



CR0100300

COMPTE RENDU DE
L'ATELIER INTERNATIONAL

CENTRE D'ETUDES REGIONAL

POUR L'AMELIORATION

DE L'ADAPTATION A

LA SECHERESSE.

L'ADAPTATION A LA SECHERESSE
CHEZ LES ARBRES.

PHYSIOLOGIE, TECHNIQUES
ET METHODES D'ETUDES.

ISRA - CNRA

3 BAMBEY SENEGAL

1) 73.61.97 • 73.60.50

!1) 73.61.97 • 73.60.52

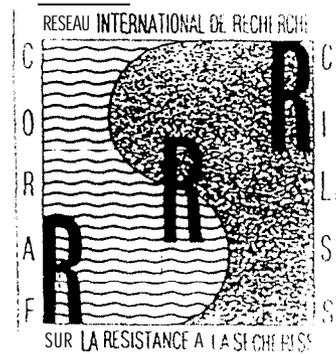
POBE (BENIN)

DU 12 AU 15 NOVEMBRE 1991

2A
1438

CETTE REUNION A ETE ORGANISEE GRACE AUX CONTRIBUTIONS FINANCIERES

- du Réseau de Recherches sur la Résistance à la Sécheresse (R3S),
- de la Conférence des Responsables de Recherches Agronomiques Africains (CORAF),
- du Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS),
- de l'Agence de Coopération Culturelle et Technique (ACCT),
- du Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA),
- du Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (CERAAS).



AVANT PROPOS

Cet atelier sur "L'Adaptation à la Sécheresse de l'Arbre. Physiologie, Techniques et Méthodes d'Étude" qui s'est tenu à Pobé (Bénin) du 12 au 15 novembre 1991 offre une belle illustration de la concrétisation des efforts engagés par les Institutions de Recherche Africaines dans le cadre de la CORAF.

En effet, l'initiateur et l'organisateur principal de cet atelier est le C.E.R.A.A.S. (Centre d'Étude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse) qui est un laboratoire de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (I.S.R.A.).

Depuis sa création ce Centre a accueilli de nombreux chercheurs de la région pour des missions de recherche ou des séjours de formation mais il n'a pu répondre, pour des raisons de logistique, qu'à quelques-unes des nombreuses demandes formulées par les chercheurs travaillant sur les plantes pérennes. Les relations existant entre le C.E.R.A.A.S et la Station de Recherche sur le Palmier à Huile (S.R.P.H.) ont alors servi de base à l'idée d'organiser un atelier de formation à l'intention de ces chercheurs sur le thème de la sécheresse.

Le soutien financier du R3S (CORAF), de l'ACCT et du CTA ont permis de concrétiser cette organisation durant laquelle les institutions de 10 pays étaient représentées.

Ce rappel est fait parce qu'il constitue bien un exemple de notre capacité à dynamiser nos potentialités dès lors que nous les développons en commun. Ils nous ont inspiré durant cet atelier et nous ont conduit à élargir le cadre technique de cette réunion à une réflexion sur les moyens d'organiser nos efforts pour améliorer la production de l'arbre en zone sèche. Celle-ci est présentée sous une forme synthétique à travers les recommandations formulées dans ce document.

Cependant nous ne sommes encore qu'au début du chemin nécessaire à parcourir pour matérialiser nos intentions sur ce thème de recherche. En particulier, il revient à chacun d'apporter les contributions indispensables à la promotion de nos recommandations afin que notre prochaine rencontre soit l'occasion d'établir un bilan fructueux de la collaboration que nous voulons développer.

L'Animateur Principal du Comité de Suivi

LISTE ET ADRESSES DES PARTICIPANTS

Nom et Prénom	Espèce	Adresse
<u>TAMBA Abdourahmane</u> Foresterie, Agroforesterie	<i>Dalbergia sissoe</i> <i>Leucaena</i>	ISRA/DRPF BP. 2312 DAKAR (Sénégal) Tél. : 32.32.19 Fax : 32.96 17
<u>KOUYATE Amadou Malé</u> Foresterie, Agroforesterie	Espèces forestières	I.E.R./DRFH BP. 1704 BAMAKO (Mali) Tél. : Fax :
<u>DIALLO M. Tidiane S.</u> Filière Fruits	<i>Fruitiers</i>	IRAG BP. 576 CONAKRY (Guinée) Tél. : Fax :
<u>CANDE Umaru</u> Agronomie	<i>Légumineuses</i>	DEPAR C.P. 505 1036 BISSAU (Guiné-Bissau) Tél. : 21-44-38 Fax : 21-40-62
<u>PANGOU Valentin Serge</u> Foresterie. Agroforesterie	<i>Espèces forestières</i>	CERVE B.P. 1249 BRAZZAVILLE (Congo) Tél. : 83-11-24 Fax :
<u>ASEMOTA Omorefe</u> Plant P hysiology	<i>Palmier à huile</i>	NIFOR PMB 1030 BENIN-CITY (Nigeria) Tél. : 052 44-01-30 Fax :
<u>ISENMILA Augustus E.</u> Agronomy-Soil Water Plant Use/Fertilizer	<i>Palmier à huile</i>	NIFOR PMB 1030 BENIN-CITY (Nigeria) Tél. : 052 44-01-30 Fax :
<u>OMORE Alphonse</u> Sélection/Amélioration	<i>Palmier à huile</i>	SRPH 13.P. 1 POBE (BENIN) Tél. : 25-00-66 Fax : 25-02-66
<u>OLOMOLA Avo</u> Agronomy. trop-physiology	<i>Caféier</i>	CRIN PMB 5244 IBADAN (Nigeria) Tél. : 022 41-00-40 Fax :
<u>AROWOLO James Ajayi</u> Plant breeding Selection	<i>Caféier</i>	CRIN PMB 5244 IBADAN (Nigeria) Tél. : 022 41-00-40 Fax :
<u>NJITI Forkona Clément</u> Agroforesterie	<i>Espèces de savanne</i>	IRA B.P.. 415 GAROUA (CAMEROUN) Tél. : Fax :
<u>OUEDRAOGO Makido</u> Ecophysiologie,	<i>Jatropha curcas L.</i>	ISN/IDR Univ. Ouagadougou 03 BP 7021 OUAGADOUGOU (Burkina) Tél. : Fax :

<u>YE Y. Henri</u> Microbiologie, Agroecologie	<i>Leucaena, Gliricidia, Sesbania</i>	ISN/IDR Univ. Ouagadougou 03 BP 7021 OUAGADOUGOU (Burkina) Tél. : 30-71-59 Fax : 30-72-42
<u>CORNAIRE Bonaventure</u> Physiologie Résistance à la sécheresse	<i>Palmier à huile</i>	SRPH B.P. 1 POBE (Bénin) Tél. : Fax
<u>ADJE Alabi Isaac</u> Agronomie. Bioclimatologie Restauration/Maintien des sols	<i>Palmier à huile</i>	SRPH B.P. 1 POBE (Bénin) Tél : 25-00-66 Fax : 25-02-66
<u>N'CHO A. Ludovic</u> Physiologie	<i>Espèces des savanes</i>	IDESSA (DCV) 01 BP 635 BOUAKE (Côte d'Ivoire) Tél. : Fax: 63-20-44
<u>ADJAHOSSOU D. Firmin</u> Physiologie Adaptation sécheresse	<i>Palmier à huile, autres espèces</i>	Fac. Sci. Agron. BP 526 COTONOU (Bénin) Tél. Fax :
<u>ANNEROSE Daniel</u> Physiologie Adaptation sécheresse	<i>Annuelles</i>	CERAAS/ISRA B.P. 53 BAMBEY (SENEGAL) Tél. : 73-60-50 Fax 73-60-52
<u>NIZINSKI Georges</u> Ecophysologie	<i>Acacia, Eucalyptus, etc ...</i>	ORSTOM B.P. 1386 DAKAR (SENEGAL) Tél. : 32.34.80 Fax : 32-34-07
<u>ZAKRA A. Nicodème</u> Agronomie, Restauration et Maintien des sols	<i>Cocotier</i>	IDEFOR/IRHO "M. DELORME 07 - BP. 13 ABIDJAN 07 (Côte d'Ivoire) Tél. : 24-88-72 Fax :
<u>Do CEU MATOS Maria *</u> Physiologie Adaptation sécheresse	<i>Fruitiers</i>	INIA/EAN Dépt. Fisiol. Veg. 2780 OEIRAS (Portugal) Tél. : 1 443-0442 Fax : 1 4420861
<u>ZOAKOUMA Dieudonné **</u> Agronomie	<i>Caféier</i>	ADECAF BP. 1935 Bangui (R.C.A.) Tél. : Fax:

* : Les grèves aériennes à Paris n'ont pas permis à Mme Do Ceu MATOS de poursuivre son voyage jusqu'à Pobe. Elle a néanmoins fait parvenir sa communication au rapporteur afin qu'elle soit jointe aux documents exposés.

** Non arrivé.

PROGRAMME ET ORDRE DU JOUR

12 Novembre 1991 :

Matin

Président
Rapporteur

Ludovic NCHO
Alabi ADJE

- 09:00 - 10:00 Allocutions d'ouverture
- 10:00 - 10:30 : Pause
- 10:30 - 11:30 : "Mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse et amélioration de la productivité en zones sèches" par D.J.M ANNEROSE (C.E.R.A.A.S Sénégal)
- 11:30 - 12:30 : "Mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse et création de matériel végétal adapté chez le cocotier et le palmier à huile" par B. CORNAIRE (S.R.P.H., Bénin)

Après-midi

Président
Rapporteur

Makido OUEDRAOGO
Alabi ADJE

- 15:00 - 16:00 : "Eléments d'écophysiologie" par J. NIZINSKI et D. MORAND (ORSTOM, Sénégal)
- 16:00 - 17:00 : "Les glucides de réserves et la tolérance à la sécheresse chez le palmier à huile" par D.F ADJAHOSSOU (Faculté des Sciences Agronomiques, Bénin)
- 17:00 - 17:30 Pause
- 17:30 - 19:00 Exposés des participants
- | | |
|-----------------|--------------------------|
| Bénin : | A. ADJE
A. OMORE |
| Burkina : | M. OUEDRAOGO
Y. YE |
| Cameroun : | F. NJITI |
| Congo : | V. PANGOU |
| Côte d'Ivoire : | A. ZAKRA
L. NCHO |
| Guinée : | M. DIALLO |
| Guinée-Bissau : | U. CANDE |
| Mali : | A. KOUYATE |
| Nigéria : | A. OLOMOLA
O. ASEMOTA |
| Sénégal : | A. TAMBA |
- 19:00 - 19:30 : Préparation des ateliers d'expérimentation
Constitution des groupes de travail

13 Novembre 1991 :

Matin

- 09:00 - 13:00 Expérimentations en groupe

Après-midi

14 30 17 30 Expérimentations en groupe

14 Novembre 1991

Matin

09 00 13 00 Expérimentations en groupe

Après midi

14 30 17:00 Visite des dispositifs expérimentaux des programmes de recherche de la S.R.P.H.

17 30 20 00 Discussions et mise en forme des recommandations

18 00 Cocktail-repas présidé par Monsieur Ange ACLENON, Chef du Programme Etudes et Projets à la DRA.

15 Novembre 1991

Matin

Président : D. ANNEROSE

Rapporteur : M. DIALLO

07:00 - 10 30 Discussions et approbation des recommandations

10:30 11:00 : Pause

11:00 - 1230 : Conclusions

Après-midi Départ des premiers participants

DEBAT ET RECOMMANDATIONS

REMARQUES SUR L'ATELIER

Les participants ont tenu à féliciter la S.R.P.H. et le C.E.R.A.A.S. pour l'organisation de cet atelier. L'ensemble des exposés et les expérimentations réalisées ont constitué un très grand apport et ont permis aux participants d'effectuer une remise à jour de leurs connaissances scientifiques et techniques dans ce domaine de recherche.

Cet atelier a constitué une excellente opportunité pour chaque participant de rencontrer différents collègues autour de points scientifiques et techniques concrètement exposés. Les discussions établies à cette occasion ont permis d'envisager le développement d'une coopération régionale autour de ce thème de recherche.

Les participants formulent le vœu que ce genre de rencontres se développe avec l'espoir d'enrichir cette nouvelle collaboration entre les institutions de leurs pays,

RECOMMANDATIONS

Au delà des acquis fournis sur le plan scientifique et technique, l'atelier a eu le mérite de sensibiliser les participants de divers pays à la nécessité de mener des études pluridisciplinaires intégrées entre forestiers écologistes, physiologistes, agronomes et généticiens pour traiter les aspects complémentaires d'un même problème : celui de l'adaptation du matériel végétal à la sécheresse.

Il est apparu que la sécheresse, surtout dans le cas des arbres, reste une notion relative. Le cas du palmier à huile ou du cocotier au Bénin, au Nigéria ou en Côte d'Ivoire montrent bien que dans des zones humides l'arbre doit aussi faire face à la sécheresse durant les périodes sèches ou à faible pluviométrie. Dans ces conditions les études dans ce domaine ne doivent pas être conduites exclusivement dans les zones considérées climatiquement sèches (cf zones sahélienne et soudano-sahélienne) mais dans toute zone où, pour une espèce donnée, le manque d'eau est responsable d'une baisse de la production de l'arbre.

À l'examen des contributions respectives des pays participants et des préoccupations communes exprimées dans le domaine de l'amélioration de la productivité de l'arbre en conditions de sécheresse les recommandations suivantes ont été formulées :

A.- Dans le domaine de recherche concerné, les institutions de recherche respectives des pays participants devraient poursuivre leurs efforts sur les grands thèmes suivants :

- 1) L'évaluation des risques agroclimatiques de sécheresse
avec pour objectif principal une meilleure caractérisation des *formes de sécheresses* rencontrées
- 2) L'amélioration de l'alimentation en eau par les techniques culturales
en privilégiant une approche intégrée sur les problèmes de l'eau ainsi que de la nutrition azotée et minérale.
- 3) L'agroforesterie
- 4) L'évaluation et la valorisation des semences améliorées
- 5) La formation et la recherche

B.- Les recherches sur les fruitiers doivent être intégrées dans ces programmes au même titre que celles menées sur les autres espèces arborescentes.

C.- Compte tenu de la communauté des préoccupations des Institutions de recherche dans le domaine de l'amélioration de la productivité de l'arbre en conditions de sécheresse, les participants proposent d'associer leurs compétences. Pour cela, les participants décident de constituer un groupe de recherche intitulé :

Groupe de Recherche sur l'Adaptation à la Sécheresse de l'Arbre

(G.R.A.S.A.)

Le G Y A S A a pour vocation de donner un cadre à la coopération régionale que les participants souhaitent voir se développer dans ce domaine de recherche avec pour objectif, à terme, d'aboutir à la création d'un Réseau

D Le Groupe recommande que les différents thèmes de recherche identifiés par les pays en fonction de leur domaine de compétence (Tableau 1) fassent l'objet de montages de projets à caractère régional.

E - Le Groupe se félicite de représenter des pays d'Afrique francophone, anglophone et lusophone il estime cependant nécessaire d'élargir sa collaboration scientifique en direction des autres pays du continent et notamment ceux de l'Afrique du Nord.

F Il est aussi indispensable de développer les relations avec les Institutions Scientifiques du Nord afin de conduire des programmes d'intérêt commun et développer des actions de formation.

G.- Afin de stimuler les efforts de recherche et de formation, le Groupe recommande de renforcer le potentiel scientifique et technique de la S.R.P.H. à Pobé afin d'en faire un Centre d'Excellence à vocation régionale pour les études physiologiques d'adaptation à la sécheresse sur les arbres dans la zone soudano-guinéenne Une structure équivalente devra être identifiée pour les études conduites dans les zones semi-arides. Le Groupe recommande que le mandat et le fonctionnement de ces Centres s'inspirent du modèle que constitue le C.E.R.A.A.S. pour les plantes annuelles,

H.- Les participants adhèrent à l'idée du Pr ADJAHOSSOU concernant la création de jardins botaniques. Ils décident d'apporter leur appui au renforcement de l'expérience déjà en cours au Bénin, tout en encourageant son développement dans les autres pays.

I.- Afin de faciliter la mise en oeuvre de ces recommandations le Groupe décide que l'animation de ses activités sera confiée à un Comité de Suivi. Celui-ci a été élu et se compose de :

Animateur Principal	Mr Makido OUEDRAOGO (Burkina)
	Mr Bonaventure CORNAIRE (Bénin)
	Mr M. Tidiane DIALLO (Guinée)
	Mr Augustus ISENMILA (Nigeria)
	Mr Valentin PANGO (Congo)

Le Comité de Suivi est mandaté par le GRASA afin de présenter ses recommandations auprès des différents partenaires scientifiques et financiers.

Il a été demandé à Messieurs NIZINSKI (ORSTOM/Dakar) et ANNEROSE (CERAAS) de taire bénéficiaire, à titre consultatif, le Comité de Suivi de leurs compétences dans la constitution de projets à caractères régionaux.

J - Les participants devront dans des délais raisonnables faire parvenir au Comité de Suivi un descriptif précis de leurs programmes respectifs afin que soit constitué un annuaire des programmes.

K.- Le Groupe souhaite éditer un bulletin d'information qui devra être principalement alimenté par des communications provenant des différents partenaires. Ce bulletin pourra s'inspirer des publications existant déjà en la matière au niveau des Réseaux de la CORAF.

L.- Le Groupe recommande la tenue d'un prochain atelier dans un délai de 12 mois et qui aura pour objet principal la labélisation des projets régionaux, regroupés par thème de recherche, afin qu'ils soient soumis de manière unifiée aux partenaires financiers.

Le Comité de Suivi devra étudier la possibilité de tenir cette réunion à OUAGADOUGOU ou à BAMBEY en fonction de la disponibilité du pays pour l'accueillir. Les dispositions devront être prises afin que les participants soient informés au plus tôt.

Tableau 1 : Principaux thèmes de recherche identifiés en liaison avec l'amélioration de la productivité de l'arbre en conditions de sécheresse

THEMES DE RECHERCHE	PAYS
<i>Sélection pour l'adaptation à la sécheresse</i>	Bénin, Cameroun Côte d'Ivoire, Nigéria
<i>Physiologie et Ecophysiologie de l'arbre</i>	Côte d'Ivoire, Mali Nigéria, Sénégal
<i>Métabolisme et fixation de l'azote</i>	Burkina, Côte d'Ivoire Guinée-Bissau, Nigéria Sénégal
<i>Nutrition minérale</i>	Guinée, Congo, Côte d'Ivoire, Nigéria Sénégal
<i>Microbiologie</i>	Sénégal
<i>Utilisation des réserves en eau et conservation</i>	Bénin, Burkina Congo, Côte d'Ivoire Nigéria, Sénégal
<i>Essais variétaux</i>	Burkina, Cameroun Guinée, Mali Nigéria, Sénégal
<i>Agroforesterie</i>	Cameroun, Congo Guinée-Bissau, Nigéria Sénégal
<i>Régénération et conservation des sols</i>	Bénin, Côte d'Ivoire Nigéria
<i>Aménagement des sols</i>	Cameroun, Mali Nigéria
<i>Aménagement des pâturages</i>	Guinée-Bissau
<i>Irrigation</i>	Cameroun, Guinée Nigéria, Sénégal
<i>Jardin botanique</i>	Bénin, Burkina Guinée-Bissau, Nigéria
<i>Technologie du bois</i>	Burkina, Nigéria
<i>Vulgarisation</i>	Cameroun, Nigéria

THEMES DES JOURNEES D'EXPERIMENTATION

Trois demi journées ont été consacrées à la présentation de techniques et à la conduite d'expérimentations applicables à l'étude de la physiologie de l'adaptation à la sécheresse des végétaux. Celles ci ont été regroupées en trois postes de travail sur les thèmes d'étude suivants

- Echanges gazeux,
 - Relations hydriques, croissance racinaire et acquisition de données,
 - Résistance protoplasmique.

Les participants étaient repartis en trois groupes de 4 à 5 participants et ont suivi un thème de travail par demi-journée

Les mesures ont été effectuées sur des jeunes plants de plusieurs génotypes de palmiers à huile âgés de 2 à 8 mois. Les plants étaient cultivés en serre ou en pépinière. Un stress par suspension d'arrosage a été appliqué 5 jours avant le début des mesures sur la moitié des plants cultivés en serre

CONTENU DES POSTES DE TRAVAIL

ECHANGESE U X

Animateur : B. CORNAIRE

- Détermination du degré d'ouverture des stomates, de la transpiration foliaire et de la l'activité photosynthétique foliaire.
- Traitement informatisé des données
- Evaluation de l'effet d'un traitement par suspension d'arrosage.
- Appareils utilisés*:
 - Poromètre MKIII (DELTA-T)
 - Analyseur portable de CO₂ (A.D.C.)

RELATIONS HYDRIQUES, CROISSANCE RACINAIRE ET ACQUISITION DE DONNEES

Animateur : D. ANNEROSE

- Etablissement d'un bilan hydrique foliaire par psychrométrie ou à ta chambre à pression. Evaluation de l'effet d'un traitement par suspension d'arrosage.
- Etablissement du bilan hydrique d'un couvert végétal par mesure de la température de surface du couvert. Acquisition et traitement informatise des données.
- Suivi de la dynamique d'enracinement de jeunes plants de palmier cultivés en rhizotrons. Discussions sur les autres méthodes.
- Appareils utilisés*:
 - Chambres psychrométriques C30, L52, C52 et Microvoltmètre, (WESCOR)
 - Centrale d'acquisition (DELTA-T)
 - Téléthermomètre infra-rouge (TELATEMP)
 - Psychromètre ventile (Nardeux)
 - Ordinateur portable (Data Général)
 - Rhizotrons (fabrication ISRA)

RESISTANCE PROTOPLASMIQUE A LA DESSICCATION

Animateur : F. ADJAHOSSOU

- Détermination de la capacité des membranes de tissus foliaire à maintenir leur intégrité. Etude des effets d'un stress par suspension d'arrosage.
- Traitement et analyse des données
- Appareils utilisés*: Conductimètre (CONSORT)

* Voir liste des fabricants en annexe

ALLOCUTIONS

ALLOCUTION DE MR CORNAIRE (S.R.P.H./D.R.A.)

Monsieur le Représentant du Ministre du Développement Rural.

Messieurs les chercheurs,

Au nom du Comité de Direction de la Station de Recherches sur le Palmier à Huile (S.R.P.H.), je vous souhaite la bienvenue à Pobè.

Je ne saurais formuler tous mes vœux de réussite à cet atelier sans vous présenter brièvement la S.R.P.H. qui a le plaisir et l'honneur de l'accueillir.

Créée en 1921 et ouverte en 1922, la Station de Recherches sur le Palmier à Huile de Pobè (S.R.P.H.) est l'une des plus anciennes du Bénin et de l'Afrique. Elle a connu une intense période d'activités à partir de 1946, année où sa gestion a été confiée à l'Institut de Recherche pour les Huiles et Oléagineux (I.R.H.O.), et jusqu'à la fin des années 70 elle joua un rôle de premier plan dans le réseau de l'I.R.H.O..

Ce n'est qu'en 1977 qu'à l'image de toutes les anciennes unités gérées par les Instituts Français de Recherches au Bénin elle s'est intégrée dans la hiérarchie directe de la Direction de la Recherche Agronomique qui est une Direction Centrale du Ministère du Développement Rural.

MISSIONS ET OBJECTIFS ACTUELS

La S.R.P.H. a pour mission :

- d'assurer toutes recherches permettant de lever les goulots d'étranglement en matière de culture du palmier à huile et de transformation de ses produits en vue de proposer aux services de vulgarisation et aux producteurs, des référentiels simples et adaptés à divers contextes écologiques et économiques.

- d'assurer toutes recherches de base au titre de contribution à la connaissance scientifique de tous les modèles biologique, chimique, physiologique et autres auxquels appartiennent le palmier à huile et ses produits.

Pour accomplir cette mission, la S.R.P.H. s'est fixée comme objectifs :

1 - Améliorer le matériel végétal dont les caractéristiques visées sont :

. la forte productivité en condition hydrique favorable;

. le maintien d'une productivité économiquement rentable et la faible mortalité en conditions hydriques marginales;

. la faible croissance en hauteur;

. la résistance aux maladies.

2 - De connaître les mécanismes physiologiques de résistance à la sécheresse en vue de mettre au point les tests précoces de sélection pour l'amélioration de l'adaptation.

3 - De mettre au point des pratiques culturales permettant de mieux valoriser le potentiel génétique du matériel dans diverses conditions écologiques et de production (fumure, maintien et /ou régénération du patrimoine sol, maintien de la réserve d'eau disponible...).

4 - D'adapter une assistance technique à quelques producteurs pilotes soit par une intervention directe sur leur exploitation soit par le biais des essais et tests en milieu réel.

La station de Pobè comprend :

3 divisions techniques et une division administrative

. Division Agronomie

. Division Sélection

. Division Physiologie

. Division Administrative et Comptable.

Elle dispose de 5 cadres supérieurs dont 4 chercheurs sur place et un actuellement en formation à Montpellier.

LOCALISATION

• Station de Pobè qui couvre 744 ha • superficie plantée 313 ha.

• Station annexe d'Akpadanou 152 ha • 152 ha.

- Station annexe de Kpota 100 ha dont 7 ha plantés.

L'Atelier qui nous réunit aujourd'hui est le résultat d'une longue et fructueuse collaboration entre la Station de Pobè et le CERAAS de Bambey mais pour ne pas en dire plus, je vais laisser la parole au Docteur ANNEROSE Daniel du CERAAS de Bambey, coorganisateur de cet Atelier

Merci

ALLOCUTION DE MR ANNEROSE (C.E.R.A.A.S./ISRA)

Monsieur le Représentant du Ministre du Développement Rural

Monsieur le Directeur de la S.R.P.H./POBE

Mesdames et Messieurs les participants

Chers collègues,

Nous *sommes* réunis ici à Pobè parce que nous avons à faire face à un problème important pour nos régions: celui de la sécheresse. En effet, tous, quelle que soit l'espèce qui nous concerne et quelles que soient les particularités de la zone dans laquelle nous l'étudions, avons pour préoccupation d'améliorer le rendement en conditions d'eau limitantes chez les arbres, Nous représentons ici 11 pays, mais si cela avait été possible, tous les pays de notre continent auraient pu être représentés confirmant ainsi l'importance de cette problématique.

L'arbre constitue, en effet, un élément essentiel des systèmes agricoles de nos pays à la fois pour son rôle de combustible mais aussi pour nos sols dans l'alimentation de l'homme et du bétail et sa capacité à améliorer les conditions climatiques et écologiques. Nous sommes pourtant confrontés au paradoxe que les études conduites sur l'arbre sont encore en-deçà des besoins nécessaires pour l'obtention d'une véritable amélioration de sa production.

Différentes raisons sont à l'origine de ce constat qui s'expliquent à la fois par la complexité des situations rencontrées, le relatif isolement de nos équipes de recherche ainsi que le coût et la durée des investissements nécessaires à la réalisation de nos actions.

Face à ce constat, il faut non seulement faire preuve de persévérance dans nos actions mais aussi d'originalité dans la recherche et la mise en place des moyens nécessaires à leur poursuite et leur développement. C'est dans ce souci qu'est organisé l'Atelier de Pobè intitulé "l'Adaptation à la Sécheresse chez les Arbres : Physiologie, Techniques et Méthodes d'Études".

Nous bénéficierons dans ce site de la très riche expérience qu'a accumulée la S.R.P.H. qui travaille depuis de nombreuses années sur le problème de l'adaptation à la sécheresse du palmier à huile, vous trouverez certainement en Monsieur CORNAIRE, Directeur de la S.R.P.H., qu'il nous faut ici remercier pour son formidable accueil, un interlocuteur et un partenaire parfaitement maître du sujet qui nous interpelle.

Le Professeur ADJAHOSSOU de la Faculté des Sciences Agronomiques du BENIN est un brillant précurseur des études conduites dans ce domaine et il a accepté aussi de nous faire partager ses compétences.

Madame Do CEU MATOS de l'INIA (PORTUGAL) et Monsieur NIZINSKI de l'O.R.S.T.O.M. vous feront aussi partager leurs compétences en écophysiologie de l'arbre.

Enfin le CERAAS que je représente ici, co-organisateur de cet Atelier, qui est un laboratoire national de l'I.S.R.A. et du R3S à vocation régionale, essaiera de contribuer aux travaux en vous faisant partager ses expériences dans le domaine de la physiologie de l'adaptation à la sécheresse.

Mais au-delà des concepts, techniques et méthodes que vous pourrez acquérir au cours de cet Atelier, vous aurez aussi à réfléchir sur les moyens d'organiser vos propres compétences afin de dynamiser vos efforts. Vous aurez à préciser votre problématique de la sécheresse afin d'affiner la définition et l'harmonisation de vos objectifs. Enfin, vous aurez à dénombrer et à évaluer vos **capacités** afin d'optimiser à un niveau national mais aussi régional, la portée de vos actions.

Cet Atelier est l'un des premiers du genre organisé sur les arbres dans la région. Il en appelle sûrement d'autres traitants aussi des autres problèmes importants pour l'amélioration de la productivité de l'arbre. Mais je suis persuadé que nous saurons valoriser l'opportunité qui nous est offerte en

COMMUNICATIONS

MCCANISMES PHYSIOLOGIQUES D'ADAPTATION A LA SECHERESSE ET CREATION DE MATERIELVEGETAL ADAPTE CHEZ LE COCOTIER ET LE PALMIER A HUILE

Bonaventure CORNAIRE
SRPH, B.P. 1
POBE (BENIN).

La faible pluviométrie du Bénin ne permet pas au palmier à huile d'exprimer toutes ses potentialités.

La Station de Recherches sur le Palmier à Huile de Pobè a pour objectifs essentiels:

L'amélioration du matériel végétal pour diverses écologies;

La mise au point des pratiques culturales permettant de valoriser le potentiel génétique du matériel végétal;

La recherche des mécanismes physiologiques de résistance à la sécheresse en vue de la mise au point des tests précoces de sélection.

C'est la Division Physiologie qui exécute ce contrat de recherche.

I) LE PROGRAMME DE RECHERCHE:

Des observations faites sur les blocs GP14 et GP16 à Akpadanou où sont plantés les meilleurs hybrides de l'IRHO ont montré des différences de comportement des croisements vis à vis de la sécheresse tant sur le plan de la survie des arbres que sur celui de la productivité. C'est ainsi que certains croisements ont été classés :

Bon producteur résistant
Bon producteur sensible
Mauvais producteur résistant

A partir de cette étude, certains parents ont été identifiés comme présumés résistants, sensibles et producteurs

Mortalité faible

D 8 D

D10 D

- Mortalité forte

D 300 D, DI 18D

D 28 D, L404D

L 269 D

Mortalité moyenne

D 1150

- Production forte

L 2 T, L 10 T, L 9 T, L 5 T, L 13 T.

A) MATERIEL VEGETAL

Dans les blocs GP 14 et GP 16 certains croisements ont été retenus pour les études au champ
Il s'agit des croisements :

- Bons producteurs résistants.

L 2 T x D 10 D (témoin)

L10 T x D 8 D

L13 T x D 8D

L 7 T x D 10 D

P542D x P850 T

Bons producteurs sensibles	Mauvais producteurs résistants
L 2 T x D 118 D	L 430 T x L 404 D
L 10 T x D 118 D	L 412 D x L 238 T
L 2 T x D 115 D	L 231 D x D 18 D
L 10 T x D 28 D	L 442 T x L 644 D

Les jeunes plants de ces mêmes croisements sont reproduits en pépinières pour les différentes années.

Certains croisements disponibles en clones sont demandés.

B) EXPERIMENTATION

Les études sur les arbres au champ sont faites pendant la grande saison sèche. Nous travaillons sur un certain nombre d'arbres utiles par croisement dans les parcelles élémentaires et dans un certain nombre de répétitions.

Les jeunes plants en pépinière subissent des simulations de sécheresse soit par suspension d'arrosage soit en soumettant les disques foliaires à des chocs osmotiques par trempage dans du PEG 600.

Les différents thèmes de recherche retenus.

Thème 1 Mesures phénologiques pour étude de comportement des arbres adultes

Il s'agit des mesures de croissance en hauteur et en circonférence, de l'émission foliaire, de la surface foliaire et de la densité racinaire.

Thème 2 Etude de la gestion de l'eau au niveau du sol et de la plante.

Evolution du profil hydrique dans les parcelles élémentaires des croisements retenus (Sonde à neutron).

Au niveau de l'arbre pendant la saison sèche, les mesures suivantes sont faites:

La teneur relative en eau des folioles;

Le potentiel hydrique;

L'ouverture stomatique et la résistance stomatique.

Au niveau des jeunes plants soumis ou non à une suspension d'arrosage en plus des mesures faites sur les arbres, il a été retenu de mesurer la cinétique de perte d'eau sur folioles détachées et le potentiel osmotique.

Thème 3 Etude des réserves glucidiques au niveau de différents organes de la plante et étude de la mobilisation des sucres au niveau de la famille

* Etude des réserves

- sur les arbres

Evaluation des sucres des teneurs sucres et de l'amidon dans les folioles et dans le stipe.

- sur les jeunes plants

Evaluation des teneurs sucres solubles et amidon dans les folioles, dans le chicot, dans le pseudodulbe et dans les racines

* Mobilisation des sucres

• Dosage des Amylases et Invertases neutre et acide;

• Dosage de la Phosphatase acide.

Thème 4 La capacité photosynthétique des jeunes plants soumis ou non à une suspension d'arrosage.

Les mesures de points de compensation des jeunes plants.

L'étude se fera sur des disques de folioles traités ou non au PEG 600.

Thème 5 La résistance protoplasmique

Evaluation des dégâts cellulaires au niveau foliaire par mesure de conductimétrie et dosage du phosphate inorganique libérée.

Les études sont faites sur des disques foliaires de plants soumis à un traitement sécheresse par suspension d'arrosage ou trempage dans du PEG 600.

Les analyses de lipides foliaires seront faites pour évaluer l'intégrité des membranes cellulaires dont le rôle est indéniable dans la résistance protoplasmique.

II) QUELQUES TABLEAUX

Les principaux résultats sont présentés sur les figures 1 et 2 :

Les mesures d'ouverture stomatique (Figure 1) ont été faites dès la fin de la petite saison des pluies durant toute la saison sèche jusqu'à la reprise des pluies.

Nous constatons que les croisements présumés sensibles L2, L3 gardent leurs stomates plus longtemps ouverts que les croisements présumés résistants L5 et L13. Le croisement témoin L2T x D10D occupe une position intermédiaire.

Cette ouverture stomatique permanente entraînerait une déperdition d'eau plus importante ce qui est préjudiciable à la plante lorsqu'elle ne trouve pas la compensation au niveau du sol, mais l'avantage de cette ouverture est d'assurer à la plante la possibilité de faire sa photosynthèse et d'augmenter ses assimilats. Par contre lorsque les stomates ont tendance à rester fermés il y a une plus grande économie d'eau mais cet état de chose est un grand handicap pour la plante quant à ses possibilités de synthétiser de la matière organique.

Nous pouvons faire des regroupements.

Les croisements les plus résistants sont ceux qui ont une plus forte densité racinaire, c'est le cas des croisements t-231 T x D18D, L430T x L404D et L412D x L238T. Parmi ces croisements certains ont tendance à garder leurs stomates plus longtemps fermés ce qui a pour conséquence une productivité plus faible.

Au vu de ces résultats, on pourrait dire que la résistance de ces croisements serait due à une plus grande possibilité de s'alimenter dans le sol.

Nous avons le groupe L2T x D115D, L2T x D118D, L5T x D118D et L10T x D118D qui sont des croisements sensibles, productifs, à densité racinaire plus faible et qui ont tendance à garder leurs stomates plus longtemps ouverts. Parmi ces croisements certains ont une résistance protoplasmique plus faible.

La grande sensibilité de ces croisements serait due pour certains à une faible densité racinaire qui limite l'approvisionnement en nutrition minérale, pour d'autres à une résistance protoplasmique plus faible.

La grande productivité de ces croisements serait liée à une plus grande capacité de photosynthèse due à une plus grande ouverture stomatique.

Entre ces deux groupes nous trouvons un ensemble de croisements résistants intéressants qui ont: une densité racinaire moyenne, une fermeture moyenne efficace des stomates ce qui leur confère une plus grande productivité.

C'est parmi ces croisements que l'on trouve ceux qui ont une plus grande résistance protoplasmique.

Le phénomène résistance à la sécheresse serait complexe. Certains croisements seraient résistants parce qu'ils ont un développement racinaire plus important, d'autres le seraient grâce à une résistance protoplasmique plus élevée.

Si nous comparons les croisements ayant les mêmes densités racinaires mais des productions différentes nous pouvons chercher à voir si ceux qui produisent plus n'ont pas une capacité photosynthétique plus importante.

Si nous prenons le cas des croisements qui ont la même productivité mais des densités racinaires différentes. Nous constatons que pour 23,5 % de photosynthèse en plus chez L2T x D10D nous trouvons 23,5 % de racines de plus chez ce croisement par rapport à L10T x D118D.

Tous ces résultats et les questions qui en découlent méritent d'être confirmés.

III) AMENAGEMENT DU PROGRAMME

Nous évaluerons la densité racinaire potentielle des jeunes plants des différents croisements pour voir si les différences constatées au stade adulte étaient une caractéristique de ces croisements.

Pour les croisements qui ont la même densité racinaire et des productivités différentes, nous allons mesurer leur capacité photosynthétique.

Pour les croisements ayant la même productivité et des densités racinaires différentes, il s'agira de castrer partiellement ou totalement le croisement à faible densité racinaire pour voir si au bout d'un certain temps son développement racinaire ne va pas s'accroître.

Toutes ces études permettraient d'aborder le problème de la répartition des assimilats dans la plante.

MECANISMES PHYSIOLOGIQUES D'ADAPTATION A LA SECHERESSE ET AMELIORATION DE LA PRODUCTIVITE EN ZONES SECHES.

Daniel J.M. ANNEROSE
Physiologiste
C.E.R.A.A.S./I.S.R.A.

I. INTRODUCTION

Dans les systèmes agricoles des pays en développement, l'arbre revêt une importance capitale. Ceci est particulièrement vrai dans le cas des zones sèches du continent africain où l'arbre, à la fois, joue le rôle de combustible, contribue à l'alimentation de l'homme et du bétail, et constitue un élément d'amélioration des conditions agro-climatiques. Dans les régions les plus sèches, l'arbre peut assurer, **dans** un système à production ligneuse, une production supérieure à celle d'une culture annuelle ou d'un couvert herbacé. Néanmoins dans de nombreux cas, celle-ci reste inférieure aux besoins croissants qui découlent de l'augmentation de la pression démographique et économique.

Ainsi à des degrés divers, dépendants du type de sécheresse, de l'espèce, du produit recherché et du système de culture, nous cherchons à améliorer la productivité de l'arbre en zone sèche et notamment ses capacités d'adaptation à la sécheresse.

Pourtant il faut admettre que dans les structures de recherche de la **région** les plantes annuelles ont davantage bénéficié de cette préoccupation que les arbres. Des études élégantes ont été ainsi conduites par ces mêmes structures sur les plantes annuelles, allant à la définition d'idéotypes et à leur sélection par des techniques avancées. Tandis, qu'à l'exception de quelques cas, l'étude précise de l'adaptabilité à la sécheresse de nombreuses espèces d'arbres en plantation ou en aménagements agricoles, reste à faire.

Il est évident que l'investissement en temps et en moyens nécessaires à la réalisation de ces études chez l'arbre a limité leur financement. Néanmoins, à l'instar des **progrès** concrets **déjà** obtenus avec les plantes annuelles, on peut maintenant concevoir que les efforts nécessaires peuvent être entrepris dans ces structures de recherche pour améliorer et stabiliser la production des arbres en zone sèche.

L'une des premières difficultés dans la conduite de ces études est liée à la forte **hétérogénéité** des formes de sécheresse généralement rencontrée dans les zones semi-arides (Cochemé et Franquin, **1967**; Dancette et coll., 1979; Annerose, 1991) qui complique l'évaluation précise du niveau d'adaptation d'un matériel donné. Dans ces conditions, les méthodes classiques d'évaluation basées sur l'utilisation d'indices agronomiques calculés à partir de mesures des rendements pluriannuels moyens (Fisher et coll., 1979) s'avèrent insuffisantes pour apprécier la **capacité** d'adaptation de ce matériel. Il est alors nécessaire de compléter l'analyse en améliorant notre compréhension des mécanismes fins du fonctionnement de la plante dont les interactions complexes détermineront les niveaux et la stabilité des rendements observés.

Nous abordons ainsi le domaine de la physiologie de l'adaptation à la sécheresse qui peut être définie comme l'étude des mécanismes physiologiques et biochimiques ainsi que des caractères anatomiques, morphologiques et phénologiques importants dans l'élaboration du rendement en condition de sécheresse.

Dans ce qui suit je vous présenterai quelques concepts de base sur la sécheresse et l'adaptation des végétaux supérieurs en liaison avec une recherche de l'amélioration de leur productivité. La nature des principaux caractères et mécanismes d'adaptation à la sécheresse chez les plantes cultivées seront **discutés et nous tenterons de préciser le rôle que doit avoir la physiologie dans un programme** d'amélioration de la production végétale en zone sèche. En tant que physiologiste des plantes annuelles cet exposé général sera essentiellement supporté par des exemples tirés d'études menées **sur les annuelles. Néanmoins il existe** une réelle homogénéité avec les formes d'adaptation à la

les observations rencontrées chez les arbres comme vendront l'illustrer, de manière plus précise, les interventions que feront durant cet atelier les véritables spécialistes de l'arbre.

II. SECHERESSE : DEFINITIONS, EVALUATION

Le caractère relatif de la sécheresse ne permet pas d'en donner une définition précise. En effet selon que l'on soit dans une région tempérée ou aride et selon l'utilisation qui est faite de l'eau, la sécheresse apparaîtra comme un phénomène fréquent ou rare, catastrophique ou normal. Il est donc nécessaire, pour en donner une définition acceptable par le plus grand nombre, de rester à un niveau de perception relativement simple comme en rend compte la définition formulée par RASMUSOFF (1987).

"La sécheresse correspond à une période étendue de diminution des pluies par rapport à un régime autour duquel l'environnement local et l'activité humaine se sont stabilisés."

Cette définition indique clairement que la sécheresse peut être évaluée soit à un niveau exclusivement pluviométrique ou au niveau de ses effets sur la productivité.

1. Approche climatique

A ce niveau d'étude, la sécheresse est généralement évaluée à partir d'analyses statistiques de base sur la pluviométrie (moyennes, écart-types...). Lorsqu'il s'agit d'estimer le changement climatique, celle d'une région ou d'une grande zone l'analyse portera sur plusieurs décades. Par contre les manifestations précoces de ces changements seront évalués par des analyses mensuelles ou saisonnières.

Cette approche permet d'effectuer un premier niveau de caractérisation des zones semi-arides (BAILEY 1979; BERRY 1984) à un niveau régional. Elle permet aussi de confirmer l'existence des variations substantielles de la sécheresse climatique en zones semi-arides (KHALFAOUI et ANNEROSE, 1987). Cependant elle reste insuffisante pour apprécier les effets de la sécheresse sur la productivité végétale.

2. Approche agro-climatique

Dans cette approche la sécheresse peut être définie comme la manifestation de périodes de déficit hydrique dans le sol, la plante ou l'atmosphère provoquant une baisse de la productivité.

En effet l'évaluation de la sécheresse peut être améliorée grâce à la prise en compte des concepts de bilan hydrique, d'évapotranspiration et d'état hydrique de la culture. Ces concepts sont maintenant suffisamment maîtrisés (voir communication de Mr NIZINSKI et de Mme Do CEU MATOS) pour permettre d'estimer la quantité d'eau disponible pour les cultures ainsi que l'utilisation qui en sera faite en fonction des caractéristiques des plantes et des conditions environnementales (ANNEROSE et DIAGNE, 1990).

III. MECANISMES PHYSIOLOGIQUES D'ADAPTATION A LA SECHERESSE

L'une des principales étapes dans l'étude des mécanismes d'adaptation à la sécheresse a été la proposition par LEVITT et coll. (1960), TURNER (1979) et LEVITT (1980) d'une classification des différentes formes d'adaptation à la sécheresse. Ces auteurs distinguent chez les plantes 3 types d'adaptation :

- les plantes capables d'esquiver la sécheresse (Drought Escapers),
- et les deux catégories de plantes supportant la sécheresse c'est à dire :
 - + les plantes ayant l'aptitude à éviter la sécheresse c'est à dire capables de supporter la sécheresse grâce à des mécanismes leur permettant de conserver des niveaux élevés d'hydratation de leurs tissus (Drought Avoiders)
 - + les plantes pouvant tolérer la sécheresse c'est à dire capables de supporter la sécheresse avec de faibles niveaux d'hydratation dans leurs tissus hydriques (Drought Tolerants).

L'isolement de ces formes d'adaptation à la sécheresse a permis d'établir un certain ordre dans la complexité et la diversité des types de réponses à la sécheresse et facilite l'étude des grands groupes de mécanismes ainsi identifiés. Cependant la grande variabilité des formes de sécheresse permet rarement d'expliquer le niveau d'adaptation d'un matériel végétal donné par la seule considération d'un mécanisme pris isolément. Comme nous le verrons plus loin chacune de ces formes

Tableau 1 Mécanismes d'adaptation à la sécheresse

Nature	Mécanismes	Avantages	Inconvénients
Échappement de la sécheresse	Précocité. développement phénologique rapide. Plasticité phénologique.	Diminution des risques de sécheresse en fin de cycle. Ajustement du cycle selon conditions hydriques.	Diminution du potentiel de production. idem
Évitement de la sécheresse	Maintien de l'absorption hydrique racinaire (Augmentation longueur et densité racinaire) (Diminution résistance hydraulique). Réduction des pertes en eau (Augmentation résistance stomatique et cuticulaire) (Diminution surface transpirante et charge radiative).	Augmentation des quantités d'eau disponible. Meilleure efficacité d'utilisation de l'eau.	Investissement en assimilats au détriment des autres organes Mauvaise gestion de l'eau disponible Réduction de la photosynthèse. Diminution de la production.
Tolérance à la sécheresse	Tolérance des tissus à la déshydratation. Maintien de la turgescence des tissus.	Poursuite du développement en conditions de stress	Coût énergétique pour la mise en place et le maintien des mécanismes. Mobilisation d'assimilats pour l'ajustement osmotique.

Dans chacun des cas considérés le coût énergétique associé au développement et à la maintenance d'un tel système peut être excessif (HALL, 1981). Ce qui imposera de fixer une limite dans la détermination des caractéristiques racinaires les plus performantes afin d'éviter une péjoration du rendement utile (PASSIOURA, 1982).

De plus l'intérêt de ces différents mécanismes ne doit pas être évalué uniquement en fonction du volume d'eau supplémentaire mis à la disposition de la plante mais aussi en fonction de l'efficacité de son utilisation par celle-ci. Les quantités d'eau rendues disponibles par une amélioration de l'absorption hydrique sont souvent très faibles par rapport à la consommation totale de la culture et, en fonction du stade de développement de la plante, ces mécanismes peuvent se révéler insuffisants pour lui permettre de maintenir l'état hydrique de ses tissus. Dans de tels cas il devient nécessaire que l'amélioration de l'absorption hydrique soit aussi accompagnée d'une régulation des pertes en eau

2. Réduction des pertes en eau

Différents mécanismes et caractères morphologiques contribuent à la réduction des pertes en eau durant le développement d'un stress hydrique.

La diminution de la surface foliaire, l'enroulement des feuilles, l'augmentation de la réflectance des feuilles, l'abscission des feuilles et certains caractères morphologiques comme la pilosité, l'épaisseur de la cuticule et la présence de cire sur les feuilles permettent de réduire la charge radiative, la transpiration cuticulaire, la température des feuilles et les surfaces transpirantes

La fermeture hydroactive des stomates, lorsqu'elle est associée à une faible transpiration cuticulaire, constitue cependant le mécanisme de régulation des pertes en eau le plus performant

La variation de la conductance stomatique a souvent été mise en relation avec celle du potentiel hydrique foliaire. La notion de potentiel hydrique foliaire seuil pour la fermeture des stomates (Figure 1) a été ainsi examinée comme un indice possible du niveau d'évitement de la sécheresse (GARDNER, 1973; Mc CREE, 1974; HALL et coll., 1976; TURNER, 1979; ADJAHOSSOU, 1983). Cependant d'autres facteurs distincts de ceux provoqués directement par une baisse du niveau d'hydratation des tissus foliaires peuvent affecter la conductance stomatique. Cet aspect sera discuté au cours de cet atelier dans le détail par Mr NIZINSKI qui passera en revue les différents facteurs de l'environnement ayant des effets directs ou indirects sur le contrôle du degré d'ouverture des stomates et la transpiration tels l'énergie lumineuse, la demande évaporative, la température foliaire, la concentration de CO₂, la vitesse de déshydratation, l'état hydrique du sol au niveau de la zone racinaire.

Parmi ces facteurs, l'étude des relations biochimiques et hormonales entre les racines et le fonctionnement stomatique constitue un domaine de recherche important. Les racines, lors d'une déshydratation du sol, agissent comme des "informateurs d'état de stress" et sont le siège de modifications hormonales responsables d'une diminution du degré d'ouverture des stomates et de la photosynthèse indépendamment de l'état hydrique foliaire (GOLLAN et coll., 1985; TURNER et coll., 1985; TURNER, 1986) (Figure 2).

Les différents mécanismes de régulation permettent d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau en réduisant les pertes en eau aux heures de plus forte demande évaporative tout en permettant la poursuite de l'activité assimilatrice de CO₂ uniquement aux heures les plus favorables. Ils sont, par conséquent, aussi responsables d'une diminution de la productivité due à une réduction des échanges gazeux aux heures de plus fortes demande évaporative. Leur niveau d'expression optimal dépendra donc de l'équilibre existant entre le contrôle de la consommation en eau durant le développement d'un stress hydrique et le maintien d'une activité assimilatrice satisfaisante. Ainsi une réduction des pertes en eau en début de cycle par l'intermédiaire de ces mécanismes pourrait augmenter la réserve utile d'eau durant la période de formation du grain. Alors qu'une répression des mécanismes de régulation des pertes en eau durant les phases de fructification et de remplissage permettrait d'améliorer les rendements grâce à un maintien des échanges gazeux et notamment de la photosynthèse. A condition que ce processus soit suffisamment tolérant à la déshydratation.

En effet bien que les mécanismes d'évitement de la sécheresse puissent être considérés comme constituant la forme la plus évidente d'adaptation à la sécheresse ils se révèlent parfois **insuffisants** dans le cas de sécheresses intenses et prolongées. Dans de telles conditions il **est aussi nécessaire** que la plante puisse poursuivre son développement tout en supportant une déshydratation importante de ses tissus.

C. TOLERANCE A LA SECHERESSE

On regroupe sous ce terme les mécanismes qui permettent à la plante de maintenir l'intégrité de ses fonctions métaboliques tout en endurant un déficit hydrique de ses tissus. Les principaux mécanismes de tolérance à la sécheresse sont le maintien de la turgescence et la tolérance à la déshydratation.

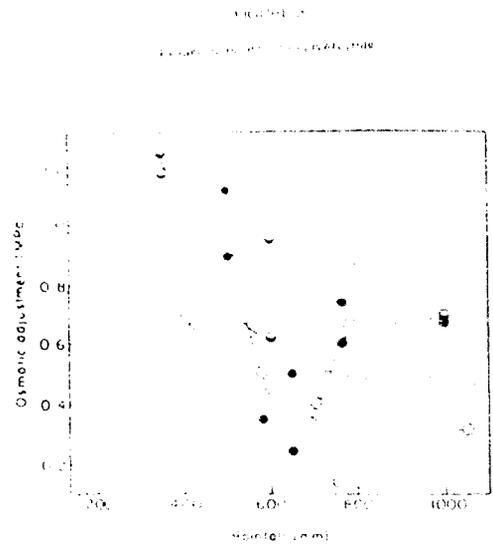
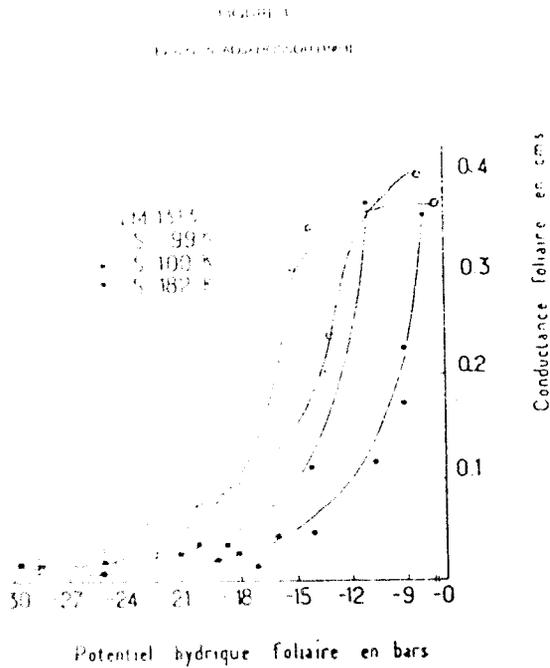
1. Maintien de la turgescence

Depuis les travaux de LOCKHART (1965) et HSIAO (1973) la diminution de la turgescence des tissus est considérée comme l'une des causes principales des effets négatifs d'un stress hydrique sur les fonctions de la plante (LEVITT, 1980).

Chez certaines espèces, l'accumulation de solutés en conditions de sécheresse provoque, à mesure que le potentiel hydrique s'abaisse, une diminution du potentiel osmotique qui permet de limiter la réduction de la pression de turgescence des cellules. L'augmentation de l'élasticité des parois cellulaires et la diminution de la taille des cellules permettent aussi de maintenir la pression de turgescence. La maintenance de la turgescence permet de maintenir l'ouverture des stomates, la photosynthèse, la croissance racinaire et l'absorption hydrique; elle diffère l'enroulement des feuilles et leur sénescence lors d'un déficit hydrique des tissus (Voir TURNER, 1986, pour une revue).

Dans une étude comparant le degré d'adaptation à la sécheresse de races primitives de sorgho et de mil originaires du Mali, du Soudan et de l'Inde, BLUM et SULLIVAN (1986) observent que le degré d'ajustement osmotique dans les feuilles est le seul caractère physiologique **corrélié** au niveau d'adaptation chez le sorgho (Figure 3); les races originaires des régions les plus sèches présentent les niveaux d'ajustement osmotique les plus élevés et les vitesses de croissance végétative les plus fortes.

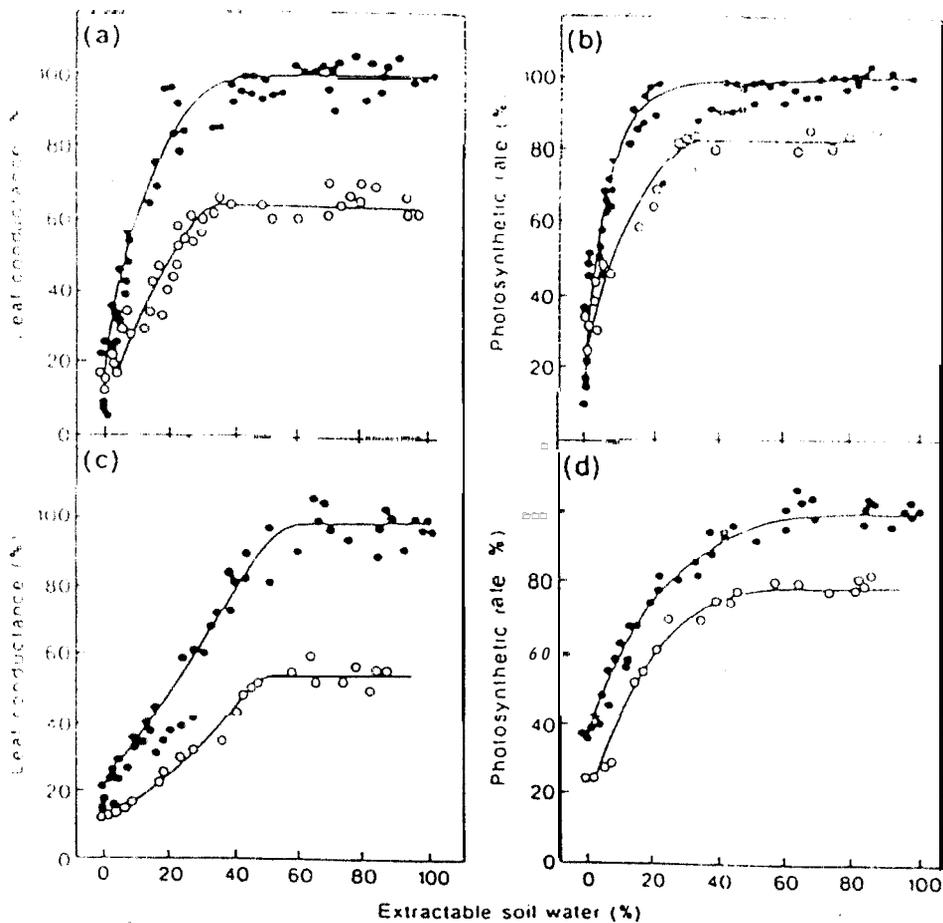
Conductance foliaire et teneur en eau en fonction du potentiel hydrique chez quelques espèces d'arbres à feuilles



The association between osmotic adjustment (the difference in leaf osmotic potential at full turgor between control and water stress treatments) and rainfall in the region of origin for 20 land races from three countries. Drawn lines are fitted regressions with the given respective coefficients. The solid line was fitted to the pooled data. \bullet India, \circ Mali, \square Sudan. All data are from Turner *et al.* (1986).

FIGURE 2

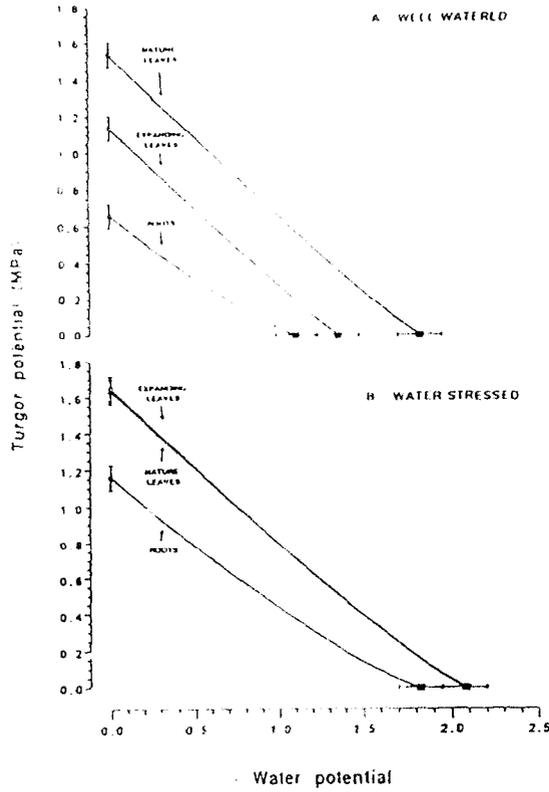
Extrait de TURNER (1986)



Relationship between leaf conductance and extractable soil water (a and c) and net photosynthetic rate and extractable soil water (b and d) in sunflower (a and b) and oleander (c and d) at vapour concentration differences of 10 (●) and 25 (○) mPa Pa⁻¹. Adapted from Turner *et al.* (1985b) and Gollan *et al.* (1985)

FIGURE 4

Extrait de VANNEY et al. (1983)



Change in turgor potential as a function of water potential under well watered (A) and water stressed (B) conditions. Curves were generated using model 'PVD' (Schulte and Hinckley, 1985) with associated estimates of parameters from Table 1 and by taking water potential to be equal to the sum of turgor and osmotic potentials. Mean (○) for osmotic potential at full turgor and the water potential at the turgor loss point (■) are indicated, bars represent 1 SEM.

Influence du potentiel osmotique d'une solution de traitement (1%) sur la résistance protoplasmique de 2 ligniers de palmier à huile

FIGURE 5

Extrait de AL-JABRI, SULTAN (1963)

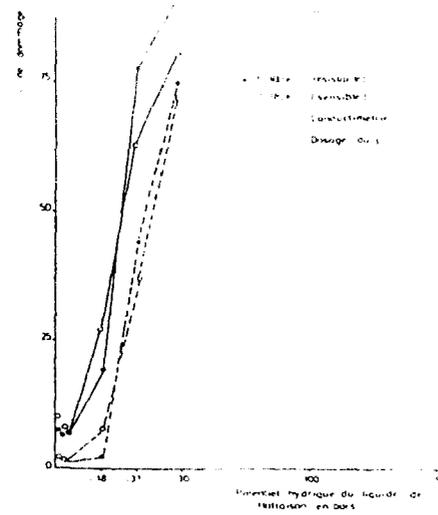
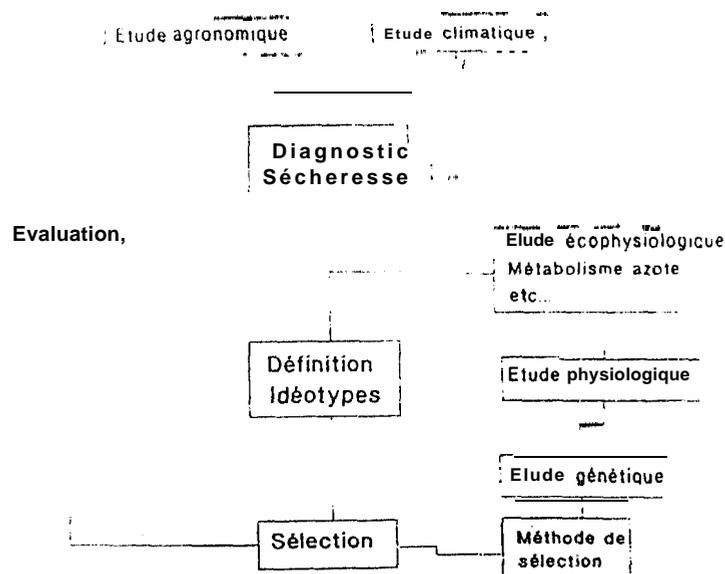


Figure 6 Approche multidisciplinaire pour l'amélioration de la production végétale en zones sèches



Chez les arbres, de nombreux travaux concernent la capacité de maintien de la turgescence des tissus foliaires et racinaires. PARKER et PALLARDY (1988) et RANNEY et coll. (1991) observent que les racines en conditions de stress et pour un même potentiel hydrique, conservent un niveau de turgescence de leurs tissus supérieur à celui trouvé chez les feuilles grâce à une élasticité supérieure de leurs tissus. Les effets de l'âge sur les relations hydriques des tissus foliaires ont été étudié par JONES et coll. (1985) et RANNEY et coll. (1991) qui observent en condition de stress une meilleure capacité d'ajustement osmotique des jeunes feuilles (Figure 4).

L'ajustement osmotique a un effet positif sur le bilan en carbone de la plante puisqu'il permet la poursuite de la photosynthèse à des potentiels très bas (JONES et coll., 1979; WILSON et coll., 1980; ACKERSON, 1981; Mc CREE et coll. 1984). Néanmoins l'accumulation de solutés peut représenter un coût métabolique important (HITZ et coll., 1982). Surtout dans le cas des carbohydrates qui contribuent à l'ajustement osmotique et ne sont donc pas disponibles pour la formation de biomasse nouvelle ou pour l'entretien de celle déjà existante.

Par ailleurs, comme l'indiquent les travaux de TURNER (1986), DAVIES et coll. (1986) et ZHANG et coll. (1987), l'estimation précise de l'importance du mécanisme d'ajustement osmotique est compliquée par l'existence d'effets réciproques et interactifs entre les mécanismes de tolérance et d'évitement à la sécheresse.

2. Tolérance protoplasmique à la dessiccation

La tolérance à la déshydratation dépend de la capacité des membranes cellulaires, des protéines membranaires et cytoplasmiques à résister à la dégradation et à la dénaturation.

L'étude des effets de la sécheresse sur la photosynthèse fournit un bon exemple de l'importance des mécanismes de tolérance à la sécheresse sur les processus primaires de la productivité. Les travaux de PHAM THI et coll. (1975), PHAM THI (1984), de VIEIRA DA SILVA et coll. (1974), VIEIRA DA SILVA (1976) et ADJAHOSSOU (1983) chez le cotonnier et le palmier à huile montrent que la contrainte hydrique provoque une réduction de l'activité des chloroplastes, la réaction de Hill et la photophosphorylation étant parallèlement inhibées. Cette baisse d'activité chloroplastique en conditions de sécheresse résulte de la fragilisation des membranes des organites cellulaires accompagnée d'une modification de leur composition lipidique ainsi que d'une perte de compartimentation enzymatique. Outre les effets directs sur l'activité chloroplastique et mitochondriale ces modifications sont aussi à l'origine d'un bouleversement des activités enzymatiques et notamment d'une augmentation de l'activité des enzymes hydrolytiques responsables de la libération de produits inhibiteurs des réactions de la photosynthèse, comme le phosphate inorganique libéré sous l'action des phosphatases (CHAMPIGNY et coll., 1971; PHAM THI et coll., 1976).

Chez la plupart des espèces, un déficit hydrique provoque une diminution de la photosynthèse accompagnée d'une diminution de la vitesse d'exportation des assimilats hors des feuilles (WARDLAW, 1967; SOSEBEE et coll., 1971; MUNNS et coll., 1974; BOYER, 1976; WATSON et coll., 1981; ACKERSON et coll., 1981). L'accumulation des produits finaux de la photosynthèse dans les feuilles peut à son tour provoquer un engorgement des sites photosynthétiques et une réduction de l'activité photosynthétique (NAFZIGER et coll., 1976; THORNE et coll., 1974). Certaines espèces présentent dans ces conditions la capacité de mobiliser les substances carbonées préalablement stockées dans des organes dits de réserves (ADJAHOSSOU 1983) qui peuvent contribuer à la maintenance des organes directement impliqués dans les processus et les facteurs de productivité (Mc CREE et coll., 1984).

Ces différents exemples illustrent bien que la tolérance à la déshydratation est un terme général recouvrant à la fois la résistance mécanique des tissus au déficit hydrique ainsi que la résistance biochimique des enzymes et des protéines à la dénaturation. L'évaluation de son importance est de fait complexe et les méthodes simples souvent basées sur une estimation globale du maintien de l'intégrité des tissus dont la relation avec les processus de productivité n'apparaissent pas toujours clairement (HALL et coll., 1979) restent encore les plus utilisées (Figure 5).

3. Autre mécanisme de tolérance : Rôle des substances de réserves

La mobilisation des substances glucidiques, principalement l'amidon, stockées dans des organes de réserve constitue aussi chez les plantes pérennes un important mécanisme de tolérance à la sécheresse (PRIESTLEY, 1970; ADJAHOSSOU, 1983). Ce mécanisme sera discuté dans le détail

durant cet atelier par le Pr ADJAHOSSOU notamment pour l'intérêt qu'il représente dans le maintien de la production du palmier à huile en condition de sécheresse.

IV. REFLEXIONS SUR LA PLACE DE LA PHYSIOLOGIE ET L'ECOPHYSIOLOGIE DANS UN PROGRAMME D'AMELIORATION DE LA PRODUCTIVITE DE L'ARBRE EN ZONES SECHES.

A. APPROCHE MULTIDISCIPLINAIRE

La diversité des formes de sécheresse rencontrées dans les environnements semi-arides et, comme nous venons de le voir, la variété et la complexité des formes d'adaptation permettent difficilement d'envisager le développement et la réussite d'un programme d'amélioration de la productivité sans une approche intégrée associant étroitement sélectionneurs, physiologistes, bioclimatologistes et les autres agronomes spécialistes.

Dans une démarche multidisciplinaire de ce type, l'écophysiologie et la physiologie interviennent aux différents niveaux d'action de la recherche (Figure 6).

1. Diagnostic des formes de sécheresse

L'association avec les bioclimatologistes, les spécialistes du métabolisme de l'azote, du bilan minéral et les agro-forestiers permet d'intégrer les acquis agro-bioclimatologiques aux concepts physiologiques connus décrivant la **réponse** de la plante à la sécheresse.

Le développement d'outils de modélisation permet d'effectuer un diagnostic dynamique de la sécheresse et de ses conséquences sur la productivité (ANNEROSE, 1991). De plus en favorisant le rapprochement interdisciplinaire, il facilite le premier choix des espèces à introduire et à évaluer dans une zone écologique donnée.

2. Etude agronomique

Elle complète le diagnostic précédent en permettant de préciser les conséquences de la sécheresse sur la productivité des **espèces** choisies. Elle permet ainsi d'affiner les termes des objectifs formulés au *cours* de l'étude agro-bioclimatologique. Elle peut aussi déboucher sur la caractérisation de critères agronomiques favorables à une meilleure adaptation à la sécheresse de l'espèce. Ainsi chez l'arachide le caractère "petites gousses" est associé à une meilleure production en conditions de sécheresse (ANNEROSE 1990). De même chez les arbres des observations allométriques décrivant les relations fonctionnelles et structurales entre les organes d'une plante (SHINOZAKI et coll., 1964; Waring et coll., 1982; HUNT et coll., 1987; SALL et coll., 1991) dans différentes conditions d'alimentation en eau peuvent constituer un outil de sélection performant.

On pourrait ainsi concevoir d'exploiter de façon classique, dans le cadre d'essais d'évaluation agronomique conduits au champ, la diversité des réactions inter-variétales afin d'améliorer et de stabiliser la production d'une espèce dans une région donnée. Mais les variations annuelles et locales substantielles du milieu ajoutées aux fortes interactions variétés x type de sécheresse qui peuvent être mises en évidence compliquent l'appréciation précise des performances d'un matériel donné.

3. Etude physiologique

Il apparaît alors souvent nécessaire d'interpréter les variations de production observées à travers une meilleure compréhension des effets interactifs de la sécheresse sur les caractères **phénologiques**, morphologiques, anatomiques, physiologiques ou biochimiques de la plante. Mais aussi de définir des indices de sélection basés sur ces caractères qui en association avec les performances agronomiques permettront d'effectuer un choix plus rationnel à l'intérieur du matériel étudié.

Dans le cas de l'arachide la nature et l'intérêt des mécanismes d'adaptation décrits plus haut ont été évalués (ANNEROSE, 1990). Des différences variétales significatives dans les capacités d'évitement et de tolérance à la sécheresse ont été mises en évidence. Puis la valeur **adaptative** et les limites à l'intérêt de chacun de ces mécanismes ont été estimées en fonction du type de sécheresse rencontrées.

A ce stade de l'analyse les différents résultats peuvent être ensuite intégrés dans la formulation pour chaque zone de sécheresse identifiée d'un premier inventaire des mécanismes et des caractères

adaptatifs à rechercher. La définition des idéotypes permet alors de déterminer la méthode de sélection la mieux adaptée à l'hérédité des caractères identifiés et à l'intégration sans délais des progrès réalisés en amont sur la connaissance du fonctionnement de la plante

4. Sélection du matériel adapté

En fait le choix de l'approche dépendra de la complexité des formes de sécheresse et des types de réaction à rechercher. Dans les cas les plus simples l'amélioration portera essentiellement sur des caractères agronomiques ou sur des critères physiologiques. Dans les cas les plus complexes comme celui rencontré par BLUM (1984) sur le sorgho, ou pour l'arachide cultivée au Sud du bassin arachidier sénégalais, elle nécessitera d'associer les deux types de critères.

Pour ce dernier mode de sélection., le nombre important d'individus à caractériser pour des critères adaptatifs qui ont été identifiés avec des méthodes parfois lourdes et sur une faible quantité de matériel constitue un problème majeur à résoudre pour le physiologiste; les tests proposés devant être rapides, reproductibles et, si possible, non destructifs.

Enfin l'évaluation au champ du matériel sélectionné fournit en feed-back les éléments permettant d'apprécier les progrès génétiques obtenus mais aussi alimente l'étude agronomique et contribue ainsi à formuler le nouveau diagnostic de sécheresse prenant en compte les réactions du nouveau matériel.

V. CONCLUSIONS

Cette démarche intégrée est la seule qui permette d'envisager des progrès importants dans des régions où les formes de sécheresse sont extrêmement variées et où les fortes interactions variétés x sécheresse gênent l'identification de matériel performant. Elle nécessite, sans doute, un investissement humain et matériel qui peut paraître encore important mais l'association des compétences à un niveau régional, l'identification de structures nationales performantes pouvant acquérir une vocation régionale devrait contribuer de manière essentielle, à travers des réunions de ce type, à son élargissement rapide à d'autres espèces et dans d'autres pays.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- ACKERSON R.C. 1981. Osmoregulation in cotton in response to water stress. II. Leaf carbohydrate status; in relation to osmotic adjustment. *Plant physiol.*, 67, pages 489-493.
- ADJAHOSSOU D.F. 1983. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le palmier à huile (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Thèse d'état. Université Paris VII. 203 pages.
- ANNEROSE D.J.M. 1990. Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogea* L.) cultivée au Sénégal. Thèse. Université de Paris VII. 282 pages,
- ANNEROSE D.J.M. ET M. DIAGNE 1990. Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi-aride. I Présentation d'un modèle simple d'évaluation appliqué au cas de l'arachide cultivée au Sénégal. *OLEAG.*, 45, 12 pages 547-554
- ANNEROSE D.J.M. 1991. Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi-aride. II. Evaluation des formes de sécheresse agronomique de l'arachide au Sénégal par simulation du bilan hydrique de la culture *OLEAG* 46, 2 pages 61-65.
- ARNON I. 1975. Physiological principles of dryland crop production. In "Physiological aspects of dryland farming" GUPTA U.S. (eds). New Delhi/Oxford. pages 3- 145. 391 pages.
- BAILEY H.P. 1979. Semi arid climates : Their definition and distribution in 'Agriculture in Semi Arid Environments' I-1411 A li CANNELL G.H. et LAWTON H.W. (eds.). Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York. 340 pages. Pages 71-97.
- BERRY L. 1984. The Sahel : Climate and soils. In "The Sahel : Ecological approaches to land use.", MAB TECHNICAL NOTES UNESCO. Pages 9- 17
- BIDINGER F.R., MAHALAKSHMI V. ET G.D.P. RAO. 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L) Leeke). I. Factors affecting yield under stress. *AUST.J. AGRIC RES.*, 38, pages 37-48
- BLUM A 1984. Selection criteria for improving drought resistance in sorghum : A review. In "La sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée." CIRAD/ISRA/CILF (eds). Pages 273-283.
- BLUM A. ET C.Y. SULLIVAN. 1986. The comparative drought resistance of landraces of shorgum and millet from dry and humid regions. *ANNALS OF BOTANY*, 57, pages 835-846.
- BOYER J.S. 1976. Water deficits and photosynthesis. In *Water deficits and plant growth*. KOZLOWSKI T.T (ed.). Academic Press New-York. 4. pages 532-536.
- CHAMPIGNY M.L ET M. MIGINIAC-MALOW. 1971. Relation entre l'assimilation photosynthétique de CO₂ et la photophosphorylation de chloroplastes isolés. I. Stimulation de la fixation de CO₂ par l'antimycine A., antagoniste de son inhibition par le phosphate. *BIOCH. BIOPHYS. ACTA*, 243, pages 335-343.
- COCHEME J. ET P. FRANQUIN. 1967. An agroclimatology survey of a semi-arid area in Africa south of Sahara. Tech Note World. Meteorol. Organ., 86, pages 1-136.
- DANCETTE C. ET A.E. HALL 1979. Agroclimatology applied to management in the soudanian and sahelian zones of Africa In "Agriculture in semi arid environments". Pages 98-118. Ecological studies 34. HALL A.E., CANNELL G.H. et A.W LAWTON (eds). BERLIN HEIDELBERG NEW-YORK. 340 pages.
- DAVIES W.J., METCALFE JANE, LODGE T.A. ET ALEXANDRA R. DA COSTA 1986. Plant growth substances and the regulation of growth under drought. *AUST. J. PLANT PHYSIOL.*, 13, pages 105-125.

- FISHER R.A. ET J.T. WOODS. 1973. Drought tolerance in sorghum. I. The relationship between physiological traits and yield. *AUST J Agric RES*, 30, pages 1001-1020.
- GARDNER R.W. 1973. Internal water status and plant response in relation to external water regime. In "Plant response to climatic factors". Proceedings of Uppsala symposium (IN 511) pages 21-25.
- GOLLAN T., TURNER N.C., ET E.D. SCHULZE 1985. The response of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content III In the sclerophyllous world: Japan in *Nerium Oleander* OECOLOGIA, 65, pages 356-362.
- HALL AE. 1981. Adaptation of annual plants to drought in relation to improvements in cultivars. *HORTSCIENCE* 16(1) pages 37-38.
- HALL AE., SCHULZE E.D. ET O.L. LANGE. 1976. Current perspectives of steady state stomatal responses to environment In "Water and plant life Problems and modern approaches". LANGLOTT, KAPPEL N. et E.D. SCHULZE (eds). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. Ecological studies, 19, pages 169-188.
- HALL AE., FORSTER R.W. ET J.G. WAINES. 1979. Crop adaptation to semi arid environments In "Agriculture in semi arid environments" Pages 148-179 HALL, A.E., CANNELL G.H. et A.W. LAWTON (eds) Berlin-Heidelberg-New-York. Ecological studies, 34, 340 pages.
- HINCKLEY T.M. ET R. CEULEMANS. 1989. Current focuses in woody plant water relations and drought resistance. In "Forest Tree Physiology" Pages 317-324 DREYER E. et coll (eds) Elsevier, Paris/INRA ANN SCI FOR. 46 (suppl.), pages 317-324.
- HSIAO T.C. 1973. Plant response to water stress ANNU. REV. PLANT PHYSIOL., 24, pages 519-570.
- HUNT JR. E.R. ET P.S. NOBEL. 1987. Allometric root/shoot relationships and predicted water uptake for desert succulents ANN. BOT., 59, pages 571-577.
- IWATA F. 1975. Heat unit concept of crop maturity In "Physiological aspects of dryland farming" GUPTA U.S. (eds) pages 351-370. New-Delhi/Oxford. 391 pages.
- JONES M.M. ET H.M. RAWSON. 1979. Influence of rate of development of leaf water deficits upon photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency, and osmotic potential in sorghum PHYSIOL PLANT 45, pages 103-111.
- JONES M.M., LAKSO A.N. et J.P. SWERTSEN. 1985. Physiological control of water status in temperate and subtropical fruit trees. *HORT. REVIEWS*, 7, pages 301-344.
- KHALFAOUI J.L. ET D.J.M. ANNEROSE. 1987. Création variétale d'arachide adaptée aux contraintes pluviométriques des zones semi-arides In "Actes du symposium : Agrométéorologie de l'Arachide" ICRISAT OMN. FAO, AOÛT 1988. Niamey. pages 127-134.
- LEVITT J., SULLIVAN C.Y. ET E. KRULL 1960. Some problems in drought resistance Bull Res Coun Israel, 80, pages 173-180.
- LEVITT J. 1980. Responses of plants to environmental stresses Volume II. Water, Radiation, Salt and other stresses. Academic Press, Inc., 606 pages.
- LOCKHART J.A. 1965. An analysis of irreversible plant cell elongation. *J THEOR. BIOL.*, 8, pages 264-276.
- MC CREE K.J. 1974. Changes in stomatal responses characteristics of grain sorghum produced by water stress during growth. *CROP SCI.*, 14, pages 273-278.
- MC CREE K.J., KALLSEN C.E. ET S.G. RICHARDSON. 1984. Carbon balance of sorghum plants during osmotic adjustment to water stress. *PLANT PHYSIOL.*, 76, pages 898-902.
- MUNNS R. ET C.J. PEARSON. 1974. Effect of water deficit on translocation of carbohydrate in *Solanum tuberosum*. *AUST J PLANT PHYSIOL.*, 1, pages 529-537.
- NAFZIGER E.D. ET H.R. KOLLER. 1976. Influence of leaf starch concentration on CO₂ assimilation in soybean. *Plant physiol.*, 57, pages 560-563.
- PARKER W.C. ET S.G. PALLARDY. 1988. Leaf and root osmotic adjustment in drought stressed *Quercus alba*, *Q. macrocarpa* and *Q. stellata* seedlings. *CAN. J. FOR. RES.*, 18, pages 1-5.
- PASSIOURA J.B. 1982. The role of root system characteristics in the drought resistance of crop plants In "Drought resistance in crops with emphasis on rice". IRRI (eds.), pages 71-82.
- PHAM THI AT. 1984. Action de la sécheresse sur les lipides polaires des feuilles de Cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) *BULL. SOC BOT. FR.*, 131, 89-97.
- PHAM THI AT. ET J.B. VIEIRA DA SILVA 1975. Action d'un traitement osmotique sur l'ultrastructure des feuilles de Cotonniers (*Gossypium hirsutum* L. et *G. anomalum* Waw et Peyr.) C. R. ACAD. SCI. PARIS, 280, pages 2857-2860.
- PHAM THI AT. ET J.B. VIEIRA DA SILVA 1976. Action des déficits hydriques sur la photosynthèse et la respiration des feuilles du cotonnier In "Les processus de la productivité végétale primaire". Moysse A (eds). Gauthiers-Villars Pages 183-202.
- PRIESTLEY C.A. 1970. Carbohydrate storage and utilization Physiology of tree crops. Second Long Ashton Symposium Academic Press. London, New-York.
- RANNEY T.G., BASSUK N.L. ET T.H. WHITLOW. 1991. Turgor maintenance in leaves and roots of 'Coit' cherry trees (*Prunus avium* x *pseudocerasus*) in response to water stress. *J HORT. SCI.*, 66, pages 381-387.
- RASMUSSEN E.M. 1987. The prediction of drought: a meteorological perspective. ENDEAVOUR NEW SERIES. vol 11, pages 175-182.
- SALL P.N., AUSSENAC G., E. DREYER ET A. GRANIER. 1991. Limitation par la sécheresse de la croissance d'*Eucalyptus camadulensis* Dehn. en climat sahélo-soudanien au Sénégal *REV. FOR FR.*, XLIII, 4, pages 309-316.
- SHINOZAKI K., YODA K., HOZUMI K. ET T. KIRA 1964. A quantitative analysis of plant form - the pipe model theory. Basic analysis. *JAP. J. ECOL.*, 14, pages 97-105.
- SOSEBEE R.E. ET H.H. WIEBE. 1971. Effect of water stress and clipping on photosynthate translocation in two grasses *AGAON. J.*, 63, pages 14-17.
- THORNE J.H. ET H.R. KOLLER. 1974. Influence of assimilate demand on photosynthesis diffusive resistance, translocation and carbohydrate levels of soybeans leaves. *PLANT PHYSIOL.*, 54, 201-207.
- TURK K.J., AE. HALL ET C.W. ASBELL 1980. Drought adaptation of cowpea II Influence of drought on plant growth and relations with seed yield. *AGRON. J.*, 72, pages 428-433.
- TURNER N.C. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants, In 'Stress physiology of crop plants'. MUSSEL H. et R.C. STAPLES (eds), Wiley Interscience. New-York. pages 343-372.
- TURNER N.C. 1986. Adaptation to water deficits: A changing perspective. *AUST. J. PLANT PHYSIOL.*, 13, pages 175-190.
- TURNER N.C., E.D. SCHULZE ET T. GOLLAN. 1985. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. II. In the mesophytic herbaceous species *Helianthus annuus*. *OECOLOGIA*, 65, pages 348-355.

- VIEIRA DA SILVA J.B. 1976. Water stress, ultrastructure and enzymatic activity. In "Water and plant life: problems and modern approaches" Lange O L , L KAPPEN et E.D. SCHLUZE (eds.) Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. Ecological studies, 19, pages 207-224.
- VIEIRA DA SILVA J.B., AW. NAYLOR ET P.J. KRAMER. 1974. Some ultrastructural and enzymatic effects of water stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves. PROC. NATION. ACAD SCI. USA, pages 3243-3247.
- WARDLAW I.F. 1967. The effect of water stress on translocation in relation to photosynthesis and growth. I Effect during grain development in wheat. AUST. J. BIOL. SCI., 20, pages 25-39.
- WARING R.H., SCHROEDE R P.E. ET R. OREN. 1982. Application of the pipe model theory to predict canopy leaf area. CAN. J. FOR. RES , 12, pages 556-560
- WATSON B.T. ET I.F. WARDLAW . 1981. Metabolism and export of ¹⁴C-labelled photosynthetate from water-stressed leaves. AUST J PLANT PHYSIOL., 8, pages 143-153.
- WILSON D.R., VAN BAVEL C.H.M. ET K.J. MCCREE. 1980. Carbon balance of water dt ficits grain sorghum plants, CROP SCI., 20, pages 153- 159.
- ZHANG JINHUA ET N.J. DAVIES 1987. Increased synthesis of ADA in partially dehydrated root tips and ABA transport from roots to leaves. J. EXP BOT., 38, pages 2015-2023.
-

ELEMENTS D'ECOPHYSIOLOGIE

Jerzy NIZINSKI et Dominique MORAND
Laboratoire d'Ecologie Végétale
ORSTOM
B.P.1386
Dakar-Sénégal

1. APPROCHE GENERALE

Tout problème pose à l'écophysiologiste doit se comprendre dans l'entité biophysique qu'est le système sol-plante-atmosphère. L'écophysiologiste-agronome-forestier travaillera donc au niveau de la parcelle occupée par une communauté végétale, avec comme optique essentielle l'étude de la production végétale en relation avec: les facteurs climatiques et pédologiques

La production d'un couvert végétal donné est déterminée:

1^{er}) par le programme génétique des espèces constituant le couvert;

2^{ème}) par les facteurs du milieu qui agissent sur la vitesse d'exécution du programme de façon continue (ex. la température) ou de façon discontinue (ex. la photopériode).

Ajoutons que la productivité d'un écosystème est presque toujours limitée par les ressources du milieu (eau, ions minéraux, CO₂, lumière) au moins à certaines périodes dans le temps.

Les études d'écophysiologie peuvent avoir soit un caractère descriptif (recherche des corrélations entre les facteurs climatiques et la production végétale) soit un caractère analytique (recherche de relations de causalité entre différents phénomènes, d'étude des mécanismes physiques, conception de modèles mécanistes).

Les différents niveaux d'étude dans l'espace dépendent des moyens mis en oeuvre théoriquement, dans toute étude analytique on pourra travailler des niveaux les plus intégrés (plante entière, couvert végétal) jusqu'aux niveaux les plus réduits (métabolisme du carbone).

L'échelle de temps de ces études dépendra:

1^{er}) des espèces étudiées (durée de vie des espèces, phénophases, etc...);

2^{ème}) du but recherché, compte tenu des variations instantanées, journalières, annuelles, des phénomènes climatiques et biologiques.

2. METHODE D'ETUDES DE LA PRODUCTION PRIMAIRE

Dans l'étude de la production végétale, on peut distinguer trois niveaux d'approche:

1^{er}) des études de morphogénèse: études concernant les étapes de la différenciation des futurs organes;

2^{ème}) des études de développement: études concernant la dynamique d'apparition (et de mortalité) des organes des individus;

3^{ème}) des études de croissance: études concernant l'aspect quantitatif de la production de matière végétale (matière sèche), au niveau de l'organe, de la plante entière, du couvert.

Parallèlement à la croissance, et de façon synchrone, se déroule la sénescence puis la mortalité des différents organes d'un individu. En conditions naturelles, la matière végétale vivante représente le bilan des phénomènes continus de production et de mortalité de matière.

La production primaire n'est pas appréciable directement. il existe de nombreuses méthodes d'estimation de cette production :

1^{er}) méthodes basées sur la récolte des compartiments en place biomasse, masse sèche litière;

2^{ème}) méthodes basées sur le suivi de l'apparition et de la disparition des différents organes;

3^{ème}) méthodes basées sur la mesure de la photosynthèse nette, au niveau de la feuille ou du couvert.

2.1. APPROCHE GENERALE DE LA CROISSANCE

La répartition de matière sèche (MS) est une fonction :

fonction de la photosynthèse nette des organes qui assimilent le CO_2 (les feuilles, mais aussi les tiges, les fruits... en fonction des espèces), le phénomène de photosynthèse impliquant a) l'absorption de la lumière incidente dépendant de la mise en place de l'indice foliaire, b) la conversion de l'énergie captée par les feuilles, en énergie chimique contenue dans la matière sèche élaborée.

fonction de la répartition des assimilats photosynthétisés entre les parties aériennes photosynthétiques et les racines,

la photosynthèse nette et la répartition des assimilats étant sous le contrôle des facteurs du milieu, pour une espèce donnée.

On peut résumer l'équilibre existant entre la croissance aérienne et la croissance racinaire ainsi :

a) la plante entière (parties aériennes et racines) dépend de ses parties aériennes pour sa fourniture en carbone (nutrition carbonée - photosynthèse); toute limitation de l'entrée nette de carbone (réduction de l'intensité photosynthétique, destruction partielle de la surface foliaire) favorisera la croissance aérienne relativement à la croissance racinaire et à la constitution des réserves carbonées.

b) la plante entière (parties aériennes et racines) dépend de ses racines pour sa fourniture en eau et en éléments minéraux. Toute limitation de la disponibilité en eau et éléments minéraux favorisera la croissance racinaire (et les réserves carbonées des racines) relativement à la croissance aérienne.

la répartition des assimilats détermine la proportion d'organes assimilateurs de carbone (CO_2), la vitesse de croissance de la plante entière sera d'autant plus élevée qu'une proportion importante d'assimilats est investie dans les parties aériennes photosynthétiques.

2.2. CROISSANCE REPARTITION DES ASSIMILATS-PHOTOSYNTHESE. UN EXEMPLE DES DIFFERENCES EXISTANT ENTRE GENOTYPES: LE CAS DES GENOTYPES ADAPTES AUX MILIEUX "PAUVRES" ET CEUX ADAPTES AUX MILIEUX "RICHE;" EN AZOTE MINERAL..

La physiologie des génotypes des milieux "pauvres" est ajustée à la faible disponibilité en azote et éléments minéraux de ces milieux: une vitesse potentielle de croissance faible, donc des "besoins" en azote et éléments minéraux faibles, induisant des prélèvements faibles en équilibre avec la disponibilité en éléments minéraux de ces sols; une croissance lente due à une répartition des assimilats orientée vers les racines et les réserves carbonées; une faible efficacité d'utilisation de l'azote pour la croissance.

Inversement, la physiologie des génotypes des milieux 'riches' est en équilibre avec une disponibilité en azote et éléments minéraux élevée: une vitesse potentielle de croissance élevée, donc: des "besoins" en azote élevés et satisfaits lorsque la disponibilité en azote est élevée; une forte efficacité d'utilisation de l'azote pour la croissance; une répartition des assimilats orientée vers la croissance aérienne et donc la croissance de la plante entière leur conférant une aptitude à la compétition pour l'espace aérien et souterrain.

FIELD et MOONEY (1984) ont réuni les données de photosynthèse de douze auteurs concernant 33 espèces en C_3 adaptées à deux niveaux de nutrition minérale très différents, et ont exprimé les capacités photosynthétiques maximales en lumière saturante ($\mu\text{Mole CO}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) en fonction de la teneur en azote foliaire ($\mu\text{Mole N g}^{-1}$): les conditions de croissance, l'âge de ces espèces sont très variables mais il ressort de ces données qu'il existerait une unique relation entre capacités photosynthétiques et teneur en azote foliaire pour tous les génotypes étudiés, suggérant que l'efficacité d'utilisation de l'azote dans le mécanisme photosynthétique serait similaire pour tous ces génotypes (à teneur en azote foliaire égale, capacité photosynthétiques égales); autrement dit ce caractère n'aurait pas fait l'objet d'une sélection particulière sous la pression des conditions de nutrition du milieu de ces génotypes (ce qui n'est pas le cas pour les espèces en C_3 et C_4 , phénomène actuellement bien mis en évidence: BROWN, 1978; BROWN et WILSON, 1983, les espèces en C_4 ont une efficacité d'utilisation de l'azote supérieure à celle des C_3

2.3. APPROCHE GENERALE DE LA PHOTOSYNTHESE

L'écophysiologiste s'intéressera à la photosynthèse nette du végétal, bilan biochimique de la somme de la photosynthèse brute, respiration et photorespiration:

a) La photosynthèse brute

est la synthèse de la matière végétale à partir d'éléments minéraux de l'environnement CO_2 , H_2O . L'assimilation du CO_2 en molécules carbonées exige un apport d'énergie qui est assuré par l'utilisation de l'énergie lumineuse. Chez les végétaux, ce sont les pigments assimilateurs qui sont impliqués dans les réactions de conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique: les photons absorbés par la feuille sont capables de faire émettre des électrons aux pigments assimilateurs. On peut considérer la photosynthèse comme un ensemble de réactions d'oxydo-réduction.

b) La respiration

est l'ensemble des réactions de dégradation des molécules complexes synthétisées lors de la photosynthèse; son rôle est double: la simplification des molécules complexes des glucides (ce sont les plus utilisées) donne des molécules plus simples qui serviront à d'autres synthèses (ex: la synthèse des protéines) et les réactions sont productrices d'énergie:

c) La photorespiration

est un phénomène comparable à la respiration et se traduisant, entre autres phénomènes, par une perte de CO_2 , la photorespiration ne se déroule qu'à la lumière, et dans les quelques minutes qui suivent le passage à l'obscurité. Toutes les plantes ne présentent pas le phénomène de photorespiration (c'est le cas des plantes en C_4).

Le bilan biochimique qu'est la photosynthèse nette peut être positif ou négatif, cela dépend des conditions de température, d'éclairement, des conditions hydriques, de l'âge des feuilles. L'assimilation du CO_2 exige un apport d'énergie qui est assuré par utilisation de l'énergie lumineuse, convertie en énergie chimique:



($\text{dG} > 0$ réaction endothermique, réaction qui nécessite de l'énergie);

c'est donc en terme de rendements énergétiques que l'écophysioleogiste s'intéressera au phénomène de photosynthèse.

2.4. PHOTO-SYNTHESE A L'ECHELLE D'UNE FEUILLE (CONDITION OPTIMALES)

La quantité de CO_2 (ou carbone) assimilé est une fonction des caractéristiques du rayonnement incident arrivant sur la feuille (intensité, spectre, inclinaison par rapport à la feuille, etc...). Du rayonnement global incident (R_g) arrivant sur la feuille, une partie est réfléchi, une partie transmise et une partie absorbée. Seuls les photons visibles intéressent la photosynthèse (l'énergie lumineuse est transportée sous forme de photons, l'unité que l'on utilise est la Mole de photons, soit

$$W = Nw = N(hc/\lambda) \quad (\text{Joules}) \quad (2)$$

avec W énergie transportée par 1 Mole de photons (1 Einstein) a une donnée, en Joules, N une Mole de photons, $N_{\text{photons}} = 1 \text{ Einstein}$ ($N = 6.02 \cdot 10^{23}$), h constante de Planck ($h = 6.62 \cdot 10^{-34}$), en Joules s^{-1} , c vitesse de la lumière ($c = 3 \cdot 10^{10}$) en $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$; λ longueur d'onde, en cm .

- dans le bleu ($\lambda = 470 \text{ nm}$), l'énergie transportée par 1 Einstein est égale à 290 Joules;

en rouge ($\lambda = 670 \text{ nm}$), l'énergie transportée par 1 Einstein est égale à 200 Joules.

En intégrant sur tout le domaine du visible, de 400 à 700 nm, on obtient l'énergie correspondant en moyenne à 1 Einstein ou 1 Mole de photons, soit 1 Einstein_{visible} 218 kJoules

Ainsi on parle du visible comme étant le Rayonnement Photosynthétiquement Utilisable (RPU 45 % de R_g); une fraction seulement du RPU est absorbée (90 % de RPU) par la feuille le reste étant réfléchi ou absorbé mais dissipé sous forme de chaleur. Cette énergie absorbée sert à l'assimilation du CO_2 avec un rendement de 15 %, c'est le rendement quantique. D'après l'équation (1) $\text{dG} = 472 \text{ kJoules}$, or dans la feuille l'assimilation de 1 Mole de CO_2 exige l'absorption de 14 Einstein dans le visible (1.4 Moles de photons), soit ($14 \times 218 \text{ kJoules}$): l'assimilation de 1 Mole de CO_2 s'effectue

avec un rendement de 15 % [$472/(14 \times 218) = 0.15$] par rapport à l'énergie absorbée, et avec un rendement de 6 % par rapport au rayonnement global ($0.06 = 472/(14 \times 218) \times 0.90 \times 0.45$). Sur une base journalière, en tenant compte des pertes par respiration, le rendement par rapport au rayonnement global est de 1 à 2 %

Quelques chiffres'

1 Mole de CO₂ \longleftrightarrow 14 g Carbone (14 g C)
il y a 0.5 g de Carbone dans 1 g de masse sèche (MS)

2.5. PHOTOSYNTHESE A L'ECHELLE DU COUVERT

DE WIT, LOOMIS et WILLIAMS ont introduit le concept de production potentielle, c'est la quantité de matière sèche (MS) qui pourrait être élaborée par une végétation couvrant entièrement le sol si:

1^{er}) sa photosynthèse fonctionnait avec un rendement quantique maximal (voir chapitre précédant);

2^{eme}) sa photosynthèse n'était limitée que par le rayonnement incident, soit 71 g MS m⁻².jour⁻¹ avec R_g = 21 MJ.m⁻².jour⁻¹.

La distribution du rayonnement dans un couvert peut s'exprimer d'après l'équation:

$$R_n(z) = R_n(0) \text{EXP}(-k \cdot \text{LAI}) \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (3)$$

avec: R_n(z) - rayonnement net sous une couche de végétation d'indice foliaire LAI, en W.m⁻²;
R_n(0) - est sa valeur au-dessus du couvert, en W.m⁻²; k - coefficient d'extinction (de 0.35 à 0.9) qui dépend du port des feuilles (vertical-horizontal) et de leurs propriétés optiques.

La production réelle est évidemment inférieure car la végétation ne couvre pas entièrement le sol, la teneur de 330 ppm en CO₂ de l'atmosphère est limitante, les températures ne sont pas optimales (ou trop basses ou trop élevées), l'eau est limitante, les éléments minéraux (azote) sont limitants en règle générale.

2.6. MESURES DE PHOTOSYNTHESE

Les échanges de gaz carbonique peuvent être mesurés dans un système ouvert au moyen d'un analyseur à infrarouge portable de type LCA2, ADC (*Analytical Development Company*) et d'une chambre d'assimilation de type PLCN, ADC. On travaille avec des feuilles en place dont on enferme une portion du limbe de 5.6 cm² qui remplit la moitié de la surface de la chambre; en fonction de l'espèce étudiée, une feuille entière ou une portion de feuille sera introduite dans la chambre. Le volume d'air dans l'enceinte (12 cm³) est brassé au moyen d'un ventilateur, sa température mesurée à l'aide d'une thermistance et son humidité relative grâce à un condensateur. Une cellule au silicium, fixée à proximité de la fenêtre (en polyméthylpentène) de la chambre, permet de mesurer le rayonnement incident visible (400 à 700 nm). Les différentes intensités lumineuses ont été obtenues par atténuation du rayonnement au moyen de filtre neutres. Les résultats obtenus avec ce système sont sensiblement les mêmes que sous rayonnement naturel. Le flux d'air dans le circuit est mesuré à l'aide d'un débit-mètre à flotteur et provient soit d'une bouteille d'air comprimé (teneur en CO₂ constante et humidité relative inférieure à 10 %) soit de l'atmosphère ambiante où il est pompé à 4 mètre de haut, puis injecté dans un volume tampon de 200 litres avant de pénétrer dans la chambre d'assimilation. Ce volume "mort" régule les variations brutales de gaz carbonique et de vapeur d'eau qui peuvent survenir dans l'atmosphère. L'air sortant de la chambre est déséché à l'aide de perychlorate de magnésium (inerte au CO₂) afin d'éviter une interférence avec la vapeur d'eau dont le spectre d'absorption dans l'infrarouge recouvre partiellement celui du gaz carbonique. L'analyseur fonctionne en remplissant alternativement sa cellule (toutes les deux secondes) avec de l'air sans CO₂ (passé sur de la chaux sodée) et avec l'air issu de la chambre d'assimilation ce qui permet de corriger les dérives thermiques. Afin que la différence de teneur en CO₂ soit maximale, il faut choisir de travailler à un faible débit sans placer de fuite avant l'analyseur. Ainsi, il faut le plus souvent utiliser un débit de 12 l.h⁻¹ à l'entrée de la chambre d'assimilation pour obtenir, malgré les fuites éventuelles dans cette dernière, plus de 9 l.h⁻¹ (ou 2.5 cm³.s⁻¹) dans l'analyseur, ce qui suffit amplement à remplir la cellule (3 cm³) lors de chaque cycle de deux secondes. Le débit d'air sec entrant dans la chambre (W), l'assimilation nette de CO₂ (A), la

transpiration (R) et les conductances de couche limite (g_a) et stomatique (g_s) sont calculés à l'aide des relations suivantes:

* Débit d'air sec entrant dans la chambre (W) :

$$W = [(P - e_e) / P] (D / 22.4) [273 / (t_a + 273)] \quad (\text{Mol.s}^{-1}) \quad (4)$$

avec: D = débit d'air humide mesuré à l'entrée de la chambre en l.s^{-1} ; e_e = pression partielle de vapeur de l'air entrant dans la chambre, en bars; P = pression atmosphérique, en bars; t_a = température de l'air dans la chambre, en °C.

* Photosynthèse nette (A):

$$A = (C_s - C_e) (W / S_f) \quad (\mu\text{Mole CO}_2.\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}) \quad (5)$$

avec: C_s et C_e = concentrations respectives de gaz carbonique dans l'air sec à la sortie et à l'entrée de la chambre, en vpm; S_f = surface foliaire enfermée dans la chambre d'assimilation en m^2 .

* Transpiration (Tr):

$$Tr = (W / S_f) [e_{as} / (P - e_{as}) - e_{ae}] \quad (\text{Mole H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}) \quad (6)$$

avec: e_{as} et e_{ae} = pression% partielles de vapeur d'eau respectivement dans et à l'entrée de la chambre d'assimilation. en bars.

* Conductance de couche limite (g_a). La conductance de couche limite se détermine au moyen d'un papier buvard humide disposé dans la chambre d'assimilation de façon similaire au limbe de la feuille sur lequel on envoie de l'air sec, le tout étant placé à l'obscurité.

$$g_a = (W / S_f) (e_{as} - e_{ae}) / [e^*(t_b) - e_{as}] \quad (\text{Mole air}.\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}) \quad (7)$$

avec: $e^*(t_b)$ = pression de vapeur saturante à la température du buvard, en bars.

Dans la figure n°02 on présente quelques résultats de mesures effectuées par DUFRENE (1989) à l'aide d'un analyseur à infrarouge portable de type LCA2, ADC (*Analytical Development Company*) et d'une chambre d'assimilation de type PLCN, ADC sur le palmier à huile *Elaeis guineensis* Jacq.

3. BILAN HYDRIQUE PARCELLAIRE

Depuis que l'homme s'est consacré à l'agriculture, il connaît les effets inhibiteurs et parfois destructeurs de la sécheresse sur les plantes. Tous les aspects de la croissance des plantes sont affectés par le déficit hydrique: la morphogénèse, la croissance cellulaire, la repartition des assimilats, la photosynthèse.

Le bilan hydrique peut être étudié à différentes échelles spatiales: feuille, arbre, peuplement ou massif forestier, et à différentes échelles du temps: heure, jour, année. Chaque niveau d'approche suppose des mesures et une méthodologie d'échantillonnage particulières.

Pour un niveau d'étude donné, la description des variations temporelles de chaque composante du bilan nécessite une division du temps en périodes de durée fixe, pendant lesquelles l'état du système considéré reste le même, tout changement supposé ayant lieu d'un intervalle à l'autre.

L'expression du bilan d'eau d'un peuplement est illustrée par la figure n°03; elle se présente SOUS la forme suivante: apports d'eau dans le peuplement = contenu en eau du peuplement + sorties d'eau.

L'alimentation en eau du système est assuré par les précipitations incidentes, la nappe phréatique, le ruissellement sur la surface et dans le sol, les brouillards, les rosées et l'absorption d'eau par la cuticule des feuilles.

Les sorties d'eau peuvent se résumer à la transpiration, l'évaporation de l'eau des couronnes et des troncs d'arbres, l'évaporation de l'eau de la litière et du sol, le drainage, le ruissellement sur la surface et dans le sol, l'eau absorbée dans le processus de croissance.

Figure n°02 - Effet du rayonnement visible (RPU) sur l'assimilation nette du CO₂ (*A*), la transpiration (*E*) et l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE) pour les feuilles de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) (d'après DUFRENE, 1989)

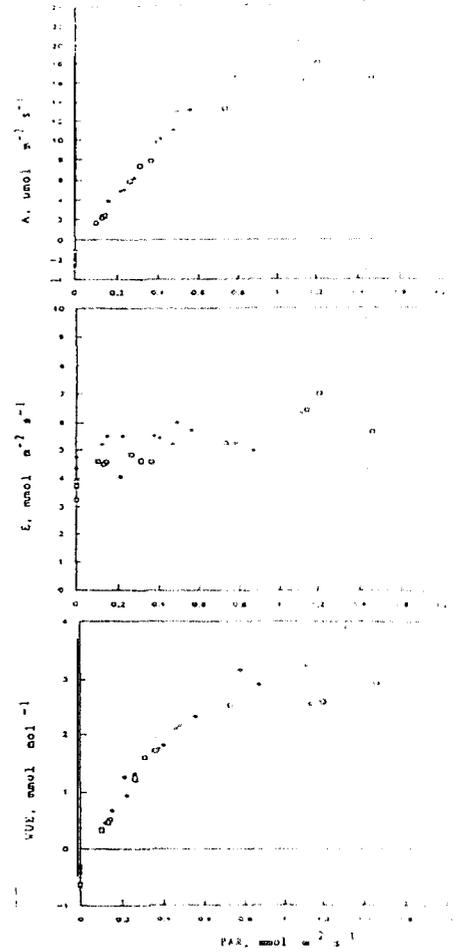


Figure n°01 - Schéma du système de mesure de la photosynthèse.

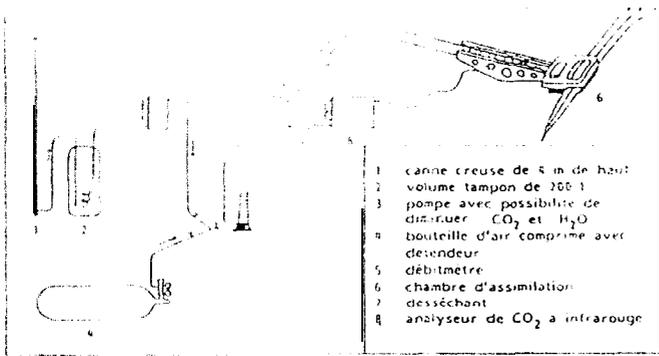
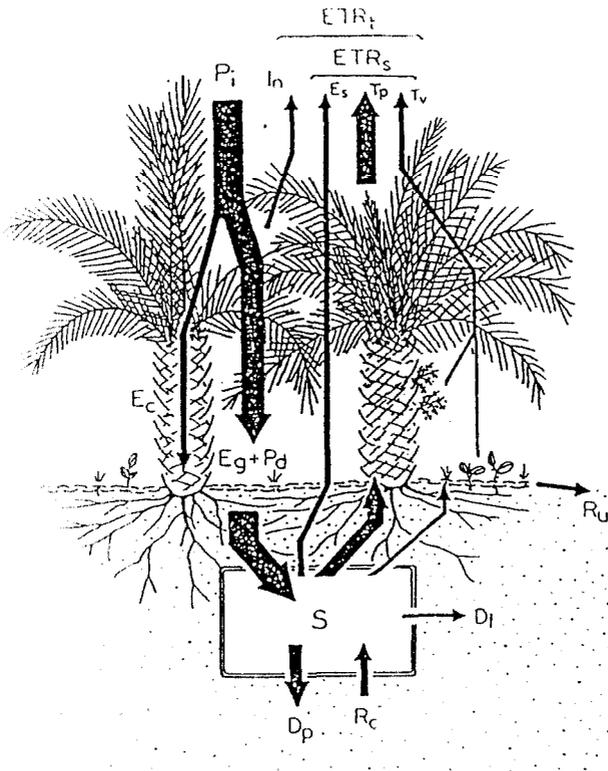


Figure n°03 Bilan hydrique simplifié dans un agrosystème palmeraie (d'après DUFRENE, 1989)



L'eau, dans le système considéré est retenue principalement dans le soi, dans la litière, sur les troncs, sur les couronnes d'arbres et dans le végétal lui-même (hydromasse).

Pour un écophysiologue travaillant au niveau du peuplement il est essentiel de déterminer la transpiration du peuplement (donc la résistance de la végétation vis-à-vis de son environnement climatique). Cette analyse peut être faite d'une part à l'aide de l'équation du bilan qui repose avant tout sur la détermination de l'état hydrique du sol des horizons racinaires. c'est à partir des variations du stock d'eau du profil que l'on déduit la transpiration; et d'autre part au moyen de la méthode de Penman-Monteith.

3.1. EQUATION DU BILAN HYDRIQUE

L'expression simplifiée du bilan hydrique du sol, en l'absence de ruissellement et de nappe phréatique peut s'écrire sous la forme suivante:

$$P_i = T + I_n + D + dR/dt \quad (\text{mm.j}^{-1}) \quad (8)$$

$$\text{où } ETR = T_r + I_n \quad (\text{mm.j}^{-1}) \quad (9)$$

$$\text{et } I_n = P_i \cdot (P_s + E_c) \quad (\text{mm.j}^{-1}) \quad (10)$$

avec: P_i - précipitations incidentes, en mm.j^{-1} ; T_r - transpiration, en mm.j^{-1} ; I_n interception nette, en mm.j^{-1} ; D drainage, en mm.j^{-1} ; dR - variation de la réserve en eau du sol, en mm , dt - pas de temps des calculs, en jours; ETR - évapotranspiration réelle du peuplement, en mm.j^{-1} ; P_s précipitations au sol, en mm.j^{-1} ; E_c - écoulement le long des troncs, en mm.j^{-1}

Cette expression suppose négligeable l'évaporation directe du sol et de la litière, approximation raisonnable en période de dessèchement (NIZINSKI et SAUGIER, 1989).

On mesure directement la réserve en eau du profil du sol, les précipitations au-dessus du peuplement et au sol ainsi que l'écoulement le long des troncs; les valeurs du drainage, de l'interception nette et de la transpiration sont calculées en supposant $ETR = ETP$ (évapotranspiration potentielle) en période humide (réserve à la capacité au champ, R_{CC}) et au contraire un drainage nul en période sèche (réserve inférieure à la capacité au champ); ceci permet de calculer respectivement le drainage et l'ETR :

Si $R \geq R_{CC}$ alors $ETR = ETP$

$$\text{et } D = P_i - ETP - dR/dt \quad (\text{mm.j}^{-1}) \quad (11)$$

Si $R < R_{CC}$ alors $D = 0$

$$\text{et } ETR = P_i - dR/dt \quad (\text{mm.j}^{-1}) \quad (12)$$

Le cas le plus fréquent est celui où on fait l'hypothèse d'un drainage nul (chute très rapide de la conductivité hydrique avec le dessèchement du sol). Cette hypothèse n'est strictement vraie que lorsque l'humidité de l'horizon le plus profond est devenue inférieure de quelques points en dessous de sa valeur à la capacité au champ. Dans les deux cas (sol humide ou en dessèchement) la transpiration du peuplement (T_r) est calculée en soustrayant l'interception nette (I_n) de l'ETR (équation (10)).

3.2. METHODE DE PENMAN-MONTEITH

L'approche quantitative du flux d'eau dans le système sol-plante-atmosphère nécessite l'évaluation du potentiel et de la résistance des points remarquables du parcours, en particulier des zones de transition entre le sol et les feuilles (eau en phase liquide) et entre les feuilles et l'air (avec changement d'état de l'eau liquide en phase vapeur). Les divers potentiels hydriques et résistances au flux de l'eau ou vapeur d'eau ne sont pas constants dans le temps, ils dépendent des facteurs climatiques, édaphiques et de l'état physiologique du couvert végétal.

a) Flux d'eau liquide - flux conservatif.

Le flux d'eau liquide est proportionnel au gradient du potentiel hydrique du sol et des feuilles, et inversement proportionnel à la résistance qu'il rencontre sur son parcours, soit:

$$ABS = Tr = (Pot_{sol} - Pot_{feuille}) / R_{sp} \quad (\text{mm.j}^{-1}) \quad (17)$$

avec: ABS - absorption racinaire, en mm.j⁻¹; Tr - transpiration, en mm.j⁻¹; Pot_{sol} - potentiel hydrique du sol, en bars; Pot_{feuille} - potentiel hydrique des feuilles, en bars; R_{sp} - résistance totale sur l'ensemble du trajet so-cavité sous-stomatique, en bars.j⁻¹.mm⁻¹;

Le schéma du flux conservatif est satisfaisant pour un pas de temps de calcul égal ou supérieur à une journée.

b) Flux d'eau liquide - flux non conservatif.

Les mesures horaires qui ont été effectuées sur un couvert végétal mettent en évidence que le taux horaire de transpiration n'est pas linéairement lié au gradient des potentiels Pot_{sol} et Pot_{feuille}. Ceci a conduit les auteurs à concevoir un système sol- plante régi par un flux d'eau liquide non-conservatif; ce qui implique la prise en considération des variations de teneur en eau des différentes organes des plantes (un organe= un réservoir).

c) Flux de vapeur d'eau

Le phénomène de vaporisation de l'eau est géré par les conditions externes énergétiques et mécaniques, l'état hydrique et les caractéristiques de la surface évaporante. Ainsi, le flux de vapeur d'eau est proportionnel au gradient de pression de vapeur d'eau et inversement proportionnel à la résistance rencontrée (résistance de la surface). Cette notion de résistance théorique du couvert à la diffusion de vapeur d'eau a été définie et affinée successivement dans les modèles de l'évapotranspiration réelle de PENMAN et MONTEITH.

* le couvert est développé, la surface est saturée en eau. L'évapotranspiration réelle de l'eau des surfaces végétales est similaire au processus d'évaporation d'une surface d'eau libre (la résistance de la surface est nulle). Le flux de vapeur d'eau est estimé suivant la formule de PENMAN (voir équation (4));

* le couvert est développé, la surface est sèche. Il existe une résistance de surface au flux de vapeur d'eau, calculé à partir de la résistance stomatique de la feuille, en supposant que toutes les feuilles (LAI-feuilles) ont un comportement stomatique semblable. Ce qui revient à assimiler l'ensemble des feuilles du couvert à une feuille. L'équation est applicable pour un couvert végétal couvrant entièrement la surface du sol (l'évaporation du sol supposée nulle):

$$ETR = ETP / (1 + (c/D + c)) (r_{sur} \cdot r_a) \quad (\text{mm.j}^{-1}) \quad (20)$$

avec: ETR - évapotranspiration réelle du couvert, en mm.j⁻¹; ETP - évapotranspiration potentielle, en mm.j⁻¹; r_a - résistance aérodynamique, en s.cm⁻¹ (voir équation (4)).

r_{sur} - résistance de surface, en s.cm⁻¹ ou

$$r_{sur} = r_s / LAI \quad (\text{s.cm}^{-1}) \quad (21)$$

avec: r_s - résistance stomatique moyenne des feuilles, en s.cm⁻¹; LAI - indice foliaire.

* le couvert n'est pas développé, la surface est sèche. On reprend la résistance de surface r_{sur} de l'équation (21) et à cette résistance on ajoute: 1^{er}) la résistance que le système poreux du couvert oppose au transfert de vapeur d'eau transpirée (cette résistance dépend de la structure verticale du couvert et de la répartition de l'indice foliaire); 2^{ème}) la résistance de la couche sèche du sol à la diffusion de la vapeur d'eau (cette résistance dépend de l'épaisseur et de l'humidité de cette couche du sol).

Figure n°04 - Evolution des profils hydriques sous un boquete d'Acacia tortilis d'une steppe du Ferké sénégalais.

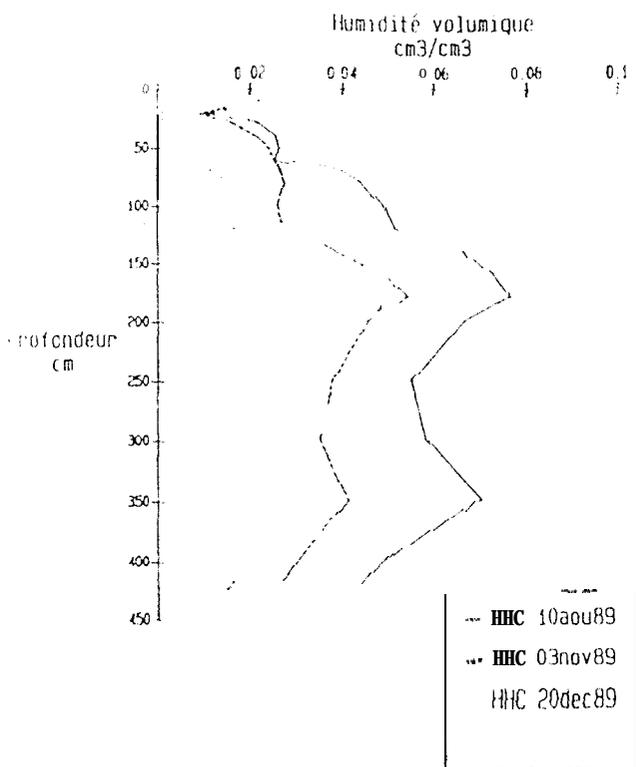


Figure n°05 - Relation entre les précipitations incidentes (Pi) et l'écoulement le long des troncs (Ps) dans un peuplement d'Acacia tortilis.

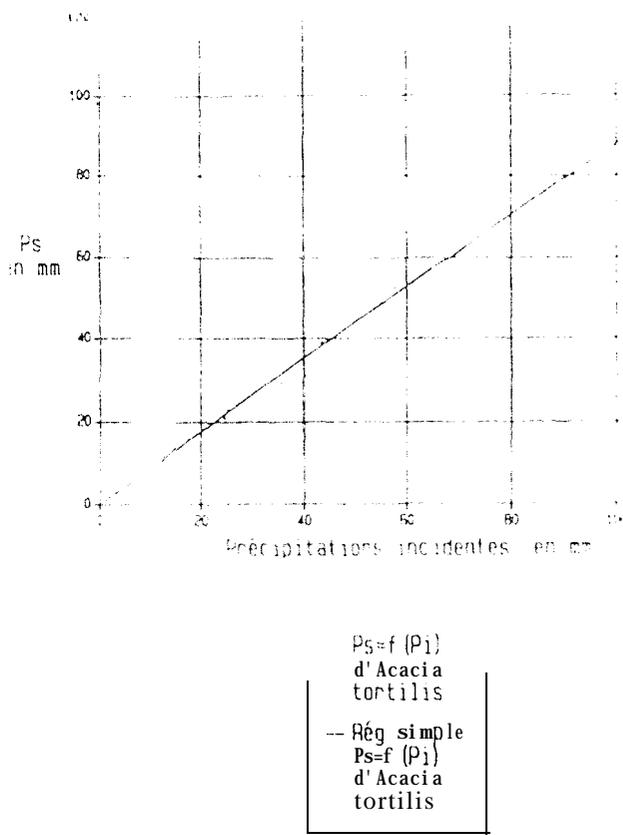


Figure n°06 - Relation entre l'interception nette (In) et les précipitations incidentes (Pi) dans un peuplement d'Acacia tortilis.

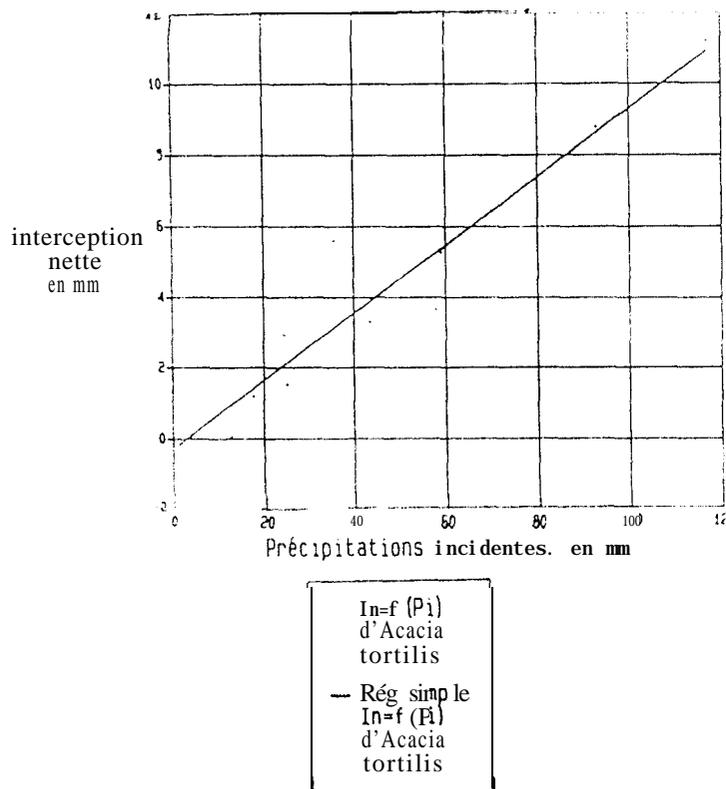
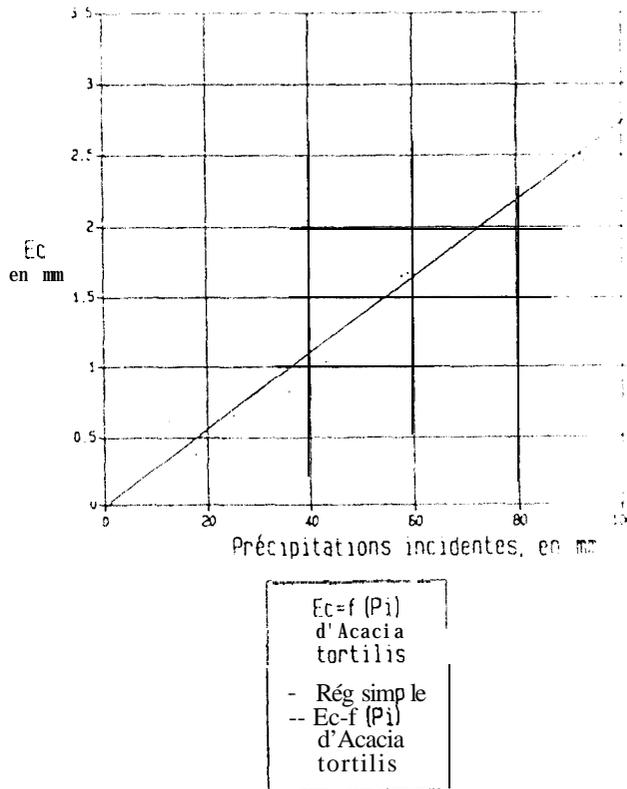


Figure n°07 - Relation entre l'écoulement le long des troncs (Ec) et les précipitations incidentes (Pi) dans un peuplement d'Acacia tortilis.



3.3 DISPOSITIF EXPERIMENTAL DES MESURES DU BILAN D'EAU

a) Rétention en eau du sol (R)

GARDNER (1963) récapitule l'ensemble des méthodes directes et indirectes pour mesurer la rétention en eau du sol. A présent, l'appareil de mesure de rétention en eau du sol le plus souvent utilisé est une sonde à neutrons. Ce appareil se compose d'une source radioactive d'Americium-Béryllium, fixée avec; un détecteur de neutrons thermiques dans un tube d'aluminium. Pour effectuer les mesures, la sonde est introduite dans un tube d'accès implanté dans le sol.

Lorsqu'un neutron rapide émis par la source radioactive entre en collision avec un noyau d'hydrogène, il est ralenti. Après étalonnage, on déduit la quantité d'eau présente dans le sol à partir du nombre de neutrons ralentis. Dans la figure n°4 on présente l'évolution des profils hydriques du sol, obtenus à partir de mesures effectuées à l'aide d'une sonde à neutrons dans une steppe à *Acacia tortilis* dans le Ferlo sénégalais.

b) Précipitations incidentes (Pi), précipitations au sol (Ps), interception (In) et écoulement le long des troncs (Ec).

Les Pi et Ps sont mesurées au moyen des pluviomètres, disposés hors et sous couvert. De l'équation (10) on déduit la fraction des pluies évaporée directement dans l'atmosphère sans atteindre le sol - interception nette (Figure n°05 et Figure n°06). Les données proviennent de la steppe à *Acacia tortilis* du Ferlo sénégalais.

On mesure Ec à l'aide de gouttières en matière plastique étanche en forme d'hélice débutant à 1,30 m du sol et s'en arrêtant à 0,50 m. hauteur à laquelle le volume d'eau qui s'écoule par la gouttière est recueilli. Ec, exprimé en hauteur d'eau, est rapporté à la surface de la projection verticale de la couronne de cet arbre. Dans la figure n°07 on présente les données provenant de la steppe à *Acacia tortilis* du Ferlo sénégalais.

c) Evapotranspiration potentielle (ETP).

L'ETP peut être calculée à partir de la formule de Penman (1948):

$$ETP = (D R_n + q_c p \frac{de}{r_a}) / L (D + c) \quad (\text{mm/j}) \quad (13)$$

avec: D - dérivée de la fonction reliant la pression de vapeur d'eau saturante de l'air et la température de l'air; R_n - rayonnement net, en W/m^2 ; $q_c p$ - capacité calorifique de l'air à pression constante, en $J/m^3 \text{ } ^\circ C$; de - déficit de saturation de l'air en vapeur d'eau, en mb, c - constante psychrométrique, en $mb/^\circ C$; L - chaleur latente de vaporisation de l'eau, en $J/kg (2,46 \cdot 10^6)$; la résistance aérodynamique, r_a (s/m), a été estimée à l'aide de l'équation proposée par Monteith (1965):

$$r_a = (1/(k^2 u)) (\ln(z-d)/z_0)^2 \quad (\text{s.m-1}) \quad (14)$$

avec k constante de von Karman (0,39); u - vitesse moyenne du vent à 2 m de la surface du sol (m/s), z - niveau considéré (m) z_0 - longueur de rugosité (m) et d - hauteur du déplacement (m). Les paramètres d et z_0 ont été obtenus à partir des formules proposées par THOM (1971):

$$d = 0,75h \quad (\text{m}) \quad (15)$$

$$z_0 = 0,1h \quad (\text{m}) \quad (16)$$

où h - hauteur du peuplement (m)

d) Acquisition des données.

Les mesures des éléments du bilan hydrique - tels que les précipitations incidentes, au sol, l'écoulement le long des troncs et les variables nécessaires à l'estimation de l'évapotranspiration

potentielle température moyenne de l'air, température de rosée, rayonnement net, pression atmosphérique, vitesse du vent, peuvent être mesurées et stockées en continu sur une centrale d'acquisition de données (par ex Micrologger 21 X).

e) Potentiel hydrique foliaire.

Les méthodes de mesure du potentiel hydrique foliaire sont nombreuses. Parmi ces méthodes, celle de la chambre à pression est actuellement la plus utilisée (notamment lorsqu'il s'agit de mesures du potentiel hydrique effectuées en milieu naturel) du fait de sa simplicité et sa rapidité.

Le principe de la méthode revient à DIXON, il dut abandonner la réalisation de sa chambre à pression après deux explosions (la chambre était en verre à l'époque). Elle n'a été reprise qu'un demi-siècle plus tard par SCHOLANDER et al. (1965).

La transpiration dans les chambres sous-stomatiques crée une tension hydrostatique négative caractérisée par $Pot_{hydrostatique}$, celle-ci se transmet à l'eau du xylème, la colonne d'eau des vaisseaux devenant soumise à une tension. Lorsqu'on sectionne ces vaisseaux en coupant la feuille, la colonne d'eau se trouve rompue et l'eau de la partie sectionnée recule rapidement vers l'intérieur des organes. On place alors la partie sectionnée dans la chambre à pression, la section étant maintenue à l'extérieur à la pression atmosphérique. Lorsqu'on augmente la pression de gaz (azote) dans la chambre, cette pression s'exerce sur la feuille et l'eau contenue dans les vaisseaux à une certaine pression, l'eau affleura à nouveau au niveau de la section. Si $Pot_{hydrostatique}$ est la pression de gaz correspondant à cette apparition de l'eau, on peut admettre alors que la tension $Pot_{hydrostatique}$ à laquelle se trouvait la sève au moment de la coupure est égale à $Pot_{hydrostatique}$.

En fait, dans le xylème, le potentiel hydrique $Pot_{feuille}$ a une double origine, hydrostatique ($Pot_{hydrostatique}$) et osmotique (Pot_{osm}):

$$Pot_{feuille} = Pot_{hydrostatique} + Pot_{osm} \quad (\text{bars}) \quad (18)$$

où Pot_{osm} = potentiel osmotique qui est négligeable devant Pot ; on admettra donc l'égalité:

$$Pot_{feuille} = Pot_{hydrostatique} \quad (\text{bars}) \quad (19)$$

f) Potentiel hydrique du sol.

Un tensiomètre, constitué d'une cellule poreuse remplie d'eau, installée dans le sol à la profondeur désirée, est en équilibre, d'une part avec la phase liquide du sol et, d'autre part avec un manomètre à mercure; l'augmentation du potentiel matriciel de l'eau du sol entraîne la remontée du mercure dans le manomètre. Le tensiomètre s'applique pour les mesures des potentiels hydriques du sol en deçà de 0.8 bars.

g) Résistance stomatique

par la méthode du poromètre à diffusion: un exemple, DELTA-T Devices (Automatic Porometer MK II). Le principe de l'appareil est le suivant: une pince contenant une petite cavité jouant le rôle de chambre de transpiration, est fixée sur la feuille, délimitant de la sorte un volume. La feuille transpire, la vapeur d'eau diffuse dans cette chambre qui contient un capteur d'humidité dont la capacité électrique varie linéairement avec l'humidité de l'air de la chambre. Après avoir fixé la pince sur la feuille, on chronomètre le temps nécessaire pour passer de l'humidité H_1 à l'humidité H_2 ($H_2 > H_1$). Cet intervalle de temps dépend de la facilité avec laquelle la vapeur d'eau peut s'échapper de la feuille, autrement dit, dépend de l'ouverture stomatique. L'intervalle de temps ainsi mesuré est en fait comparé à ceux obtenus, lors d'un étalonnage, avec un papier buvard humide fixé sous une plaque de polypropylène percée de trous uniformes à densité variable. Le temps de passage de H_1 à H_2 est chronométré à l'aide d'un asservissement automatique, par un compteur à vitesse constante de 25 coups/sec. La mesure de résistance stomatique réduite au temps d'humidification est alors exprimée simplement par un nombre de coups.

Figure n°08 Evolution de l'évapotranspiration réelle (a) en mm/j de la steppe pour deux profondeurs racinaires, (b) pour la zone racinaire de 60 cm : bosquet à *Acacia tortilis*, bosquet à *Balanites aegyptiaca* et couvert herbacé, (c) pour la zone racinaire de 475 cm : bosquet à *Acacia tortilis*, bosquet à *Balanites aegyptiaca* et couvert herbacé

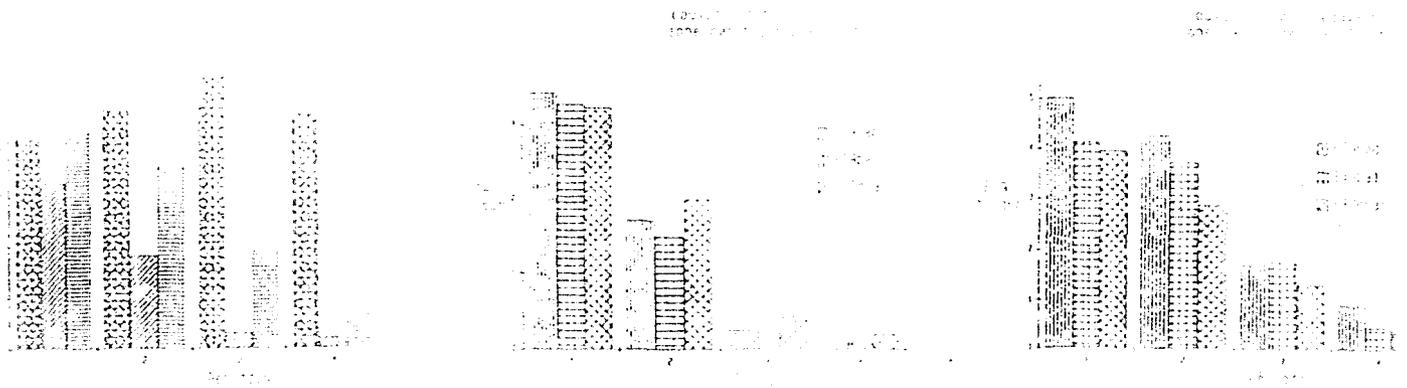


Figure n° 09 Cinétique journalière du rayonnement photosynthétiquement active (PAR), en $M \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ (a) et (e) du déficit de saturation en eau de l'air (DVP) en mbar et de la température de la feuille (t) en $^{\circ}C$, (b) et (f) de la résistance stomatique (R_s) en $cm \cdot s \cdot l^{-1}$ et de la transpiration (T_r) en $M \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$, (c) et (g) et du potentiel hydrique de tige en MPa; (d) et (h) de *Combretum glutinosum* et de *Boscia senegalensis* (1 juin 1990) (d'après FOURNIER, 1992)

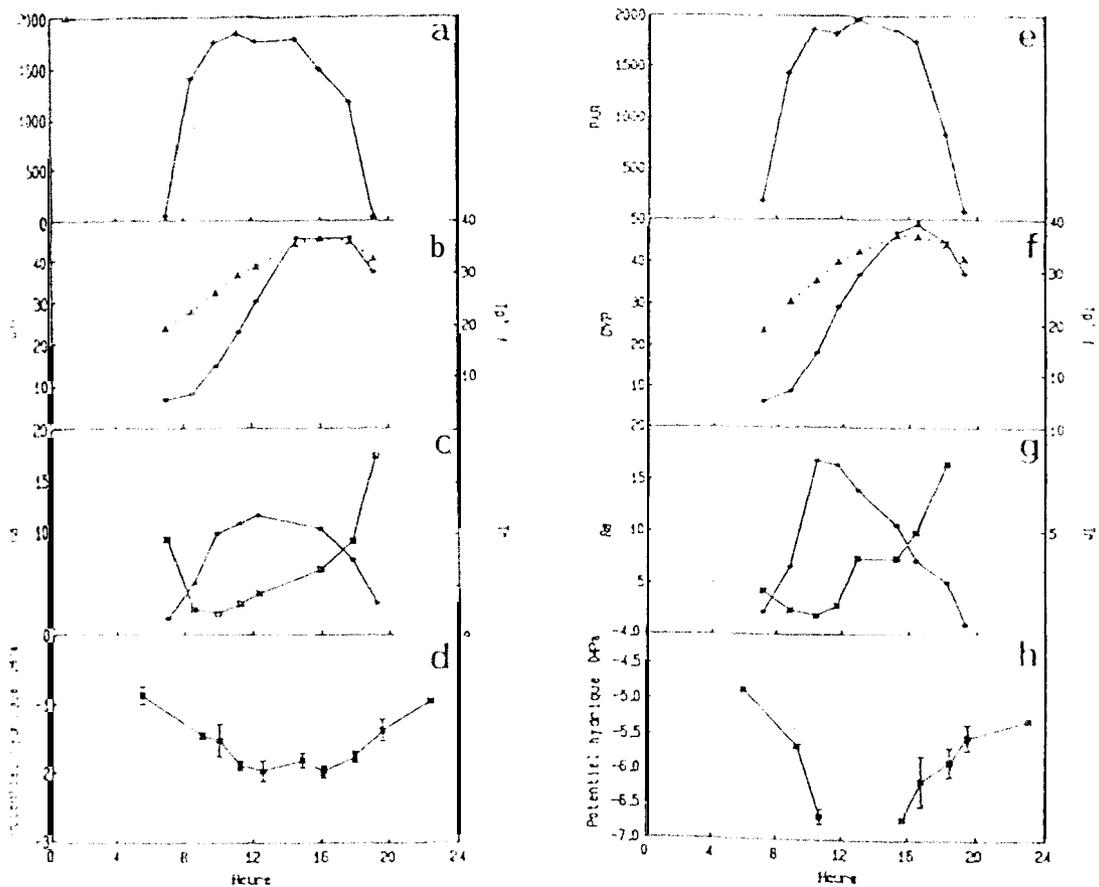


Figure n° 10 - Réponse des stomates au rayonnement photosynthétiquement actif (PAR), en $M m^{-2} s^{-1}$, (a) et (e) du déficit de saturation en eau de l'air (DVP) en mbar, (b) et (f) de la température de la feuille (t_f) en °C, (c) et (g) et du potentiel hydrique de tige en MPa; (d) et (h) de *Combretum glutinosum* et de *Boscia senegalensis* (1 juin 1990) (d'après FOURNIER, 1992)

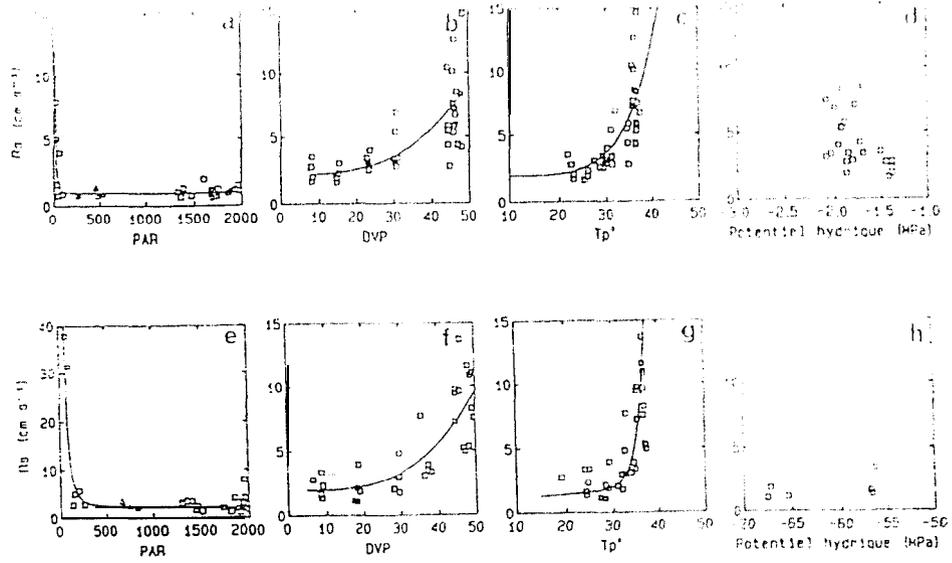


Figure n°11 - Les termes du bilan d'énergie.

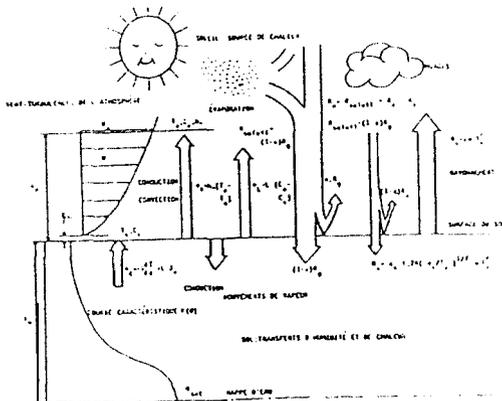
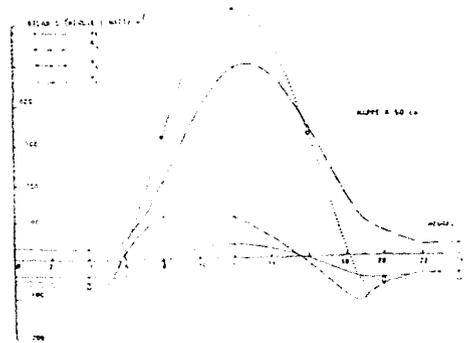


Figure n°12 Cinétique journalière des éléments du bilan radiatif



4. BILAN D'ENERGIE RADIATIVE PARCELLAIRE

Tout organisme vivant échange de l'énergie et de la matière avec le milieu extérieur. C'est une condition de leur fonctionnement et du maintien de leur structure ordonnée.

Le soleil (Figure n°11), la principale source énergie pour les écosystèmes terrestres, comme tout corps chaud émet de l'énergie rayonnée sous forme d'ondes électromagnétiques. La longueur d'onde est une fonction de la température (des longueurs d'onde sont d'autant plus grandes que la température est moins élevée). Les rayonnements peuvent être mesurés directement au moyen des instruments météorologiques de mesure des rayonnement naturels (R_n - pyradiomètre différentiel (bilanomètre), R_g - pyranomètre thermo-électrique; n - héliographe; R_a - pyranomètre muni d'une bande pare-soleil (écran destiné à occulter le rayonnement solaire direct)) ou être estimés par des formules empiriques, ce qui est présenté ici.

4.1. L'EQUATION DU BILAN D'ENERGIE RADIATIVE PARCELLAIRE.

pour une surface donnée, négligeant le rayonnement provenant des surfaces environnantes:

$$R_n = R_g(1+g) + R_a - R_t \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (22)$$

avec: R_n - rayonnement net ou effectif, en W.m^{-2} ; g - réflectivité d'une surface (fraction du rayonnement incident réfléchi pour une longueur spécifique.); R_g - rayonnement solaire global, en W.m^{-2} où:

$$R_g = (0.18 + 0.55(n/N)/R_o) \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (23)$$

avec: n - durée d'insolation, en heures; N - durée astronomique du jour, en heure; R_o rayonnement global au sommet de l'atmosphère, dépend de la latitude du lieu, de la déclinaison solaire (angle du soleil avec le plan de l'équateur) et de la constante solaire ($I_0 = 1353 \text{ W.m}^{-2}$);

R_a - rayonnement atmosphérique:

$$R_a = (0.44 + 0.079/e_a)\sigma T^4 \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (24)$$

où σ - constante de Stefan-Boltzman ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$); T - température de l'atmosphère, en °K; e_a - pression actuelle de vapeur d'eau dans l'air, en mb:

$$e_a = e_s(t_h) - \delta(t - t_h) \quad (\text{mb}) \quad (25)$$

où: t - température de l'air, en °C; t_h - température humide de l'air, en °C; $e_s(t)$ - pression de vapeur d'eau saturante à la température de la surface t , en mb:

$$e_s(t) = 6.1078 \text{EXP}((17.27t)/(237.3+t)) \quad (\text{mb}) \quad (26)$$

où: 6 - constante psychrométrique, en $\text{mb} \cdot \text{C}^{-1}$:

$$\delta = C_p P_{atm} / L (M_{eau} / M_{air}) \quad (\text{mb} \cdot \text{C}^{-1}) \quad (27)$$

où: C_p - chaleur massique de l'air, en $\text{Joules} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$; P_{atm} - pression atmosphérique, en mb; L - chaleur latente de vaporisation de l'eau ($2.46 \cdot 10^6 \text{ Joules} \cdot \text{kg}^{-1}$); M_{air} - masse molaire de l'air, en $\text{kg} \cdot \text{Mole}^{-1}$ ($29 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{Mole}^{-1}$); M_{eau} - masse molaire de l'eau, en $\text{kg} \cdot \text{Mole}^{-1}$ ($18 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{Mole}^{-1}$);

R_t - rayonnement terrestre, en W.m^{-2} :

$$R_t = \sigma T^4 \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (28)$$

où: T - température de la terre, en °K.

En moyenne sur 34 heures le rayonnement net (R_n) reçu par un couvert végétal est la principale source d'énergie pour ce couvert. La grandeur du rayonnement net déterminera l'état thermique et hydrique des plantes.

4.2. BILAN THERMIQUE DU RAYONNEMENT NE-T,

Le rayonnement net reçu par le couvert est transformé en flux de chaleur (sensible et latente), et en énergie chimique utilisée pour la fixation photosynthétique de CO_2 , soit:

$$R_n = Q_s + Q_a + LE + A \quad (W.m^{-2}) \quad (29)$$

avec: Q_s - flux de chaleur sensible par conduction (sous l'effet d'un gradient de température (dt/dz) la quantité de chaleur se déplace en direction des températures plus basses par conduction moléculaire (sol, organismes, etc...); Q_a - flux de chaleur sensible par convection (le déplacement des molécules dans un fluide se produit par différence de température et sous l'action des vents et des courants); LE - flux de chaleur latente de vaporisation (énergie utilisée ou libérée par l'évaporation ou la condensation de l'eau); A - photosynthèse.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

5.1. REFERENCES CITEES DANS LE FASCICULE

- BROWN, R.H., 1978** - A difference in N use efficiency C3 and C4 plants and its implications in adaptation and evolution. *Crop Science*, 18, 93-98.
- BROWN, R.H. et WILSON, J.R., 1983** - Nitrogen responses in Panicum species differing in CO2 fixation pathways. (II) CO2 exchange characteristics. *Crop Science*, 23, 1154-1159.
- DUFRENE, E., 1989** - Photosynthèse, consommation en eau et modélisation de la production chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.), Thèse de Docteur en Sciences, Université de Paris-Sud, Orsay, 156 pp.
- FIELD, C. et MOONEY, H.A., 1984** - The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants. In: Givnish. T.J. (Ed.), On the economy of plants form and function, Cambridge University Press, 717 pp.
- FOURNIER, Ch., 1992** - L'arbre et l'herbe au Sahel. Thèse de Docteur en Science (en cours).
- GARDNER, W.H., 1965** - Water content. In: Methods of soil analysis; Amer. Soc. Agron. Monograph, 9, 82-127.
- MONTEITH, J.L., 1965** - Evaporation and environment. In: Fogg, G.E. (Ed.), The movement of water in living organisms. 19th syp. Soc. Exp. Biol., Cambridge University Press, 205-234.
- NIZINSKI, J. et SAUGIER, B., 1989** - Dynamique de l'eau dans une chênaie (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) en forêt de Fontainebleau. *Annales des Sciences Forestières*, 46, 173-186.
- PENMAN, H.L., 1948** - Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London A*, 120-145.
- SCHOLLANDER, P.F., HAMMEL, H.T., BRADSTREET, E.D. et HEMMINGSEN, E.A., 1965** - Sap pressure in vascular plants *Science*, 148, 339-346.
- THOM, AS., 1972** - Momentum, mass and heat exchange of vegetation. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 98, 124-134.

5.2. REFERENCES GENERALES POUVANT ETRE CONSULTEES

- CAMPELL, G.S., 1986** - An introduction to environmental biophysics. Springer-Verlag, Berlin 159 pp
- COOMBS, J., HALL, D.O., LONG, S.P. et SCURLOCK, J.M.O., 1985** - Techniques in bioproductivity and photosynthesis. Pergamon Press, Oxford, 298 pp.
- FITTER, AH., et HAY, R.K.M., 1987** - Environmental physiology of plants. Academic Press, London, 423 pp.
- MONTEITH, J.L. et UNSWORTH, M.H., 1990** - Principles of environmental physics. Edward Arnold, London, 291 pp
- PEARCY, R.W., EHLERINGER, J., MOONEY, H.A. et RUNDEL, P.W., 1991** - Plant physiological Ecology. Field methods and instrumentation. Chapman and Hall, London. 457pp.
- SALISBURY, F.B. et ROSS, C.W., 1985** - Plant physiology. Wadsworth Publishing Company, Belmont, 540 pp.
- SIVAKUMAR, M.V.K., WALLACE, J.S., RENARD, C., et GIROUX, C., 1991** - Soil water balance in the Sudano-Sahelian zone IAHS Publication n°199, 628 pp.

5.3. PERIODIQUES AVEC ARTICLES D'ECO-PHYSIOLOGIE POUVANT ETRE CONSULTEES

ACTA ECOLOGICA
 AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY
 AGRONOMIE
 ANNALES DES SCIENCES FORESTIERES
 BULLETIN D'ECOLOGIE
 CAHIERS DE L'ORSTOM
 ECOLOGICAL MONOGRAPH
 ECOLOGY
 FOREST SCIENCE
 JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY
 JOURNAL OF ARID ENVIRONMENT

LES GLUCIDES DE RESERVE ET LA TOLERANCE A LA SECHERESSE CHEZ LE PALMIER A HUILE

ADJAHOSSOU D. F.

Université Nationale du Bénin, Faculté des Sciences Agronomiques B P. 526 COTONOU
(Bénin)

I) INTRODUCTION

L'apparition des stomates et leur réactivité est sans doute, l'une des caractéristiques fondamentales de l'adaptation des plantes au milieu terrestre. Mais si la fermeture des stomates permet à ces végétaux de *conserver*, dans certaines limites, le minimum d'eau nécessaire à leur survie et à leur fonctionnement, elle entraîne également une diminution de la photosynthèse. Ce qui peut avoir de nombreuses répercussions sur la plante. En particulier une carence dans l'alimentation carbonée pourrait expliquer certains symptômes de souffrance du Palmier à huile à la sécheresse, tels que les feuilles vertes qui se cassent, les flèches penchées qui conduisent le plus souvent à la mort de l'arbre. Cette carence peut être également responsable d'une plus grande masculinisation des inflorescences. Elle peut accroître l'avortement des inflorescences femelles et le pourrissement des régimes.

Cependant, ce manque de photosynthèse pourrait être compensé par l'utilisation des glucides de réserve. En effet la richesse du stipe des palmacées en sucres est bien connue, et depuis des époques reculées, ces plantes constituent les sources principales d'amidon, de sucres, de vin et d'eau de vie dans les pays tropicaux (MOLISH, 1898, 1945 ; LUBEIGT, 1982). Parmi les espèces les plus exploitées à cet usage, nous pouvons citer : *Cocos nucifera*, *Phoenix dactylifera*, *Arenga saccharifera*, *Phoenix silvestris*, *Borassus flabelliformis*, *Metroxylon sagu* etc...

L'utilisation des sucres de réserve pour maintenir la respiration et la croissance à des moments où la nutrition carbonée ne peut être assurée directement par la photosynthèse est bien étudiée chez de nombreuses plantes (SCHIMPER, 1903 ; SIMINOVITCH et al. 1953 ; KOZLOWSKI et KELLER, 1971 ; HANSEN et GRAUSLUND, 1973 ; KRAMER et KOZLOWSKI, 1979). Mais le plus souvent ces études concernaient des plantes caducifoliées pour lesquelles l'utilisation des réserves est relativement aisée à mettre en évidence.

Ces recherches ont pour but de savoir s'il existait des différences dans les teneurs ou quantités de glucides dans l'organe de réserve, le stipe et qui pourrait expliquer, tout au moins en partie, les différences de comportement des génotypes étudiés vis à vis de la sécheresse. L'étude cherchait en particulier à mettre en évidence des différences identifiables chez les jeunes plantes et qui permettraient la sélection précoce pour la résistance à la sécheresse.

II) MATERIEL ET METHODES

A) MATERIEL VEGETAL

Les comportements vis à vis de la sécheresse des génotypes de Palmier à huile dont les jeunes plantes et les arbres ont été étudiés sont connus grâce à des observations de dégâts sécheresse. Les dégâts observés sur le terrain ont été répertoriés de la façon suivante :

Symptôme AA : arbre mort de sécheresse

Symptôme A : flèche couchée

Symptôme B : nombre de feuilles sèches > 8

Symptôme C : 4 à 6 feuilles vertes cassées

Symptôme D : 1 à 3 feuilles vertes ou couchées.

En désignant par $n_{AA...ni...n_D}$ le nombre d'arbres présentant les symptômes correspondants, cités plus haut et en affectant à chaque nombre un coefficient fixé empiriquement, on détermine pour chaque génotype un indice de sensibilité à la sécheresse (I.S.) calculé comme suit :

$$10nAA + 8nA + 5nB + 3nC + 2nD$$

I.S. =

nombre d'arbres utiles

Le nombre d'arbres utiles est égal au nombre d'arbres non malades, atteints ou non par la sécheresse. IS est d'autant plus élevé que le génotype est sensible.

Malgré les faiblesses que présente ce mode de classification (ADJAHOSSOU, 1983), il présente l'avantage d'avoir pour base des observations à grande échelle sur le terrain.

Les génotypes étudiés sont les suivants :

Génotypes	Indice de sensibilité à la sécheresse (I.S)
s 99 K	0,44
S 100 K	0,54
LM 1313	0,80
L2T x D10D	0,91
S 195 K	0,99
S 182 K	1,69

B) TECHNIQUES DE CULTURE

En France, les graines germées sont repiquées dans des bacs de 25 cm de diamètre et de 20 cm de haut, contenant 50% de vermiculite et 50 % de tourbe TK2 fertilisée. A partir du 3ème mois, la nutrition minérale est assurée par une solution nutritive du commerce Rubor (N = 4%, P = 6%, K = 4%). Les plantes sont installées en serre au Laboratoire de Biologie Végétale à Fontainebleau. La température y est égale à 27°C. En plus de la lumière du jour, il y a un éclairage d'appoint d'intensité égale à 140 Watts m⁻² à la surface des feuilles grâce à des tubes fluorescents "daylight".

A Pobè, après la germination, les graines ont été repiquées dans des sachets de pré-pépinière en polyéthylène de 10 cm de diamètre et 10 cm de haut, contenant du sable marin, tamisé et lavé. A partir du 3ème mois, la nutrition minérale est assurée par l'apport d'un engrais composé (N = 12 %, P = 12%, K = 12%) et une solution d'oligo-éléments. Les plantes ont été élevées en pépinière et au bout de 6 mois elles ont été transplantées dans des sacs de pépinière contenant du terreau et ayant 25 cm de diamètre sur 25 cm de haut.

C) METHODES DE MESURES

Mesure de la résistance stomatique minimale

La mesure de la résistance stomatique a été faite entre 9 h et 11 h à l'aide d'un poromètre à diffusion de vapeur d'eau LAMBA L 65 automatique. Chaque point représente la moyenne de 5 répétitions sur la même feuille.

Mesure du potentiel hydrique foliaire

Le potentiel hydrique de la feuille est mesuré à l'aide d'une chambre de pression (SCHOLANDER et al, 1965a.b).

Mesure de l'intensité photosynthétique nette

La photosynthèse nette a été mesurée sur la 2ème feuille de plantes de Palmier à huile, âgées de 15 mois avec un analyseur à rayonnement infra rouge type ANIR 11. L'éclairage est assuré par une lampe de 400 W fournissant au niveau des feuilles une énergie de 250 W.m⁻². L'humidité relative a été maintenue à 65 % à la température de 27°C.

Dosage des glucides

Le dosage des sucres solubles a été fait par la méthode de ASHWELL (1957) et le dosage d'amidon est réalisé par la méthode de Mac READY et al, (1950) modifiée et utilisant l'antrone

Dosages enzymatiques

Les activités des invertases acide et neutre, ainsi que celles des α et β amylases ont été mesurées par la méthode de BERNFELD (1955).

III) RESULTATS

A) FERMETURE DES STOMATES ET PHOTOSYNTHESE NETTE

Des mesures de l'activité photosynthétique et de la conductance maximale de la face inférieure de la deuxième feuille de plantes âgées de 6 mois ont été faites sur les génotypes S 100 K (résistant) et S 182 K (sensible). Ces plantes ont été cultivées en serre à Fontainebleau et soumises à la sécheresse par arrêt d'arrosage.

Les résultats mettent en évidence une corrélation positive et hautement significative entre g et $0,10 \text{ cm.s}^{-1}$ (fig.1). L'intensité de la photosynthèse, en plus de la conductance stomatique, dépend également de la résistance interne à la fixation du CO_2 . Cette résistance interne correspond non seulement à la résistance au déplacement du CO_2 dans les tissus et les cellules, mais aussi aux modifications possibles du système de carboxylation et de réactions photochimiques qui peuvent être assimilées à des résistances.

Pour les valeurs de la conductance allant de $0,24$ à $0,36 \text{ cm.s}^{-1}$, l'ouverture stomatique ne semble pas être un facteur limitant et la différence d'intensité photosynthétique est probablement liée à la résistance interne, laquelle varie selon les génotypes (ADJAHOSSOU, 1983). Les mêmes études ont montré que sous la contrainte hydrique, la différence entre les résistances internes s'amplifie rapidement entre S 100 K et S 182 K. La similitude de l'évolution entre la photosynthèse et la conductance observée entre $0,012$ et $0,12 \text{ cm.s}^{-1}$ pour les deux génotypes semble donc indiquer que dans ces conditions la conductance est un facteur limitant pour la photosynthèse.

Par ailleurs, l'évolution de la conductance foliaire a été reliée à celle du potentiel hydrique. La figure 2 indique que l'abaissement du potentiel hydrique s'accompagne d'une diminution de la conductance foliaire et on peut observer que les courbes obtenues sont différentes selon les génotypes. Dans l'ensemble, les génotypes ayant les rendements agronomiques les plus élevés ferment complètement les stomates plus tard.

L'évolution de la photosynthèse a été examinée en fonction du potentiel hydrique foliaire pour un génotype sensible et peu producteur (S 182 K) et un génotype résistant et moyennement producteur (S 100 K) (fig. 3). Pour le génotype S 182 K, la photosynthèse nette est affectée à partir de -10 bars et vers -15 bars elle est déjà réduite de 50 % par rapport à la valeur maximale.

Par contre, vers -13 bars il n'y a pas eu d'effet perceptible sur l'activité photosynthétique chez le génotype S 100 K (résistant) : sur ce génotype, on n'observe une réduction de 50 % que vers -17 bars. La photosynthèse nette est pratiquement nulle vers -22 bars pour S 182 K, tandis que même vers -27 bars une activité résiduelle subsiste chez S 100 K.

On peut cependant observer (fig. 4) qu'en réalité, de grandes chutes de photosynthèse sont enregistrées pour de très faibles pertes d'eau pour les deux génotypes. La fermeture des stomates ne peut donc pas être considérée seulement du point de vue de la conservation de l'eau et Maximov (1931) avait bien montré que si cette fermeture épargnait la sécheresse à la plante, elle la conduisait à un état de manque de produits photosynthétiques.

Nous avons alors essayé de voir si d'autres mécanismes, non directement liés à la régulation stomatique, tels que l'utilisation des glucides de réserve interviennent dans la résistance à la sécheresse, en particulier chez le Palmier à huile.

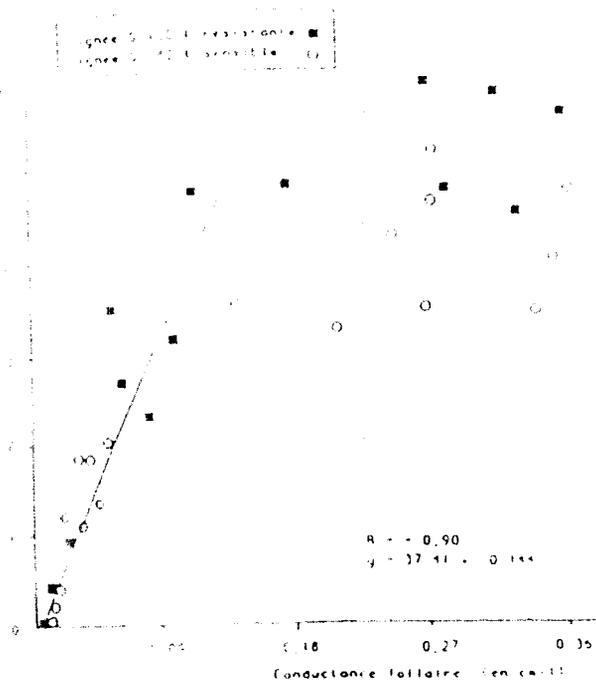


Figure 1. Evolution de la photosynthèse nette en fonction de la conductance foliaire

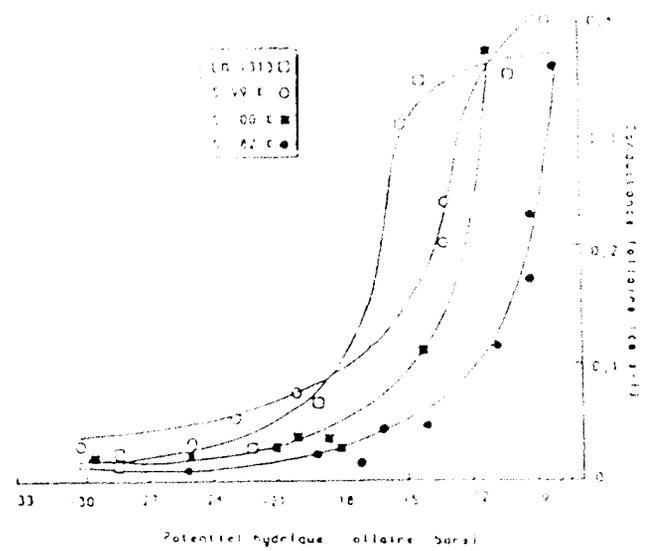


Figure 2. Evolution de la conductance foliaire en fonction du potentiel hydrique chez quelques géotypes

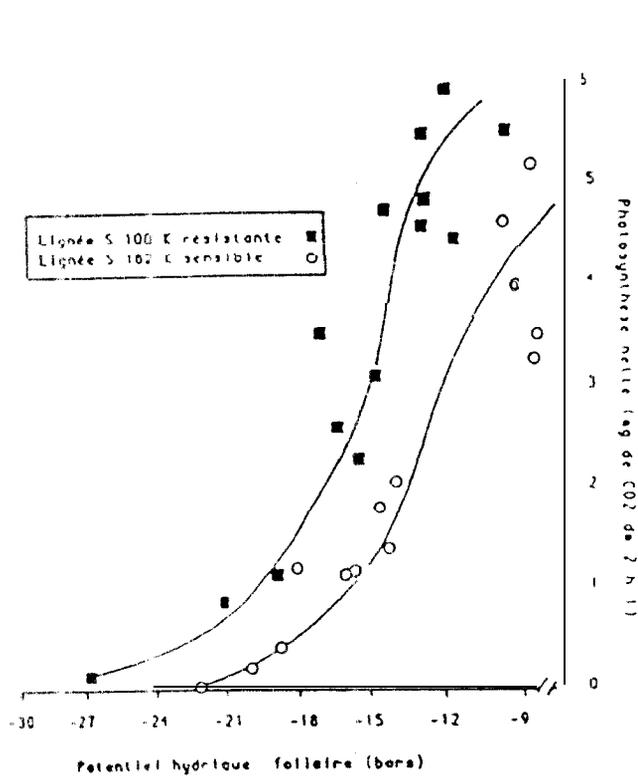


Figure 3. Evolution de la photosynthèse nette en fonction du potentiel hydrique foliaire

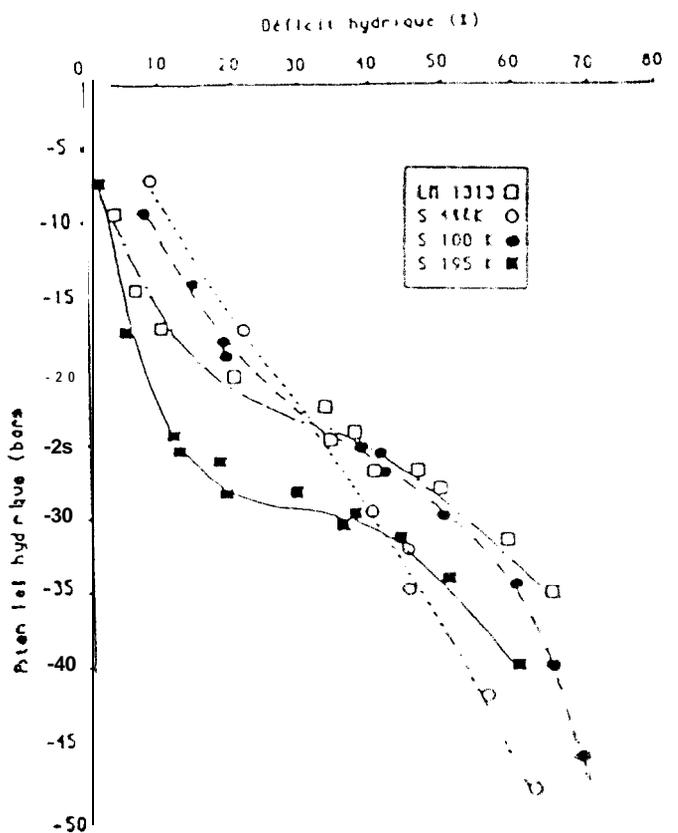


Figure 4. Relation entre le déficit hydrique (DH) et le potentiel hydrique (en bars) pour divers géotypes de palmier à huile

Tableau 1 : Teneur en glucides dans le pseudobulbe de jeunes plantes de palmier à huile âgées de 4 mois

Génotypes	Poids de MS en g	Teneur en sucres solubles en mg/g de MS	Teneur en amidon en mg/g de MS
S 195K	0,066	98,9	133,4
LM 1313	0,500	171,5	781,9

Tableau 2 : Teneur en glucides dans le pseudobulbe de jeunes plantes de palmier à huile âgées de 8 mois

Génotypes	Poids de MS en g	Teneur en sucres solubles en mg/g de MS	Teneur en amidon en mg/g de MS
S 182 K	0,38	247	270
LM 1313	1,00	189	446

MS = Matière sèche

Tableau 3 : Récapitulatif des mesures effectuées sur des plantes âgées de 11 mois

Génotypes	circonférence au collet en mm	MS du pseudobulbe par plante en g	Teneur glucidique en % de MS du pseudobulbe	Qté Tot de glucides en g/plante	Indice de sensibilité à la sechetese
S 100 K	90,83	4,55	71,09	3,23	0,54
LM 1313	75,76	2,85	72,04	2,05	0,80
L27xD1 OD	75,33	2,91	68,79	7,00	0,91
S 182 K	70,91	2,17	71,31	1,54	1,69

MS = Matière sèche

Tableau 4 : Mensurations végétatives d'arbres (14 ans) au champ

Génotypes	Volume du stipe en m ³
S 100 K	2,204 ± 0,214
LM 1313	1,744 ± 0,261
S 182 K	1,603 ± 0,368

B) MISE EN EVIDENCE DES GLUCIDES DE RESERVE CHEZ LE PALMIER A HUILE

1) Cas de jeunes plantes

Des mensurations végétatives ont été faites sur les pseudobulbes de jeunes plantes de différents génotypes cultivées dans diverses conditions : des mesures de circonférence au collet effectuées sur une population de 40 plants pour chaque génotype de S 700 K et S 182 K ont mis en évidence une différence significative entre les deux groupes avec respectivement une moyenne de $42,7 \pm 3,1$ mm et $31,4 \pm 5,6$ mm.

Par ailleurs, des mesures de teneur en amidon et en sucres solubles ont mis en évidence l'existence de quantités relativement importantes de glucides dans le pseudobulbe.

En effet, sur des plantes de 4 mois cultivées à Paris, des teneurs de 23 à 35 % de glucides totaux ont été obtenues (tab. 1). Des valeurs allant de 51,7 à 63,5 % ont été observées sur d'autres génotypes âgés de 8 mois et cultivés dans les mêmes conditions que les précédents (tab. 2).

D'autres mensurations ont porté sur des plantes de 11 mois cultivées à Pobé (Bénin) où des mesures de circonférences au collet, de poids de matières sèches, de teneurs en sucres solubles et en amidon ont été faites sur des plantes de 16 génotypes.

Les circonférences au collet ont été mesurées sur 60 plantes par lignée, tandis que pour la mesure de matière sèche et de glucides, ce nombre a été réduit à 12 : mais ces 12 plantes ont été choisies en respectant la distribution observée sur l'échantillon des 60 plantes.

Le tableau 3 qui est un extrait des résultats obtenus montre qu'il existe des **différences** entre les lignées aussi bien pour la circonférence au collet que pour la quantité de matière **sèche**. Il y a, par **ailleurs**, une corrélation positive et hautement significative entre ces deux données ($R = +0,967$). La **différence** observée précédemment entre les lignées S 100 K présente un pourcentage de 210 % de matière sèche par rapport à S 182 K.

Par contre, les dosages de sucres solubles et d'amidon ne mettent pas en évidence de différence significative de concentration entre les lignées. Cependant, la quantité totale de sucres solubles et d'amidon qui est alors fonction de la quantité de matière sèche, est différente selon la lignée. En comparant ces résultats avec les mesures précédentes, il apparaît que la concentration des glucides augmente d'abord avec l'âge puis à partir d'un stade donné, cette teneur en glucides atteint une valeur maximale qui varierait peu d'une lignée à une autre.

Dans ce cas, les différences de capacité d'accumulation de glucides de **réserve**, se manifesteraient, dans le premier stade de développement de la plante, par une **différence** de volume du pseudobulbe. Dans un stade ultérieur où les concentrations sont pratiquement les mêmes, ces différences de **capacité** d'accumulation de glucides seraient liées uniquement à la quantité de matière **sèche**.

C'est ce que nous avons essayé de vérifier sur des arbres adultes en plantation.

2) Cas des arbres

Des arbres des génotypes S 182 K, LM 1313 et S 195 K ont été étudiés. Les mesures de teneurs en glucides ont été faites de Février 1979 à Février 1981, une fois tous les deux mois en saison pluvieuse et une fois par mois en saison sèche. Chaque génotype était représenté par douze arbres. Les mensurations préalables (tab. 4) montrent que la différence de volume **observée** entre S 182 K et S 100 K, confirme celle déjà mise en évidence entre les circonférences au collet des pseudobulbes des jeunes plantes de ces génotypes.

Les teneurs en sucres solubles et en amidon varient dans le temps de manière différente selon le génotype. Ces variations paraissent surtout liées au déficit pluviométrique et à la production de régimes. Nous avons par ailleurs pu observer que les teneurs des génotypes les plus producteurs et les plus résistants à la sécheresse présentaient les plus grandes amplitudes d'oscillations. Ce qui indique probablement une utilisation très **prononcée** des glucides de réserve par ces plantes. Par contre et à l'exception des pointes de production, ces teneurs sont relativement constantes chez les génotypes les plus sensibles à la sécheresse et moins producteurs que les précédents.

C) UTILISATION DES RESERVES

a) Cas des jeunes plantes

Pour étudier l'évolution des glucides de réserve sous l'effet de la sécheresse dans les différentes parties de la plante, une carence hydrique a été provoquée par l'arrosage en excès des plantes pendant deux semaines avec une solution de polyéthylène glycol 600 ayant un potentiel hydrique de $-20 \text{ joules mole}^{-1}$ (-11,1 bars).

Les tableaux 5 et 6 rendent compte des résultats.

Dans les feuilles, il y a une accumulation de glucides totaux chez les deux génotypes ce qui contribue sans doute à la diminution de l'activité photosynthétique (NEALES et INCOLLS, 1968).

Dans les racines on a d'abord une accumulation de sucres solubles. puis une diminution de la teneur, conséquence de leur utilisation.

Dans le pseudobulbe la différence de teneur en amidon entre les deux génotypes est nette, même en conditions satisfaisantes d'alimentation hydrique. Sous l'effet de la sécheresse on observe chez les deux génotypes une augmentation de la teneur en sucres solubles corrélativement à une baisse de la teneur en amidon.

On note par ailleurs une meilleure mobilisation de glucides de réserve chez S 100 K (résistante) par rapport à S 182 K.

Cette mobilisation s'est traduite par une diminution de la teneur d'amidon qui dépasse l'augmentation de la teneur en sucres solubles dans le pseudobulbe. Il y a également chez S 100 K une diminution régulière des glucides totaux du pseudobulbe, au fur et à mesure que le traitement se poursuit. Cette diminution est par contre moins nette chez S 182 K.

Enfin pour l'ensemble de la plante, l'analyse de l'évolution des sucres totaux sous l'influence de la sécheresse met en évidence des différences entre les deux génotypes en ce qui concerne l'utilisation des glucides de réserve (tableau 7).

En effet, après un accroissement de ces glucides totaux au début du traitement chez S 100 K, on observe une diminution de 22 % par rapport au maximum. Par contre chez S 182 K, il y a eu une augmentation de 27 % par rapport au témoin.

b) Cas des arbres

L'étude de la mobilisation des glucides de réserve chez les arbres en production est plus complexe que dans le cas des jeunes plantes. En effet, à toutes les conséquences néfastes de la sécheresse sur la vie de la plante, s'ajoutent des phénomènes physiologiques, tels que la sexualisation, la formation et la maturation des régimes. En plus, la production de régimes est le résultat de 30 mois au moins d'activité métabolique (BEIRNART, 1935 ; SURRE et ZILLER, 1963), sensible aux facteurs externes.

Nous avons essayé de comprendre les mécanismes en cause, mais nous n'avons pas pu établir directement les transferts : aussi, avons nous tenté d'en déduire les grandes lignes par l'étude des corrélations entre les teneurs en sucres solubles et en amidon, dans le stipe et les feuilles, et des relations entre des teneurs et la production de régimes.

Comme l'indique le tableau 8, on peut noter que pour S 100 K et LM 1313, plus résistants à la sécheresse et plus producteurs, les coefficients de corrélation entre les teneurs de sucres solubles et celles de l'amidon du stipe sont négatifs et significatifs au seuil de 5 %, et mettent probablement en évidence conservation plus intense d'une forme de glucide dans l'autre pour ces deux génotypes. On observe également pour S x 182K une corrélation négative et significative au seuil de 5 % entre les teneurs des glucides de réserve du stipe et la production de régimes, Ce qui pourrait traduire le fait que les produits de la photosynthèse s'accumulent dans l'organe de réserve faute de fruits.

Les cas des arbres de quatre, cinq et treize ans semblent constituer un ensemble cohérent dans lequel la tendance est que l'indice de sensibilité est d'autant plus grand que la masse du stipe est plus faible. Par conséquent, le volume du stipe semble très favorable à la tolérance à la sécheresse, surtout pour les arbres les plus jeunes. Cette influence diminue progressivement avec l'âge. Il est probable en effet, qu'avec les arbres les plus âgés, le volume du stipe devienne suffisamment grand pour la plupart des lignées et ne constitue plus un facteur limitant très marqué pour la tolérance à la sécheresse.

Il apparaît donc que des relations existent entre les glucides de réserve, la tolérance à la sécheresse et la production mais la complexité des phénomènes masque certaines corrélations.

Tableau 5 : Dosage de glucides dans les différentes parties de plantules de la lignée S 182 K (sensible)

	Durée du traitement en jours	Poids de MS (g)	Teneur sucres solubles (mg G/g MS)	Teneur amidon (mg G./pl)	Totaux sucres solubles (mg)	Totaux amidon (mg G/pl)	Totaux glucide;; (mg G/pl)
F	0	1,75	71	21	126±35	36±10	162±38
	15	1,79	120	18	214±34	34±10	248±43
	23	1,73	124	17	237±22	30±10	257±15
R	0	0,115	51	14	6±1	1,4±0,4	7±1,3
	15	0,125	160	14	1915	1,8±0,9	21±6,0
	23	0,143	184	14	24±7	2,4±1,5	27±7,5
S	0	0,38	247	270	93±12	103±15	196±18
	15	0,36	407	112	144±15	40±3	184±17
	23	0,37	404	84	150±17	31±9	181±15

F = feuilles; R = racines; S = stipe; Gluc. = glucose; MS. = Matière sèche; pl = plante

Tableau 6 : Dosage de glucides dans les différentes parties de plantules de la lignée S 100 K (résistante)

	Durée du traitement en jours	Poids de MS (g)	Teneur sucres solubles (mg G/g MS)	Teneur amidon (mg G/pl.)	Totaux sucres solubles(mg)	Totaux amidon (mg G/pl.)	Totaux glucides (mg G/pl.)
F	0	2,86	83	40	237±32	112±37	350±62
	15	2,95	144	24	419±68	72±6	491±72
	23	2,50	183	25	457±61	62±30	514±81
	35	2,70	143	8	367±32	20±7	388±60
R	0	0,253	46	14	105±3	3,2±0,4	14±4
	15	0,236	189	16	68±17	3,9±2	72±19
	23	0,287	168	10	48±88	3±0,8	51±10
	35	0,260	115	8	31±17	2,5±0,6	33±16
S	0	1,00	189	446	190±21	443±51	633±69
	15	0,95	185	219	362±	207±43	566±50
	23	0,87	395	180	343±46	154±143	496±25
	35	0,87	384	151	332±31	130±6	463±37

F = feuilles; R = racines; S = stipe; G = glucose; MS = Matière sèche; pl = plante

Tableau 7 : Evolution des quantités de glucides totaux en mg de glucide par plante en fonction de la durée du traitement siicheresse

Nbre de jours Traitement sécheresse	S 100 K résistante	S 182 K sensible
0	997	365
75	1132	453
23	1061	453
35	884	

Tableau 8 : Correlations entre teneurs en sucres solubles et en amidon du stipe et la production de régimes

Lignées	Corrélation entre sucres et amidon du stipe		Corrélation entre sucres solubles du stipe et production de régimes		Corrélation entre amidon du stipe et production de régimes		Corrélation entre sucres totaux du stipe et production de régimes	
	Coefficient de corrélation	Seuil de validité	Coefficient de corrélation	Seuil de validité	Coefficient de corrélation	Seuil de validité	Coefficient de corrélation	Seuil de validité
S 100 K	-0,523*	0,497	-0,365	0,754	-0,410	0,754	-0,0700	0,754
S 182 K	-0,315	0,497	-0,738	0,754	-0,838*	0,754	-0,8130*	0,754
S 195K	-0,276	0,497	-0,133	0,754	-0,335	0,754	-0,0137	0,754
LM1313	-0,774*	0,497	-0,480	0,754	-0,065	0,754	-0,3610	0,754

Tableau 9 : Activité enzymatique. Les résultats sont exprimés en mg de glucose/mg de matière sèche/heure pour les invertases et les amylases, en μ M p nitrophénol/mg de matière sèche/heure pour la phosphatase acide.

	S 100 K				S 182 K			
	Témoin		Traité		Témoin		Traité	
	Résultats	% rapporté au témoin						
Invertase acide	0,0150	100	0,0463	309,0	0,0176	100	0,0290	165,0
Invertase neutre	0,0145	100	0,3240	223,0	0,0062	100	0,0053	86,0
α amylase	0,0634	100	0,0888	151,4	0,0634	100	0,0467	73,8
β amylase	0,0113	100	0,0810	72,0	0,0390	100	0,0418	107,0

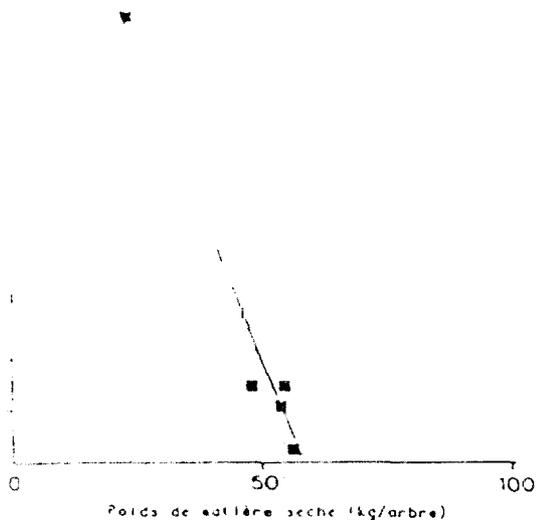


Figure 5. Influence de la quantité de matière sèche du stipe sur l'indice de sensibilité à la sécheresse chez des arbres de 4 ans (parcelle 425 Pobè).

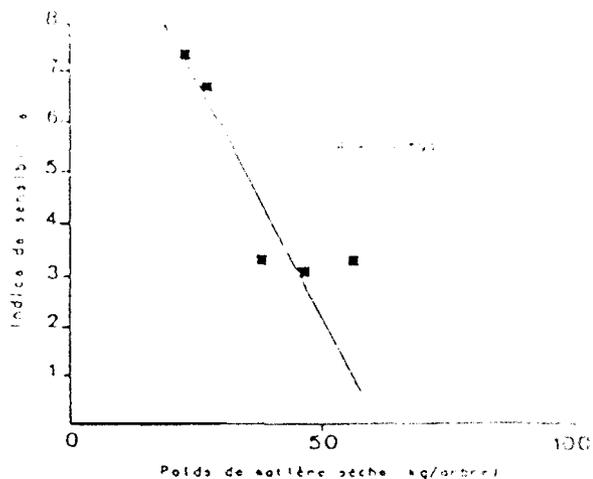


Figure 6. Influence de la quantité de matière sèche du stipe sur l'indice de sensibilité à la sécheresse chez des arbres de 5 ans (parcelle POCP 25 Pobè).

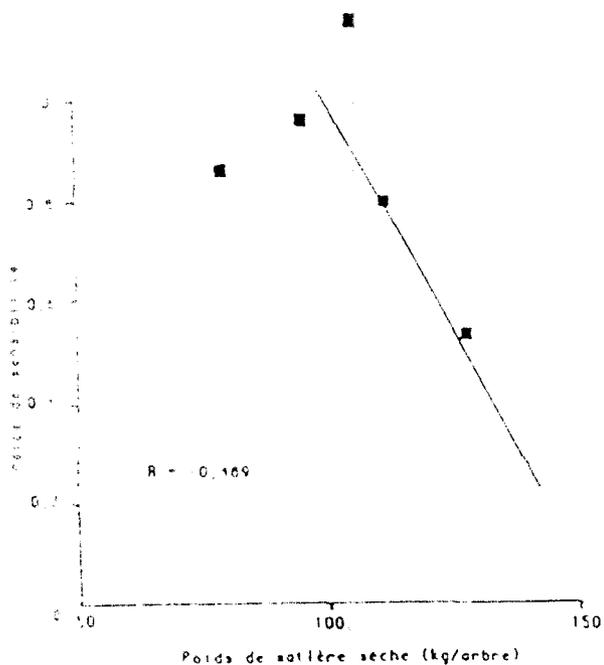


Figure 7. Influence de la quantité de matière sèche du stipe sur l'indice de sensibilité à la sécheresse chez des arbres de 7 ans (parcelle POCP 23 Pobè).

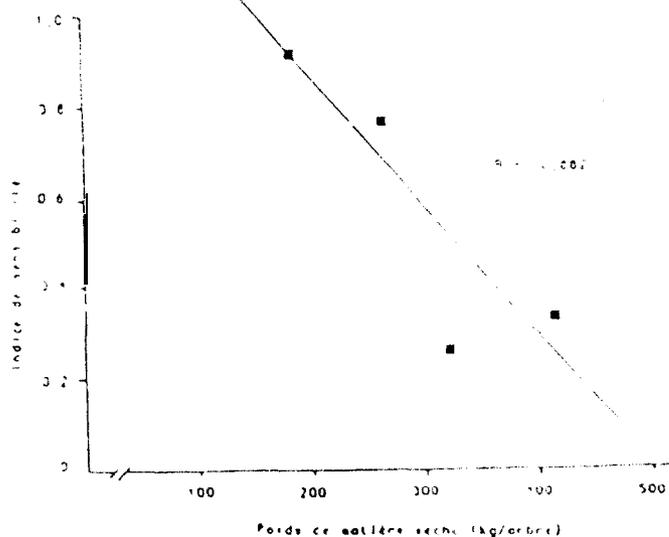


Figure 8. Influence de la quantité de matière sèche du stipe sur l'indice de sensibilité à la sécheresse chez des arbres de 13 ans (parcelle 555 Pobè).

Il est alors nécessaire de rechercher des caractéristiques simples à observer au champ et qui aient une certaine liaison avec la tolérance à la sécheresse.

Compte tenu de nos hypothèses sur le rôle des réserves glucidiques dans la tolérance à la sécheresse chez le Palmier à huile, nous avons examinés dans différents cas, l'influence du volume du stipe sur l'incidence de sensibilité à la sécheresse.

Des mensurations végétatives, dont l'estimation de volume de stipe, ont été faites au cours de la campagne 1972-1973 (MAILLARD, 1973), marquée par des dégâts de sécheresse particulièrement importants. Malgré les oscillations dans le temps des teneurs en amidon et en sucres solubles mises en évidence, les réserves glucidiques potentielles pour les arbres au champ, peuvent être estimées en première approximation par le volume du stipe.

Quatre situations ont été examinées :

- Chez les arbres de quatre ans (fig. 5) la distribution des points n'étant pas normale, nous n'avons pas pu calculer le coefficient de corrélation, entre la masse du stipe et l'indice de sensibilité à la sécheresse.

Cependant, on peut observer une influence favorable des stipes les plus grands sur la tolérance des arbres à la sécheresse.

- Avec des arbres de cinq ans, le coefficient de corrélation est négatif, et juste significatif (fig. 6).
- Pour les arbres âgés de sept ans, le coefficient de corrélation est aussi négatif et non significatif (fig. 7).
- Enfin, pour les arbres de treize ans, le coefficient de corrélation est aussi négatif et non significatif (fig. 8).

D) ACTIVITES ENZYMATIQUES

L'importance de la mobilisation glucidique comme facteur de résistance à la sécheresse nous a conduit à étudier dans le pseudobulbe l'activité des amyfases, et des invertases qui sont liées au métabolisme des glucides. Les mesures ont été faites sur des jeunes plantes des génotypes S 100 K (résistant) et S 182 K (sensible) âgées de 15 mois et soumises à la sécheresse par suspension d'arrosage. Le potentiel hydrique a atteint -19 bars dans la 2ème feuille des deux génotypes, juste avant les mesures. Les résultats sont récapitulés dans le tableau 9.

L'invertase acide augmente de 65 % pour le génotype S 182 K et de 209 % pour le génotype S 100 K. Cette enzyme participant à la mobilisation des sucres, l'augmentation d'activité peut être associée à une intensification de la mobilisation des glucides de réserve sous l'effet de la sécheresse. Dans ce cas, la mobilisation serait plus intense chez le génotype S 100 K résistant

IV) DISCUSSION

La fermeture des stomates limite donc de façon satisfaisante les pertes d'eau mais elle conduit à une réduction ou même à une suppression, de la photosynthèse et expose ainsi la plante à une carence en produits carbonés. Il est donc apparu logique de vérifier si, en conditions de sécheresse, les glucides de réserve localisés pour l'essentiel dans le stipe jouent un rôle dans le maintien de la production de régimes et au besoin dans la survie de l'arbre

Les mesures ont permis de montrer chez les jeunes plantes des différences dans la capacité à accumuler des réserves glucidiques et les génotypes les plus résistants manifestent les capacités d'accumulation de glucides les plus importantes. Ce qui se traduit d'abord, par des pseudobulbes les plus volumineux et les plus riches en amidon. Mais plus tard, ces différences se manifestent uniquement par un développement de pseudobulbes plus important chez les génotypes les plus résistants. Cette caractéristique se maintient même chez les arbres adultes, ce qui est très intéressant, car la corrélation positive et hautement significative mise en évidence entre la circonférence au collet du pseudobulbe et la quantité de matière sèche permet d'envisager un test précoce ne nécessitant qu'une technique extrêmement simple. L'intérêt de ce test réside *non* seulement dans sa simplicité, mais aussi dans sa fiabilité.

En effet, pour les génotypes les différences entre le volume du pseudobulbe ou le stipe se maintiennent dans le même sens tout au long de leur développement. Par ailleurs, l'utilisation des réserves glucidiques en conditions de sécheresse a été mise en évidence aussi bien chez les jeunes plantes que chez les arbres adultes. Mais notre étude a aussi révélé que l'ampleur de l'utilisation de ces réserves est variable selon le génotype aussi bien sur des jeunes plantes que sur des arbres adultes en production.

Cela s'explique probablement par une différence dans l'activité des enzymes qui interviennent dans la mobilisation et le transfert de ces glucides, mais bien que des résultats intéressants soient obtenus quant à l'activité de ces enzymes aussi bien dans les conditions normales d'alimentation hydrique qu'en conditions de sécheresse nous n'avons pas pu dégager de manière satisfaisante les mécanismes essentiels.

Cependant les génotypes les plus résistants et les plus productifs semblent avoir une plus grande capacité de mobilisation des réserves. L'ampleur de cette mobilisation semble liée à celle des besoins carbonés, de sorte que même chez les génotypes sensibles, on observe une plus grande utilisation des réserves glucidiques pendant les pointes de productions des régimes (ADJAHOSSOU, 1983).

Dans l'ensemble, l'utilisation des réserves glucidiques est accentuée lorsque la pointe de production a lieu pendant la saison sèche. D'ailleurs, dans la pratique tout au moins au Bénin, cette pointe de production se situe toujours en saison sèche et en nous appuyant sur les travaux de DESASSIS (1962) nous avons démontré que dans ces conditions, la majeure partie de la récolte de l'année repose sur l'utilisation des réserves glucidiques (ADJAHOSSOU, 1983). En fin de compte, tout se passe comme si nous avons un système aussi simple que celui qu'on observe par exemple avec les pommiers chez lesquels la production de fruits est conditionnée par la quantité de réserves glucidiques accumulées au préalable dans les rameaux (CASSAGNES et CARLES, 1970).

Le rôle des glucides de réserve semble également bien net dans la tolérance des arbres adultes à la sécheresse. En effet, nous avons pu mettre en évidence une corrélation inverse entre le volume du stipe (qui détermine surtout la quantité de glucides de réserve) et l'indice de sensibilité à la sécheresse. Bien que l'on distingue plusieurs situations selon l'âge des arbres et selon les génotypes, il semble bien que les volumes les plus importants soient favorables à la tolérance à la sécheresse. Ceci est particulièrement net chez les arbres jeunes et surtout ceux qui sont en début de production. Ce qui s'explique bien, car chez ces arbres, les réserves glucidiques ne sont pas encore suffisantes pour assurer pendant la saison sèche, à la fois le remplissage des régimes et la nutrition carbonée de base, surtout au niveau des racines. Ce qui se traduit par une forte mortalité pendant la saison sèche, et de nombreuses chutes d'arbres en début de saison des pluies. De même, le manque de produits photosynthétiques, qui modifie le rapport C/N est probablement l'une des causes de nombreux symptômes de souffrance à la sécheresse, comme le changement du sex-ratio, dans le sens d'une plus grande quantité d'inflo-escences mâles (BEIRNAERT, 1935 ; SPARNAAIJ, 1960 ; CORLEY, 1976).

Les glucides de réserve contribuent donc de diverses manières à la tolérance à la sécheresse chez le Palmier à huile. D'autres aspects de nos recherches tels que la régulation de la transpiration, l'intensité et la stabilité de la photosynthèse, la résistance protoplasmique et la productivité agronomique réelle ont permis de définir un idéotype à la fois producteur et résistant à la sécheresse (ADJAHOSSOU, 1983).

C'est probablement la première fois que des explications de mécanismes de résistance à la sécheresse ont pu combiner des données précises à la fois sur des jeunes plantes et sur des arbres des génotypes d'une espèce pérenne et d'aboutir à des conclusions cohérentes et directement applicables.

Ces résultats sont par ailleurs confirmés par des travaux de terrain à Pobè (Bénin) complémentaires et qui ont porté sur un nombre plus grand de génotypes. Il a été alors possible de démontrer l'existence des corrélations entre les réserves glucidiques et des génotypes bons producteurs et résistants et des génotypes peu producteurs et sensibles.

Des critères analogues à ceux que nous avons utilisés, en particulier les glucides de réserve et la résistance protoplasmique ont permis d'obtenir en 3 ans un gain génétique de 30 % dans l'alimentation pour la productivité et la résistance à la sécheresse du cotonnier (GOMES de SOUZA et al., 1983). Chez l'arachide un gain de 20 % a été obtenu (KHALFAOUI, 1988).

BEN SALEM (1988) a pratiqué sur le blé l'ablation de la feuille drapeau et des barbes après anthèse et a démontré le rôle prépondérant des glucides initialement accumulés dans les tiges, dans la stabilisation de la production en cas de carence hydrique, BLUM et al., (1983) avaient également mis en évidence sur l'avoine l'accélération du transfert des glucides de réserve vers l'épi par une dessiccation chimique pratiquée après l'anthèse.

Somme toute, le rôle de l'accumulation et l'utilisation des glucides de réserve dans les mécanismes de résistance à la sécheresse et la stabilisation de la production, bien que longtemps négligé se retrouve chez de nombreuses espèces. Ce travail qui a d'abord porté sur des jeunes plantes de Palmier à huile (ADJAHOSSOU et VIEIRA Da SILVA, 1978) et ensuite sur des jeunes plantes et ces arbres au champ (ADJAHOSSOU, 1983) montre que l'étude des glucides de réserve est essentielle

dans la recherche de critères pour la sélection des espèces annuelles ou pérennes, tolérantes à la sécheresse.

V) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADJAHOSSOU F., VIEIRA DA SILVA J., 1978. 1^{er} eneur en glucides solubles et en amidon et résistance à la sécheresse chez le palmier à huile. *Oléagineux*, 33, 599-604
- ADJAHOSSOU F., 1983. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq). Thèse de Doctorat d'Etat es Sciences Naturelles Université Paris 7 (France) 203 pages
- ASHWELL G., 1957. Colorimetric analysis of sugars. In : *Methods in Enzymology* (vol III) Colowick et Kaplan Eds Academic Press. New York.
- BEIRNAERT A., 1935. introduction à la biologie florale du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq) Publ Inst Natl Etude Agron Congo Belge. Série Sci. 5, 42 pages.
- BENSALEM M., 1988. Etude comparative à la résistance à la sécheresse de quelques variétés de blé Thèse de Doctorat es Sciences Naturelles. Université Paris 7 (France).
- BERNFELD P., 1955. Amylases and . In: *Methods in Enzymology* (vol 1). Colowick et Kaplan Eds Academic Press. New York, 149-150.
- BLUM A., Poiarkova H., Golan G., Mayer L., 1983. *Chemical desiccation* of wheat plants as a simulator of post anthesis stress 1. *Effects* on translocation and kernel growth. *Field Crop Res.* 6. 51-58
- CASSAGNES P., Carles J., 1978. Evolution des réserves du rameau de pommier en fonction de l'alternance *Physiologie Végétale*, 8. 111-124.
- CORLEY R.H.V., 1976. Inflorescence abortion and sex differentiation. In : *Developments in crop science 1 Oil palm research*, Corley R.H.V., Hardon J.J., Wood B.J., Eds. Elsevier Scientific Publishing Company.
- DESASSIS A., 1962. Une étude sur les modalités de formation de manières grasses dans le fruit d'*Elaeis guineensis* Jacq Thèse de Doctorat d'Etat. Université Paris. 162 pages.
- HANSEN P., Grauslund J., 1973. 14C studies on apple trees. VIII The seasonal variation and nature of reserves. *Physiol Plant.* 28, 24-32.
- KHALFAOUI J-L B., 1988. Approche de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées en zones semi-arides. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) destinée à la région sèche du Sénégal. Thèse de Docteur en Sciences. Université de Paris Sud. 297 pages.
- KOZLOWSKI T.T., Keller T., 1966. Food relations of woody plants *Bot. Rev.* 32, 293-382.
- KRAMER P.J., Kowlozski T.T., 1979. *Physiology of woody plants*. Academic Press New York - San Francisco - London.
- LUBEIGT G., 1982. Une civilisation du palmier à sucre en Asie. *Le Courrier du CNRS* 44-24-35.
- MAC CREADY R.M., Guggolz J., Silveira V., Owens H.S., 1950. Determination of starch and amylase III vegetables. Application to peas. *Anal. Chem.* 22, 1156-1158.
- MAILLARD G., Daniel C., Ochs R., 1974. Analyse des effets de la sécheresse sur le palmier à huile. *Oléagineux*, 29, 397-404.
- MAXIMOV N.A., 1931. The physiological significance of xeromorphic structure of plants. *J. Ecol.* 19, 273-282.
- MOLISH H., 1945. *Fisiologia vegetal* (traduit par Guinea E. Editorial labor S A. Barcelona - Madrid - Buenos Aires - Rio de Janeiro - Mexico - Montevideo.
- NEALES T.F., Inceoll LD., 1968. The control of leaf photosynthesis rate by level of assimilate concentration in the leaf : a review of the hypothesis. *Bot. rev.* 34, 107-125.
- SCHIMPER F.W., 1903. *Plant geography upon a physiological basis*. Oxford Univ Press (Clarendon). London - New-York.
- SCHOLANDER P.F., Hammel H.T., Bradstreet E.D., Hemmingsen E.A 1965. Sap pressure in plants. *Sci New York.* 149, 920-922.
- SIMINOVITCH D., Wilson CM., Briggs D.R., 1953. Studies on the chemistry of the living bark of the black locust in relation to frost hardiness. V. *Seasonal transformations and variations in carbohydrates. starch-sucrose interconversions*. *Plant Physiol.* 28, 383-400.
- SPARNAIJ LD., 1960. The analysis of bunch production in oil palm. *J W Afr Inst Oil Palm Res.* 3, 109-180
- SPLITTSTOESSER W.E., Meyer M.M.J., 1971. Evergreen foliage contributions to the spring growth of taxus *Physiol Plant.* 24, 528-533.
- SURRE C., Ziller R., 1963. Le palmier à huile. Collections techniques agricoles et productions tropicales. Edts Maisonneuse et Larose. Paris, 243 p.
- GOMES de SOUZA J., Barros A.C.Q.T., Vieira da Silva J.B., 1983 *Reservas de hídricos de carbono e resistência al algodoeiro à seca*. *Pesq. agropec. bras.* Brasília 18.3.269-273

PLANT WATER RELATIONS AND ADAPTATION TO WATER STRESS

Maria do Céu Matos
Dep. Fisiologia Vegetal, E.A.N.
2780 Oeiras, Portugal

Plant distribution in different environmental conditions is mainly conditioned by water, as it has been pointed out since long by several authors

In fact this compound is of paramount importance because it determines the internal environment in which metabolism and functions are carried out. Although water constitutes more than 90 % of plant weight, only a small quantity is spent in metabolic processes. The great bulk of plant's water requirement is concerned with transpiration. When the internal amount of water and the total quantity removed from the soil by a transpiring plant during the course of the growth are compared, we see that this can be one hundred times the former (Bonner and Galston, 1959). The proportion of water retained relative to the water lost, varies with species and with environmental factors

According to Raheja (1966), referred by Hurd 1976, 36 % of the land area is considered as arid or semi arid receiving on y 125 to 750 mm of rainfall annually. Much of the remaining 64 % of land undergoes temporary drought during the crop season. So, plants to withstand such a diversity of environments developed a wide range of adaptive mechanisms. According to Turner (1986) in natural plant communities many of these mechanisms are sometimes more important for plant survival than for high productivity, although some of them seem to increase also production.

The study of physiological processes contributes to define targets for designing and testing breeding programmes for yield improvement. The nature and extent of the effects of water stress on plants are a function of the intensity and duration of the stress and the genetic inheritance of species to endure environmental conditions.

Figure 1 shows and resumes, the adaptive changes in crop plant in response to the gradual development of water stress in the field.

As can be seen, restrictions of canopy development is the first process to be affected by water stress, earlier than leaf wilting and stomatal closure, induced by internal water deficits, as pointed out by Bradford and Hsiao 1979. This point of view seems to be opposite to that of Mansfield and Davies (1985) which consider stomatal closure in the "first line" of defense mechanisms.

This consideration takes into account direct stomatal regulation by air humidity or by an earlier signal coming from the root to the leaves, when soil starts drying.

The foliage growth, responsible for canopy development, is one of the first signs of water shortage (Fisher and Hagen, 1965; Jordan 1982) and the reason for this is, according to Bradford and Hsiao (1979), the high sensitivity of expansive growth to water stress. Cell enlargement in opposition to cell division is considered highly sensitive to water deficit (Burstrom, 1956, Hsiao, 1973).

Plant growth increases exponentially with time in the early stage (Williams 1975) according to

$$y = y_0 e^{kt}$$

y is the amount of biomass/plant at the time t

y₀ initial biomass

e base of natural logarithm

k growth rate constant

For any increase in the time during which plant suffers water stress, the reduction in canopy size is much higher.

MECHANISMS OF ADAPTATION TO WATER DEFICIT

Turner (1986b) suggested three categories in which, mechanisms of adaptation to water deficit, can be included (see table 1): Drought escape, Dehydration postponement by . a) Maintenance of turgor, b) Maintenance of volume, and Dehydration tolerance.

1) DROUGHT ESCAPE

According to this author the drought escapers group includes plants with a rapid phenological development and plants with developmental plasticity.

The earliness being inversely correlated with production is useful when soil water availability is low, but when rainfall input is high and the root system is deep, earliness reduces the amount of dry matter that could be produced before flowering.

Of course when the vegetative development lasts for a long period the loss of water by transpiration is higher which will decrease the amount of soil water availability. The developmental plasticity enables the plant to reduce or increase the vegetative phase and start flowering when mild water stress appears.

Mild water stress increases earliness because it decreases the time of flowering. This has been considered by some authors an adaptation to water deficit. However Turner (1986) considered this fact as well as the effect of ABA application to shoots a consequence of water conservation mechanism induced by water deficit rather than an adaptive mechanism. In this view the beginning of flowering is due to stomatal closure, which consequently induces the increase of leaf temperature and hence higher day degrees to flowering.

2) DEHYDRATION POSTPONEMENT

In this category (see table 1) are included : a) mechanisms to maintain turgor and b) mechanisms to maintain volume. The firsts are achieved by osmotic adjustment, reduction of water loss and maintenance of water uptake.

&Maintenance of turgor

Osmotic adjustment

The adaptive mechanisms to water stress through maintenance of turgor have been carefully studied because cell turgor has been considered the transducer in the plant response to water deficit. So, osmotic adjustment that aids in the maintenance of turgor, by accumulation of solutes under water deficit conditions, has been considered important in maintaining plant growth through the maintenance of stomatal opening, net photosynthesis and leaf and root growth. Also it defers leaf rolling and death. This mechanism has been demonstrated in a range of species (Turner and Jones, 1980; Morgan, 1984) in which it appears as a result of slowly developing water deficits.

Presently the role of turgor as being the sole transducer of the effects of water deficit in the processes of growth and photosynthesis has been questioned. In fact a role in the transmission of information from soil and/or root water status to the shoot has been recently attributed to plant growth regulators.

Turner (1986) after analysing the results of Meyer and Boyer (1972) Michelena and Boyer (1982), Van Volkenburgh and Boyer (1985), Boyer et al. (1985), Turner and al. 1985, Gollan et al. 1985 and Hubich and al. (1985) concluded that the two principal factors governing plant growth, namely leaf expansion and carbon assimilation, are leaf turgor and plant growth regulators

The knowledge of this is important for our understanding of adaptation to stress. According to Turner (1986) the relative importance of the root and shoot in response to water deficit will depend on the adaptation of the roots as well as the adaptation of the shoots to water deficits

The maintenance of shoot growth is possible if the osmotic adjustment occurs both in shoots and roots.

Experiments with *Lupinus* show that the osmotic potential at full turgor was always higher in leaves than in roots, and osmotic adjustment of the leaves was greater than that of the roots (Turner, 1986).

It seems that the growing root tips in deeper zones of the profile are the sensors of soil dehydration because a great part of soil water which comes first from the upper layer, is removed without any effects in stomatal conductance and photosynthesis (Ritchie 1974; Burch et al. 1978).

Several authors (Morgan, 1980b, Karami et al. 1980, Hcnson 1982 a, Shackel et al. 1982, Shackel and Hall, 1983, Wright and al. 1983b) observed variation in osmotic adjustment among cultivars in cereals and cotton. Plants with high and low osmotic adjustment in response to water deficits have been selected and there is a strong probability that this feature is under single gene control and so

highly portable. So the study of osmotic adjustment should be incorporated in a breeding program as Turner (1986b) suggested.

In apple trees we had the opportunity of measuring an osmotic adjustment of 50.8 % in July when unirrigated plants were compared with irrigated ones (see table 2).

As shown in Fig. 2, for July 1988, the osmotic potential correspondent to the leaf water potential at 100 % turgor was -2.0 MPa in watered plants and -3.2 MPa in unwatered ones. There was an osmotic adjustment of 1.2 MPa. The leaf water potential at zero turgor decreases in water stressed plants. In fact these can attain lower potentials than watered plants, without loss of turgor (Fig. 3).

Reduction of water loss

Plants respond to stress with what is called by Mansfield and Davies (1985) "first line of defense" that is, reversible responses in which is included stomatal closure which prevents quick desiccation of the plants. Stomata may respond : a) to decreases in soil water availability by feedback mechanisms that is by an hydraulic effect of the reduced water in the plant, b) by a feedforward effect, responding directly to vapour pressure deficit between leaf and air, without decreases in water content, or c) by responding to a signal from the roots.

Zhang and Davies (1989) put forward the hypothesis that the plant can measure the water status of the soil through the production of abscisic acid in dehydrating roots. According to them the ABA produced by dehydrating roots was subsequently transported to the shoots providing a sensitive indication of the degree of soil drying. In an experience with *Commelina* plants, Zhang, Schurr & Davies (1987) showed that ABA can move from the roots in drying soil to regulate stomatal opening independently of the influence of any hydraulic signal moving from the roots. They showed that root tips produce increasing amount of ABA as a function of decreasing turgor or water content. Fine roots in contact with drying soil will be partially dehydrated and the ABA production is stimulated.

This may occur despite the fact that larger roots in drying soil have sustained turgor and growth, due to solute regulation. As the root system is not homogeneous, simultaneous different water potentials in root and shoot are possible. According to Masle & Passioura (1988), Rosa da Costa et al., (1987) the signal that comes from root tip may promote the production of a chemical signal which will restrict leaf conductance and leaf expansion.

Hydraulic effects of leaf water potential in stomatal conductance can be seen in apple trees when leaf water potential falls to very low values (-3 MPa).

In the range of high leaf water potential, stomatal conductance is high (Fig. 4).

Plants may optimise their gas exchange according to water availability in the soil (Jones, 1980; Cowan, 1982).

For these authors, decreasing root tip turgor could generate some chemical influence which could move in the transpiration stream to the leaves, where it might influence physiological processes.

In fig. 5 (Zhang and Davies, 1989) we can see that root tips in drying soil exhibit reduced turgor. According to these authors larger roots retain turgor even when the soil dries substantially.

The hypothesis of a signal moving from roots to leaves in response to soil drying has been the subject of much interest during the last 35 years. Early speculation was that soil drying would reduce cytokinin synthesis in roots and transport to leaves (Itai & Vaadia, 1965). This hypothesis seems unlikely because it has not been supported by experiments.

The hypothesis that ABA is synthesized in fine root tips, when these are in contact with drying soil, has been accepted by Walton, Harrison & Cole (1976), Robertson and al. (1985), Cornish & Zeevart (1985), Lachno & Baker (1986), Zhang & Davies (1987) and Zhang and al. (1987) referred by Zhang and Davies (1989).

The direct effects of vapour pressure leaf-to-air difference in stomatal conductance, have been reported by Schulze and al. (1974), Tenhunen and al (1981) and Tenhunen and al. (1987). This performance, considered as an adaptation process to prevent plant desiccation, has been explained by the effect of peristomatic transpiration (Seybold 1962, Moercker, 1965, Farquhar & Sharkey 1982).

Changes in turgor of guard relative to adjacent mesophyll cells induced by high air evaporative demand can induce stomatal closure.

Different types of mathematical relationships between vapour pressure difference and stomatal conductance have been proposed.

Working with apple trees (CV. Richard) in the field, we found a linear relationship expressed by the equation :

$$g = 1.335 - 0.046 \text{ VPD } r = 0.67$$

(This, not very high regression coefficient, may be due to other reasons than humidity).

In potted plants this relationship is shown by a curve differing when considering irrigated and non-irrigated plants (Fig. 6)

Midday closure, frequently cited in literature, as a response to high vapour pressure difference, has been observed not only in sclerophylls and desert species but also in some mesophytic species, even when plants are well watered (Chaves, 1991 and Correia and al., 1990) in grapevine

Other mechanisms to avoid water loss are the reduction of leaf area achieved either by reduction of individual leaf area or by leaf senescence, and changes in foliar angle with reduction of radiation absorbed. This helps the plant to maintain turgor with reduction of productive processes as well as stomatal control did. However growth and survival come to a compromise in conditions of low water availability.

One very interesting and important point is the effect of drought on photosynthesis.

CO₂ assimilation can be affected by stomatal closure due to low humidity in the air or to the decrease in soil water potential, before leaf water status is changed.

In these cases, reduction of CO₂ assimilation is made by stomatal control of CO₂ diffusion. When the drought period increases, either in intensity or duration, plants dehydrate more severely and changes in metabolic functions may occur. However Kaiser (1982 and 1987), Cornic and al. (1989) and Quick and al. (1990) showed that photosynthetic apparatus has a remarkable resistance to dehydration. This characteristic enable plants to maintain its photosynthetic capacity under drought conditions.

Contradictory results appearing in literature are frequently due to differences in methodology. In fact Quick and al. (1990) showed that only with very high CO₂ concentrations (ranging between 5 to 15 % CO₂) stomatal limitation was overcome in *Lupinus albus* (Fig. 7).

Kaiser's data (1988) with *Nicotiana rustica* show that slowly imposed dehydration (over a period of two weeks or more) may affect mesophyll photosynthesis at higher RWC than those which inhibit photosynthetic capacity in a rapid wilting:

According to Kaiser (1987) the decrease in photosynthetic activity at the chloroplast level is usually reversible at RWC ranging from 70 % to 40 %.

Maintenance of water uptake

Other response to the gradual development of water stress in the field is the increase in growth of roots relative to shoot (Fig. 1). The effect in the ratio of root/shoot growth starts early, and gradually increases until the threshold value to stomatal closure. At this time, water stress favour root growth in order to maximize the volume of soil explored.

The development of the root relative to shoot have often been observed, when there is water shortage (El Nadi and al. 1969, Pearson 1966 referred by Bradford and Hsiao 1982).

Sharp and Davies 1975 in an experiment made with maize, found that the change in root/shoot ratio started when root and leaf water potentials began to decline and leaf expansion became suppressed by water stress.

According to Bradford and Hsiao (1982), root growth is probably favoured over shoot growth mostly by stress level not completely inhibitory to photosynthesis. The assimilates would be left more disponible to roots because of the reduction of shoot growth. One hypothesis to explain the modification of root/shoot balance under water stress is the role of ABA.

b) Maintenance of volume

Results concerning elasticity have been controversé; some authors as Kassam and Elston (1974) and Elston and al. (1976) observed an increase in the elasticity in bean when subjected to water deficit conditions, whereas Jones and Turner (1978) observed a decrease in the elasticity of sorghum and wheat, under water stress.

There are also references of plants where elasticity does not change with water deficits, but this may be due to the fact that measurements have not been made in leaves produced during the effect of water stress. So any of these types of response seem to be a way to maintain turgor. The low elasticity will maintain the volume and the low ψ_w which promotes movement of water into the cell. Besides, the high elasticity protects the plant against the mechanical effects on the protoplast when water content is

below the turgor loss point. On the other hand, low elasticity maintains cellular volume in the region of positive turgor, that is to say the relative water content.

The elasticity is measured by the elasticity modulus (ϵ)

$$\epsilon = \frac{dP \times V}{dv}$$

P pressure turgor

V volume

Plants with high elasticity can maintain turgor pressure when water is lost by transpiration, because the walls follow the volume reduction of the cells.

Zimmermann (1978) considered the low elasticity as an ecophysiological advantage that prevents the concentration of a cell on a tissue in response to an osmotic stress, and consequently the variation in RWC is much lesser than in a cell with high elasticity.

The variation of elasticity modulus in apple trees CV. *Richard* is shown in Fig. 8.

In July 1987 and in relation to irrigated plants, water stressed ones showed a decrease in the elasticity modulus. However this performance was not very obvious in the other graphics. This CV. has a high modulus of elasticity, which means low elasticity.

An example where we can see an increase of elasticity in leaves of unirrigated plants is *Ceratonia siliqua* (Nunes and al. 1989) (Fig. 9).

3) DEYDRATION TOLERANCE

The desiccation tolerance is achieved by protoplasmic tolerance; it depends on the membrane structure and enzyme activity. Turner (1986b) suggested that these mechanisms are more concerned with survival than production.

Gaff (1980) referred by Turner 1986b suggested that dehydration tolerance depend on the cell capacity to withstand mechanical injury and the ability of membranes and cytoplasm to withstand denaturation of the proteins.

CONCLUSION

As it has been told before plants have different ways to withstand drought conditions. However drought resistance is not synonym of high yield and plant production processes must be better understood in order to attain maximum economic yields.

BIBLIOGRAPHY

- BONNER, J. AND GALSTON, A. (1952). Principles of Plant Physiology. A Series of Biology Texts (eds Beadle, Emerson and Whitaker). Freeman & Company, San Francisco.
- BOYER, J.S., CAVALIERI, A.J. AND SCHULZE, E.D. (1985). Control of the rate of cell enlargement: excision, wall relaxation and growth-induced water potentials. *Planta*, vol. 163 : 527-543
- BRADFORD, K.J. AND HSIAO, T.C. (1982). Physiological responses to moderate water stress. In : *Physiological Plant Ecology II, water relations and carbon assimilation*. Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B. and Ziegler H (eds) Berlin Heidelberg. New York Springer-Verlag. *Encycl. Plant Physiol.*, vol. 12B : 263-324.
- BURCH, G.J., SMITH, R.C.B. AND MASON, W.K. (1978). Agronomic and physiological responses of soybean and sorghum crops to water deficits II Crop evaporation, soil water depletion and root distribution. *Aust. J. Plant Physiol* 5 : 169-177
- BURSTROM, H. (1956). Die bedeutung des wasserzustandes fur das wachstum. Vol. 3 : 665-668 In Ruhland, W. (ed.) *Encyclopaedia of Plant Physiology*. Springer-Verlag, Berlin.
- CHAVES, M.M. 1991. Effects of water deficits on Carbon Assimilation. *Journal of Experimental Botany*, vol. 42. N° 234 pp 1-16
- CORNIC, G., LE GOYALLEC, J.L., BRIANTAIS, J.M. AND HODGES, M. (1989). Effect of dehydration and light on photosynthesis of two C3 plants (*Phaseolus vulgaris*, L. and *Elatostema repens* (Lour.) Hall f.) *Planta*, 77 : 84-M
- CORNISH, K. & ZEEVAARD, J.A.D. (1985). Abscisic acid accumulation by roots of *Xanthium strumarium* L. and *Lycopersicon esculentum* Mill. in relation to water stress. *Plant Physiology*, 79 : 653-658.
- CORREIA, M.J., CHAVES, M.M. AND PEREIRA, J.S. (1990). Afternoon depression in photosynthesis: evidence for a high light stress effect in grapevine leaves. *Journal of Experimental Botany*, 41: 417-426.
- EL NADI, AH., BROUWER, R., LOCKER, J.T.H. (1969). Some responses of root and the shoot of *Vicia faba* plants to water stress. *Neth. J. Agr. Sci.*, vol. 17 : 133-142.
- ELISSON, J., KARAMANOS, A.J., KASSAM, AH. AND WADSWOATH, R.M. (1976). *Philos. Trans. R. Soc. London. Ser. B* 273 : 581-591.

- GOLLAN, T., TURNER, N.C. AND SCHULZE, E.D. (1985). The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. III. In the Sclerophyllous woody species *Nerium oleander*. *Oecologia* vol. 65 : 356-362.
- HENSON, I.E., LORESTO, C.G. AND CHANG, I.T. (1985). *Int. Rice Res. Newsl.* 10 (5) : 12-13.
- HSIAO, T.C. (1973). Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 1973, vol. 24 : 519-570.
- HUBICK, K.T., TAYLOR, J.S. AND REID, D.M. (1986). The effect of drought on levels of abscisic acid, cytokinins, gibberellins and ethylene in aeroponically grown sunflower plants. *J. Plant Growth Regul.* 4 : 139-152.
- ITALI, C. & VAADIA, Y. (1965). Kinetin-like activity in root exudate of water-stressed sunflower plants. *Physiologia Plantarum* 18 : 941-944.
- JONES, H.G. (1980). Interaction and integration of adaptive responses to water stress: the Implication of an unpredictable environment. In *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress* (eds N.C. Turner & P.J. Kramer), pp 353-365. Wiley, New York
- JONES, M.M. AND TURNER, N.C. (1978). Osmotic adjustment in leaves of *Sorghum* in response to water deficits. *Plant Physiol.* 61 : 122-126.
- JORDAN, W.R. (1982). Whole plant response to water deficits : An overview. In Taylor H Jordan W., Sinclair T (eds) *Limitations to efficient water use in crop production.* An Soc. Agro., Madison Wisconsin
- KARAMI, E., KRIEG, D.R. AND QUINSENBERRY, J.C. (1980). *Crop Sci.* 20 : 421-426
- KASSAM, A.H. AND ELSTON, J.I. (1974). *Ann. Bot. (London)* [N. 5] 38 : 419-429.
- KAISER, W.M. (1982). Correlation between changes in photosynthetic activity and change in total protoplast volume in leaf tissue from hygro-, meso-, and xerophytes under osmotic stress. *Planta*, 154 : 538-545.
- KAISER, W.M. (1987). Effects of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiologia Plantarum*, 71 : 142-149.
- LACHNO, D.R. & BAKER, D.A. (1986). Stress induction of abscisic acid in maize roots. *Physiologia Plantarum* 68 : 215-221.
- MASLE, J. & PASSIOURA, J.B. (1988). Effects of soil strength on the growth of wheat seedlings. *Australian Journal of Plant Physiology.* 14 : 643-656
- MATOS, M.C. (1990). A economia da Agua da Macieira. Aspectos fisiológicos e aplicação no controlo da rega. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa.
- MEYER, R.F. AND BOYER, J.S. (1972). Sensitivity of cell division and cell elongation to low water potentials in soybean hypocotyls. *Planta*, vol 108 : 77-87.
- MICHELENA, V.A. AND BOYER, J.S. (1982). Complete turgor maintenance at low water potentials in the elongating region of maize leaves. *Plant Physiol.* vol. 69 : 1145-1149.
- MAERCKER, U. (1965). Mikroautoradiographische, Nachweis tri-tiumhaltigen transpirationswassers. *Naturwissenschaften* 52 : 15-16.
- MORGAN, J.M. (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 35 : 299-319.
- NUNES, M.A., CATARINO, F. AND PINTO, E. (1989). Strategies for acclimation to seasonal drought in *Ceratonia siliqua* leaves. *Physiologia Plantarum.* 77 : 150156.
- QUICK, W.P., SIEGL, G., NEUHAUS, G., FEIL, R. AND STITT, M. (1989). Short-term water stress leads to a stimulation of sucrose synthesis by activating sucrose phosphate synthase. *Planta*, 177 (4) : 353-547.
- RITCHIE, J.T. (1974). Atmospheric and soil water influences on the plant water balance. *Agric. Meteorol.* 14 : 183-198.
- ROBERTSON, J.M., PHARIS, R.P., HUANG, Y.Y., REID, D.M. & YEUNG, G.C. (1985). Drought-induced increases in abscisic acid levels in the root apex of sunflower. *Plant Physiology*, 79 : 1086-1089.
- ROSA DA COSTA, A., METCALFE, J., LODGE, T.A. & DAVIES, W.J. (1987). Soil drying and the resulting chemical and hydraulic effects and leaf growth. In : *Plant Responses to Stress*, (eds J.D. Tenhunen, F.M. Catarino, O.L. Lange & W.C. Oechel), pp. 267-275. Springer-Verlag, Berlin.
- SCHULZE, G-D., LANGE, O.L., EVENARY, M., KAPPEN, L AND BUSCHBOM, U. (1974). The role of air humidity and leaf temperature in controlling stomatal resistance of *Prunus armeniaca* L. under desert conditions. I. A simulation of the daily course of stomatal resistance. *Oecologia*, 17 : 154170.
- SEYBOLD, A (1962). Ergebnisse und Probleme Pflanzlicher Transpiration-analysen. *Jh. Heidelb. Akad. wiss.* 1961/1962, pp 8.
- SHACKEL, K.A., FOSTER, K.W. AND HALL, AE. (1982). *Crop Sci.* 22: 1121-1125.
- SHACKEL AND HALL (1983). *Aust. J. Plant. Physiol.* 10 : 423-435.
- SHARP, R.E. & DAVIES, W.J. (1979). Solute regulation and growth by roots and shoot, of water stressed maize plants. *Planta*. vol. 147 : 43-49.
- TURNER, N.C. (1979). Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In : *'Stress Physiology in Crop Plants'* (eds H. Mussel and R.C. Staples) : 343-372 (Wiley, New York).
- TURNER, N.C. (1986). Adaptation to water deficits. A changing perspective *Aust. J. Plant Physiol.* vol. 13 : 175-190
- TURNER, N.C. (1986 B). Crop water deficits a decade of progress *Advances in Agronomy.* vol. 39 p. 1-45.
- TURNER, N.C. AND JONES, M.M. (1980). In : "Adaptation of Plants to water and high Temperature Stress" (N.C. Turner and P.J. Kramer, eds) pp 87-103, Wiley, New York.
- TURNER, N.C., SCHULZE, E.D. AND GOLLAN, T. (1985). The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. II. In the mesophytic herbaceous species *Helianthus annuus*. *Oecologia*, vol 65 : 348-355.
- TENHUNEN, J.D., PEARCY, R.W. AND LANGE, O.L. (1987). Diurnal variations in leaf conductance and gas exchange in natural environments in Stomatal function. Eds E. Zeiger, G D. Farquhar and I.R. Cowan. *Stanford Univ Press Stanford.* pp 323-351
- WALTON, D.C., HARRISON, M.A. & COLE, P. (1976). The effects of water stress and abscisic acid levels and metabolism in roots of *Phaseolus vulgaris*, L. and other plants. *Planta* 131 : 141-144.
- WILLIAMS, R.F. (1975). The shoot apex and leaf growth. *Univ. Press, Cambridge*, 2%
- WRIGHT, G.C., SMITH, R.C.G. AND MORGAN, J.M. (1983). *Aust. J. Agric. Res.* 34 : 637651.
- ZHANG, J. & DAVIES, W.J. (1987). Increased synthesis of ABA in partially dehydrated root tips and ABA transport from roots to leaves. *Journal of Experimental Botany*, 38 : 2015-2023.
- ZHANG, J. & DAVIES, W.J. (1989). Abscisic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant Cell and Environment*, 12 : 73-81.
- ZHANG, J., SCHURR, U. & DAVIES, W.J. (1987). Control of stomatal behaviour by abscisic acid which apparently originates in the roots. *Journal of Experimental Botany*, 38 : 1174-1181.
- ZIMMERMANN, U. (1978). Physics of turgor and osmo-regulation. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 23 : 121-148.

Thresholds of stomatal

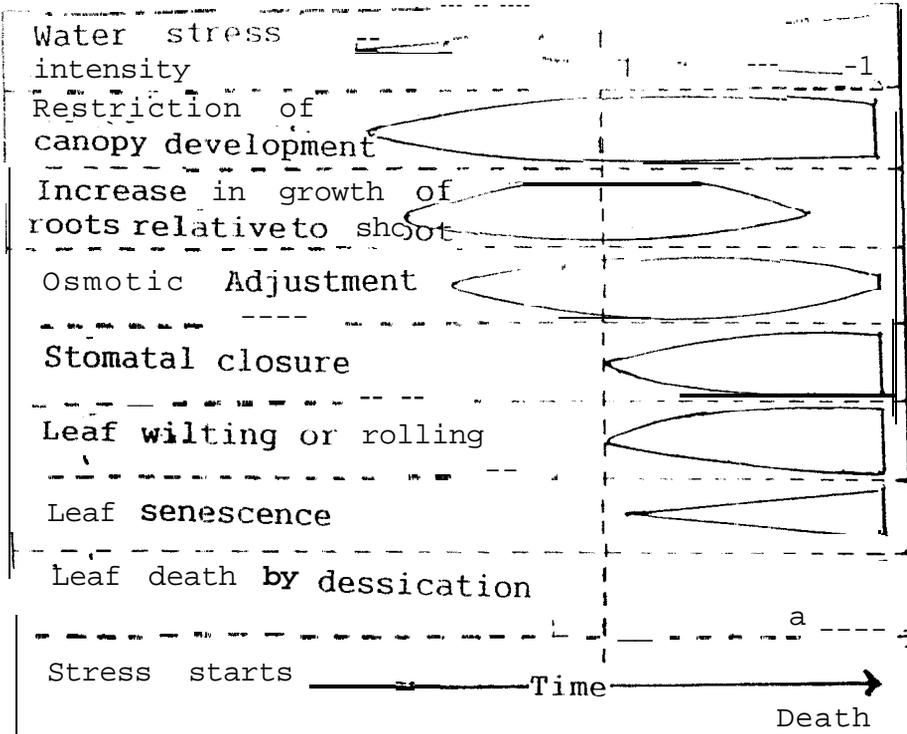


Fig. 1 Response to the gradual development of water stress in the field of crop plants (included adaptive changes). Width of the band at a given time represents the relative magnitude of the given response. The starting position of each band on the time scale is also indicative of the threshold water stress level for eliciting the response. Band shape reflects variations of the response with increasing stress intensity and duration. For example, preferential growth of roots relative to shoot is depicted to be nearly maximum near the threshold for stomatal closure, but declines as the soil dries out further and soil mechanical impedance rises. (Adapted from Bradford and Hsiao 1982).

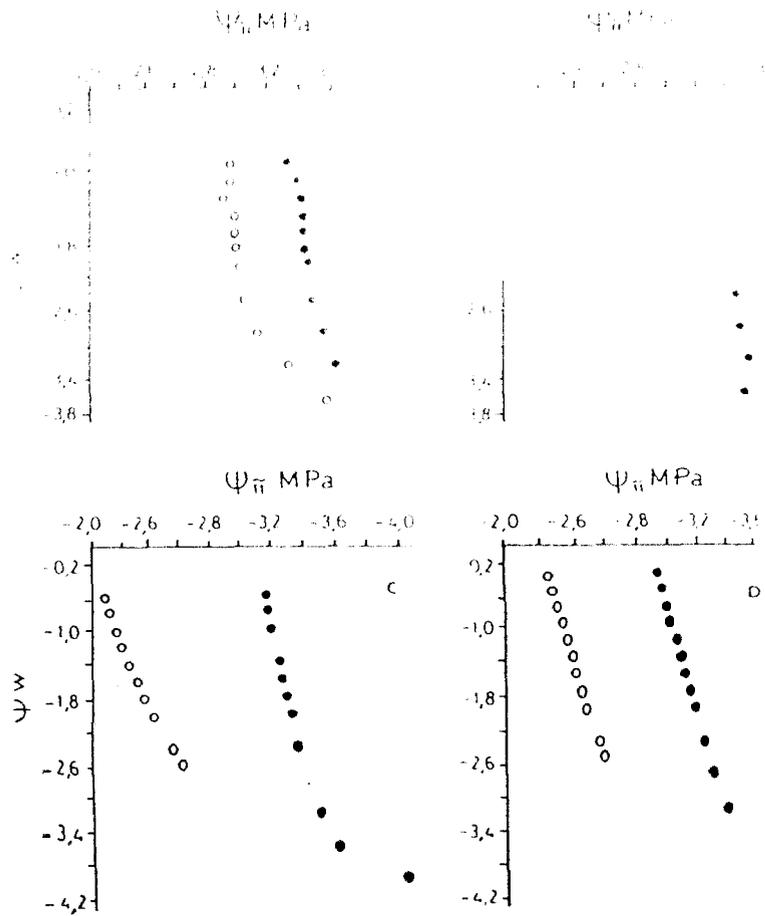


Fig. 2 Relationship between osmotic (Ψ_{π}) and leaf water potential (Ψ_w) obtained from dessication in the pressure chamber. A July 1987, B October 1987, C July 1988, D June 1988. \circ Irrigated \bullet Unirrigated. Symbols indicate average values for 3 mature leaves of apple trees cv. Richared.

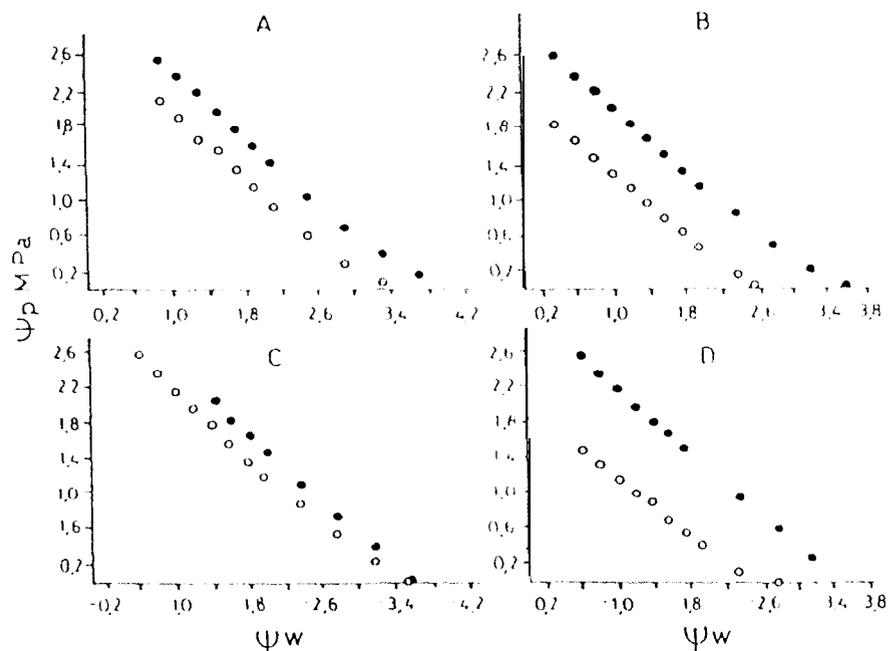


Fig. 3 Relationship between turgor (Ψ_p) and leaf water potential (Ψ_w). A-July 1987, B-June 1988, C-October 1987, D-July 1988. \circ Irrigated, \bullet unirrigated. Symbols indicate average values for 3 mature leaves of apple trees cv. Richared.

Table 1 (from Turner, 1985b) Mechanisms of Adaptation to water deficits and their influence on productive processes*

Mechanism	Productive processes reduced?
Drought escape	
Rapid phenological development	No
Developmental plasticity	No
Dehydration postponement	
Maintenance of turgor	
Maintenance of water uptake	
Increased root density and depth	No
Increased liquid-phase conductance	No
Reduction of water loss	
Reduction of leaf area	
Increase in stomatal and cuticular resistance	Yes
Reduction in radiation absorbed	Yes
Osmotic adjustment	No
Maintenance of volume	
Increase in elasticity	No
Dehydration tolerance	
Protoplasmic tolerance	Yes

* modified from Turner (1979).

Table 2 : Relationship between water parameters determined from pressure/volume curves in two consecutive years and at different periods of the development cycle of apple trees cv. Richard. ψ_{w0} = water potential at zero turgor; ψ_{-100} = osmotic potential at 100 % turgor, p = turgor, ap = apoplasmic water.

	ψ_{w0} MPa	ψ_{-100} MPa	RWC _{p=0} %	Ap water %	Osmot adju.%
Irrig. June 1988	-2,63 ± 0,03	-2,27 ± 0,03	92,5 ± 0,8	47,21	29,0
Unirrig.	-3,74 ± 0,06	-2,93 ± 0,06	87,0 ± 0,6	29,52	
Irrig. Jul 1987	-3,34 ± 0,04	-2,97 ± 0,06	90,0 ± 3,2	18,89	14,5
Unirrig.	-4,8 ± 0,02	-3,40 ± 0,05	86,0 ± 1,4	10,40	
Irrig. Jul 1988	-2,78 ± 0,05	-2,07 ± 0,02	91,4 ± 0,8	56,37	50,8
Unirrig.	-3,57 ± 0,06	-3,12 ± 0,00	90,4 ± 0,4	25,31	
Irrig. Octob. 1987	-3,60 ± 0,07	-3,13 ± 0,10	93,0 ± 0,4	44,00	10,3
Unirrig.	-3,85 ± 0,03	-3,45 ± 0,08	90,5 ± 2,0	13,00	

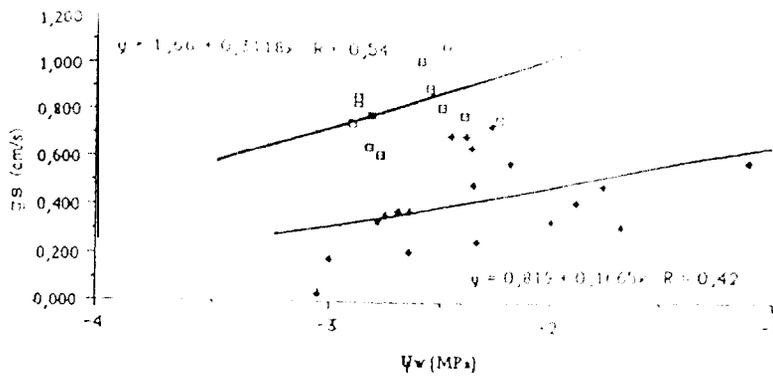


Fig. 4 Relationship between stomatal conductance (g_s) and leaf water potential (Ψ_w) in apple trees, irrigated (\square) and subjected to drought stress (\blacklozenge). Each point represents a measurement of a leaf.

Fig. 5. Water relations of tips of fine roots (secondaries and tertiaries) of maize plants rooted in columns of compost that was well-watered (closed symbols) or unwatered after day 0 (open symbols). Roots are sampled from the top 200 mm of the soil column. Points are means \pm S.D. of four observations. From Zhang & Davies, 1989.

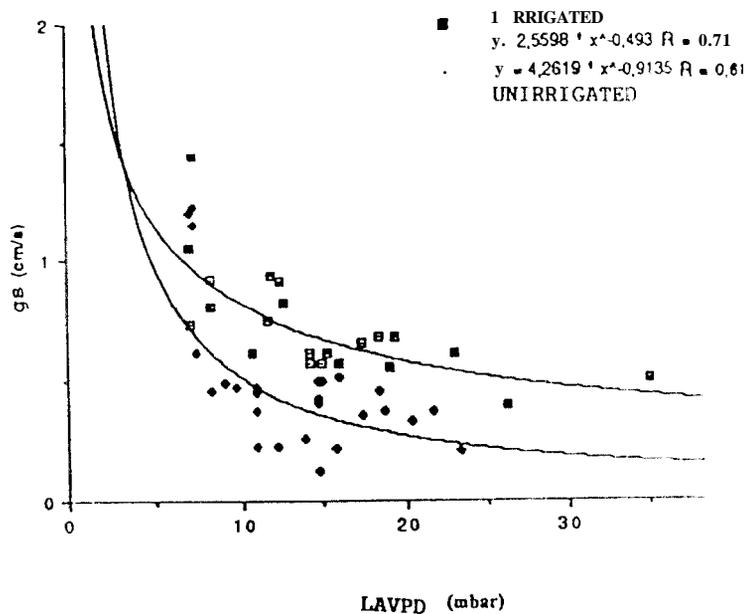
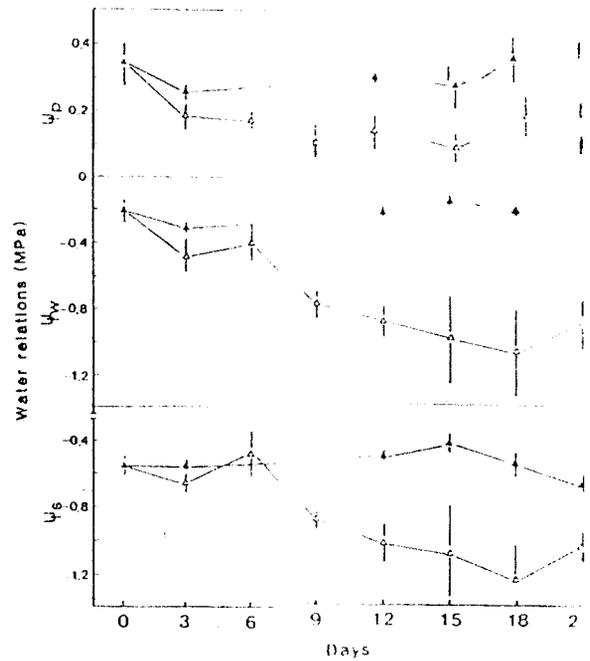


Fig.6 Response of stomatal conductance for water vapor (g_s) to leaf-to-air vapor pressure difference (LAVPD). Symbols indicate values for mature leaves of apple trees cv. Richard. (from Matos, 1990).

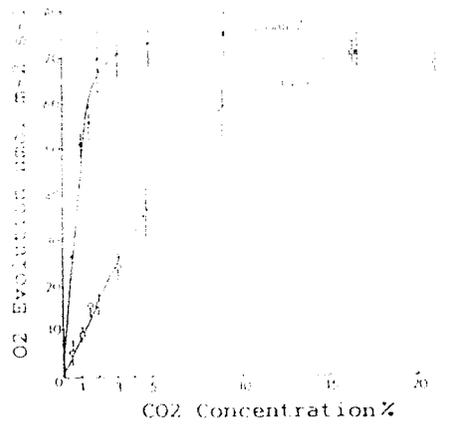


Fig. 7. Photosynthetic O₂ evolution at saturating light as a function of ambient CO₂ in discs of *Lupinus albus* from control leaves (●) and from quickly dehydrated leaves (after they had lost 10% of the fresh weight) (○). (Data from Quick et al. 1990; Chaves, 1991).

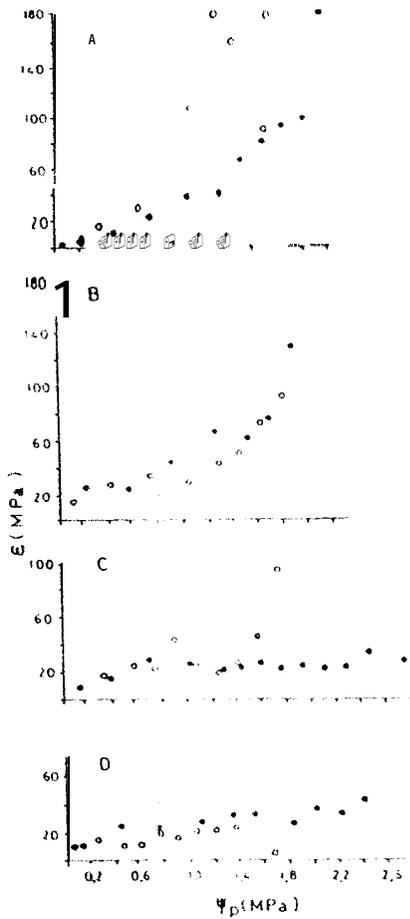


Fig. 8. Relationship between elasticity modulus (E) and turgor potential (Ψ_p). Symbols indicate average values for 3 mature leaves of apple trees cv. Richard: ○ Irrigated, ● Unirrigated. A: July 1987; B: October 1987; C: June 1988; D: July 1988.

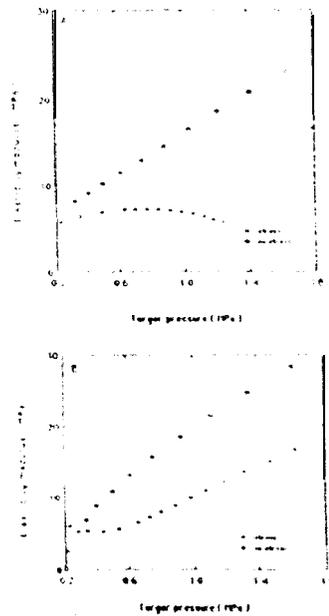


Fig. 9. Changes in the bulk elasticity modulus of tissue of winter leaves of *Ceratonia siliqua*, permanently well irrigated, or from plants subjected to drought stress for 3 weeks. Results from 1987 (A) and 1988 (B). Means of 4 leaves. (From Nunes et al. 1989).

POURGHÈRE (JATROPHA CURCAS L.) AU BURKINA-FASO

Makido OUEDRAOGO
Départ. Biolog. & Physiol. végétales
Faculté des Sciences et Techniques (F.S.T.)
03 B.P. 7021. Université de Ouagadougou 03
BURKINA-FASO

INTRODUCTION

Le Pourghère, de nom botanique Jatropha curcas L., est une plante oléagineuse non alimentaire, originaire du Brésil. C'est une dicotylédone mosaïque vivace, de la famille des Euphorbiacées, sous-famille des Platiobées. Entrée en Afrique depuis le 16ème siècle par les Iles du Cap-Vert, la plante s'est ensuite répandue aussi bien dans les zones équatoriales humides que dans celles tropicales sèches ; son aire de répartition couvre jusqu'à la limite nord du climat **sahélien**, montrant ainsi une grande souplesse d'adaptation écologique. Jatropha curcas se reproduit par graines et par boutures (4).

Depuis le choc pétrolier de 1973 et suite aux changements de climat survenus ces dernières décennies, le Pourghère est présenté comme une plante "miracle pour les pays menacés par le double fléau de la désertification et de la famine ; et cela pour deux raisons essentielles : sa souplesse d'adaptation **écologique** (intérêt environnemental et agroforestier) ; la qualité de "carburant diesel" de l'**huile** de ses graines (intérêt économique).

Mais les informations disponibles actuellement, notamment sur la physiologie de la plante, sont très insuffisantes. En effet, à l'exception de quelques uns qui rappellent la botanique et l'écologie du Pourghère, les auteurs se sont intéressés et s'intéressent aux propriétés pharmacologiques et à l'huile des graines du végétal.

NOS TRAVAUX DE RECHERCHE

Nous avons entrepris nos travaux en 1985 : Essais sur moteurs diesels usuels (combustion de l'huile brute) ; Amélioration de la qualité de carburant de l'huile (**réduction de la viscosité**) ; Etude écophysiological (Adaptation et Productivité de la plante en zone soudano-sahélienne).

Les **résultats** obtenus ont fait l'objet d'un Mémoire I.T.D.R. (1), d'une communication internationale (2) et d'un article sous presse (3) ; nous comptons également une note dans le Carrefour Africain.

Nous poursuivons nos recherches sur l'écophysologie du Jatropha curcas L. ; nos résultats sur les mécanismes de résistance de la plante sont rassemblés en projet de publication (cf références en page 2).

PROBLEMATIQUE

Nous avons l'expérience de la Physiologie d'une plante annuelle en conditions contrôlées (cf nos publications sur le Cotonnier). Le Pourghère est une plante pérenne ; l'étude écophysiological que nous avons entreprise sur ce **matériel** est certes passionnante. Mais les deux importants problèmes que nous rencontrons dans l'exécution de notre programme de recherche sont:

- le manque d'équipement (appareils de mesure des paramètres en conditions naturelles);
- l'insuffisance des techniques et méthodes d'étude.

REFERENCES

Publications

- (1) MAKIDO OUEDRAOGO, PAUL D. AYERS EN JAMES C. LINDEN. 'Diesel Engine Performance Tests Using Oil from Jatropha curcas seeds (Paper in the press at A.M.A.)

- (2) MAKIDO OUEDRAOGO, 1989. "Jatropha curcas - an Oily Seed Crop for Tropical Areas of West Africa". International Conference of the West Africa International Conference of the Association for the Advancement of Industrial Crops (A.A.I.C.), in Peoria, Illinois, USA. October 2-6, 1989.
- (3) ZAN TAHIROU 1985. "Le Jatropha curcas et le Jatropha gossypifolia sous différentes conditions climatiques du Burkina Faso: Cultures et Exploitation". Mémoire I.D.P. soutenue le 10/12/1985, ISP/Univ. Ouagadougou. 66 pages.
- (4) GEORGES MARTIN 1985. "Intégration dans le système agraire d'une plante oléagineuse 'non alimentaire' en vue de accroître les moyens de production sans contraintes énergétiques". Communication présentée au colloque de l'Association Internationale des Economistes Agricoles (A.I.E.A.): Août 1985 à Malaga, Espagne

Autres références :

- (5) CARREFOUR AFRICAIN, 1985. "Le Pourghère, cette plante qui produit du carburant". Car. Afr. N° 909 du 15/11/85, page 17

ESSAIS DE PROVENANCES ET DE COMPORTEMENT DE TROIS ESPECES EXOTIQUES : *GLIRICIDIA SEPIUM*, *LEUCAENA LEUCOCEPHALA* ET *SESBANIA SESBAN* DANS LA STATION EXPERIMENTALE DE GAMBELA

Henri YE, chef du Département Eaux et Forêts,
IDR Université de Ouagadougou
BURKINA-FASO

Dans le cadre de la promotion de l'agroforesterie au B.F., les arbres et arbustes à usages multiples, locaux ou exotiques sont plantés et aménagés en vue de l'étude de leur comportement.

Nous avons introduit les trois espèces *G. Sepium*, *Leucocephala* et *S. Sesban* en 1989 sur la Station Expérimentale de Gambela. Les espèces transplantées tardivement (15-18 Septembre 1989) ont été observées quant à leur survie, leur croissance, et les produits qu'on pouvait en tirer (biomasse foliaire, bois de feu, fixation d'azote).

Les résultats préliminaires montrent que ces espèces s'adaptent aux conditions semi-arides de la zone centrale du Burkina (500-800 mm) par leur capacité de réduction de la surface foliaire, de développement d'un système racinaire pivotant

Les relations eau-biomasse sont clairement établies. Il y a une faible mortalité pour les *Gliricidia*, et *Sesbania*, une forte mortalité des *Leucaena* due à diverses attaques de termites et de rongeurs.

Les coupes des *Gliricidia* et *Leucaena* montrent leurs intérêts en agroforesterie quant à l'utilisation de la biomasse foliaire pour les engrais verts, et comme fourrage pour le bétail.

BIBLIOGRAPHIE

- NFTA - Symposium on *Gliricidia*. 1988
 - NFTA - Symposium on *Sesbania*. 1989. *Lencaean news letters*.
-

BREF RESUME DES ACTIVITES DE RECHERCHES DE LA DIVISION SELECTION A POBE

OMORE Alphonse
SRPH • B.P. 1, POBE
BENIN

Les travaux de recherches menés par la Division Sélection ont pour objectif principal l'amélioration de la production dans les conditions de faible pluviométrie.

Conjointement nous contribuons à:

- l'étude de la tolérance du palmier aux maladies telles que la fusariose et la pourriture du coeur;
- l'étude de l'espèce *oleifera* pour la qualité de son huile et la faible taille des arbres;
- l'étude de la réduction de la croissance en hauteur du palmier à huile;
- la production de matière végétal pour les besoins de la recherche.

Nous avons pu identifier des arbres qui associent une bonne productivité à une faible mortalité. Ces arbres permettent de fournir des plants pour les paysans.

De même des arbres ont été identifiés qui présentent une tolérance vis-à-vis de la fusariose. Leurs semences servent pour les replantations.

A partir des résultats déjà obtenus dans les différents essais, nous avons initié de nouveaux plans de croisements dont l'objectif est de concentrer les bons critères.

Les résultats obtenus par la Division Physiologie nous orientent vers la production de palmiers vignobles, en reproduisant les croisements qui associent à leur faible mortalité, une faible productivité.

ORIENTATION DE LA RECHERCHE FORESTIERE AGROFORESTIERE VERS L'ADAPTATION A LA SECHERESSE AU NORD CAMEROUN

Njiti Forkong Clément
Agroforestier
IRA • GAROUA (Cameroun)

La Recherche Forestière et Agroforestière au sein de l'IRA a commencé dans la région Nord du Pays en 1978. Un aspect de nos travaux qui a trait à l'adaptation à la Sécheresse chez les arbres est l'étude de comportement d'espèces. Il n'y a pas de programme de sélection génétique.

Depuis 1978, la recherche a mené des essais de criblage d'espèces sur une cinquantaine d'espèces exotiques et locales à travers différentes zones du Nord Cameroun. La pluviométrie moyenne se situe entre 1200 mm/an dans la zone soudano-guinéenne et 500 mm/an dans la zone soudano sahélienne.

Les essais de comportement ont permis de constater une variation importante de la croissance en hauteur et du taux de survie chez les mêmes espèces sur les différents sites. Il a été constaté que certaines espèces ne poussaient pas du tout alors que certaines avaient un taux de mortalité très élevé

pendant la première année de la mise en place. D'autres par contre poussaient bien au début mais mourraient subitement, par exemple Eucalyptus Camaldulensis.

Partant de ce constat nous avons élargi nos activités de recherche aux domaines de l'économie de l'eau. Trois méthodes ont été essayées pour préparer le terrain et planter les arbres : faire les diguettes, faire des fosses à 50 cm de la plante, et labourer le terrain. La technique de diguette a donné les meilleurs résultats.

Les études portent également sur la relation sol-eau-plante, le bilan hydrique, et le profil hydrique. Quelques espèces concernées sont Eucalyptus Camaldulensis, Dalberaia sissoo, et Azadirachta indica. Ce travail fait l'objet d'une thèse de doctorat d'Etat d'un Camerounais qui est actuellement en France pour l'analyse des données.

ETUDES SUR L'ADAPTATION A LA SECHERESSE DU COCOTIER EN COTE D'IVOIRE

Nicodème ZAKRA
I.R.H.O. "Marc Delorme"
COTE D'IVOIRE.

Depuis 1990, l'Institut de Recherche sur les Huiles et Oléagineux (I.R.H.O.) Station "Marcs Delorme" travaille sur "l'Etude des mécanismes physiologiques d'adaptation du cocotier à la sécheresse".

Cette étude est menée dans le cadre d'un programme financé par la C.E.E..

Elle comprend deux volets essentiels:

- les observations au champ sur arbres adultes;
- les comportements de plantules face à la sécheresse.

L'objectif est de trouver des paramètres précoces pour sélectionner du matériel adapté.

Il s'agit de comparer au champ sur deux sites différents l'hybride BB 121 et le GOA d'une part (site 1) et 4 hybrides d'autre part (site 2) à partir d'observations phénologiques, du suivi de l'évolution à l'eau dans le sol et de l'étude de l'eau dans la plante.

L'étude de l'eau dans la plante consiste à suivre:

- la quantité relative d'eau des feuilles;
- les résistances stomatiques.

Ces mêmes études de suivie de l'eau dans la plante ont été faites sur des plantules sous serre

PREMIERS RESULTATS

Si au niveau de la quantité d'eau des feuilles (RWC) aucune différence n'a été mise en évidence sur le site 1, les résultats sur le site 2 ont donné les classements suivants :

- * NRC x NVS et PB 121 : RWC plus faibles.
- * GSL x NVS et GML x MVS : RWC plus élevées.

les conductances les plus faibles celles du PB 121 et de NRC x GPY et les plus élevées celles de GSL x NVS.

L'étude sur les plantules ont mis en évidence principalement une différence dans la consommation entre les cocotiers nains et les cocotiers grands, les nains ayant une reprise au stress plus marquée que les grands.

INFLUENCE DE L'EAU SUR LA CONSERVATION GRAINES ET LE DEVELOPPEMENT DES PLANTULES DE FORET DENSE HUMIDE.

Dr. PANGOUE Valentin Serge
CERVE BP 1249 - BRAZZAVILLE
CONGO

I) PROBLEMATIQUE*

LES énormes difficultés rencontrées par les reboiseurs dans la manipulation des semences des graines d'espèces de forêt dense humide, notamment les problèmes de conservation de ces graines et aussi celui de leur semis à contre saison, ont amené notre Institut à réunir des chercheurs forestiers, écologistes et physiologistes à s'appliquer conjointement pour trouver des solutions pour multiplier les arbres tropicaux de forte valeur Economique et ou écologique.

Notre étude se propose d'intervenir au niveau des graines mûres et des très jeunes plantules en cherchant à préserver leur brève vitalité naturelle, sur des longues durées (Recherche de techniques simples de conservation).

Nous abordons ainsi, le problème de la levée d'obstacles naturels qui entravent la gestion sylvicole et qui concernent ici le matériel séminal de production irrégulière, souvent pluriannuelle, par fluctuations en masse et par à coup, très fortement hydratées (150 % et plus, d'humidité par rapport au poids sec) donc perdant très vite son potentiel de germination par déshydratation. Les techniques de conservation traditionnelles reposent cependant sur la déshydratation lente et contrôlée de ces graines non germées. Nous travaillons *sur* des principes diamétralement opposés qui abordent le problème fondamental de la germination en hypoxie et des **particularités** des graines très riches en eau, de leurs très jeunes plantules, de leur vitalité et des **répercussions** des traitements sur le développement des plantules d'abord, puis des jeunes et des adultes à plus longues **échéances**.

II) TECHNIQUES ET METHODES

* délimiter sous les arbres portes-graines des parcelles témoins où les graines ne seront pas récoltées, afin d'évaluer la survie des germinations et de comparer le développement de ces plantules avec celui des plants résultants des expérimentations.

* semer en pépinière le jour de la récolte pour déterminer les taux de germination à la récolte et comparer encore le développement de ces plantules avec celui des jeunes plants naturels (forêt) ou expérimentaux (après conservation).

* caractérisation de la germination: pourcentage d'eau des graines, gamme thermique de 10 à 40 C, dessiccation lente, suivi des très jeunes plantules à ces températures, germination en atmosphère saturée d'eau, en immersion, évolution de la germination en atmosphère **sèche**.

* essais de conservation: conservation à sec à + 4°C; + 30°C ; conservation en stratification humide à + 4°C; + 10°C; + 30°C.

* étude morphologique des graines avant et pendant la germination des plantules ; étude anatomique.

* Rétude comparative de la croissance et du développement des plantules en milieu contrôlé et aux semis naturels en forêt ; **étude du développement des plantules mises en plantation** en saison sèche, en saison des pluies.

* suivi comparatif en pépinière et en forêt des jeunes plants expérimentaux, des plants témoins et de la régénération naturelle.

* étude comparative du développement des plantules dans une parcelle ayant subi un défrichement complet avec brûlis et celle n'ayant pas subi de brûlis.

III) PRINCIPALES L T A T S

CONSERVATION DES GRAINES.

La maîtrise du facteur eau est essentielle pour la conservation des graines du type fortement hydratées. Les meilleurs résultats ont été obtenus en stratification humide à + 4°C, la teneur en eau étant maintenue selon l'espèce à près de 50 % du taux initial.

DEVELOPPEMENT DES PLANTULES

Les espèces étudiées se sont comportées différemment en milieu sec, on a ainsi trois groupes :

1 - Les espèces plantées en fin des saisons des pluies Avril-Mai, qui n'ont pas survécu à 3-4 mois de sécheresse: on a observé à 2-3 mois un arrêt de croissance, un **flétrissement** des feuilles et un jaunissement des organes chlorophylliens. A la reprise des pluies en Octobre, le taux de survie est de l'ordre de 5 % (exemple: Baillonella toxisperma).

2 - Les espèces qui ont pendant la saison marqué un arrêt de croissance, mais ont développé un système racinaire intensif et superficiel, envahissent la litière du sol. A la reprise des pluies elles ont un développement explosif. Le taux de reprise est de l'ordre de 80 % (exemple: Terminalia superba).

3 - Les espèces qui ont eu une croissance normale et ont développé des racines modulées ; le taux de reprise est de l'ordre de 100 % (exemple: Pterocarpus soyauxii).

IV) CONCLUSION GENERALE

Ces travaux sur l'influence de l'eau sur les graines et les plantules se poursuivent et méritent d'être approfondis et élargis sur plusieurs espèces.

De même des études sur la relation sol/plante et déficit hydrique devront être menées, ce qui permettra de cerner au mieux les phénomènes écophysologiques observés.

L'eau est donc essentielle pour la conservation des graines et le développement des plantules des espèces de forêt dense humide.

CONTRIBUTION A L'ATELIER CERAAS/SRPH SUR LES ARBRES

Umaro CANDE
Republica Da Guine-Bissau
Ministerio do desenvolvimento Rural e Pescas
Departamento de Pesquisa Agricola.
CENEMAC CONTUBOEL

INTRODUCAO

Toda a economia guineense **depende** da **agricultura**.

A Guiné-Bissau sendo um pais onde os **ventos da seca** ja se fazem sentir, a adaptação das plantas à **seca constitui** uma grande **preocupação**, **alias é esta a razão deste Encontro**.

De acordo com os **objectivos deste** forum, propomo-nos apresentar este documento sobre a cultura da Palmeira do Dendem, considerando a sua importancia economica para a Guiné-Bissau.

APRESENTACAO DA PARMEIRA DO DENDEM

A Palmeira do Dendem *Elais guineensis* da familia palmaceae é monocotiledonea com raiz fasciculada muito desenvolvida : lom de diametro e 3-12 m de comprimento. O **caule** sem ramificação, atinge 6-10 até mesmo **25** m de altura e as folhas uhrapassam as vezes os **7** m e localizam-se na extremidade superior dispostas em **tufo** e **são constituídas** por uma **nervura mediana longa** e robusta, espessa e alargada na base, por **inter-médio** da **qual se fixa o espique** e por **diversos** foliolos, que chegam a ultrapassar **1,5** m de comprimento, **desde** a nervura central e em numero de 100 ou mais. 6 fruto é uma drupa séssil, ovoide mais ou **menos** deformada. Normalmente encontram-se **cerca** de 1500 frutos por **cacho** embora possam registar-se **variação** muito sensiveis 6 fruto tem uma **epiderme lisa** e brilhante sob a **qual** encontra-se uma zona **polposa** (mesocarpo) com células oleosas e de coloração geralmente alaranjada ou avermelhada. No interior encontra-se o caroço de dimensões e consistência variaveis segundo as variedades. Na Guiné-Bissau raramente o fruto pesa mais de 8 g e o peso **médio** do regime (cacho) **ronda** os **4,5** kg.

As variedades existentes são a Dura e a Tenera, sendo a 1 a considerada indigena e a 2ª introduzida.

REPARTICAO GEOGRAFICA NO PAIS

A palmeira do Dendem **é** muito exigente no que concerne a humidade do solo. As condições ideais para o seu desenvolvimento e produção são zonas com uma queda pluviometrica não inferior das 1500 mm bem distribuidos **ao longo** do **ano** e com a profundidade de lençol freatico entre **3** a **6** metros conforme a textura do solo. E por isso que actualmente os palmeiras mais importantes encontram-se **ao longo** da **costa** nas "talas" e florestas densas do Norte e Sul do Pais.

A zone Leste **é** caracterozada relativamente pela baixa densidade populacional **desta especie** vegetal devido a grande influência da **seca** que **está** aumentando sistematicamente de **ano** para **ano**.

As plantações **são expontâneas**, com **excepção** das granjas do estado onde a variedade Tenera **é** dominante por ser mais produtiva.

UTILIZACAO DA PAMEIRA DO DENDEM NA GUINE-BISSAU

- 1 - Oleo de **palma - consumo interno** e exportação do exedente
Coconote - fabrico de Oleo para **sabão**; e para exportação.
- 2 - A seiva - bebida **alcoolica depois** de fermentama.

Tronco e folhas - Materiais de construção de habitações e **vedação**; fabrico de corda para
4. Tronco orgânico depois de cortada e **queimadas** nos **campos de produção agrícola**.
4. As plantas jovens (têmas) **são** consumidas como **alimento local**.

PESQUISA

A pesquisa da palmeira do dendem não **está** muito desenvolvido limita-se apenas na **introdução**
da variedade TENERA nas plantações que estão surgindo com o **aumento** do numero de palmeiras.
II interessa nos muito a realização de variedades produtivas para o nosso país.

AUTRAS ACTIVIDADES AGRO-FLORESTAIS EM CURSO

Ricinos
Urucum
Parquia
Sesamo

Dada a sua importancia economica **para** o nosso país, o de **esta** muito interessado no estudo
das espécies abaseio indicadas :

Amarantus
Pulgueira
Acacia albida
Leucena leucocephala
Gliricidia sepuim

Outras actividades da pesquisa que se encontram em curso são:

Recenciamento de plantas com utilidade **medicinal**;
Recenciamento de plantas naturais com utilidade alimentar **humana**;
identificação das espécies em extiução, a fim de **preserva-las** e conserva-las ;
Prospeçã das infestantes (**Ervas** daminhas) das principais **culturas** cultivadas.

6 departamento da perquisa **agricola** de **Guiné-Bissau**, trabalha na perquisa sobra as plantas
fruticolas. Nos interessa tambiem establecen **coloboraçãõ** nesta **area**.

CONTRIBUTION A L'ATELIER CERAAS, SRPH SUR LES ARBRES

Amadou Malé KOUYATE
ingénieur des Eaux et Forêts
Opération Aménagement et Productions Forestières (OAPF) MALI

Pays sahélien enclavé, traversé par deux grands fleuves notamment le Sénégal à l'Ouest sur 800 km et le Niger au Centre et vers l'Est sur 1.700 km, le Mali couvre une superficie de 1240.000 km² avec 8 millions d'habitants.

58 % du territoire malien est désertique et plus de 30 % fortement menacé.

Cette note traite d'une part de la problématique de la sécheresse pour le *Gmelina arborea* dans les forêts classées gérées par l'opération Aménagement et Productions Forestières et d'autre part les essais antitranspirants végétaux.

PROBLEMATIQUE DE LA SECHERESSE POUR LE GMELINA ARBOREA

Espèce exotique, le *Gmelina arborea* fut introduit dans les actions de développement forestier de l'Opération en vue de suppléer le *Bombax costatum* préalablement destiné pour la satisfaction en bois d'oeuvre et de déroulage de la Société Nationale des Tabacs et Allumettes du Mali (SONATAM).

Il constitue la principale essence de reboisement de l'Opération, raison pour laquelle l'espèce fait l'objet de beaucoup d'expérimentations.

L'aptitude du *Gmelina* de rejeter vigoureusement de souche nous a amenés à initier l'étude de la période de récépage. Dans le souci de mieux caractériser le contexte sahélien, la coupe fut étalée sur quatre périodes notamment la période fraîche sèche (Décembre), la période chaude sèche (Avril), la saison des pluies (Août) et la période transitoire (Octobre) entre la saison des pluies et la période fraîche sèche. La zone d'étude reçoit en moyenne 900 mm de pluie par an. Cette étude a montré un ralentissement de la croissance en hauteur des rejets, toutes périodes confondues, pendant les moments secs qui s'étendent sur plus de 6 mois de l'année. Toutefois, on a assisté à la reprise de la croissance au début de la saison des pluies. Le comportement des rejets au cours de la période de sécheresse dénote l'acuité de la concurrence exercée vis-à-vis de l'eau.

Par ailleurs, il a été constaté en période sèche dans certaines futaies de *Gmelina* la non chute des feuilles. Ce maintien s'expliquerait par l'absence de dalles selon les observations faites sur terrain.

Toujours au niveau de ces futaies, nous assistons actuellement au dessèchement de l'espèce sur pied suivi de sa mort pendant les moments secs. Toutes les initiatives sont restées vaines pour juguler le mal.

ESSAIS ANTITRANSPIRANTS VEGETAUX

Cette expérimentation a été menée conjointement dans la forêt classée de Paparrah à Kayes de 1984 à 1986 par la Recherche forestière, la Direction Nationale des Eaux et Forêts, la Direction Régionale des Eaux et Forêts de Kayes et le Museum National d'Histoire Naturelle de Paris.

L'objectif recherché était de contribuer à la lutte contre la sécheresse et la désertification par l'utilisation des techniques d'économie de l'eau principalement l'emploi d'antitranspirants végétaux type régulateur stomatique pouvant accroître la survie et la croissance des plantes après mise en place définitive. L'étude a concerné les espèces végétales suivantes : *Acacia albida*, *Acacia senegal*, *Azadirachta indica*, *Balanites aegyptiaca*, *Gmelina arborea*, *Leucaena glauca*, *Sterculia setiaera* et *Zea mays*.

A la lumière de ces essais, il ressort que l'antitranspirant améliore le taux de reprise des espèces forestières.

**NATIONAL PROGRAMME REPORT
CERAAS/SRPH INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADAPTATION
TO DROUGHT IN TRESS : PHYSIOLOGY, TECHNIQUES AND
METHODS.**

Augustus E. ISENMILA, Omorefe ASEMOTA.
NIGERIAN INSTITUTE FOR OIL PALM RESEARCH
PMB 1030, BENIN CITY
NIGERIA

TITLE OF PROJECT : BREEDING FOR DROUGHT TOLERANCE IN OIL PALM.

BACKGROUND

The oil palm belt in Nigerii **stretches** from the wast line with annuel rainfall of **over 2,000 mn** inwards to the middle belt where annual rainfall is between 900 and 1200 mm. As a result of the uneven rainfall amount and distribution, **cultivated** palms are subjected to varying periods of **rainless dty season** of between 3 to 5 months per year which drastically reduces yield. Land is **also** in short supply for **oil palm cultivation** in the southern states of Nigeria where the rainfall amount and distribution are **well suited** for high yield **compared** with the rainfall marginal regions where land is available and **coast lees** to **develop**. To **provide** adequate planting **materials** for this highly **inexploited** region, **NIFOR** decided to **screen** available planting mriaterials for drought **tolerance** and incorporate them into the main **breeding** programme for production of high yielding materials for distribution to the marginal **areas**.

ONGOINGTRIALS.

- 1 • Seed germination under low osmotic potential as a screening test for drought **tolerance**.
- 2 • Use of vegetative growth parameters water **status** biochemical, and **mineral** uptake as screening indices in **seed lines** grown under **osmotic** and **matric** potential.

- 3 • **Field evaluation** of progenics.

RESULTS : HIGHLIGHTS

- 1 • **Eleven** progenics were asseyed under **different** concentrations of polyethylene glycd **6000**. Results indicated that subjecting germinating seeds to osmotic stress both post and per **heat** treatment inhibits germination.

- 2 • At the seedling stage, **significant** differences between progenics were **observed** for leaf **area** and elongation. Based on the **mean** relative performance for the seven vegetative parameters, the progenics used tentatively classifical into **tolerant** and sensitive classes

- 3 • There were no **significant** differences in sugar, stanch, protein and lipid contents and mineval (N, P, Mg, K, Ca, Na) uptakes between progenics.

- 4 • Palms in the field **trial** are just about 2 years old maeningfui will strast coming in soon.

SOME BACKGROUND STUDICS

- 1 • Field determination of potential evapotranspira-tion (PET) of young and **adult** palms using the alundun tension lysimeter.

- 2 • Water use efficiency of **oil palm** seedlings under different irrigation regimes in **the** greenhouse.

- 3 • **Determination** of the water holding capacity and available water of the major soils **supporting** **oil palm** in the research station.

- 4 • Influence of depths of fertilizer placement on **oil palm** root growwth, water **status**, nutrient uptake and fresh **bunch** production.
-

RESEARCH ON DROUGHT TOLERANCE
AT COCOA RESEARCH
INSTITUTE OF NIGERIA (CRIN)

Ayo OLOMOLA, J.A. AROWOLO
C.R.I.N., IBADAN.

C.R.I.N. has mandate for 5 tree crops - Cocoa, Coffee, Cashew, Kola, tea. The Institute was established 25 years ago to look into several areas of these crops under the following divisions: Agronomy, Plant Breeding, Plant Pathology, Entomology, Soils, utilization

Research on drought has been concentrated on coffee robusta which is prone to drought problems during the season. Though the research is yet at the preliminary stage, selection of mother trees based on their performance has been on tree heights, habit of growth, general recovery from drought, yield, uniform ripening, earliness or lateness of fruiting and conversion ratios. This was done at the peak of the dry season.

At the juvenile stage the problem of early establishment is very pronounced in coffee. It is suspected that the rooting system and rapidity of loss of water during transpiration could be responsible.

We are now drawing up trials to determine the critical point at which water becomes limiting to coffee growth. At the same time, we are reevaluating the former programme of selecting for drought tolerant plants-

The next stage of the work on adult trees is a diallel crossing programme among all the selected trees in all possible combinations to produce new ones and at the same time determine the general and specific combining abilities of the mother plants.

In addition to the following efforts, we also supplement the research efforts in the areas of mulching the trees during the dry season so as to conserve moisture. Various mulching materials are being used including plastic mulch, live/dead plant residues of banana, plantain and elephant grass, all of which are in abundance at our research station. These trials are being carried out with a view to determining the volume or quantity of mulching materials needed, at what distance should they be placed from the plants, and at what point in time. Growth performance is being closely monitored. Unfortunately, physiological activities of these trees are not being looked into yet as a result of lack of the necessary equipment.

ETUDES SUR L'ADAPTATION A LA SECHERESSE DES ESPECES FORESTIERES DE REBOISEMENT AU SENEGAL

Abdourahmane TAMBA
Agro-forestier
ISRA/DRPF

I) PROBLEMATIQUE DE LA SECHERESSE ET DE LA DESERTIFICATION AU SAHEL

La zone sahélienne qui correspond à une bande de 7000 km de long sur 500 km de large connaît des diminutions importantes des précipitations. Depuis 1968, un cycle de sécheresse sévère s'est amorcé compromettant fortement les performances et même la survie des espèces forestières.

Cette sécheresse actuellement vécue s'accompagne d'une désertification. résultant d'un déséquilibre entre les conditions écologiques et les systèmes d'exploitation.

II) APPORT DE L'ECOPHYSIOLOGIE DANS LA STRATEGIE DE LUTTE CONTRE LA DESERTIFICATION

L'une des solutions pour lutter contre la désertification dans les zones marginales où le principal facteur limitant est l'eau, passe par le reboisement. Face à cette sécheresse persistante l'écophysiologie peut apporter des réponses sur les capacités d'adaptation à la sécheresse de certaines essences exotiques de reboisement. L'une des principales études faites dans ce domaine par la DRPF/ISRA, a été conduite comparativement sur Eucalyptus camaldulensis et Acacia sebai dans une zone sahéio-soudanienne recevant 400 mm de moyenne d'eau en 3 mois et qui connaît 9 mois de sécheresse. Les résultats de cette étude (SALL - 1984, SALL, 1988) montrent en ce qui concerne Eucalyptus camaldulensis qu'en période de faible pluviométrie (inférieure à 450 mm) toute la quantité d'eau tombée est évapotranspirée avec un risque de prélèvement dans les réserves hydriques du sol, du fait d'un enracinement puissant et du caractère sempervirent de l'espèce.

Si la pluviométrie annuelle est inférieure à 450 mm, le potentiel de base critique qui est de -3 MPa est atteint 3 mois après l'arrêt des pluies. Dans ce cas l'arbre subit un stress hydrique pendant 6 à 7 mois. L'action répétitive d'un tel hivernage peut être fatale aux peuplements.

III) AUTRES TRAVAUX EN COURS A LA DRPF/ISRA

D'autres études sont en cours d'exécution et elles concernent:

La modélisation de la gommose chez [Acacia senegal] dans la zone sylvopastorale ;

. Les réactions écophysiologiques d'espèces fourragères (Leucaena, Daiberigia) selon différentes conditions d'alimentation en eau, au niveau de la Vallée du Fleuve Sénégal ;

- Dans le Centre Nord du bassin arachidier :

a) étude comparée du fonctionnement hydrique de 5 espèces utilisées dans un système de cultures en couloirs.

b) Etude du fonctionnement hydrique des Acacias australiens pour tenter d'expliquer les périodes optimales de coupe.

PROBLEMATIQUE DE L'AGRUMICULTURE GUINEENNE

Diallo M. Tidiane Sankaréla
I.R.A.G
Conakry Guinée

En accomplissement du projet de relance de la recherche agrumicole dans le pays, la section Agrumes du CRAF a mis en place en 1990 les actions ci-après:

- 1 - Parc semencier : 8 variétés
- 2 - Parc à bois : 43 variétés
- 3 - Collection : 43 variétés
- 4 - Parcelles d'essais : 5 hectares

La production agrumicole du pays lequel réunit pourtant toutes les exigences géoclimatiques requises par cette culture est entravée cependant par un certain nombre de problèmes à savoir:

PROBLEMES D'ORDRE LOGISTIQUE

La politique de non création de vergers commerciaux (à l'image de ce qui se fait pour le mangui) et la baisse quantitative et qualitative de la production sont dues avec évidemment toutes leurs **conséquences** à:

- un manque d'intrants: engrais, pesticides, hormones, carburant, pièces détachées, équipement;
- leur non mise à disposition à des périodes adéquates;
- un manque de transport: interne et externe;
- une **politique** des prix non incitative pour des exportations.

PROBLEMES D'ORDRE AGRONOMIQUE

- **Qualité** du matériel végétal;
- Fonctionnement de la plante (physiologie);
- Protection de la plante contre les **différentes** agressivités du milieu physique et biologiques.

ADAPTATION DES AGRUMES A LA SECHERESSE

Les agrumes plantes mésophytes au feuillage normalement **vert** obscur lorsque bien alimentés en eau, supportent mal les méfaits de la sécheresse. Même si des caractéristiques morphophysiologiques propres leur en modèrent les conséquences

Toutefois il faut noter que la sensibilité ou résistance à la sécheresse varie aussi bien avec les **espèces** et variétés que les zones de production.

En cas d'alimentation hydrique insuffisante les agrumes présentent les symptômes suivants: chlorose **généralisée**, arrêt de la croissance précédé du dessèchement des bourgeons terminaux, dessiccation du système racinaire.

S'il se trouve que les plants sont en âge de production, le manque d'eau compromet à terme la production en cours par : la réduction du nombre de boutons floraux, la chute des fruits en formation etc.

Il est, en conclusion illusoire dans les pays à saison sèche bien **marquée** d'entreprendre l'agrumiculture commerciale sans y avoir au préalable mis au point un **système** d'irrigation approprié.

TRAVAUX EN COURS

Avec la mise en place de l'essai "déplacement de la floraison de trois variétés d'agrumes (**Valencia late**, Clémentine et Lime Tahiti) dans les conditions édapho-climatiques du CRAF (Centre de Recherche Agronomique Foulaya), l'Institut de Recherche Agronomique de **Guinée** (IRAG) entend faire

une approche de la résistance ou adaptation des agrumes à la sécheresse. A cet effet un des blocs de l'expérience sera privé d'eau en saison sèche. L'étude sera conduite pendant au moins 5 ans

ANNEXE

LISTE DES FABRICANTS DU MATERIEL UTILISE

DELTA-T DEVICES	128 Low Road, BURWELL, CAMBRIDGE, CB5 0EJ (Angleterre)
A.D.C	Pindar Road, HODDESDON, HERTS, EN1 1 0AQ (Angleterre)
WESCOR Inc.	459, South Main Street, LOGAN UTAH 84321 (U.S.A.)
TELATEMP Corporation	Box 5160, FULLERTON CALIFORNIA 92635 (U.S.A.)
NARDEUX Humisol	11, rue des Granges Gatand B.P. 212, 37552 SAINT AVERTIN Cedex TOURS (France)
CONSORT pvba	PARKLAAN 36 • B-2300 TURNHOUT (Hollande)
