

République de Côte d'Ivoire

Ministère de l'Agriculture

Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'Abidjan
(ENSA)



MEMOIRE DE STAGE DE FIN DE 1^{ère} ANNEE AGRONOMIQUE

Thème : **CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'ETAT HYDRIQUE DU
MANIOC**

présenté par

KOKOLA CHO Juliette

**STAGE EFFECTUE DU 15 JUILLET AU 15 SEPTEMBRE 1986
A L'ORSTOM-ADIOPODOUME**

**Sous la direction de Dr N'guetta René YAO
Laboratoire de Bioclimatologie**

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	1
RESUME	2
INTRODUCTION	3
PRESENTATION DU CENTRE ORSTOM D'ADIOPODOUME ET DE SES ACTIVITES	4
CHAPITRE I - ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LE MANIOC	5
A. Botanique	6
B. Culture	8
C. Maladies et ennemis	9
D. Importance et produits de transformation issus du manioc	9
E. Aperçus sur l'état hydrique d'une plante	11
1. Importance de l'eau dans la plante	11
2. Mouvement de l'eau dans le système sol-plante- atmosphère	11
3. La transpiration	12
4. Notion de potentiel hydrique et de déficit hydrique	14
5. Tolérance du manioc à la sécheresse	16
CHAPITRE II - METHODOLOGIE EXPERIMENTALE	17
A. Site	18
B. Matériel végétal	18
C. Mesures	21
1. Le rayonnement solaire	21
2. Le potentiel hydrique de la feuille	22
3. La transpiration, la résistance et la température foliaire	24
4. Le potentiel hydrique du sol	25
CHAPITRE III - RESULTATS ET DISCUSSIONS	28
A. Evolution des paramètres étudiés au cours de la journée	29
B. Relation entre la transpiration (T_r) et la résistance stomatique (R_s)	34
C. Relations entre la résistance stomatique (R_s), la transpiration foliaire (T_r) et le potentiel hydrique foliaire (ψ_f)	41
D. Potentiel hydrique du sol	43

CONCLUSION	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	49
ANNEXES	52

AVANT PROPOS

Ce travail est une initiation à la recherche dans le cadre de la formation des élèves ingénieurs de l'E.N.S.A. d'Abidjan. Il a été réalisé au laboratoire de Bioclimatologie du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé.

Nous remercions la direction des études de l'E.N.S.A. d'Abidjan pour l'effort qu'elle déploie pour trouver des structures d'accueil aux élèves ingénieurs en fin de première année.

Nous sommes très reconnaissants à la direction du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé pour avoir accepté de nous accueillir sur sa station et pour avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires au déroulement pratique de ce stage.

Nous remercions particulièrement notre encadreur, Dr. N'Guettia René YAO pour sa disponibilité et l'intérêt qu'il n'a cessé de porter à ce travail. Nous apprécions sa grande simplicité et ses conseils scientifiques qui ont été pour nous, un guide sûr et permanent.

Nous louons la sollicitude que Monsieur ADIKO Amoncho, Directeur-Adjoint de l'ORSTOM Adiopodoumé, n'a cessé de manifester à notre égard.

Que tous les chercheurs et le personnel de l'ORSTOM, Monsieur N'GUESSAN Angelo à l'I.R.F.A., Monsieur N'DA Kouassi à l'E.N.S.A., trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude pour leur collaboration.

Nous sommes redevables à Monsieur ASSIENAN Bernard pour le soutien moral et le bon climat de travail qu'il a su entretenir autour de nous.

A toutes les bonnes volontés, à toutes et à tous, nous exprimons nos sincères remerciements.

RESUME

Ce travail est une contribution à l'étude de l'état hydrique du manioc (*Manihot esculenta* Crantz.). Pour se faire des mesures de plusieurs paramètres ont été faites sur 4 variétés de manioc : 5318/34, 46106/27, Kasimbiddgi green du Kenya et Nunurupia de l'Inde.

Chaque variété est installée sur une parcelle de 81 m². Cinq plantes ont été choisies au hasard par parcelle pour l'étude, et chaque plante a été divisée en trois strates.

Les mesures ont porté sur le rayonnement solaire (Rg), la température (T), la transpiration (Tr), la résistance stomatique (Rs), le potentiel hydrique (Ψ_f) de la feuille, et également le potentiel hydrique du sol.

Une relation linéaire est mise en évidence entre la résistance stomatique et la transpiration. Le rayonnement global, la température et la transpiration de la feuille varient dans le même sens qui est contraire à celui de la résistance stomatique.

La transpiration diminue avec l'âge de la feuille tandis que la résistance stomatique augmente.

Le potentiel hydrique foliaire, la transpiration et le degré d'ouverture des cellules stomatiques sont tous des indicateurs de l'état hydrique de la plante.

INTRODUCTION

Au moment où la faim devient la préoccupation majeure de tous les peuples du tiers monde, il est grand temps de développer à grande échelle des cultures qui nécessitent peu d'investissement pour une bonne production.

C'est dans cette optique que l'intérêt pour le manioc se développe et que des efforts sont faits au niveau de sa culture pour augmenter sa productivité.

Le programme de recherche initié par l'ORSTOM sur l'amélioration et la valorisation du manioc en Côte d'Ivoire est un programme pluridisciplinaire dont le but est la mise en évidence et l'amélioration des potentialités du manioc.

Les actions de recherche sont centrées sur trois disciplines :

- l'Agronomie,
- la Génétique,
- la Phytovirologie.

L'ensemble du programme a commencé en 1980.

Dans le domaine de l'agronomie, on étudie d'une part, les facteurs influençant les composantes de rendement, et d'autre part, la place de ce vivrier dans les systèmes de cultures rencontrés dans le sud de la Côte d'Ivoire.

Le laboratoire de Bioclimatologie étudie l'influence des facteurs climatiques, sur le développement et la production ; il s'agit surtout d'évaluer les besoins en eau du manioc le long de son cycle cultural afin d'améliorer sa productivité.

La présente étude, d'une durée de deux mois de travail, bien que simple initiation à la recherche dans le cadre de la formation de l'ingénieur-agronome de l'E.N.S.A. d'Abidjan, vise à apporter des informations sur l'état hydrique du manioc (*Manihot esculenta* Crantz).

PRESENTATION DU CENTRE ORSTOM D'ADIOPODOUME ET SES ACTIVITES

Anciennement Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer, l'ORSTOM est dénommé depuis le premier janvier 1984, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération. Cet Institut est représenté dans 27 pays d'Afrique, du Moyen-Orient, de l'Océan Indien, d'Amérique Latine, d'Asie et du Pacifique.

Sa création en Côte d'Ivoire remonte à l'année 1946. Il comprend treize sections scientifiques relevant de huit comités techniques. Les activités menées au sein de ces sections peuvent se regrouper en quatre volets qui sont :

1) Etude du milieu naturel et identification de ses composantes.

Elle est menée par les laboratoires de :

Pédologie,
Hydrologie,
Bioclimatologie,
Botanique.

2) Exploitation du milieu naturel

La connaissance des plantes et les diverses contraintes liées à leur exploitation sont le domaine de recherche des laboratoires de :

Génétique,
Agronomie,
Physiologie Végétale.

3) Etude des agressions d'origines parasitaires des récoltes.

Elle est menée par les laboratoires de :

Nématologie,
Phytopathologie,
Phytovirologie,
Entomologie Agricole.

4) Etude des vecteurs des grandes endémies réalisée par les laboratoires de :

Mammalogie,
Entomologie Médicale.

CHAPITRE 1

ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LE MANIOC

Le manioc est une plante des zones tropicales cultivée essentiellement pour ses racines (tubercules).

Cette plante est restée longtemps mal connue, mais de nos jours, elle fait l'objet de beaucoup de recherches en vue d'améliorer les rendements et les nombreux produits issus de sa transformation.

Le manioc est très consommé dans le monde entier. Cinquante millions de tonnes de manioc sont consommées annuellement dans le monde par deux cent millions de personnes (DIZES, 1975).

En Côte d'Ivoire, le manioc représente le troisième vivrier du point de vue consommation (DIZES, 1978).

A. BOTANIQUE

1. L'origine et la classification

Le manioc est une plante originaire de la région septentrionale de l'Amérique du Sud.

Il a été introduit en Afrique au 16^e siècle par les marchands d'esclaves (ACCT, 1981).

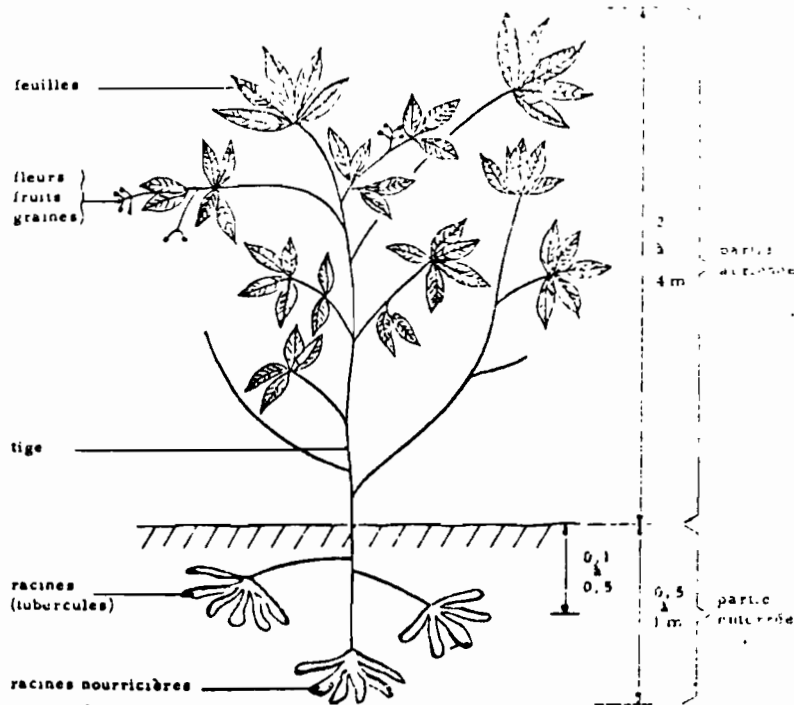
C'est une plante vasculaire faisant partie des Phanérogames, Angiospermes, Dicotylédones.

Elle appartient à la famille des Euphorbiacées ; à la sous-famille des Crotonoïdæ ; à la tribu des Adrianæa ; au genre *Manihot* .

Ce genre comporte plusieurs espèces dont les deux plus connues sont : *Manihot utilissima* (décrit pour la première fois par JOHN INMAN POHL) et *Manihot esculenta* (repris par CRANTZ) ; (SILVESTRE et ARRAUDEAU, 1983).

2. La plante

Le manioc est un arbuste de deux à six mètres de haut à port dressé en général (voir croquis).



Croquis schématique de la plante de manioc (A.C.C.T., 1981)

Les jeunes pousses issues des boutures s'allongent ; lorsque la plante se développe, elles se divisent habituellement en trois branches plus petites qui suivent à leur tour le même processus de développement. L'extrémité des tiges porte des feuilles simples, caduques, palmatilobées généralement à pétiole long ; néanmoins, la longueur du pétiole est un caractère qui permet de classer aussi les variétés du manioc (GILBERT, 1951). Les feuilles alternent sur la tige selon une phylotaxie spiralée.

Les fleurs mâles et les fleurs femelles, disposées en inflorescences à grappes lâches coexistent sur la même plante. (SILVESTRE et ARRAUDEAU, 1983).

Le fruit, de forme ronde ou triangulaire est une capsule déhiscente qui arrive à maturité au bout de cinq à six mois. Ce fruit contient trois graines à faible pouvoir germinatif de sorte que la propagation est faite en général par bouturage.

Les racines ou tubercules comestibles rayonnent à partir de la tige principale à fleur de sol. Leur nombre et leur dimension varient considérablement suivant les variétés et la nature du sol. Ils renferment un glucoside, la manihotoxine, qui se décompose au contact de l'air en libérant de l'acide cyanhydrique dont la proportion détermine les types de manioc doux et amer (DIZES, 1975).

B. CULTURE

1. Le sol

La nature de la plante de manioc autorise sa culture sur des sols relativement modestes, voire pauvres, à condition que ceux-ci soient suffisamment friables pour ne pas entraver le développement et la récolte des tubercules. Paradoxalement, un sol trop riche pourrait avoir l'inconvénient de trop favoriser le développement de bois et de feuilles aux dépens des tubercules. Le manioc s'accommode mal à des sols ombragés (A.C.C.T., 1981).

Les meilleurs sols sont les limons légèrement sablonneux, les sables limoneux, et profonds.

En Côte d'Ivoire, le manioc est cultivé sur l'ensemble du territoire national mais avec une concentration préférentielle dans les zones méridionales.

2. Le climat

Les meilleures conditions de culture sont un climat chaud et humide, une température de 25 à 30°C.

La lumière est un facteur important pour la synthèse de l'amidon, constituant essentiel des tubercules. Le manioc est une plante héliophile et de jours courts. A l'ombre, il donne des rendements médiocres.

N'ayant pas de pivot, le manioc est peu ancré dans le sol. Aussi craint-il les vents violents.

Les meilleures conditions hydriques sont une pluviométrie de 1000 à 1500 mm bien répartie ; les fortes pluies lui sont néfastes.

3. La plantation

La plantation doit être faite au début de la saison des pluies et selon trois manières en fonction des régions :

- horizontalement,
- inclinaison à 45°C,
- verticalement

avec un espacement de 0,8/0,8 m à 1,3/1,3 m donnant une densité d'environ 10.000 à 15.000 pieds à l'hectare.

La récolte peut être faite entre 10 mois après la plantation à deux ans (A.C.C.T., 1980).

C. MALADIES ET ENNEMIS

Selon les régions, le manioc peut souffrir de divers parasites provoquant des dégâts plus ou moins importants. Ce sont principalement :

- des virus responsables :
 - de la mosaïque,
 - de la bigarrure brune.
- des bactéries dont les plus connues sont *Xanthomonas manihotis*, *Bacterium cassava*, *Bacterium solonacearum*.
- des champignons provoquent des mycoses.

On rencontre d'autres ennemis qui sont :

- des insectes (criquets puants, certains Coléoptères),
- des fourmis,
- des mammifères comme les rats, les chèvres et les sangliers qui se nourrissent des racines et des feuilles (A.C.C.T., 1980).

D. IMPORTANCE ET PRODUITS DE TRANSFORMATION ISSUS DU MANIOC

L'importance du manioc s'explique par sa culture qui demande de faibles investissements (sols pauvres...) et par sa consommation de plus en plus grande : pour cinquante millions de personnes dans les pays tropicaux , il joue un rôle similaire à celui de la pomme de terre en Europe (DIZES, 1975).

Les tubercules de manioc, tout comme les feuilles, sont désormais entrés dans les habitudes alimentaires de la plupart des ivoiriens.

Le manioc est un aliment pauvre en vitamines et protéines, mais très énergétique et constitue une réserve alimentaire disponible en cas de disette. DE GOLDFIEM, J. (1981) donne dans le tableau 1 la composition du manioc pour 100g.

Dans la quasi totalité des pays producteurs, le manioc est utilisé principalement pour l'alimentation humaine. En Afrique, il est un aliment d'appoint et de sécurité en zone soudano-sahélienne. Il est devenu la base de l'alimentation en zone forestière. Il peut être consommé cru ou cuit (types très doux) et ensuite pilé ou pétri, ce qui donne le "foutou" ou "foufou" d'Afrique de l'Ouest.

Il peut également être transformé pour en éliminer l'acide cyanhydrique par des combinaisons de séchage, rouissage ou de rapage, ce qui donne le gari ou l'attiéké entre autres. Les jeunes feuilles, particulièrement riches en protéines, sont mangées sous forme d'épinards ou mélangées aux sauces.

Tableau 1 : Composition du manioc (pour 100 g)
(d'après DE GOLDFIEM, J. 1981)

	Racines fraîches	Cossettes	Fécule	Tapioca
Teneurs en grammes :				
Eau	62,5	15	14	12,5
Cellulose	1,3	0,8	-	-
Glucides	34-38	75-80,5	79-81,5	86,50-88
Lipides	1,8	1,5	3,5	0,03-0,15
Protides	0,80-2,3	2,8-3,4	3,5	0,03-0,15
Matières minérales totales	1-1,5	2,4	1,6-2,6	1,5
HCN	0,013-0,045	+	+ ou 0	0
Oligo-éléments :				
a) Teneurs en mg :				
Phosphore	140	125	125	25
Soufre	125	121	121	80
Chlore	100	300	90	5
Potassium	210	605	115	23
Sodium	105	215	107	21
Calcium	43	75	21	10
Magnésium	1	2,75	1,8	0,8
Silicium	0,39	0,61	0,5	0,5
Fer	0,50	0,80	0,9	0,9
Zinc	0,15	0,45	0,5	0,5
Cuivre	0,50	1,01	1,01	1,0
Manganèse	1,20	2,80	1,70	1,6
Aluminium	2,40	5,60	5,02	4,7
b) Teneurs en microgrammes:				
Titane	150	250	225	215
Nickel	21	41	39	37
Cobalt	3	8	7	5
Lithium	300	645	800	700
c) Traces de chrome molybdène, bore, vanadium				
Vitamines :				
a) Teneurs en mg :				
Acide ascorbique	50	26	25	1,3
b) Teneurs en microgrammes:				
Thiamine (B1)	300	200	74	35
Riboflavine (B2)	172	152	107	76
Acide nicotinique (PP)	2200	480	479	400
Vitamine B12	1,5	1,5	1,2	1

Le manioc rentre aussi dans la composition des aliments pour le bétail dans la zone intertropicale et les pays industrialisés d'Europe. Dans ces derniers pays, il tend même à se substituer, en tant qu'aliment énergétique, aux céréales.

Industriellement, le manioc est transformé en farine, tapioca, amidon et plus récemment, en alcool et en sucres liquides. Pour satisfaire la demande croissante de protéines alimentaires dans le monde, on a envisagé leur production par voie microbienne, à partir de différentes sources hydrocarbonées, dont le manioc.

La production mondiale de manioc était de 120 millions de tonnes en 1979 (données F.A.O.) dont 37% provenaient de l'Afrique : le Zaïre et le Nigéria sont les producteurs les plus importants. Près de 15% de la production mondiale entre dans le commerce international sous forme de manioc sec (90%) ou d'amidon, et représente une valeur d'un milliard de francs français environ (SILVESTRE et ARRAUDEAU, 1983).

E. APERCUS SUR L' ETAT HYDRIQUE D'UNE PLANTE

1. Importance de l'eau dans la plante

L'eau est nécessaire à la plante comme à tout être vivant. Une cellule contient en moyenne 80% d'eau. Dans la cellule, elle participe au maintien des structures et permet le déroulement du métabolisme. Elle commande divers mouvements d'organes et de cellules et elle participe à l'allongement cellulaire. Au niveau de l'organisme, elle véhicule les substances nutritives, les déchets et les hormones, depuis le sol jusqu'à la partie aérienne, à travers les vaisseaux conducteurs du xylème.

L'eau contribue au refroidissement de la plante par la transpiration. Un bilan hydrique résultant de l'eau absorbée et de l'eau exportée s'établit dans la plante. Ce bilan est négatif quand l'eau évaporée dépasse l'eau absorbée, on parle alors de déficit hydrique. Si ce déficit est très poussé, la plante flétrit et meurt.

Dans les zones intertropicales, l'eau est le facteur le plus limitant à l'implantation de toute culture. Ainsi, la connaissance de l'état hydrique d'une plante et le suivi régulier de la gestion de l'eau dans la plante s'avèrent plus que nécessaires.

2. Mouvement de l'eau dans le système sol-plante-atmosphère

Le mouvement de l'eau entre la plante et l'atmosphère se fait à travers une série de tissus. Il est généralement admis trois sites de circulation dans la plante : la racine, la tige et les feuilles. L'eau pénètre dans la racine par les poils absorbants. Elle traverse l'endoderme jusqu'au cylindre central, puis accède aux étages supérieurs par le xylème. A ce niveau, la circulation de l'eau se fait par vascularisation et par simple écoulement avant d'atteindre les cellules du mésophyle. L'eau est transférée ensuite dans les chambres sous stomatiques où elle passe de la phase liquide à la phase vapeur avant de diffuser dans l'atmosphère par les stomates. C'est donc la feuille qui assure les besoins de transpiration de la plante. L'eau s'écoule du sol à travers les plantes jusque dans

l'atmosphère du fait de l'existence d'une chute continue de potentiel le long de ce trajet et d'une continuité hydraulique entre le sol et les feuilles où s'effectue l'évaporation de l'eau.

3. La transpiration

Moins de 1% de l'eau absorbée par les racines est utilisée dans les réactions métaboliques (GEORGE et RAY, 1979), tout le reste est perdu par transpiration.

La transpiration se produit essentiellement par les feuilles, mais aussi par les jeunes troncs et les pièces florales. Des observations déjà anciennes ont établi que la transpiration s'effectuait pour une part, au travers de la cuticule (pellicule lipidique qui recouvre l'épiderme) si celle-ci était suffisamment mince, et pour l'autre, par les stomates.

a) Morphologie des stomates

Les stomates sont des dispositifs anatomiques formés de deux cellules en regards réniformes, laissant entre elles une ouverture, l'ostiole, plus ou moins fermée selon les conditions (jusqu'à 8 μm à l'ouverture maximale) HELLER (1981). La paroi des cellules stomatiques est plus épaisse que celle des cellules épidermiques voisines, surtout les faces qui délimitent l'ostiole. Cette particularité morphologique joue un rôle capital dans le mécanisme d'ouverture. Sous les cellules stomatiques, existe une vaste lacune appelée la chambre sous stomatique.

b) Mécanismes d'ouverture des stomates

L'ouverture et la fermeture des stomates résultent des changements de turgescence entre les cellules de garde et les cellules épidermiques. L'ouverture des stomates se déclenche lorsque le potentiel de turgescence augmente suffisamment dans les cellules de garde pour dépasser celui des cellules épidermiques. Dans le cas contraire, les cellules de garde s'appliquent les unes contre les autres permettant ainsi aux ostioles de se fermer (BERGER, 1971). Un tel mécanisme explique la réaction des stomates face au déficit hydrique. En cas de faible intensité de stress hydrique, l'évaporation de l'eau s'effectue plus vite à partir des cellules épidermiques que des cellules de garde. La pression de turgescence dans ces dernières est alors supérieure à celle des cellules épidermiques, les stomates alors peuvent s'ouvrir. Par contre, lorsque la sécheresse s'intensifie, l'évaporation atteint les cellules de garde et les stomates se ferment conséquemment à la baisse de leur pression de turgescence (N'DA, 1984). Plusieurs hypothèses tentent d'expliquer l'ouverture des stomates. Ainsi, il existe une hypothèse selon laquelle, l'hydrolyse de l'amidon serait impliquée dans les variations d'ouverture et de fermeture stomatique (MAZLIAK, 1984).

Certains auteurs (JONES et MANSFIELD, 1970) ont montré que les stomates pouvaient se fermer suite à une accumulation d'acide abscissique dans les cellules de garde. Une autre hypothèse attribue leur ouverture à une pompe d'échange H^+/K^+ , située dans le plasmalemme de ces cellules qui émettrait des ions H^+ vers celles-ci, ce qui entrainerait un flux de K^+ (SAWMNEY et ZELITCH, 1969).

c) Facteurs de variation de la transpiration

L'ouverture des stomates est variable selon les conditions du milieu.

Deux types de facteurs hydriques ont une action importante sur l'ouverture stomatique :

- le potentiel hydrique foliaire,
- la différence de pression de vapeur entre l'air et la feuille.

La réponse stomatique à l'humidité de l'air a été observée sur un grand nombre de plantes. Il existe cependant des exceptions (LOSCH, 1980). L'intensité de la réponse est variable mais le sens est toujours le même : on note une diminution de la conductance (augmentation de la résistance) lorsqu'il y a une augmentation de la différence de pression de vapeur entre la feuille et l'air (SCHULZE et HALL, 1982).

Le mécanisme de cette action n'est pas établi. Il paraît en tout cas impliquer une grande sensibilité aux changements de teneur en eau locale (dans les cellules de garde et les cellules épidermiques en particulier (LOSCH et TENHUNEN, 1981).

La réponse stomatique ou potentiel hydrique foliaire est autre. Elle peut d'ailleurs être totalement dissociée de la précédente (GOLLAN, 1983).

Il y a une dépendance de la transpiration foliaire aux variations de la résistance stomatique en fonction de certains facteurs du milieu comme l'humidité relative.

La transpiration est plus élevée pour une atmosphère sèche (40% HR) que pour une atmosphère humide (80% HR) et ceci pour une même valeur de résistance stomatique.

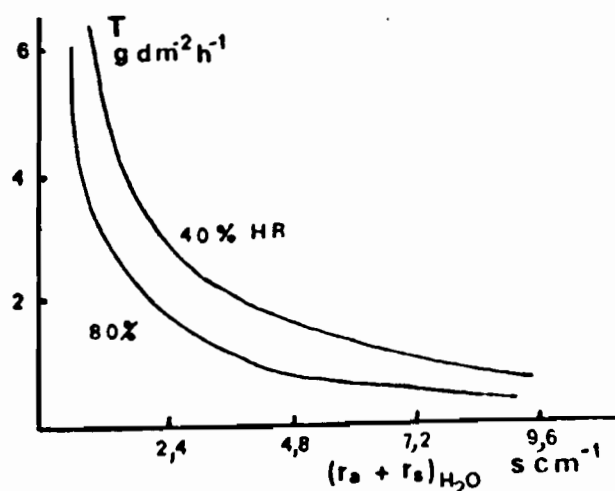


Fig. 0 : Relation entre la transpiration, l'humidité relative et la résistance stomatique. (D'après GLASZION et BULL, 1971).

Finalement, c'est l'action simultanée de différents mécanismes qui régit les mouvements des stomates. Il est donc difficile de déterminer le facteur réellement limitant à un instant donné.

4. Notion de potentiel hydrique et de déficit hydrique

a) Potentiel hydrique

L'état hydrique de la plante peut s'apprécier de deux façons :

- soit par la quantité d'eau présente dans l'un de ses organes rapportée au poids sec de ce dernier (obtenu en le passant à l'étuve à 80°C),
- soit par une notion assez abstraite, le potentiel hydrique, traduisant l'intensité des forces de liaison de l'eau dans le végétal.

Dans ce dernier cas, le potentiel thermodynamique - rapport de l'énergie de liaison de l'eau dans la plante à la masse ou au volume de cette dernière - correspond à une pression et s'exprime, par conséquent, en bare, en pascal ou en atmosphère.

Le potentiel hydrique peut être défini en tout point du continuum sol-plante-atmosphère au travers duquel circule l'eau. Si l'on adopte la valeur

zéro comme potentiel de référence de l'eau pure (dite libre) à la pression atmosphérique, celui de l'eau liée par les forces osmotiques, capillaires, matricielles dans un tissu ou un sol serait négatif. L'eau circulerait alors dans le sens des potentiels décroissants (KATERJI et CRUIZIAT, 1984).

Cette notion est aussi définie comme égale, mais de signe opposé à l'énergie qu'il faut appliquer à une feuille ou à un sol pour en libérer un gramme d'eau, valeur par conséquent toujours négative, car plus elle sera faible, plus la liaison de l'eau sera forte (HELLER, 1981).

b) Déficit hydrique

Le déficit hydrique (DH) peut être défini à partir d'un échantillon foliaire, par la formule suivante établie par MONTENY et LHOMME en 1980.

$$DH = \frac{(PF - Ps)}{(PS - Ps)} \times 100$$

PF : poids frais de l'échantillon

PS : poids sec

Ps : poids de la feuille à saturation (le matin en présence de rosée par exemple).

L'on pensait, initialement, que le déficit en eau était la résultante d'un processus plutôt passif se déroulant dans le végétal : l'excès des pertes d'eau par transpiration par rapport aux approvisionnements. Aujourd'hui, avec l'introduction de la notion de résistance, l'on s'accorde à reconnaître que le flux d'eau à travers le végétal, depuis l'interface racine- sol, est dû à la différence entre cette dernière et le potentiel hydrique (MONTENY et LHOMME, 1980).

Flux d'eau = différence potentiel hydrique/résistance stomatique

Théoriquement, toute perte d'eau par transpiration provoque un accroissement du gradient du potentiel hydrique, qui induit un apport immédiat des parties où celui-ci est plus élevé vers les valeurs les plus faibles (algébriquement parlant).

Le déficit hydrique des feuilles résulte des résistances de structures qui freinent l'écoulement de l'eau dans la plante elle-même. Il en est de même quand le potentiel hydrique du sol décroît, celui de la feuille doit décroître davantage afin de rétablir le gradient nécessaire au maintien de l'approvisionnement en eau (sinon l'eau sortirait par les racines).

Le déficit hydrique de la feuille a aussi un effet sur les résistances des stomates et des cellules du mésophyle ; il intervient donc dans le contrôle des échanges de vapeur d'eau et de gaz carbonique (CO₂) entre la plante et l'air ambiant.

5. Tolérance du manioc à la sécheresse

Le manioc est une plante dont la résistance (plutôt tolérance) à la sécheresse est reconnue depuis des années : mais, bien approvisionné en eau, ses rendements peuvent s'en trouver améliorés. Les mécanismes conditionnant cette tolérance étaient restés inconnus jusqu'à une étude récente menée dans ce but par le CIAT (Centre International d'Agriculture Tropicale). Il en ressort qu'en conditions de stress hydrique, la plante de manioc réagit par .

- une réduction du taux de production de nouvelles feuilles tout en conservant celles déjà existantes (JAMES et COCK, 1979),

- une réduction de son indice foliaire par diminution de la surface de chacune des feuilles. Il peut aussi arriver, quand le couvert végétal est très fourni, que cette réduction passe par la chute de certaines feuilles, généralement les plus âgées comme l'ont montré YAO et *al.* en 1985,

- un retardement du développement des branches.

Toutefois, il est à noter que ces trois réactions de la plante ne permettent pas, à elles seules, d'expliquer la "grande" tolérance de cette dernière à la sécheresse. Il s'y trouve impliqués, les mécanismes de contrôle de l'ouverture et fermeture des stomates. Il a été en effet montré qu'en cas de baisse de niveau de l'eau disponible, avant même que le potentiel hydrique de la plante ne s'en trouve affecté, les stomates se ferment limitant ainsi les sorties de celle-ci. De plus, la position (inclivée par rapport à l'horizontale) des feuilles permet une moindre interception du rayonnement solaire, facteur déterminant dans l'évaporation de l'eau.

CHAPITRE 2
METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

A. Site

Les parcelles expérimentales sont installées à la ferme agronomique de l'ORSTOM à Adiopodoumé, localité située à 17 km à l'Ouest d'Abidjan.

Géographiquement, la Station de Recherche se situe à 29 m d'altitude 5°19' de latitude nord et 4°13' de longitude ouest.

Le champ expérimental se localise dans une zone assez plate bordée au sud et sud-ouest par la lagune Ebrié.

Les sols sont sableux et très drainants. Les environs des parcelles expérimentales sont couverts de graminées (*Panicum maximum*) et de légumineuses (Crotalaires).

B. Matériel végétal

Les parcelles ont été mises en place le 19 mars 1986. Elles ont été labourées puis traitées à l'herbicide (3 litres de trifluraline + 500 g de diuron + 600 l d'eau/ha).

Les boutures sont issues des variétés saines suivantes :

- 5318/34 du Kenya,
- 46106/27 du Kenya,
- Kasimbiddgi green du Kenya (Côte Est),
- Nunurupia de l'Inde.

Longues de 15 cm, ces boutures ont été plantées inclinées à 45°, avec une densité de 10.000 plants à l'hectare, soit un plant par mètre carré. Après 8 jours, la levée a été totale.

Nous avons travaillé sur 4 parcelles. Chacune d'elles est plantée d'une variété et couvre 81 m² (9 m sur 9 m).

L'échantillonnage a consisté à choisir de manière aléatoire cinq plantes par parcelle à chaque série de mesure. Chaque plante est divisée en trois strates et les mesures portent sur une feuille par strate, choisie de manière aléatoire.

Tableau 2 : Liste des variétés de manioc cultivées sur le champ expérimental.

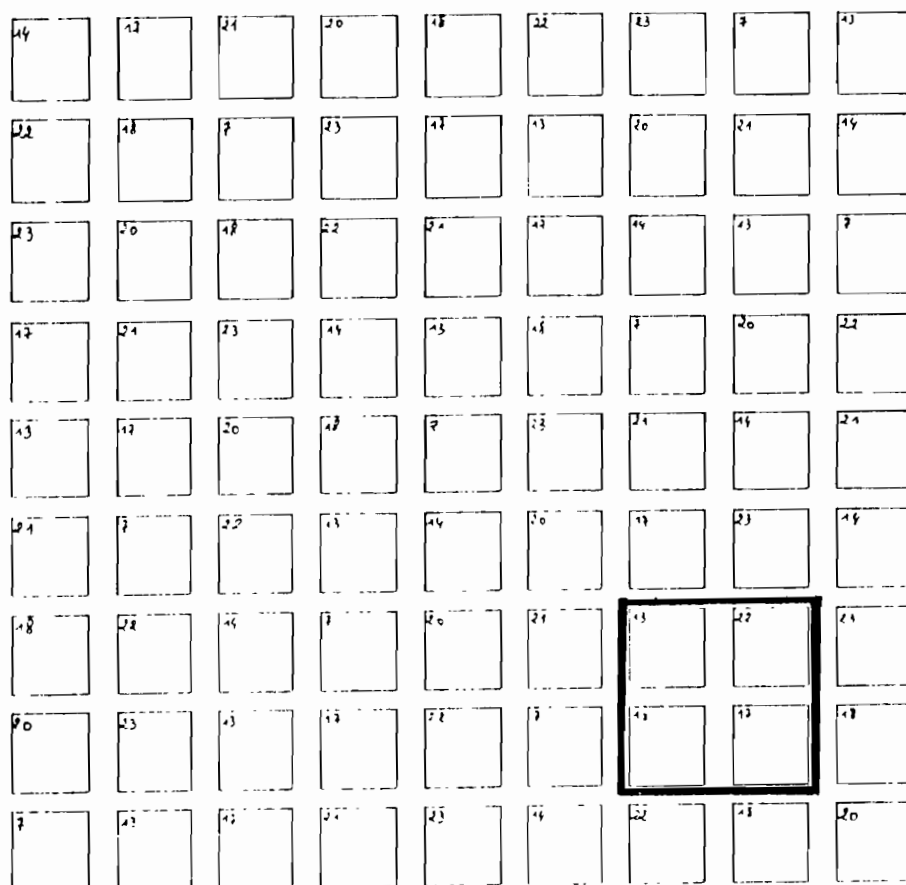
NUMERO	IDENTIFICATEUR	ORIGINE	DONATEUR
7	5543/156	Kenya	Storey & Jennings
*13	5318/34	Kenya	Storey & Jennings
14	Mwakasanga	Kenya (Côte Est)	
*17	46106/27	Kenya	Storey & Jennings
*18	Kasimbidgi green	Kenya (Côte Est)	
20	Aïpin Valenca	Brésil (via Zaïre)	
21	Garimoshi	Inde	
*22	Nusu Rupia	Inde	
23	Kasimbidgi red	Kenya (Côte Est)	

Le tableau 2 nous présente la liste de toutes les variétés de manioc cultivées sur notre parcelle. Les variétés sur lesquelles nous avons effectué nos mesures sont désignées par les numéros 13, 17, 18 et 22 marquées par les astérisques dans le tableau 2.

Tableau 3 : Plan du champ expérimental.

Le tableau 3 nous présente la disposition de ces 4 variétés sur la parcelle expérimentale. C'est le carré en trait épais.

Dans toute la suite de notre rapport, il faudra se référer au tableau 2 pour identifier les variétés désignées par les numéros 13, 17, 18 et 22.



C. Mesures

1. Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire joue un rôle important dans l'écosystème végétal. Il intervient à la fois dans le processus d'évapotranspiration et dans celui de la photosynthèse.

Le rayonnement solaire incident a été mesuré à l'aide d'un pyranomètre (type Licor 190 SB) (voir photo 1) dont la surface réceptrice est composée d'une pile thermoélectrique (plusieurs thermocouples disposés en série).

Le rayonnement global (R_g) en watt/m^2 a été aussi mesuré.

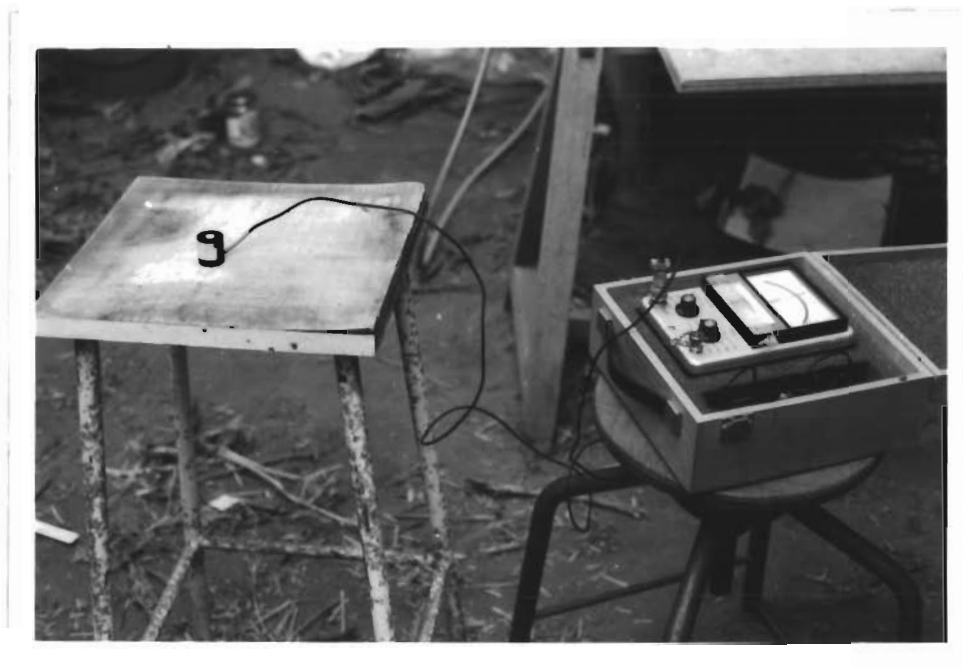


Photo 1 : Dispositif de mesure du rayonnement solaire. L'énergie photosynthétiquement active a été aussi mesurée à l'aide du même dispositif mais avec un capteur sélectif pour la bande spectrale située dans le visible (400 à 700 nm).

2. Le potentiel hydrique de la feuille

La mesure du potentiel hydrique est l'une des principales méthodes d'appréciation de l'état hydrique de la plante. Le potentiel hydrique de la feuille a été mesuré à l'aide d'une chambre à pression (voir photo 2).



Photo 2 : La chambre à pression.

Le dispositif de mesure comprend une chambre en acier aux parois épaisses portant un manomètre. La chambre est reliée à une bouteille de gaz sous pression. La feuille à observer est introduite dans la chambre avec le pétiole exposé par un orifice situé sur la fermeture.

Lorsque la bouteille de gaz est ouverte, la chambre sera sous pression entraînant la perte d'eau du xylème. Une loupe est utilisée pour mieux observer l'apparition de la première goutte (photo 3). La pression indiquée sur le manomètre correspond à la succion de l'eau de la feuille ou au potentiel hydrique foliaire.



Photo 3 : Utilisation d'une loupe pour l'observation de la première goutte.

L'eau de la plante est soumise à des forces de liaison multiples. DAUDET(1970) définit le potentiel hydrique foliaire Ψ_f comme le travail maximum que peut fournir l'unité de masse d'eau dans la transformation réversible, isotherme, isobare et sans variation d'altitude qui la fait passer de l'état libre à l'état de liaison qu'elle a dans la plante. Notons que le potentiel de l'eau liée est négatif et que l'eau circule toujours dans le sens des potentiels décroissants.

La technique de la chambre à pression, largement utilisée dans la mesure du potentiel hydrique des feuilles est sujette à de nombreuses sources d'erreurs. Il faut minimiser les fuites de gaz de la chambre et la perte d'eau qui accompagne l'excision de la feuille. (RITCHIE et HINEKLEY, 1975 ; LEACH et *al.*, 1982 ; JORDAN, 1970). Dans notre expérimentation, nous avons utilisé la pâte à modeler comme joint supplémentaire pour réduire les fuites de gaz.

Avant l'excision nous avons couvert la feuille par un tissu mouillé afin de réduire les pertes d'eau (voir photo 4).



Photo 4 : Prélèvement de la feuille.

Dans le cas particulier du manioc, le latex coule dès l'excision de la feuille ce qui rend très difficile la mesure du potentiel hydrique foliaire par la chambre à pression. Pour remédier à ce problème, nous avons appliqué la méthode qui consiste à enlever la peau du pétiole (contenant les vaisseaux laticifères). Mais cette opération augmente malheureusement le temps entre l'excision et la lecture.

3. La transpiration, la résistance stomatique et la température foliaire.



Photo 5 : Poromètre.

Un poromètre à diffusion en état d'équilibre (LI-COR 1600) a été utilisé pour mesurer simultanément la résistance stomatique (R_s), la transpiration (T_2) et la température de la feuille. Toutes ces variables sont importantes dans l'analyse du comportement hydrique d'une culture en général et d'une plante en particulier.

4. Le potentiel hydrique du sol

Le microvoltmètre à point de rosée (photo 7) nous a servi à mesurer le potentiel hydrique du sol. Des sondes comportant un thermocouple ont été installées à différents niveaux dans le sol (6,15 et 35 cm) sur chacune de nos 4 parcelles expérimentales (voir photo 6).

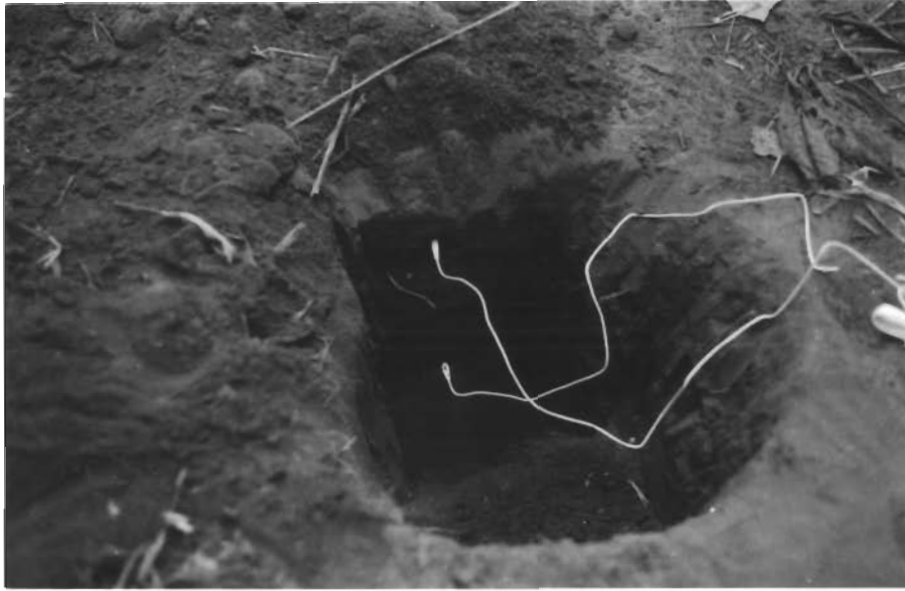


Photo 6 : Installation des sondes à différents niveaux dans le sol.



Photo 7 : Microvoltmètre à point de rosée.

La sonde se termine par un thermocouple incorporé dans une porcelaine poreuse

Après l'installation, il faut suffisamment de temps (24 h au moins) pour qu'il y ait équilibre entre l'humidité du sol et l'humidité à l'intérieur de la porcelaine. Pendant les mesures, le système est refroidi en positionnant le bouton sur "Cool" pendant 30 secondes.

Le refroidissement permet d'avoir une température du point de rosée ; ce qui entraîne une condensation de la vapeur d'eau sur le thermocouple ; après ce refroidissement, la lecture est effectuée. Au préalable, nous avons effectué un étalonnage des sondes psychrométriques avec des solutions de NaCl de concentrations connues.

Les coefficients d'étalonnage obtenus ont permis de convertir les mesures psychrométriques en potentiels hydriques du sol.

Notons que la mesure du potentiel hydrique du sol nous permet d'avoir une idée de la disponibilité de l'eau du sol pour les besoins de la plante.

CHAPITRE 3
RESULTATS ET DISCUSSIONS

A. EVOLUTION DES PARAMETRES ETUDIES AU COURS DE LA JOURNEE

Les figures 1, 2 et 3 nous montrent l'évolution du rayonnement solaire global (R_g), de la température (T), de la transpiration (Tr) et de la résistance stomatique (R_s) au cours d'une journée à temps très variable.

1. Le rayonnement

Le rayonnement augmente progressivement dans la matinée avec des élévations brusques (coup de soleil) par moments, correspondant à des éclaircies.

Dans nos conditions d'expérience, la plus faible valeur est de 75 W/m^2 , valeur obtenue à 9 h 50, et la plus forte valeur est de 800 W/m^2 , valeur obtenue à 14 h 15, heure à partir de laquelle R_g décroît régulièrement (Fig. 1a).

2. La résistance stomatique

En comparant les fig. 1a et 1b, nous constatons que, dans la matinée, l'évolution de la résistance stomatique est l'inverse de celle du rayonnement car l'augmentation de la R_s entraîne une diminution du flux d'eau. Lorsque le rayonnement augmente, nous observons une baisse de la résistance stomatique ceci est une évidence de la photosensibilité de l'ouverture des stomates. A des valeurs maximales de R_g correspondent des valeurs minimales de R_s ; lorsque R_g baisse, nous observons une fermeture des stomates ; cependant, nous remarquons qu'à des valeurs très élevées de R_g par exemple, 600 W/m^2 à 11h 40 correspondent des valeurs très élevées de R_s , $11,5 \text{ s/cm}$. Cela signifierait que bien que l'intensité du R_g stimule l'ouverture des stomates, il existerait un seuil maximal au-delà duquel les stomates se ferment en réponse à de très hautes valeurs de perte de vapeur d'eau dues aux valeurs élevées de rayonnement.

L'après-midi, à 14h 15, à la valeur de R_g égale à 800 W/m^2 correspond une valeur élevée de R_s égale à 11 s/cm . Cela signifie qu'au delà de 600 W/m^2 les valeurs de R_s restent élevées.

La tendance générale de l'évolution de R_g dans l'après midi est qu'elle décroît régulièrement. Les stomates suivent cette évolution en s'ouvrant aussi progressivement d'où une diminution de la résistance stomatique vers 15h 45.

La chute brutale de R_g due à un passage nuageux a entraîné une augmentation de R_s . Ce résultat suggère qu'il y aurait un seuil minimum de R_g en deçà duquel les stomates se ferment, entraînant une augmentation de R_s . La tendance générale de l'évolution de la R_s est qu'elle croît jusqu'à la valeur 14 s/cm , valeur la plus élevée atteinte à 11 h.

L'évolution de la R_s n'est pas régulière. Il y a beaucoup de fluctuations dues aux influences des autres facteurs surtout le rayonnement, mais aussi l'humidité relative, la température et le vent.

Fig. 1a : évolution du rayonnement au cours de la journée.

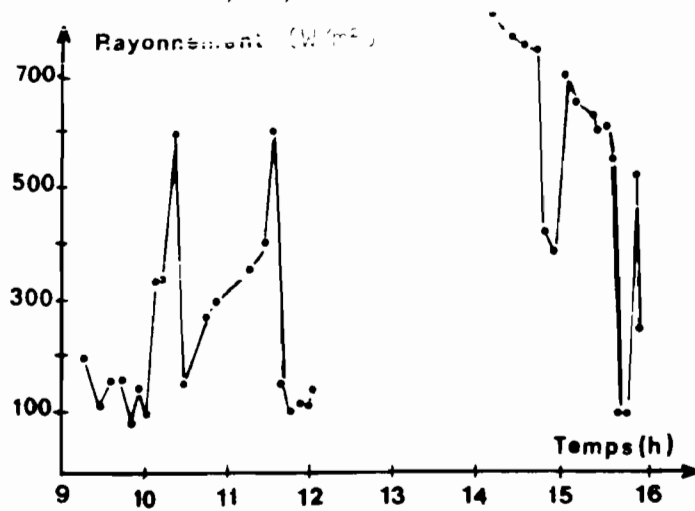


Fig. 1b : évolution de la température au cours de la journée.

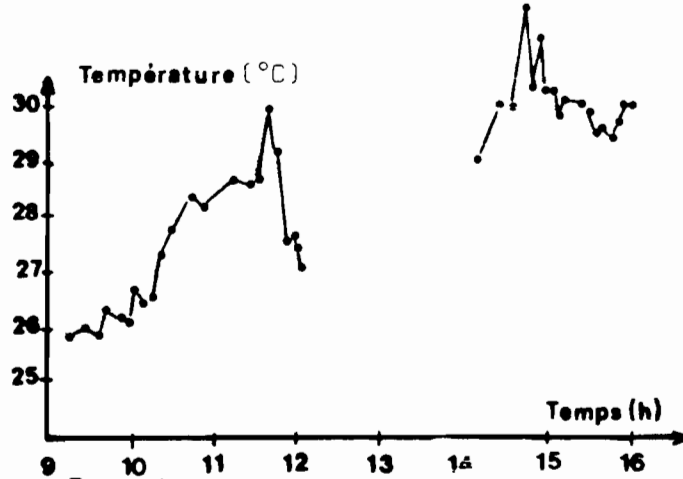


Fig. 1c : évolution de la transpiration au cours de la journée.

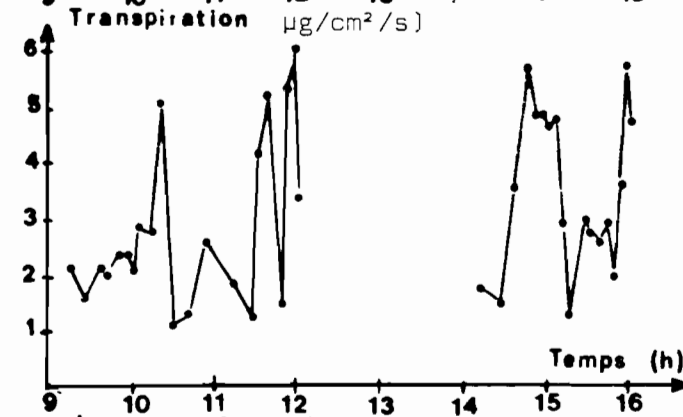


Fig. 1d : évolution de la résistance stomatique au cours de la journée.

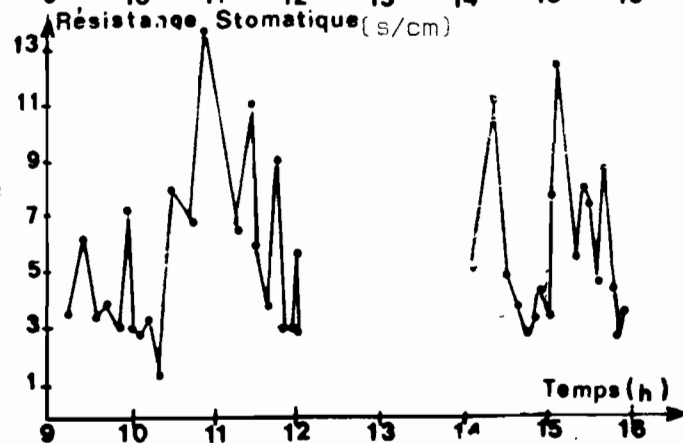


Fig. 1 : Evolution des paramètres étudiés au cours de la journée.

28/08/86

Fig. 2a : Evolution de la température au cours de la journée.

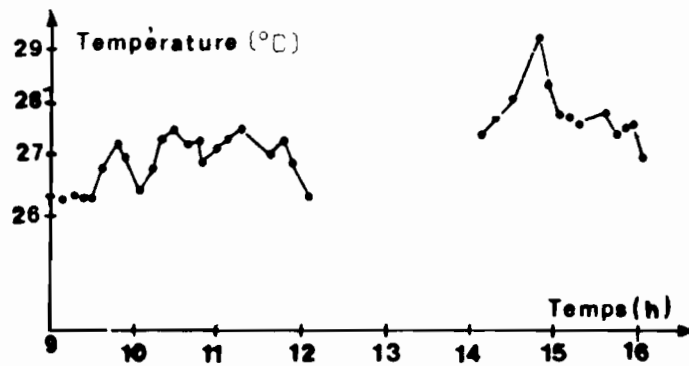


Fig. 2b : Evolution de la transpiration au cours de la journée.

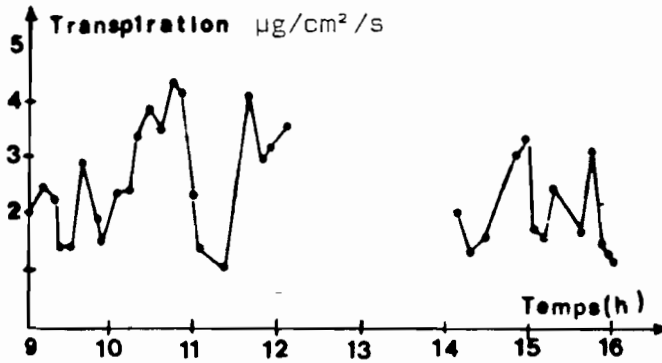


Fig. 2c : Evolution de la résistance stomatique au cours de la journée.

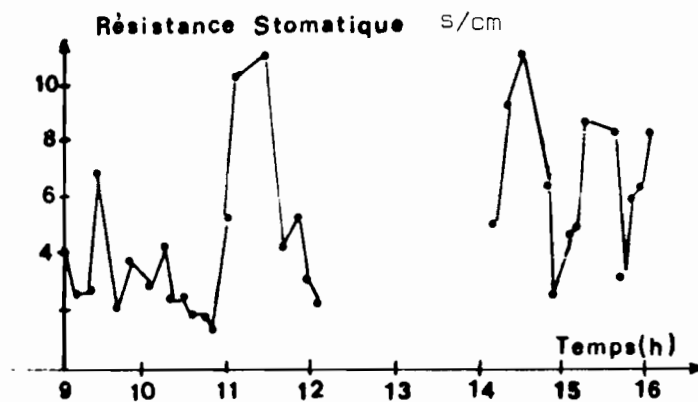


Fig. 2 : Evolution des paramètres étudiés au cours de la journée.

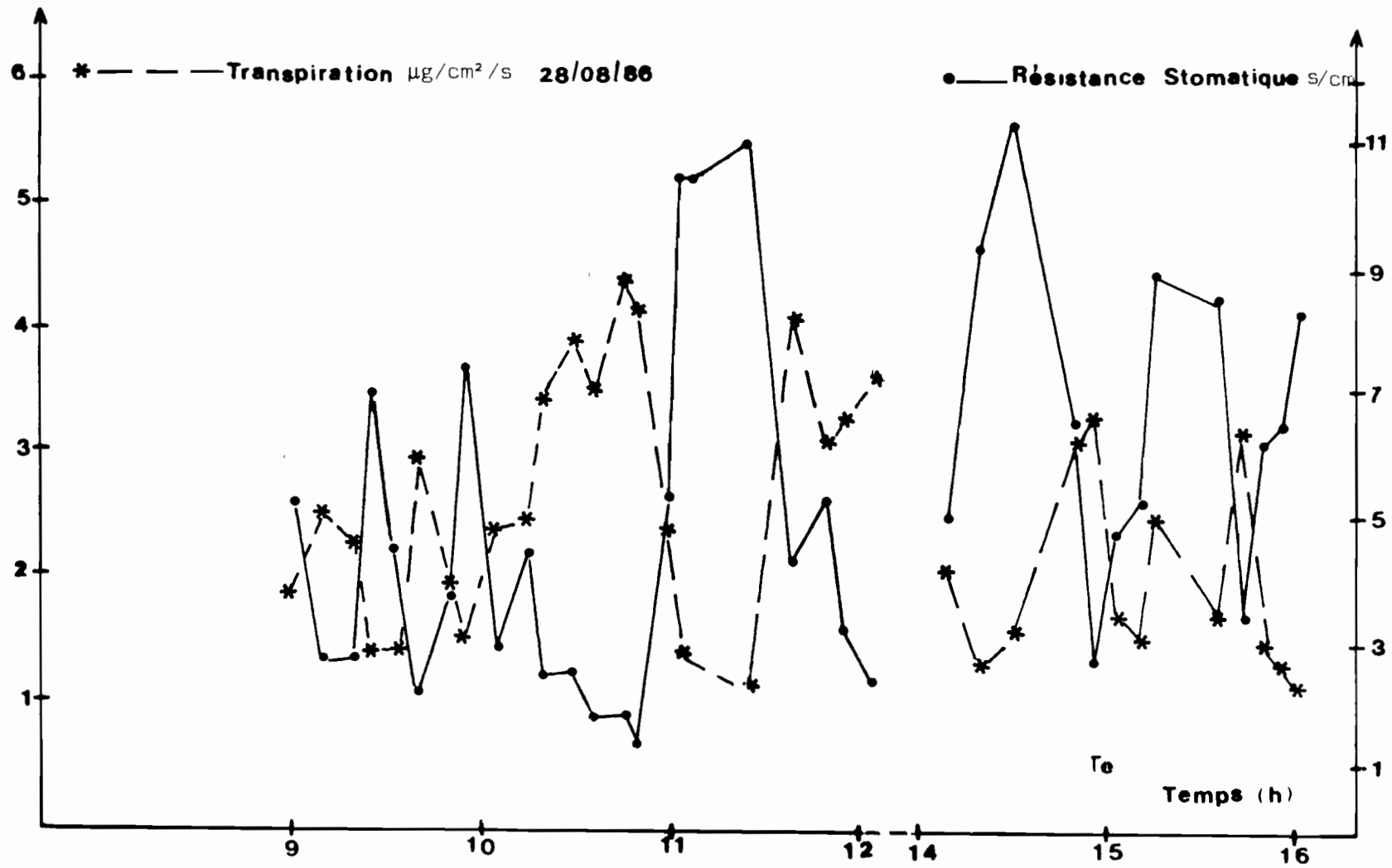


Fig. 3 : Relation générale entre la transpiration et la résistance stomatique Rs et Tr varient en sens inverse.

3. La transpiration

L'évolution de la transpiration (Fig 1c, 2b) est très liée à celle de la résistance stomatique. Aux ouvertures et fermetures des stomates correspondent respectivement des valeurs élevées et faibles de la résistance stomatique. La transpiration et la résistance stomatique varient en sens inverse (Fig. 3, 1c, 1d, 2b, 2c), mais la transpiration et le rayonnement varient dans le même sens ; car plus il y a de l'énergie disponible pour l'évaporation de l'eau, plus la transpiration est élevée.

Le rayonnement apparaît ici comme le paramètre le plus important dans le mécanisme de régulation stomatique du manioc et donc dans les processus de transpiration et de photosynthèse.

4. La température

La température de la feuille augmente régulièrement dans la matinée, atteint un seuil maximum vers 14 h 45 avant de décroître. (Fig. 1b, et 2a). Son évolution est plus ou moins liée au rayonnement solaire mais elle fluctue moins rapidement que les autres paramètres étudiés et est donc plus stable.

Entre 11h 30 et 12h, un passage de nuage accompagné d'air humide a entraîné à la fois la réduction du rayonnement, de la température, de la résistance stomatique et de la transpiration. Ce résultat souligne que les autres facteurs climatiques tels que l'humidité relative et le vent sont aussi importants dans le contrôle de l'état hydrique du manioc.

B. RELATION ENTRE LA TRANSPIRATION (T_r) ET LA RESISTANCE STOMATIQUE (R_s).

Les résultats relatifs à la résistance stomatique et à la transpiration foliaire sont représentés par les figures 4, 5, 6 et 7. Ils sont de deux types. Le premier type, évolution de la transpiration en fonction de la résistance stomatique pour chacune des quatre variétés de manioc étudiées, est présenté par les figures 4a, 4b, 4c, 4d, 5a, 5b, 5c, 5d.

Le deuxième type, évolution de T_r en fonction de R_s suivant les 3 strates étudiées, est présenté par les figures 6a, 6b, 6c, 6d, 7a, 7b, 7c, 7d.

1. Evolution de T_r en fonction de R_s pour les 4 variétés de manioc 13, 17, 18, 22.

Nous voyons sur les figures 4 et 5 que T_r prend des valeurs élevées au fur et à mesure que R_s prend des valeurs faibles. En d'autres termes, il existe une relation inversement proportionnelle entre R_s et T_r . Nous pouvons dégager, au vu de ces résultats, deux types de relations :

a) une relation linéaire entre T_r et R_s observée sur les figures 4b, 4c, 4d, 5a.

Une regression linéaire nous a permis de tracer les différentes droites sur ces figures.

b) une absence de relation linéaire entre T_r et R_s observée sur les figures 4a, 5b, 5c, 5d. Cette absence de linéarité pourrait être due soit à la faible marge de relevés ou mesures, soit à la période de la journée au cours de laquelle les mesures ont été faites.

En effet, si l'on prend l'exemple de la variété 18, figure 5c, nous voyons que les valeurs de R_s sont comprises entre 3 et 6 s/cm et dans ce cas, il n'apparaît pas de relation linéaire. Pourtant, pour cette même variété (figure 4c), les valeurs de R_s sont comprises entre 1 et 9 s/cm et nous observons une relation linéaire entre R_s et T_r .

Ce constat devrait inciter l'expérimentateur à choisir une période de la journée appropriée et faire les mesures sur un grand nombre d'échantillons de façon à avoir un intervalle de variation de R_s assez large.

La relation entre T_r et R_s semble varier en fonction des variétés de manioc puisque les figures 5a, 4b, 4c, 4d nous montrent des droites de pentes différentes. Cependant, le fait que les mesures sur les différentes variétés de manioc n'aient pas été réalisées simultanément et que les journées de mesure (mois d'août) soient à temps très variables, rend difficile toute comparaison intervariétale de la relation T_r - R_s .

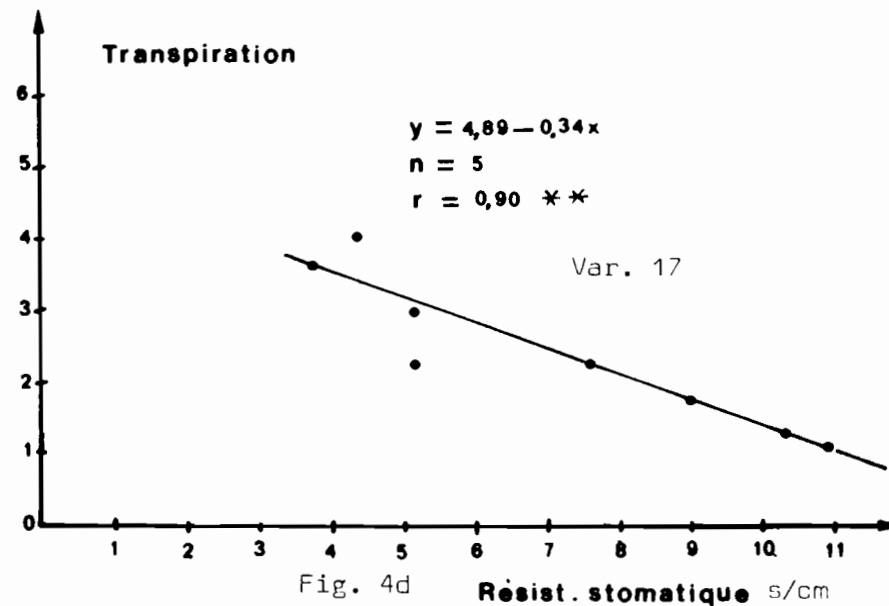
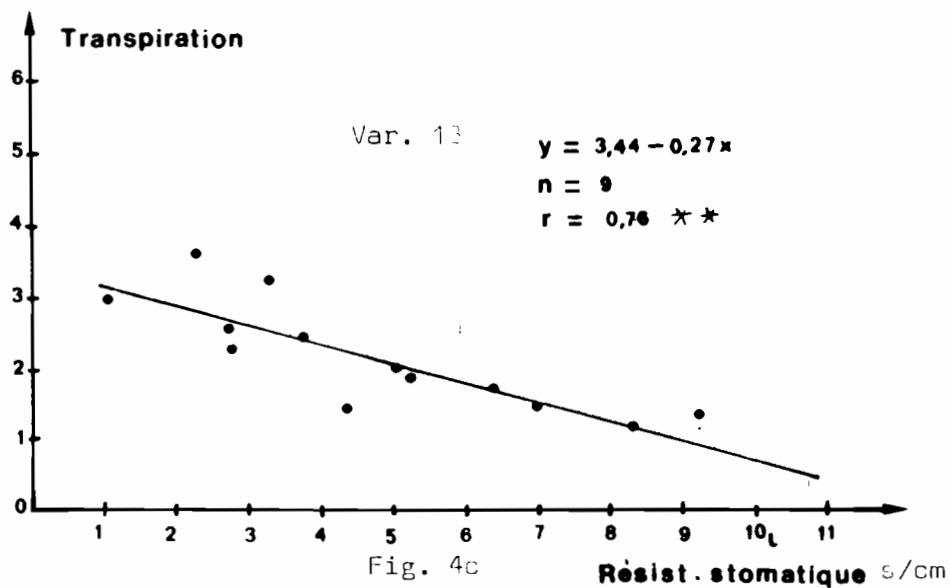
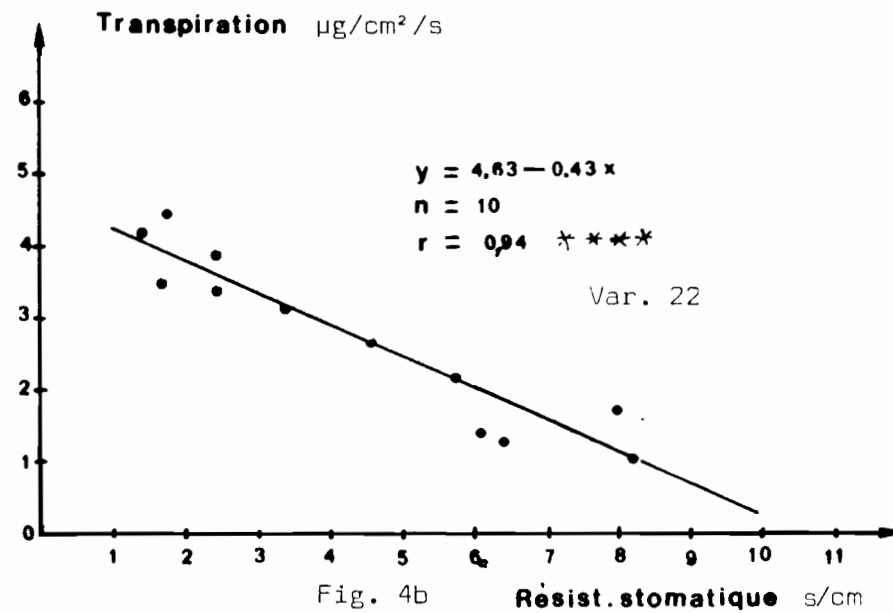
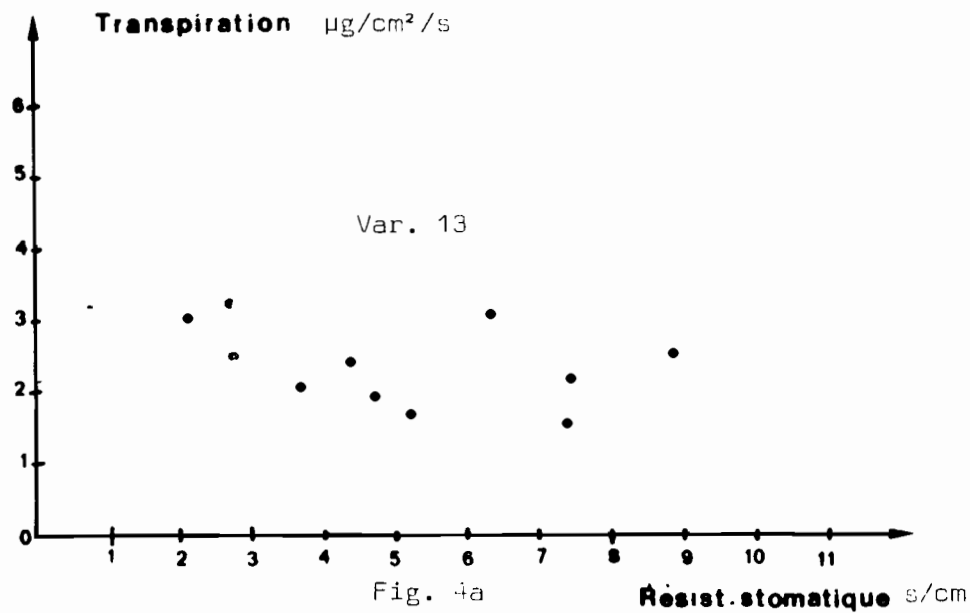


Fig. 4 : Evolution de la transpiration et de la résistance stomatique en fonction des variétés. 3

29.08.86

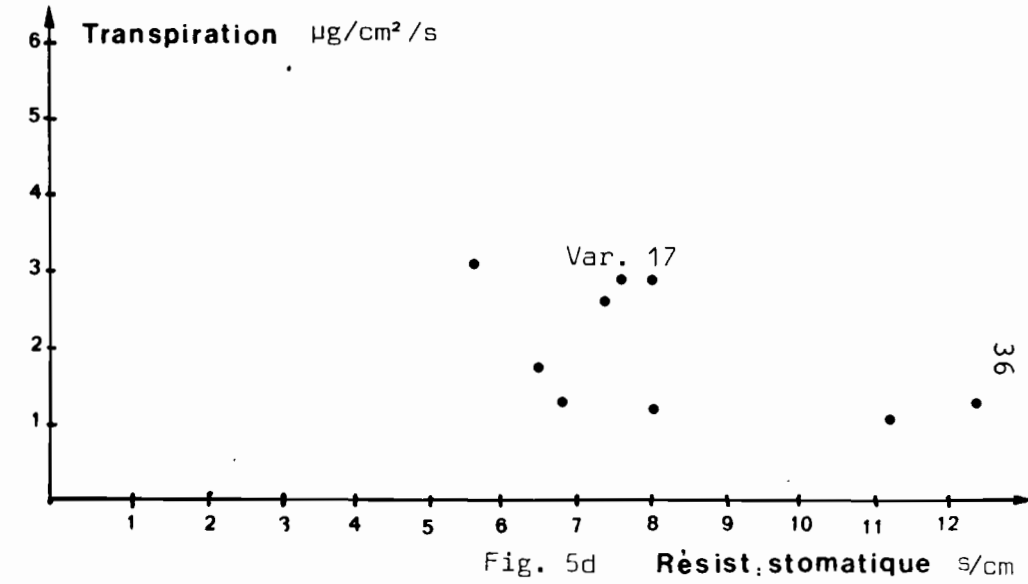
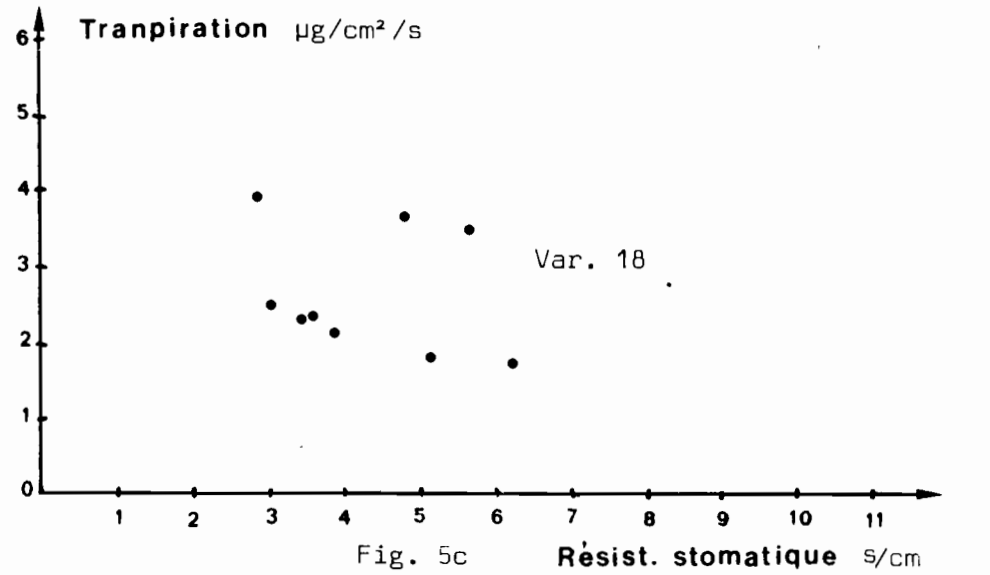
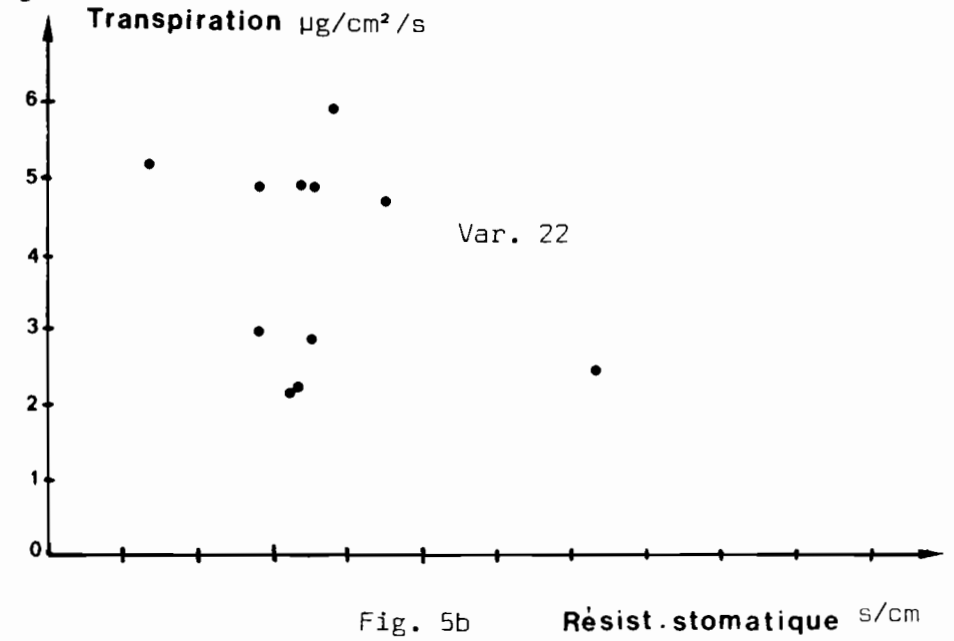
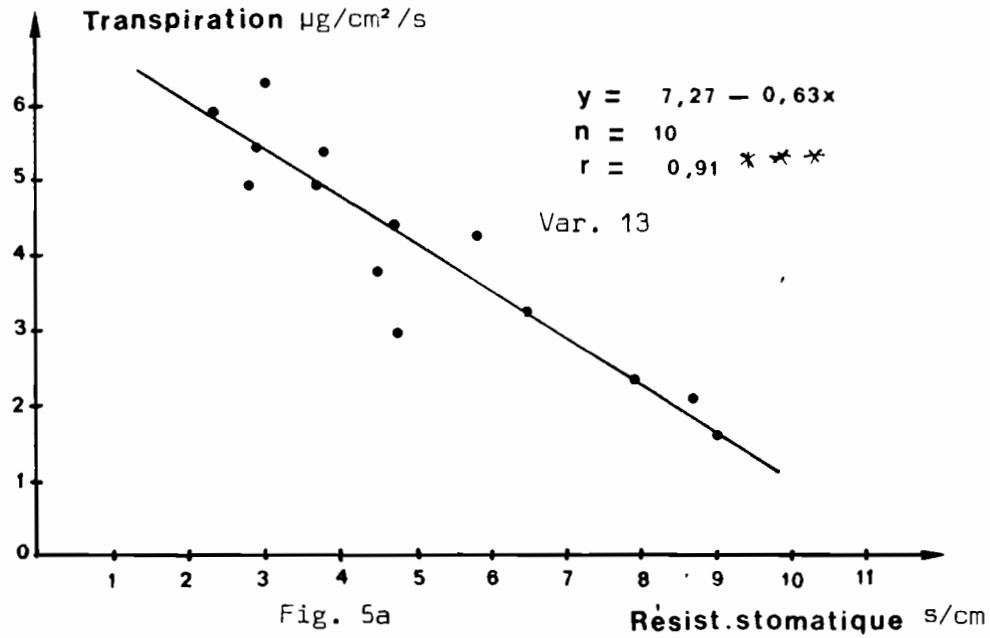


Fig. 5 : Evolution de la transpiration et de la résistance stomatique en fonction des variétés.

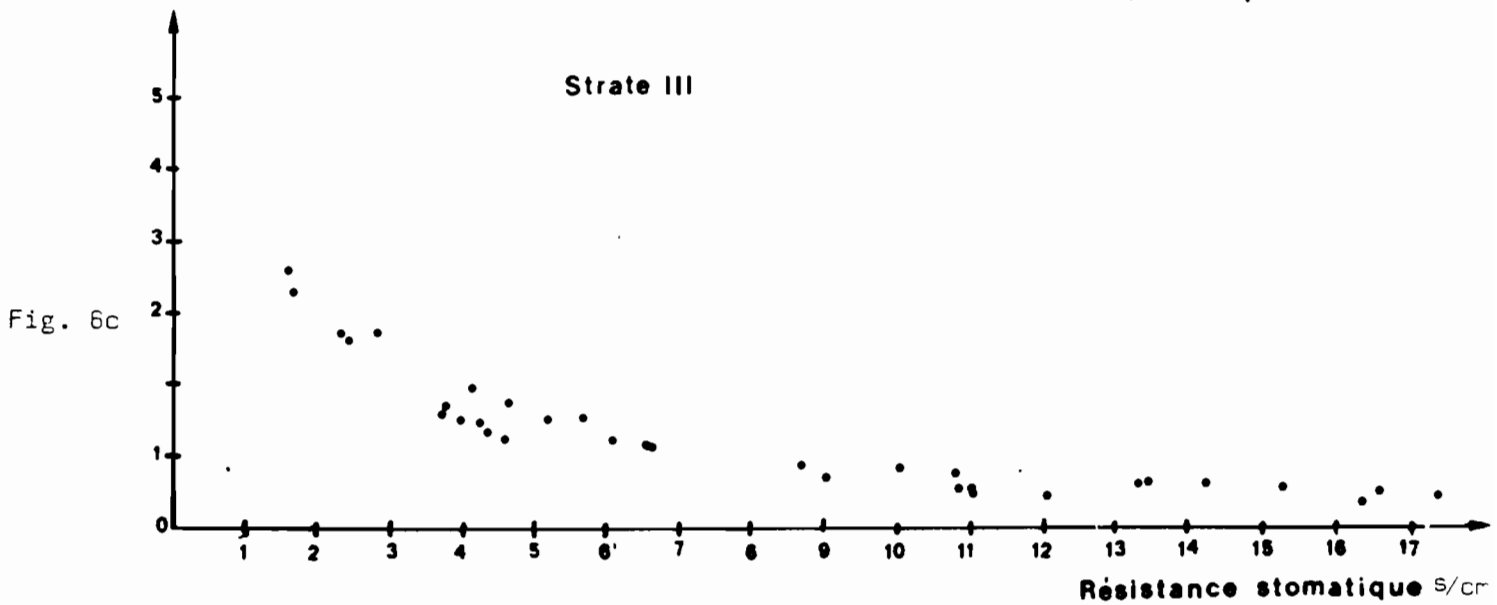
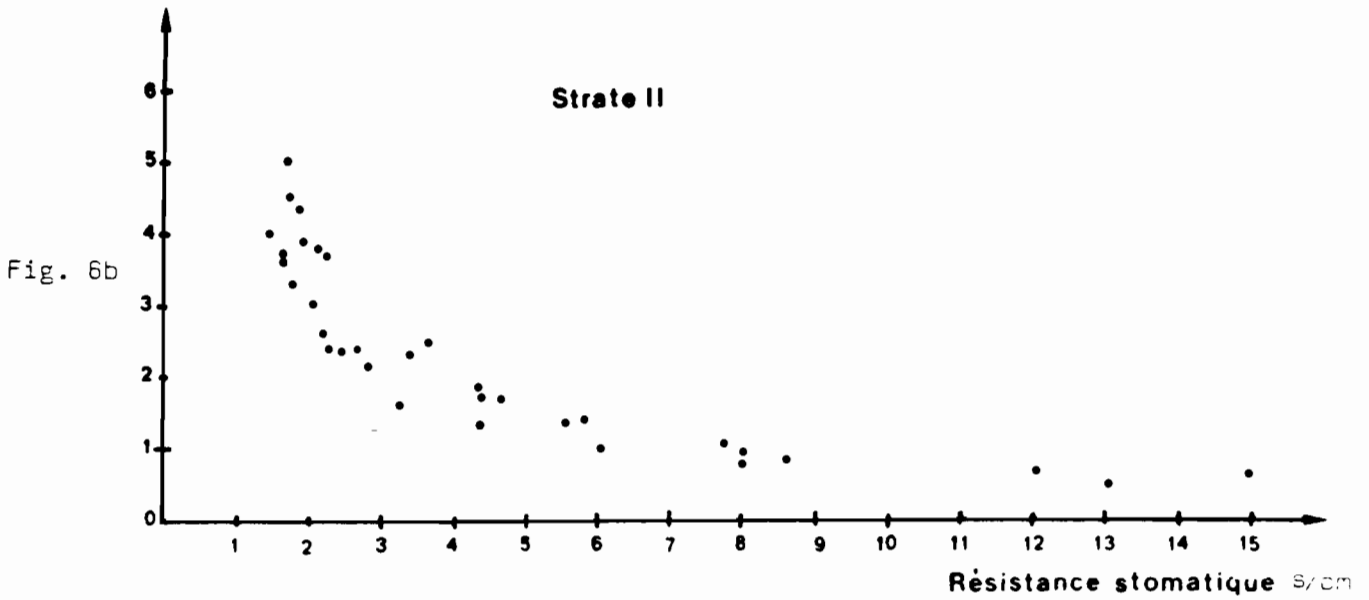
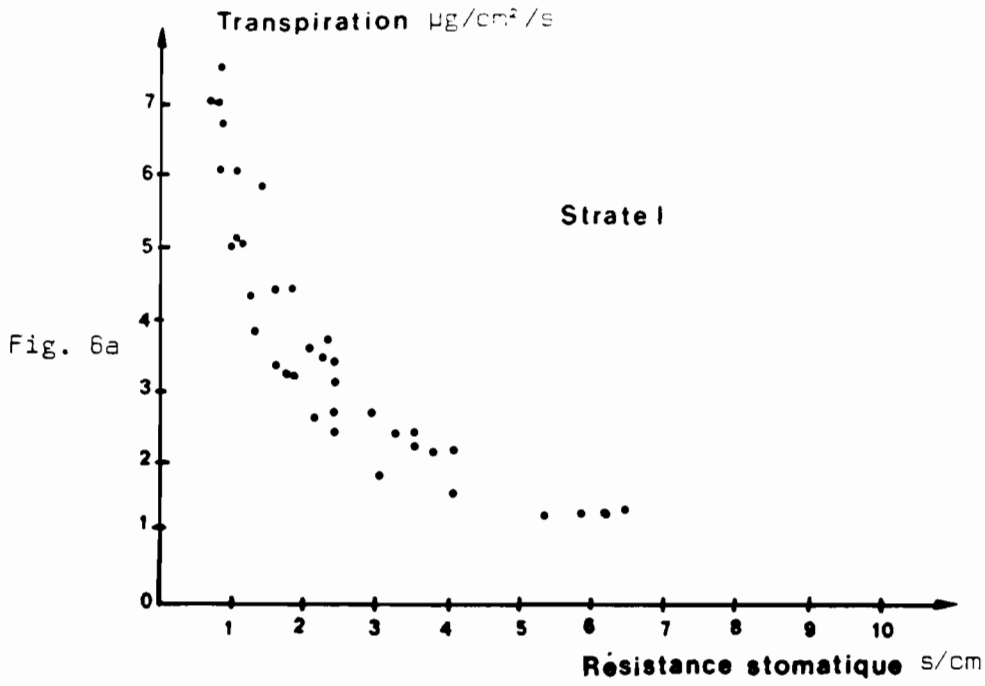


Fig. 6 : Evolution de la transpiration et de la résistance

Fig. 7a

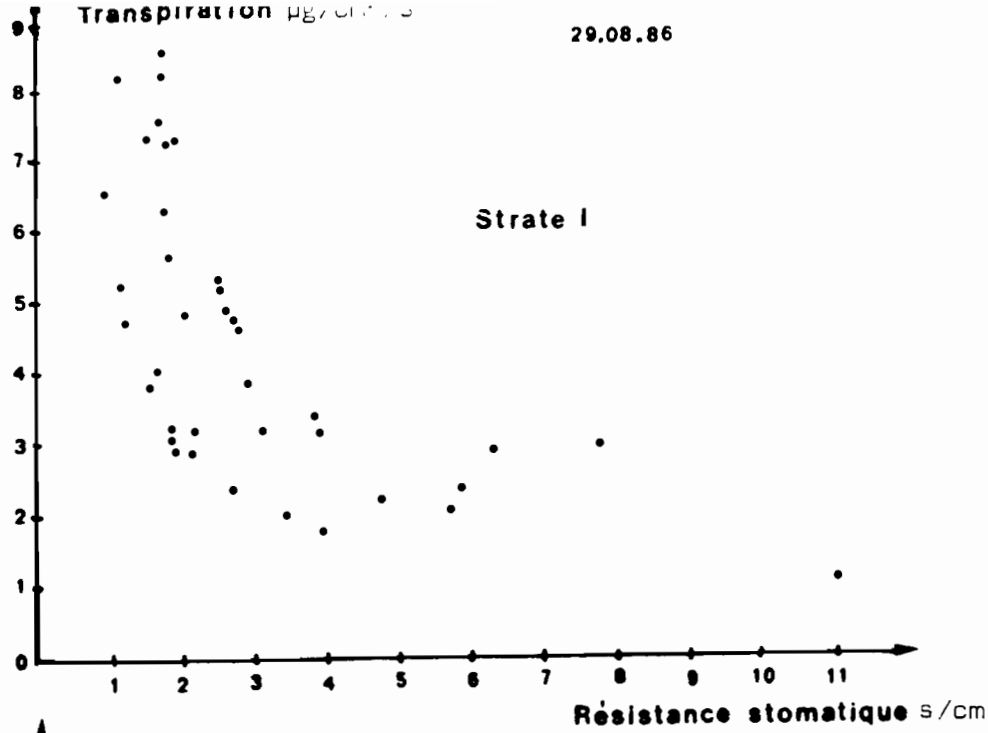


Fig. 7b

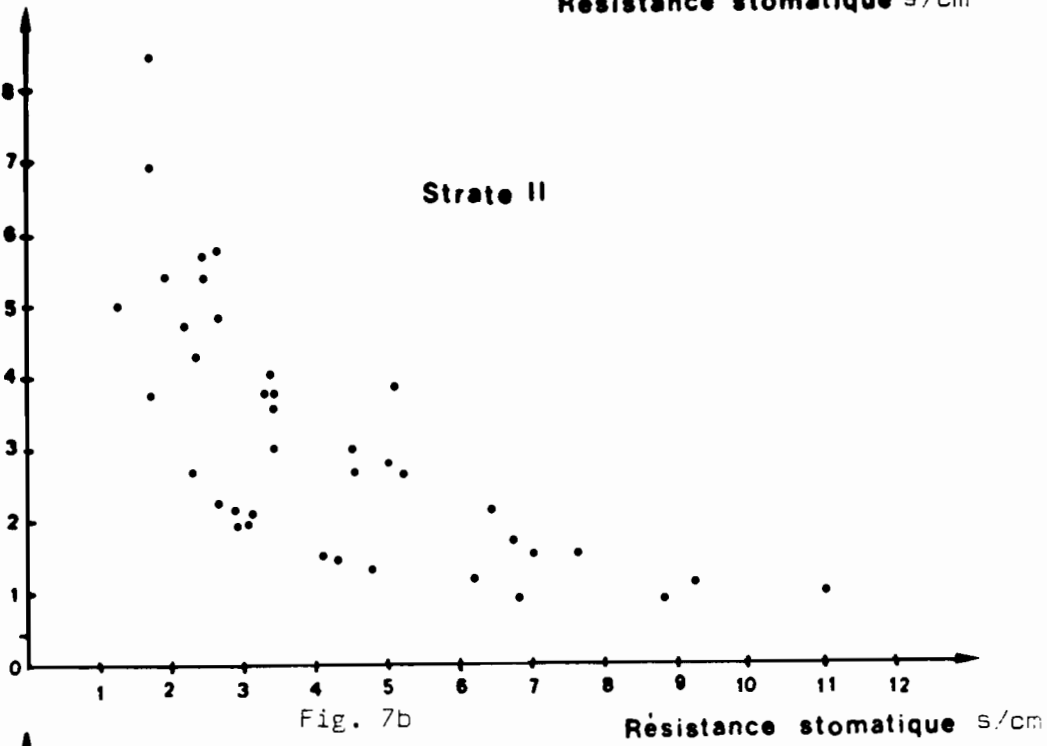


Fig. 7c

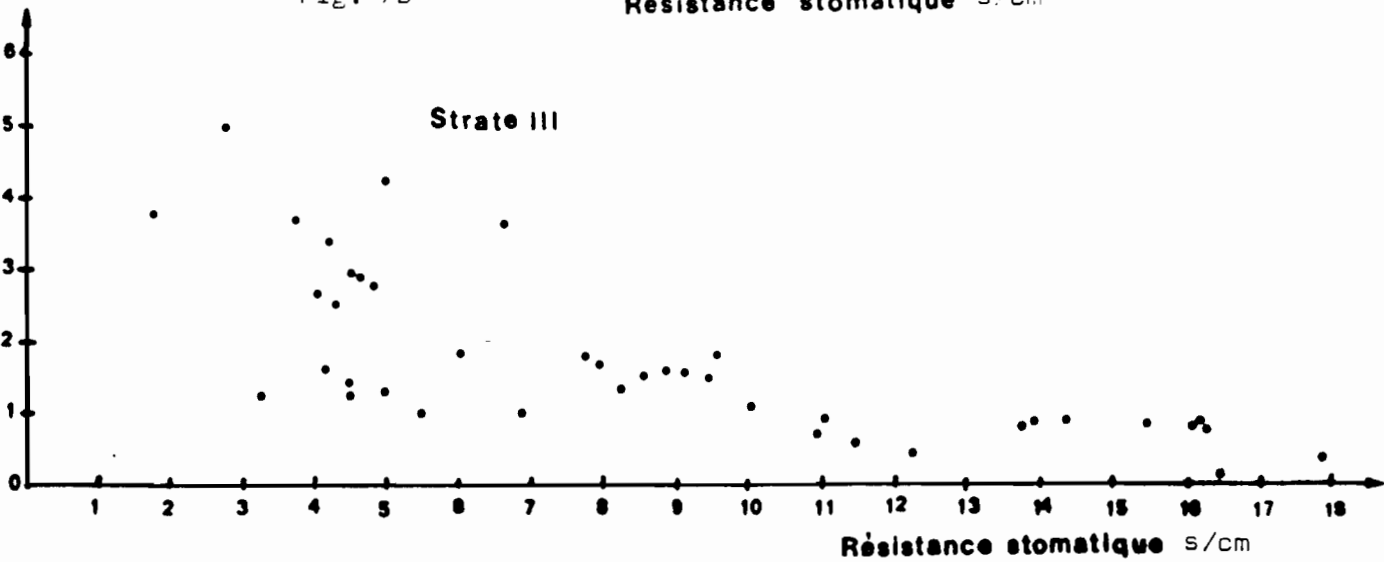


Fig. 7 : Evolution de la transpiration et de la résistance stomatique en fonction des strates.

2. Evolution de Tr en fonction de Rs suivant les 3 strates étudiées

Les représentations de la transpiration en fonction de la Rs selon les trois strates (fig. 6, fig. 7) montrent que :

- les feuilles de la strate I ont les valeurs les plus élevées de transpiration 2 à 8 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$ et les valeurs les plus faibles de Rs 1 à 6,3 s/cm fig. 7a.

- les feuilles de la strate II ont des valeurs de transpiration moins élevées que celles des feuilles de la strate I allant de 0,5 à 5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$ et des valeurs de Rs plus élevées que celles de la strate I allant de 1,5 à 15 s/cm (fig. 6b).

- les feuilles de la strate III ont les plus faibles valeurs de Tr allant de 0,3 à 2,8 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$, mais ont les valeurs les plus élevées de Rs allant de 1,6 à 17,5 s/cm (fig. 6c).

De nos résultats, nous constatons que plus Rs augmente, plus Tr diminue. La transpiration augmente des feuilles inférieures (strate III) aux feuilles supérieures (strate I) tandis que Rs diminue des feuilles inférieures aux feuilles supérieures.

Ainsi, l'on pourrait considérer le gradient de transpiration qui diminue de la strate inférieure protégée du rayonnement solaire à la strate supérieure soumise directement au rayonnement, tout comme il existerait un gradient de Rs foliaire dont le sens serait inversé par rapport à celui de la Tr.

Des résultats similaires ont été obtenus par COOK (1979). Cet auteur a montré que Rs est proportionnelle à l'écoulement de l'eau. Ceci confirme la relation linéaire entre Tr et Rs. TURNER (1973) a trouvé que chez le tabac, la résistance stomatique des feuilles décroît des feuilles inférieures aux feuilles supérieures et la transpiration diminue des feuilles supérieures aux feuilles inférieures.

Si nous comparons les feuilles des différentes strates, nous constatons que les feuilles de la strate I sont plus jeunes que celles de la strate II elles-mêmes plus jeunes que celles de la strate III, ce qui nous montre une évolution de Rs et Tr en fonction de l'âge de la feuille. Tr contrairement à Rs diminue avec l'âge de la feuille. Ce résultat est en accord avec ceux de ASLAM et al. (1977) qui ont montré que les taux de Tr chez les plantes de quatre semaines sont significativement plus élevés que ceux des plantes de sept semaines. Ce qui confirme que la Tr diminue avec l'âge des feuilles.

Il nous semble important, pour expliquer ces relations entre Rs et Tr, de rappeler que la Tr n'est rien d'autre que l'évaporation de l'eau dans la cavité sous-stomatique et la diffusion de la vapeur d'eau de l'intérieur de la feuille vers l'extérieur. Cette diffusion passe par les ostioles qui sont des ouvertures entretenues par les cellules stomatiques. L'ouverture et la fermeture des stomates régulent ainsi la transpiration. Plus les stomates s'ouvrent, plus ils opposent une faible résistance à la sortie de l'eau et donc plus Tr est élevée. Inversement, plus Rs est élevée, c'est à dire plus les stomates se ferment, moins la plante transpire.

Cependant, la transpiration dépend de plusieurs autres facteurs tels que le stock hydrique dans le sol et le rayonnement. En effet, s'il y a un déficit hydrique, les stomates auront tendance à se fermer entraînant une réduction de Tr .

C. RELATIONS ENTRE LA RESISTANCE STOMATIQUE (R_s) LA TRANSPIRATION FOLIAIRE (Tr) ET LE POTENTIEL HYDRIQUE FOLIAIRE (Ψ_f)

Nous avons cherché à comprendre les relations entre la résistance stomatique et le potentiel hydrique foliaire d'une part, et d'autre part, la transpiration et le potentiel hydrique foliaire. Les fig. 8 et 9 nous montrent qu'il n'existe pas de relations évidentes entre R_s , Tr et Ψ_f . L'ensemble des points se situent entre les valeurs 2 et 8 pour Ψ_f , 0 et 7 pour R_s et 0 et 5,7 pour Tr .

Ψ_f ici n'est sans doute pas le facteur le plus limitant de la transpiration.

KATERJI et CRUIZIAT (1984) ont montré que pour une même transpiration, le potentiel hydrique de la feuille est plus faible l'après-midi que le matin. Ils ont montré également que la conductance ($1/r_s$) tend à décroître quand Ψ_f baisse (c'est à dire lorsque cette conductance devient de plus en plus négative). Cependant, aucune relation générale entre la conductance et le Ψ_f n'a été trouvée. Les résultats et les opinions divergent sur ce point. Ainsi, par exemple, TURNER et BEGG (1978) affirment que les stomates ne répondent pas aux variations de Ψ_f tant que celui-ci n'a pas atteint un niveau critique. Au contraire, JONES et RAWSON (1979) montrent que chez le sorgho, la conductance stomatique décroît régulièrement avec Ψ_f .

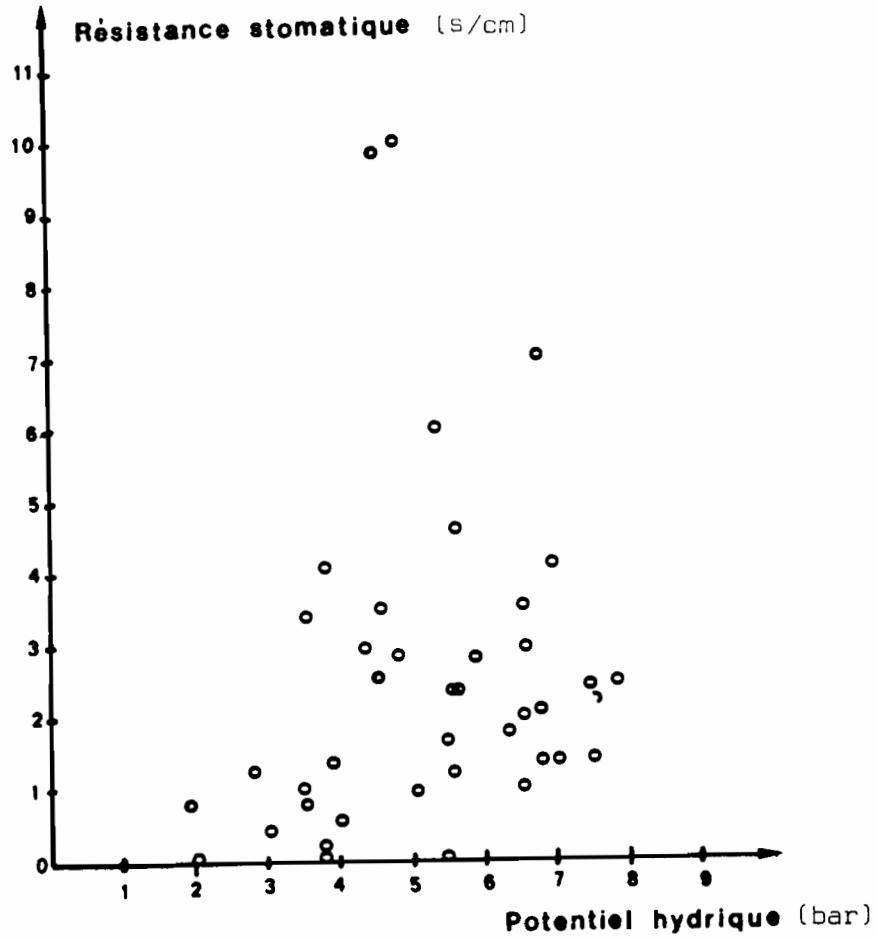


Fig. 8 : Relation entre la résistance stomatique et le potentiel hydrique foliaire.

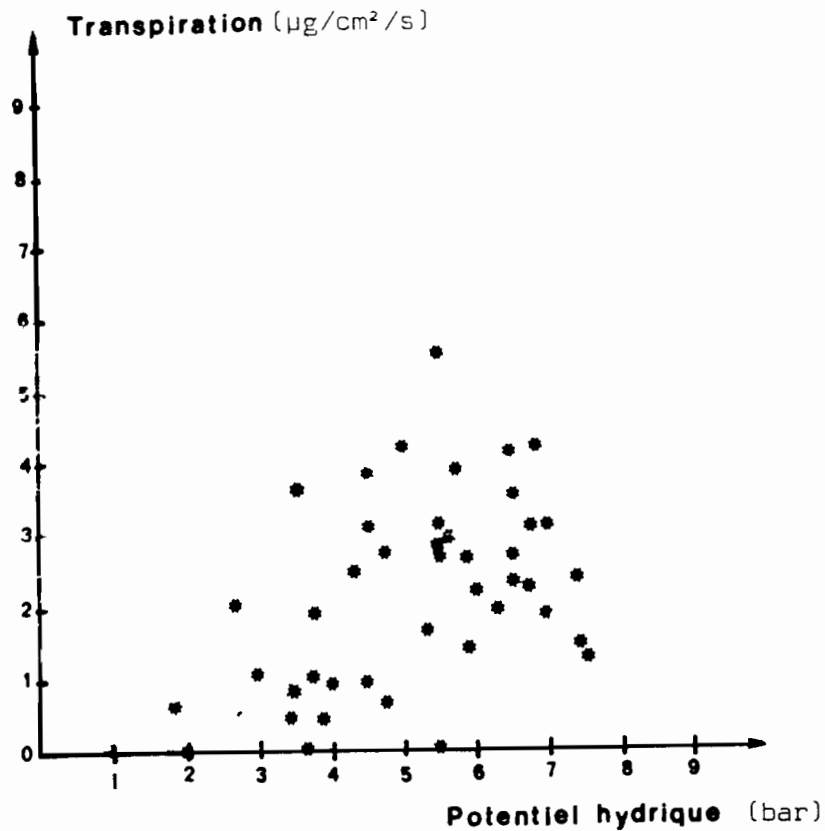


Fig. 9 : Relation entre la transpiration et le potentiel hydrique foliaire.

D. POTENTIEL HYDRIQUE DU SOL

Le tableau 4 et les courbes fig. 10 nous présentent les résultats des mesures du potentiel hydrique du sol mesuré à l'aide de sondes psychrométriques du 11.08.86 au 22.08.86 à 3 niveaux de profondeur différents (5 cm, 15 cm et 35 cm).

Dans les conditions de notre expérience, le potentiel hydrique reste en moyenne plus élevé en valeur absolue en profondeur qu'en surface du sol. Pendant la durée de notre étude, les variations observées sont assez considérables pour une profondeur donnée du sol.

L'énorme variabilité du potentiel hydrique de la partie superficielle du sol sous culture de manioc est liée au fait que cette partie superficielle se mouille considérablement après la pluie, et consécutivement se dessèche rapidement, en rapport avec le caractère drainant du sol et de l'évapotranspiration du couvert végétal.

L'intérêt de cette étude du potentiel hydrique du sol est qu'il détermine le sens de déplacement de l'eau dans le sol. Rappelons que dans un sol non saturé, l'eau circule des potentiels les plus élevés vers les potentiels les plus bas. Un potentiel de plus en plus négatif va réduire la disponibilité de l'eau à la plante et affecter ainsi la transpiration et la résistance stomatique.

Tableau 4 : Mesures à différentes dates du potentiel hydrique (-mb) du sol à différents niveaux.

DATE \ NIVEAU	5 cm	15 cm	35 cm
11/08/86	0,210	0,750	0,339
12/08/86	0,150	0,375	0,688
13/08/86	0,399	0,324	0,56
14/08/86	0,437	0,288	0,822
18/08/86	0,4126	0,660	1,123
19/08/86	0,4649	0,514	1,067
20/08/86	0,200	1,075	1,460
21/08/86	0,545	0,474	0,557
22/08/86	0,540	0,814	0,650

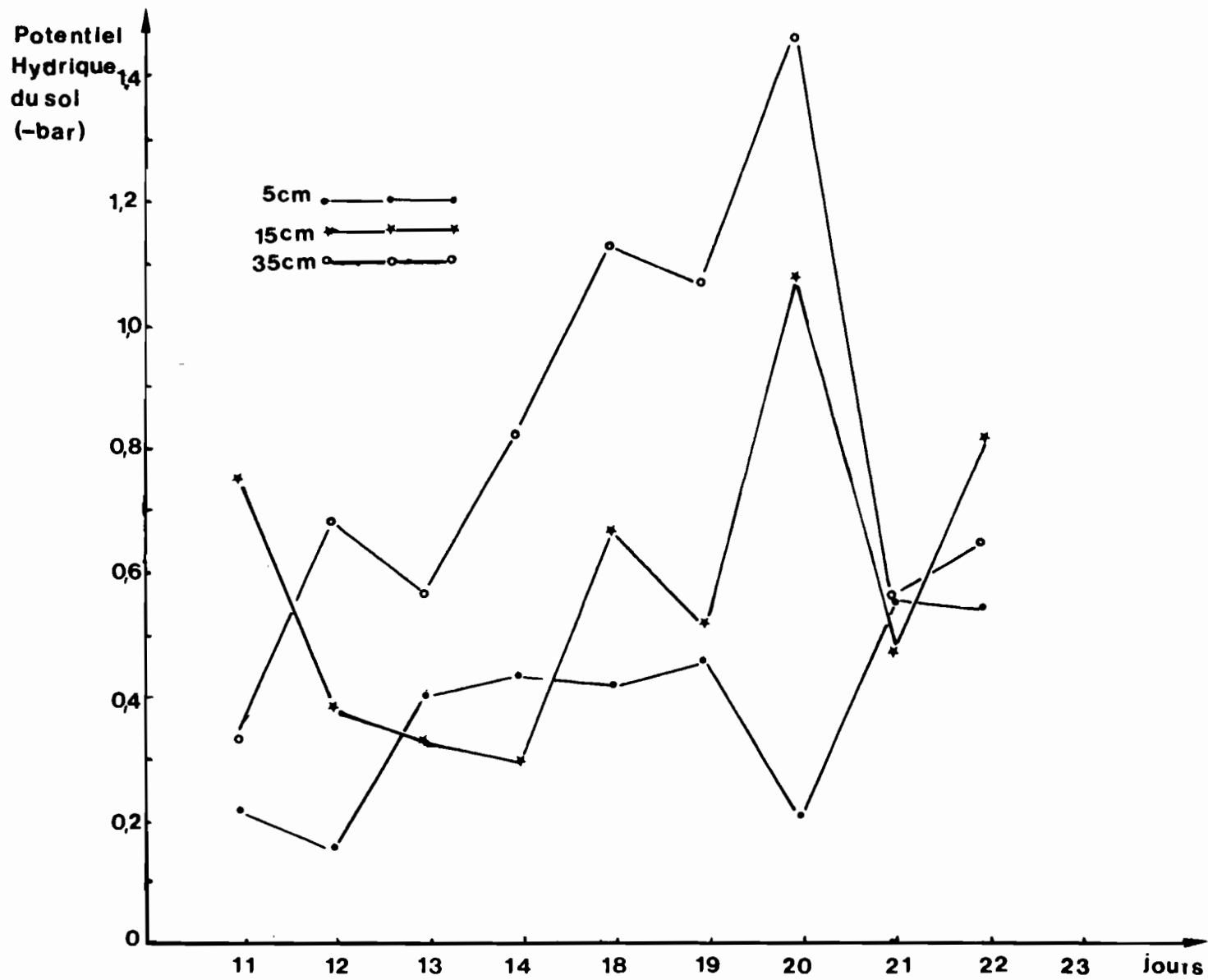


Fig. 10 : Evolution du potentiel hydrique à différents niveaux du sol au cours du temps.

CONCLUSION

Cette étude qui a été réalisée en 2 mois, ne nous permet pas de tirer des conclusions véritables.

Néanmoins, elle nous a permis de suivre pendant cette courte période, l'influence des éléments climatiques sur l'état hydrique de la feuille de manioc. Elle nous a conduit à déterminer différentes relations entre les paramètres étudiés. Nous avons pu dégager une relation linéaire entre R_s et T_r .

Nous avons vu que T_r , R_g , T_r varient dans le même sens tandis que R_s varie en sens inverse. Il se dégage également de cette étude que T_r diminue avec l'âge des feuilles contrairement à R_s qui augmente. Il n'y a pas eu de relations évidentes entre R_s et Ψ_f d'une part, et T_r et Ψ_f d'autre part.

Le potentiel hydrique foliaire, la transpiration et le degré d'ouverture des stomates sont tous des indicateurs de l'état hydrique des plantes ; la mesure du potentiel hydrique est le meilleur indicateur du déplacement de l'eau dans le système sol-plante-atmosphère mais malheureusement, les appareils (chambre à pression, et microvoltmètre à point de rosée) utilisés pour sa détermination sont lents et difficiles à manipuler.

Le poromètre utilisé pour la mesure de R_s , T_r , T , HR a non seulement l'avantage d'être rapide mais également, permet la mesure de plusieurs variables à la fois. Nous pensons que l'utilisation de ce type d'appareil est à encourager dans les expérimentations agricoles. Notons cependant que le coût d'achat est élevé, (5 millions F.CFA environ).

Le degré d'ouverture des stomates est un test indirect de l'état hydrique de la plante. Il reste toutefois peu sensible aux faibles déficits hydriques. Le choix des zones foliaires particulièrement réactives devrait permettre d'améliorer la sensibilité de la méthode dans la prévision des dates d'irrigation et lui donner une signification spécifique à chaque stade de la végétation.

Nous souhaitons que cette étude soit reprise et continuée pendant une durée plus longue, sur une large gamme d'échantillons de manioc et de variétés et surtout, à différentes périodes de l'année et à différents stades de développement du manioc. Cette étude pourrait être étendue à d'autres sites géographiques.

Intérêt de cette l'étude

Cette étude nous a permis de voir l'évolution de la plante de manioc sous l'influence des paramètres climatiques dont le plus important est le rayonnement solaire.

La connaissance de l'effet des différents paramètres climatiques et édaphiques permettrait d'estimer la productivité d'une plantation de manioc, sachant les conditions de culture.

Dans les zones intertropicales, le manque d'eau est le facteur le plus limitant à l'implantation des cultures. Ainsi, le suivi régulier de l'eau du sol et de la transpiration foliaire permettraient d'une part, d'améliorer la productivité par un éventuel apport d'eau par irrigation et d'autre part, de déterminer le potentiel de production du manioc des différentes régions pour son implantation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A.C.C.T., 1981. Le manioc, sa culture et sa transformation, 59p.
- ASLAM, M., LOWE, S.B. and HUNT, L.A., 1977. Effect of leaf age on photosynthesis and transpiration of cassava (*Manihot esculenta*)
Can. J. Bot., 55 : 2288-2295.
- BEGG, J.E. et TURNER, N.C., 1976. Crop water deficits adv. Agron. 28 : 161-217.
- BENAMARA, A., 1976. Contribution à l'étude des réserves du végétal. Cinétique de déshydratation et de réhydratation. Thèse de Physiologie Végétale. USTL, 92 p., et annexes.
- BERGER, A., 1971. La circulation de l'eau dans le système sol-plante-atmosphère. Etude de quelques résistances en relation avec certains facteurs du milieu. Thèse d'Etat USTL, Montpellier, 224p.
- COCK, J.H., 1979. Strategies of the cassava plant for resisting drought.
Crop. Sci., 19 (2),
- DAUDET, F.A.M., 1970. Méthodes et techniques d'étude de l'état de liaison et de la teneur en eau dans le sol et la plante.
In "Techniques d'études des facteurs physiques de la biosphère". INRA, pp. 283-311.
- DE GOLDFIEM, J., 1981. Le manioc à Madagascar.
Etude et travaux. Agronomie Tropicale. Vol. XXVI, p.795.
- DIZES, J., 1975. Aperçus sur le manioc et sa culture. SEB, ORSTOM
Adiopodoumé, pp. 2-47.
- DIZES, J., 1978. Influence de la sensité de plantation et de la taille des plants à une tige sur le rendement de deux variétés de manioc.
- DULONG, R., 1971. Le manioc à Madagascar.
Etude et travaux n° 8, Volume XXVI, pp. 791-830.
- GEORGE, J., RAY NOGGLE, G., 1979. The plant in relation to water. Introductory plant physiology, p.415.
- GILBERT, COURS, 1951. Le manioc à Madagascar. Série B. Tome III,
Fascicule 2.
- GLASZIOU, K.T. and BULL, T.A., 1971. Feedback control of Photosynthesis in surgarcane. *In* : Photosynthesis and Photorespiration. Ed. M.D. Hatch., C.B. Osmond ; R.O. Slatger, pp. 82-88.
In "Elements de Bioclimatologie" MONTENY et LHOMME.

- GOLLAN, T., 1983. Die Steuerung der Stomato bei Luft und Bodentrockenheit
Diplomarbeit Univ. Bayreuth Lehrstuhl. Pflanzenökologie, 169 p.
- HELLER, R., 1981. Physiologie végétale. 1. Nutrition. Masson édit., Paris,
pp.23-64.
- JONES, H.G., MANSFIELDT, A., 1970. Suppression of stomatal opening in leaves
treated with abscissic acid. J. Exp. Bot. 21 : 714-719.
- JONES, M.M., RAWSON, H.M., 1979. Influence of rates of developpement of leaf
water deficits Upon photosynthesis leaf conductance, water use
efficiency and osmotic potential in sorghum.
Physiol. Plant 45 : 403-411.
- JORDAN, W.R., 1970. Growth of cotton seedlings in relation to maximum daily
plant water potential. Agron., J., 62 : 699-701.
- KATERJI, N., CRUIZIAT, P., 1984. Les besoins en eau des cultures. Conférence
Internationale INRA, Paris, 11-14 sept.
- LEACH, J.E., WOODHEADX, T. and DAY, W., 1982. Bias in pressure chamber
mesurements of leaf water potentiel.
Agric. Meteorol., 27 : 257-263.
- LOSCH, R., TENHUNEN, J.D., 1981. Stomatal response to humidity phenomeum
and mechanism in stomatal physiology. Ed. Jarvis P.G. et Mansfield
T.A., Soc Exp. Biology, Seminar Series 8, Cambridge Univ. Press,
137-161.
- LOSCH R., 1980. Stomatal responses to changes in air huqmidity. in "Structure
fonction and ecology of stomata" Sen D. N et AL ed. Dehra Dun,
189-216.
- MAZILIAK, P., 1974. Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme. Collection
Herman, Paris, 349 p.
- MONTENY, B. et LHOMME, J.P., 1980. Eléments de Bioclimatologie.
ORSTOM-Adiopodoumé. 90 p.
- N'DA, K., 1984. Réponse physiologique du riz au déficit hydrique. Etude comparée
de deux types culturaux. Thèse de Doctorat 3è cycle. Montpellier,
139p.
- RITCHIE, G.A. and HINCKLEY, T.M., 1975. The pressure chamber as an
instrument of ecological research.
Adv. Ecol. Res. 9 : 165-254.
- SAWMNEY, B.L., ZELITCH, 1969. Direct determination of potassium in
accumulation in guard cells in relation to stomatal opening in light.
Plant Physiol., 44 : 1350-1354.

- SCHULZE, E.D., HALL, A.E., 1982. Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants. in "Encyclopedica of plant physiology". New series, 12 B, Springer Verlag Berlin, pp.181-224.
- SILVESTRE, P., ARRAUDEAU, M., 1983. Le manioc. Ed. G.P. Maisonneuve et Larose, Paris, 257 p.
- TURNER, N.C., BEGG, J.E., 1978. Responses of pasture plants to water deficiets. in " Plant relation in pastures". Wilson J.R. Ed.. SCSIRO, Melbourne, pp. 50-56.
- YAO, N.R., GOUE, B., MONTENY, B. et ZELLER, B., 1985. Effet du déficit hydrique du sol sur le développement foliaire et sur la production de matière sèche chez le manioc (*Manihot esculenta* Crantz).
In **Eau et Développement Agricole**. MENRS - ORSTOM, pp. 74-77.

ANNEXES

Tableau 5 : Moyenne des mesures des différentes variables
 Température (T°) ; Humidité relative (Hr) ;
 Rayonnement (Rg) ; Résistance stomatique (Rs) ;
 Transpiration (Tr) sur les 3 strates.

Date : 28.08.86

VARIETES	T° (°C)	Hr (%)	Rg (W/m ²)	Rs (s/cm)	Tr (µg/cm ² /s)
13	29.23	67.46		6.43	3.11
13	28.30	67.33		2.74	3.26
13	27.87	67.60		4.75	1.77
13	27.77	67.60		5.23	1.59
13	27.66	67.46		8.85	2.48
13	26.86	74		2.13	2.97
13	27.26	74		3.69	1.97
13	27.0	74		7.36	1.52
13	26.43	74		2.86	2.39
13	26.80	74		4.42	2.46
17	20	74		5.24	2.36
17	36	74		10.34	1.42
17	53	63.60		11.02	1.16
17	27.10	63.60		4.36	4.09
17	27.30	63.60		5.22	3.04
18	26.96	63.60		3.21	3.24
18	26.33	63.60		2.28	3.61
18	27.40	67.33		4.99	2.00
18	27.83	67.60		9.26	1.32
18	28.10	67.60		11.23	1.56
18	26.30	74		5.23	1.87
18	26.26	74		2.30	2.55
18	26.36	74		2.71	2.27
18	26.33	74		6.89	1.47
18	26.36	74		4.34	1.44
22	27.36	74		2.42	3.41
22	27.53	74		2.43	3.92
22	27.26	74		1.67	3.53
22	27.30	74		1.67	4.39
22	26.96	74		1.33	4.15
22	27.83	67.60		8.49	1.68
22	27.40	67.60		3.35	3.20
22	27.57	67.60		6.16	1.48
22	27.56	67.60		6.47	1.29
22	27.00	67.60		8.23	1.10

Tableau 6 : Moyenne des mesures des différentes variables :
 Température (T°) ; Humidité relative (Hr) ;
 Rayonnement (Rg) ; Résistance stomatique (Rs) ;
 Transpiration (Tr) sur les 3 strates.

Date : 29.08.86

VARIETES	T° (°C)	Hr (%)	Rg (W/m ²)	Rs (s/cm)	Tr (µg/cm ² /s)
13	28.73	56.80	600	5.85	4.17
13	29.96	56.80	150	3.84	5.26
13	29.23	56.80	100	9	1.51
13	27.6	56.80	115	2.94	5.28
13	27.73	56.80	115	3.04	6.09
13	29.6	52.40	4.72	2.95	5.50
13	29.46	52.26	8.71	2.03	1.00
13	29.73	52.40	4.55	3.61	1.00
13	30.03	52	2.86	5.80	5.20
13	30.2	52.13	3.67	4.76	2.50
17	27.83	72.40	8.05	1.12	1.50
17	28.40	72.40	6.83	1.32	2.70
17	28.27	72.40	13.78	2.68	3.00
17	28.70	67.20	6.49	1.79	3.50
17	28.57	56.80	11.17	1.06	4.00
17	29.76	52.40	6.90	7.59	2.92
17	30.13	52.40	6.50	12.39	1.31
17	30.2	52.26	6.30	5.64	3.02
17	29.86	52.13	6.00	8.02	2.80
17	29.43	52.40	6.10	7.43	2.59
18	25.93	72.40	2.00	3.58	2.19
18	26.0	72.40	1.10	6.30	1.61
18	25.93	72.40	1.60	3.47	2.18
18	26.37	72.40	1.60	3.92	2.08
18	26.23	72.40	8.0	2.98	2.40
18	27.4	56.6	1.15	5.7	3.42
18	27.1	56.53	1.35	2.91	3.88
18	29.03	62.53	8.40	5.25	1.82
18	30.4	59.2	7.70	11.20	1.51
18	29.96	52.4	7.60	4.87	3.62
22	26.17	72.40	1.60	7.32	2.40
22	26.7	72.40	1.00	3.31	2.13
22	26.5	72.40	3.30	2.80	2.94
22	26.57	72.40	3.30	3.50	2.85
22	27.43	72.40	6.00	1.27	5.14
22	31.83	52.4	7.40	3.76	5.86
22	30.30	52.4	4.20	2.87	4.88
22	31.26	52.26	4.20	3.44	4.91
22	30.26	52.26	3.90	4.54	4.73
22	30.33	52.26	7.00	3.60	4.85