interne CIRAD, 30 p.

Indonésie :

- Lamade, 1994, 1995 et 1996.
Physiological components of oil palm yield elaboration. IOPRI-CIRAD joint programm. Programm March- October 96. 30 p. Internal document(I, II, III).

- Lamade 1995 et 1996
Physiological components of oil palm yield elaboration. Progress report March-October 1996.

Internal document (I, II).

Séminaires

CNRS- Université Paris XI.

- Lamade 1996 (janvier).
Présentation des résultats d'Indonésie concernant la physiologie du palmier à huile. Discusion des modèles possibles entre la photosynthèse et la conductance stomatique.

CIRAD-CA Ecophysiologie

Caliman et Lamade 1996.
Présentation des résultats d'étude des relations entre le contenu en chlorophylle et l'azote foliaire chez des plantules de palmier à huile issu de culture in vitro.

Missions dans des laboratoires étrangers et français:

PORIM , Kuala Lumpur les 27-30 Octobre 96.
Exposé des activités de physiologie effectuées par le CIRAD en collaboration avec l'IOPRI. Discusion de futures programmes de recherches et nouvelles orientations. Prise de connaissance des programmes de physiologie et modélisation du PORIM.

CNRS- Université de Paris XI. 28-30 janvier 96
Calibration des appareils de physiologie. Mise à jour bibliographique en physiologie et modélisation. Connaissance des programmes de recherche CNRS.