Étude préliminaire des phénomènes de transpiration chez le bananier

APPLICATION A LA DÉTERMINATION DES BESOINS EN IRRIGATION DANS LES BANANERAIES D'ÉQUATEUR

(1re partie)

par **B. AUBERT**

I. F. E. I. A. — I. F. A. C., Guayaquil, Équateur.

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DES PHÉNOMÈNES DE TRANSPIRATION CHEZ LE BANANIER

APPLICATION A LA DÉTERMINATION DES BESOINS EN IRRIGATION DANS LES BANANERAIES D'ÉQUATEUR

par B. AUBERT (*I. F. E. I. A. — I. F. A. C.*)

Fruits, vol. 23, nº 7, juil.-août 1968, p. 357-381.

RÉSUMÉ. — Dans le but de déterminer les besoins en irrigation du bananier ' Cavendish ', plusieurs séries d'études de transpiration ont été réalisées par la « méthode écologique » : perte de poids d'une rondelle de feuille comparée à l'évaporation d'une rondelle de Piche de même surface (balances à torsion portatives). Ces observations ont été couplées à des mesures d'ouverture de stomates ainsi qu'à diverses données météorologiques : potentiel de l'eau dans l'air, radiation globale, luminosité, évapo-transpiration expérimentale et théorique (formules de Thornthwaite et de Bouchet). Ces chiffres nous donnaient l'estimation du volume global d'eau évaporée par un hectare de culture dans un temps donné.

Il nous a paru utile de déterminer non seulement le volume, mais aussi la fréquence des arrosages. Cette donnée a été obtenue en tenant compte de la puissance d'enracinement de la plante dans les différents types de sol rencontrés en Équateur (profils racinaires).

L'ensemble des résultats ainsi accumulés figure sur la carte des irrigations. De nombreux graphiques illustrent cette étude.

Les études concernant l'alimentation en eau des végétaux et leur application à la conduite des irrigations ont montré l'importance qu'il faut attacher aux valeurs instantanées de l'évapotranspiration.

Comme le fait justement remarquer M. HALLAIRE : « d'un point de vue physiologique, la sécheresse ne dépend pas uniquement des réserves en eau du sol, elle correspond au fait que l'évapotranspiration potentielle instantanée est supérieure à la quantité d'eau susceptible de parvenir par unité de temps jusqu'au feuillage. »

Pour la culture bananière, une bonne connaissance des besoins en eau s'impose d'autant plus que le cycle de développement est relativement court, compte tenu du volume de matière végétale élaboré. Les réserves hydriques de la plante sont minimes et peuvent être dépensées en quelques heures de transpiration normale, ce qui oblige le végétal à équilibrer constamment les pertes au niveau du feuillage par les gains renouvelés de l'absorption racinaire.

Si l'on prend comme poids global moyen 200 kg de matière fraîche par bananier (stade

récolte, rejet compris), et une teneur en eau de 90 p. cent, un hectare de bananiers (2 000 pieds) représente quelque 40 m³ « d'eau végétale ». En une seule journée, les pertes par transpiration de ce même hectare peuvent varier de 30 à 60 m³ suivant la vitesse du vent, les degrés d'insolation et d'hygrométrie... Au cours des 9 à 10 mois qui lui sont nécessaires pour arriver au stade récolte, une culture de bananiers consomme facilement de 900 à 1 800 mm d'eau (1) selon les conditions climatiques.

Le développement normal de cette culture suppose donc une pluviométrie abondante et bien répartie, chose malheureusement assez rare. Premier pays bananier exportateur du monde, l'Équateur par exemple possède un climat à pluviométrie déficitaire, dont la principale caractéristique est d'offrir une saison sèche continue dépassant souvent six mois. Au cours de cette longue période, les pertes dûes à l'évapotranspiration bien que limitées en partie sous l'action rafraîchissante du Courant de Humbolt, excèdent largement les réserves en eau du sol, soumettant ainsi les plantes à des conditions limites, ceci plus ou moins rapidement suivant les données écologiques de chaque zone.

Par ailleurs, les plantations de nouvelles variétés (groupe des Cavendish), dont la puissance d'enracinement n'atteint pas celle du Gros Michel, voient réduire sensiblement le volume d'eau mis à leur disposition dans le sol, alors que la consommation journalière globale, par suite d'une plus forte densité de plantation à l'hectare aurait tendance à augmenter.

Dans le but de répondre au problème des besoins en irrigation des variétés Cavendish, une série d'études sur la transpiration stomatique et cuticulaire du bananier par la méthode des pesées de rondelles de feuilles, au moyen de balances à torsion ont été entreprises dans différents secteurs du littoral équatorien.

Elles ont permis de mieux connaître certains aspects du comportement du bananier (variétés Cavendish), vis-à-vis de son alimentation en eau. Les résultats ainsi obtenus ont été comparés aux valeurs de ETP calculées à échelle mensuelle (formule de THORNWAITE) ou journalière (formule de BOUCHET). Conjointement à ces travaux étaient effectuées des séries de profils racinaires tendant à évaluer la capacité d'absorption du système d'enracinement sur différents types de sols.

Il a donc été possible pour chaque zone bananière étudiée, de chiffrer, d'une part le volume d'eau consommé par évapotranspiration, d'indiquer d'autre part les cadences d'irrigation qui semblaient les mieux appropriées.

Les chiffres proposés, obtenus en faisant intervenir le maximum de facteurs possibles ne peuvent cependant revêtir un caractère absolu. Leur but est avant tout d'aider l'agriculteur équatorien à établir un calendrier d'irrigation et de lui offrir des bases de référence pour ses équipements en matériel.

PREMIÈRE PARTIE

TRANSPIRATION STOMATIQUE ET CUTICULAIRE DU BANANIER

A. MATÉRIEL ET MÉTHODES.

Choix de la méthode et observations particulières.

Les moyens mis en œuvre devaient répondre dans la mesure du possible aux deux impératifs suivants : précision des mesures d'une part, grande souplesse de travail d'autre part, permettant de couvrir l'ensemble des zones bananières qui, de Machala à Esméraldas présentent des caractéristiques bien différentes.

Étant donné l'importance du développement végétatif du bananier, il n'était guère possible d'opter pour la méthode des pesées régulières de bacs de culture, ou même celle de l'évapotranspiromètre, bien

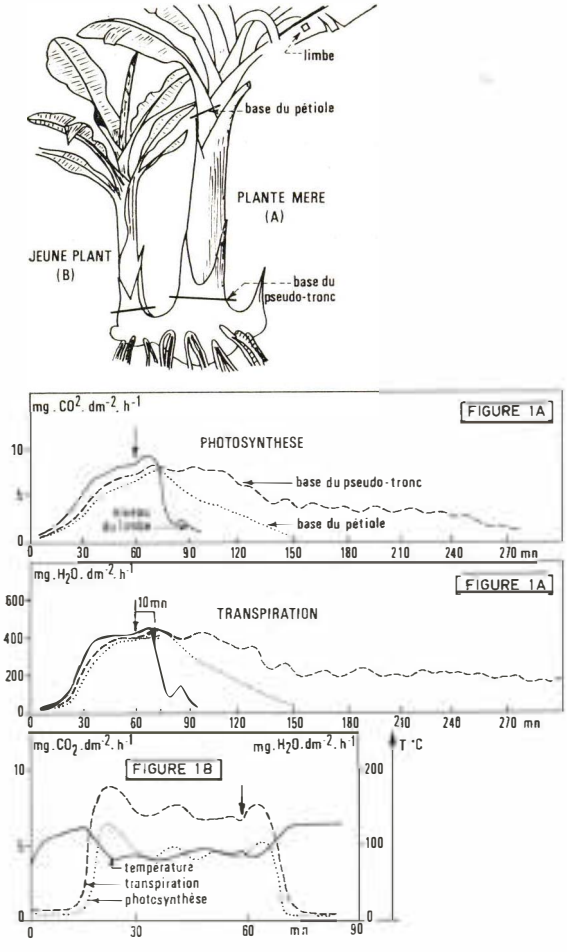
(1) 1 mm d'eau = 10 m³/ha.

que cette dernière solution ait été envisagée pour la Station de Pichilingue.

L'inconvénient majeur de ces techniques est leur fixité ; une fois mis en place, les appareils ne peuvent plus être déplacés. En outre, tout au moins à notre connaissance, elles n'ont pas encore fait l'objet d'études approfondies permettant de les adapter aux « cultures arbustives ».

Nous avons donc choisi la méthode de pesées de disques de feuilles, en plantation, au moyen de balances à torsion portatives, sensibles au demi-mg près, méthode déjà éprouvée sur le bananier depuis les travaux de E. SHMUELI et J. MORELLO (variété Petite Naine).

Avant de généraliser les pesées sur une grande échelle, un facteur physiologique important a retenu notre attention. Il n'est d'ailleurs pas propre au bananier puisque G. Lemée l'a signalé également sur d'autres espèces végétales. Il s'agit de « l'ouverture stomatique après coupure ».



Lorsqu'il y a rupture des tensions dans les colonnes capillaires du xylème, une certaine quantité d'eau se trouve brutalement libérée au niveau des tissus de la feuille, ce qui entraîne une « surtranspiration » dans les quelques minutes suivant la coupure. La courbe de perte en eau connaît donc une remontée assez sensible pour redescendre ensuite et tendre régulièrement vers 0.

Le temps au cours duquel s'effectue la lecture de transpiration par pesées successives doit donc être choisi de telle sorte que puissent s'équilibrer les erreurs dûes à la « surtranspiration » des premières minutes et celles occasionnées par la « sous transpiration » survenant au moment où les tissus connaissent une alimentation en eau inférieure à la normale.

Dans cet aspect délicat du phénomène « coupe foliaire », nous disposions des travaux remarquables de W. A. BRUN sur l'activité respiratoire du Gros Michel.

Les techniques mises au point par cet auteur, lui permettaient de suivre en continu et avec une grande précision l'état des échanges de fluides (CO_2 vapeur d'eau) *in vivo*, sans traumatiser les tissus de la feuille intéressée. Les appareils de lecture utilisés : analyseur infra-rouge de CO_2, hygromètre au chlorure de lithium, thermocouple, se trouvaient reliés en amont à une chambre de volume connu adhérant parfaitement à la surface du limbe, et en aval à une chaîne d'enregistrement automatique. Les résultats figurent au graphique I.

Un bananier adulte (courbe A) sectionné à la base du pseudo-tronc voit sa transpiration se prolonger sensiblement au-delà de 4 h, en condition de faible éclairement, grâce aux réserves hydriques accumulées dans le pseudo-tronc. Le tracé sinueux de la courbe indique qu'il y a régulation stomatique avec succession d'ouvertures et de fermetures des stomates. Sur les jeunes bananiers à pseudo-tronc peu développés, cette observation cesse d'être valable (courbe B).

Revenons à la courbe A : on s'aperçoit que l'effet coupure est déjà plus marqué au niveau du pétiole

FIG. 1. — Courbes de photosynthèse et transpiration sur bananier Gros-Michel après coupure des faisceaux vasculaires à différents niveaux (d'après William A. Brun, Plant Physiology, 1961). 1 A. *Plante adulte*. Au temps 0, la plante reçoit 24 000 lux. Au temps 60 mn (↓), le système vasculaire est sectionné au niveau du limbe, à la base du pseudo-tronc et à la base du pétiole. 1 B. *Jeune plant*. Évolution de la température, la transpiration et la photosynthèse d'un jeune plant de Gros-Michel. Au temps 0, éclairement à 26 000 lux. Au temps 60 mn (↓), coupure à la base du pseudo-tronc. Les faibles réserves en eau du jeune tronc ne permettent pas un prolongement de l'activité des échanges de fluides.

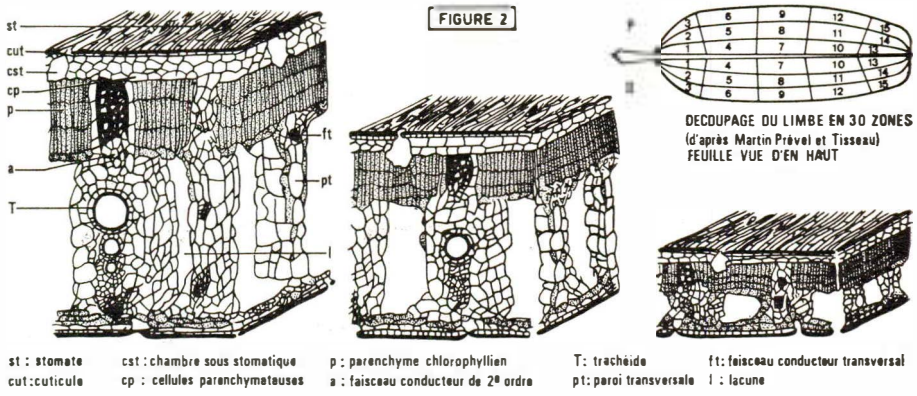


FIG. 2. — Vue schématique des tissus du limbe d'un bananier Poyo (suivant les zones N, C et E). Hauteur de prélèvement : 1 m à partir de la base du limbe = zone 4-7.

	2 CM DE LA BANDE PULVINAIRE (ZONE N)	22 CM DE LA BANDE PULVINAIRE (ZONE C)	44 CM DE LA BANDE PULVINAIRE (ZONE E)
Épaisseur du limbe en μ.....	780	500	220
Épaisseur du tissu palissadique en μ.	160	130	70
Épaisseur de la lacune en μ.....	460	280	120
Nombre de stomates, mm², face inf.	220	230	130
Nombre de stomates, mm², face sup.	70	55	30
Faisceaux conducteurs.....	plusieurs trachéides + phloème	1 à 2 trachéides + phloème	très peu de xylème phloème

mais qu'il atteint son maximum d'intensité au niveau du limbe.

L'étude des courbes obtenues par W. A. BRUN montre que dans ce dernier cas, les erreurs faites par excès et par défaut peuvent approximativement se compenser si la dernière pesée n'excède pas 10 mn après coupure. On a ainsi des chances raisonnables d'obtenir des chiffres de transpiration stomatique et cuticulaire voisins de la transpiration réelle.

Toutes les expériences qui suivent ont donc été conduites en adoptant un temps de lecture de 10 mn, réparti sur trois pesées : temps 0 (15 s après la coupure effective), temps 5 mn et temps 10 mn.

La transpiration au cours de la tranche 0-5 mn s'est donc trouvée légèrement supérieure à celle de la tranche 5 mn-10 mn mais c'est la moyenne de ces deux lectures qui était retenue.

Une rondelle de Piche témoin, de même surface, placée dans des conditions identiques nous fournissait un indice constant de la validité des pesées étant donné sa perte de poids régulière.

Choix des zones de prélèvement sur l'appareil foliaire du bananier.

Une seconde particularité du bananier, que l'on peut d'ailleurs retrouver sur d'autres plantes appartenant à la famille des Musacées, est la dimension inaccoutumée de l'appareil foliaire. Une feuille de Gros Michel développe une superficie de l'ordre de 3,5 m² ; sur les variétés Cavendish cette surface tombe à 2,5 m² mais atteint 6 m² chez Ravenala. Cette énorme étendue foliaire, l'une des plus grandes rencontrées dans le règne végétal si l'on excepte les plantes à feuilles composées est loin de présenter des propriétés homogènes tant du point de vue anatomique que physiologique.

Il était donc nécessaire de sélectionner des zones de prélèvement sur la feuille, nous permettant de tester l'état général de turgescence et de transpiration de l'ensemble de la feuille. De plus, ces secteurs foliaires étant bien définis, on éliminait, en grande partie tout au moins, les « effets de zone ».

Si l'on prend comme base de référence, l'axe formé par la nervure centrale, on s'aperçoit que les caractéristiques du limbe varient dans un sens longitudinal et dans un sens transversal. Ce sont toutefois les variations transversales qui sont les plus accusées ; elles correspondent d'ailleurs à un mécanisme physiologique classique chez le bananier, celui du repliement des limbes à partir d'un certain seuil de déficit hydrique. En cas de déficit plus sévère, un deuxième seuil est atteint provoquant une courbure de la nervure en arc de cercle (effet longitudinal). Toutefois,

cette dernière condition est rarement constatée sous le climat de la côte équatorienne. Elle affecte principalement les petites plantations situées en zone montagneuse aride.

Pour des raisons de commodité et d'efficacité, nous avons donc choisi arbitrairement une hauteur type sur la feuille, celle du premier tiers inférieur. A ce niveau, nous avons retenu trois zones, l'une très proche de la nervure centrale et de la bande pulvinaire appelée N, l'autre centrale C à mi-distance de l'extrémité, enfin une zone marginale ou d'extrémité appelée E.

La figure II représente une vue schématique en perspective de ces différents secteurs, avec au bas de chacun d'eux, un résumé de leurs principales caractéristiques histologiques. Les différences observées concernent essentiellement l'épaisseur du limbe qui varie presque dans les proportions de 1 à 4, la densité de stomates qui, pour la face inférieure, est 3 fois plus forte dans la zone N, la nature du système vasculaire. Dans la zone marginale, le xylème est réduit à sa plus simple expression et les trachéides ne sont pas visibles distinctement. Le phloème, bien que visible, est de taille nettement inférieure. En outre, les espaces lacunaires de la zone N, considérables, laissent supposer qu'à leur niveau les échanges de fluides y sont plus actifs.

Les études de transpiration se déroulaient généralement de 8 à 17 h. Les échantillons prélevés comprenaient 18 à 20 séries lorsque l'activité stomatique était conjointement observée, et de 9 à 10 séries dans l'hypothèse inverse. Les prélèvements successifs se faisaient vers le sommet étant entendu que les mouvements de sève dans cette direction sont d'importance mineure puisqu'ils doivent emprunter de fines commissures reliant les nervures secondaires (AF. Skutch).

Du point de vue de la classification en trente zones établie par P. Martin-Prével et R. Tisseau, nous nous situons suivant les zones N, C et E, à cheval entre les secteurs 4 et 7, 5 et 8, 6 et 9 du côté P (voir graphique II).

Tous les prélèvements furent en effet exécutés sur le demi-limbe enveloppant, déroulé le premier d'où son appellation P.

Le protocole de prélèvement des rondelles étant défini, il restait à déterminer les feuilles qui feraient l'objet de la lecture et leur ordre. Il convient de rappeler que les observations étaient faites sur des plantes portant des régimes d'un âge estimé à 30 jours (stade de remplissage du fruit). C'est-à-dire que la feuille I avait obligatoirement un âge supérieur à 30 jours et qu'elle était donc physiologiquement différente des feuilles I de plantes non fleuries.

Deux solutions ont été adoptées :

— pour l'étude de la transpiration relative et de la transpiration relative corrigée qui s'est déroulée tout au long de la saison sèche à Pichilingue, seule a été retenue la feuille II.

— dans les lectures entreprises en dehors du secteur de Pichilingue, nous avons effectué des observations simultanées sur feuille I, III, V, en utilisant deux balances à torsion.

— nous avons également testé l'activité des feuilles II et X sur parcelle sèche et irriguée.

Matériel et protocole de pesée.

Les rondelles étaient prélevées au moyen d'un anneau de bronze soigneusement affûté de 6,60 cm² de surface, une plaque de carton rigide de 10 × 10 cm étant placée sur le côté opposé de la feuille au moment du découpage.

Un premier prélèvement était exécuté en même temps sur les zones N, C et E, les rondelles étant immédiatement plongées dans un bain de collodion ; elles étaient ensuite séchées et numérotées. On avait préalablement dilué dans l'éther la solution commerciale de collodion pour obtenir la finesse désirée du film après séchage.

On effectuait ensuite le second prélèvement N, C et E pour la pesée dans les mêmes conditions. Aussitôt, le chronomètre était déclenché et l'on pesait dans l'ordre : la rondelle de Piche noircie et ramenée à 6,60 cm², puis les rondelles N, C et E. L'ensemble de cette opération demandait 2 mn ; les gestes du manipulateur avaient été auparavant chronométrés. Après chaque pesée, les rondelles étaient enfilées sur un mince fil de cuivre situé à 2 m du sol. Aux temps 5 mn et 10 mn la même opération était renouvelée.

Quand la série de pesées avait pris fin, les rondelles étaient placées dans des boîtes de Pétri numérotées et garnies dans leur fond d'un papier buvard largement humecté d'eau permutée ; elles étaient ensuite stockées sur le terrain, à l'obscurité, puis acheminées au laboratoire pour une période de 24 h, temps au bout duquel, elles étaient à nouveau pesées, ce qui fournissait le poids à pleine turgescence. Elles étaient ensuite séchées aux infrarouges et pesées une dernière fois.

La turgescence relative Tr était calculée selon la formule classique :

$$Tr = 100 \frac{PF - PS}{PT - PS}$$

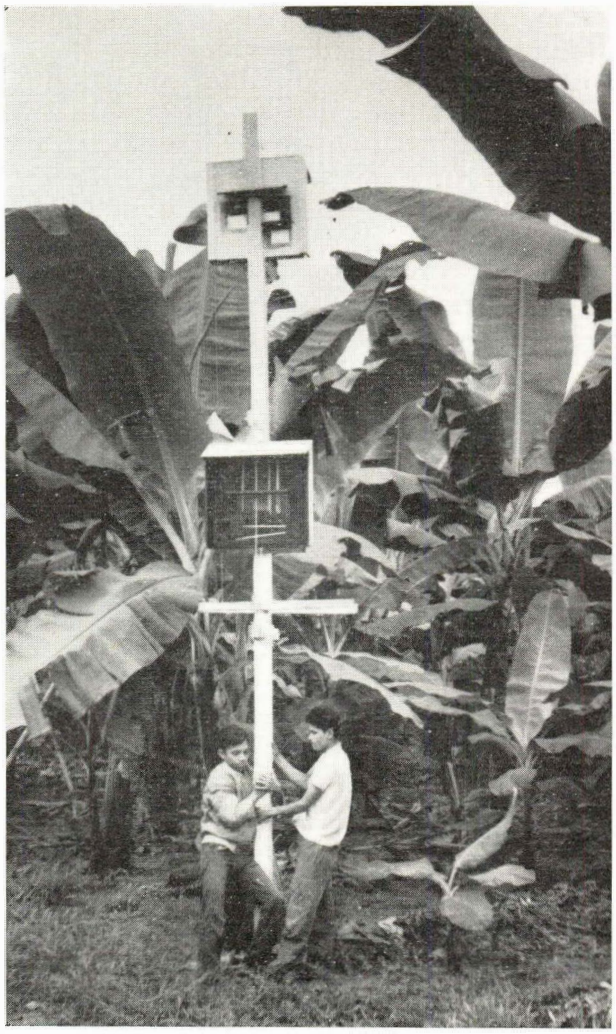


Photo 1. — Tableaux mobiles équipés de psychromètres et de thermomètres (2 et 4 m). Mise en place.

où PF : poids frais (pesée de la rondelle au temps 0 sur le terrain) ;
PT : poids à pleine turgescence ;
PS : poids sec.

Les études entreprises à Pichilingue comportaient deux parcelles voisines, l'une irriguée, l'autre sèche. Nous nous déplacions toutes les demi-heures d'une parcelle à l'autre.

Les rondelles soumises au traitement de collodion étaient observées le lendemain en laboratoire, le film une fois décollé était examiné au microscope à fort grossissement, un occulaire gradué et étalonné permettait de mesurer l'ouverture de l'ostiole.

Il était donc possible de connaître conjointement pour les deux parcelles envisagées : les valeurs de la transpiration, le degré d'ouverture des stomates, la turgescence relative, la transpiration relative T/E et la transpiration relative corrigée $\varepsilon . \varphi$ (abaque de Bouchet).

Toutes ces données ont été comparées aux différents paramètres physiques suivants :

Intensité lumineuse exprimée en lux, par lectures sur luxmètre chaque demi-heure en bordure de plantation.

Potentiel de l'eau dans l'air calculé d'après la formule :

$$\psi = 10{,}497 \ T \log \frac{100}{e}$$

T : température absolue º K ;
e : humidité relative p. cent ;
ψ : étant exprimé en atmosphères.

La température absolue et l'humidité nous étaient fournies par un psychromètre placé sur tableau mobile à 6 m de hauteur en bananeraie. D'autres tableaux mobiles placés à 4 et 2 m nous ont permis d'obtenir des valeurs étagées, mais seule la hauteur 6 m a été retenue (lecture toutes les 1/2 h).

Potentiel de l'eau dans le sol exprimé en bars. Cette valeur nous était donnée par lecture directe de tensiomètres placés à 60 cm de profondeur en parcelle sèche et irriguée (lecture 3 fois par jour).

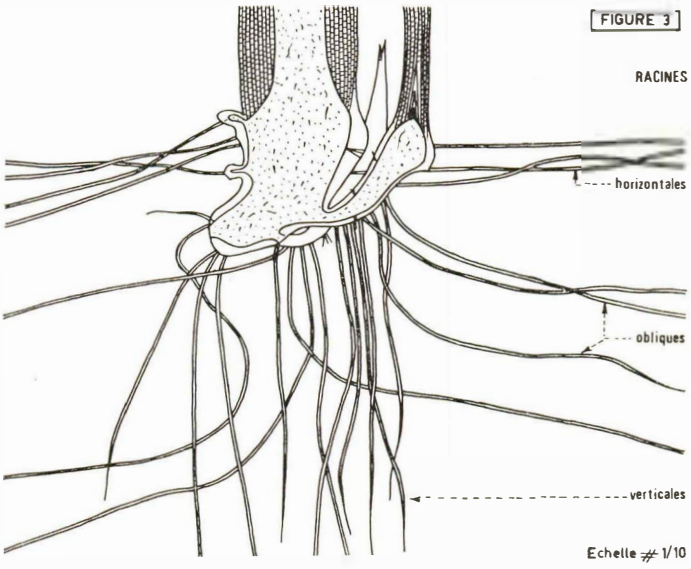


Fig. 3. — Position des racines d'un bananier Poyo. Les racines figurant sur le schéma sont issues de la zone correspondant au plan de coupe du bulbe.

Profil racinaire.

L'ensemble des lectures de transpiration était conduit par une équipe de trois personnes ; dans le même temps, à quelques mètres de là une seconde équipe de sept hommes entraînés spécialement s'occupait de déraciner entièrement un autre bananier type porteur d'un régime estimé à 30 jours.

Un moniteur relevait les dimensions de l'appareil foliaire, du pseudo-tronc, de la souche, des racines ainsi que le poids de ces organes. Les racines mises à jour étaient classées en racines de rejet et racines de plante mère, chacune de ces deux catégories se subdivisant elle-même en racines horizontales, obliques et verticales, avec notation des horizons correspondants.

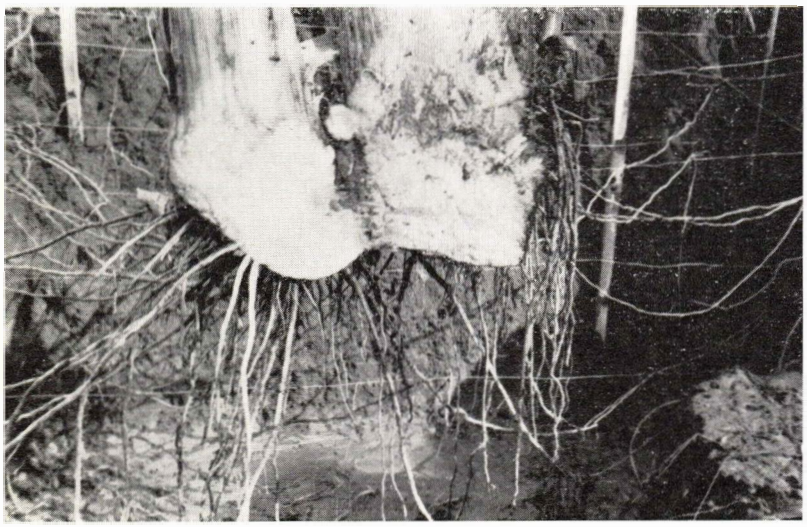
La longueur de chaque racine était inscrite. Nous avons reproduit sur la figure III un profil racinaire observé sur un bananier Poyo à Pichilingue ; les trois classes de racines que nous venons de mentionner y sont bien distinctes.

Dans le cas d'enraciments superficiels, cette classification se réduisait en racines horizontales et racines profondes. Les résultats ont été portés sur graphiques et diagrammes racinaires. La longueur des racines dans les différents horizons du sol nous donnait une assez bonne estimation de la capacité d'absorption racinaire.

Chaque fois qu'il a été possible, nous avons fait intervenir les données relatives à « l'eau utile » entre pF 4,2 et 2,8 en utilisant les études pédologiques réalisées sur les sols d'Équateur par F. Colmet-Daage, F. Cucalon, M. Delaune, J. et M. Gautheyrou et coll.

De nombreux profils hydriques furent également effectués par dessèchement d'échantillons de sol à l'étuve.

Photo 2. — Repérage des racines suivant leur appartenance (rejet ou plante mère).



B. Résultats et discussion.

Données générales recueillies, comparées et discutées.

Les pesées de rondelles de feuille échelonnées au cours de la journée fournissent une série de valeurs qui peuvent être portées sur graphique et mises en courbe. La lecture au planimètre de ces courbes aboutit à l'estimation d'un taux moyen de transpiration d'une surface de référence, surface qui pourra être

Photo 4. — Repérage des racines.

étendue à l'ensemble de la superficie foliaire de la plante ou d'un hectare de culture.

Cette méthode n'est pas à l'abri d'erreurs importantes dues au manque d'homogénéité de l'appareil foliaire du bananier et au calcul plus ou moins approché de sa surface. Nous avons utilisé pour notre part un taux moyen entre les zones N, C et E mais négligé pour des raisons pratiques, le gradient de transpiration dans le sens longitudinal. Par ailleurs, l'activité des feuilles âgées au-delà du rang V n'a pas été testée d'une façon systématique.

Il existe également une autre source d'erreurs, purement bioclimatologique cette fois. Une lecture toutes les heures ou même toutes les demi-heures n'est pas suffisante pour intégrer l'ensemble des facteurs météorologiques. Le tracé de la courbe lui-même représente une extrapolation assez grossière puisqu'il y a changement d'échelle ; on passe en effet de l'échelle turbulente *e2* de l'ordre de la seconde à l'échelle de « convection et mouvements associés » *e3* de l'ordre de la minute à quelques heures.

Toutefois, par temps couvert et peu ventilé, les fluctuations de « l'évapotranspiration potentielle ponctuelle », dans des intervalles de temps de quelques minutes, ou sur des distances de quelques mètres s'atténuent. Rappelons que les zones bananières d'Équateur situées juste au pied des Andes sont remarquablement protégées de l'influence des vents dominants.

La surface foliaire type retenue sur un bananier Cavendish a été de 20 m², rejet compris, au stade floraison, et la densité de plantation hectare, 2 000 pieds, ce qui nous donnait un indice foliaire de 4.

Les valeurs de la transpiration journalière d'un hectare de culture fournies par la méthode écologique de pesées de rondelles, oscillent autour de ETP Bouchet journalière. Dans l'estimation des volumes d'eau effectivement consommés, il est cependant préférable de se baser sur cette dernière formule qui reflète mieux l'influence des facteurs météorologiques de longue durée, quinzaine ou mois.

La méthode écologique, grâce à l'accumulation d'un nombre important de lectures a permis de mettre en évidence certains phénomènes de transpiration propres au bananier, et en particulier la manière dont cette plante équilibre ses pertes en eau ; mais pour la consommation globale proprement dite, nous avons préféré nous baser sur les valeurs de ETP.

Écarts de transpiration observés.

La gamme de transpiration obtenue a varié de 0,17 à 3 g/dm²/h. Des études comparatives avec les travaux de E. Shmueli et J. Morello nous ont donné des conclusions intéressantes quant à la concordance des valeurs de transpiration relevées en Équateur et celles proposées par ces deux auteurs en Israël et au Brésil.

Morello, par exemple, a montré qu'en jour couvert le maximum de transpiration s'élevait à 1,2 g/dm²/h. Ce maximum a été également noté à Pichilingue les 9 et 20-7-1967, jours à héliophanie nulle. Par temps très ensoleillé, on retient un maximum de 2,8 sur zone C et 3,0 sur zone N toujours plus active, chiffres qui sont en accord également avec les résultats de ces auteurs.

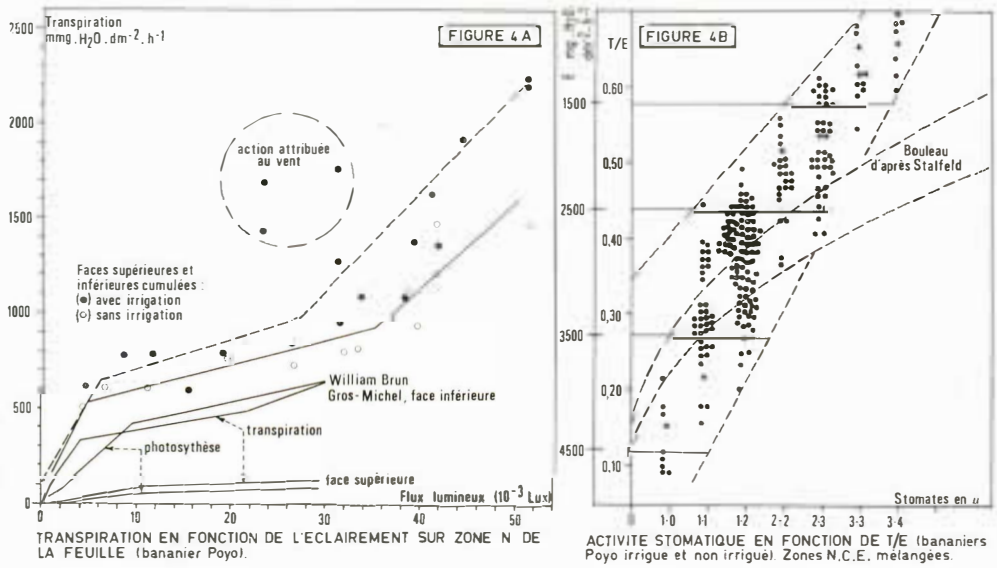


Fig. 4. — Transpiration en fonction de l'intensité lumineuse. Activité stomatique en fonction du rapport T/E. 4 A. Transpiration en fonction de l'éclairement sur zone N de la feuille (bananier Poyo). 4 B. Activité stomatique en fonction de T/E ; bananiers Poyo irrigué et non irrigué ; zones N, C et E mélangées.

On peut considérer qu'un minimum de 0,6 est de règle, le matin de bonne heure en climat tropical. Si à Sao Paulo, la transpiration est descendue à 0,1 cela doit provenir d'un rafraîchissement nocturne important (études effectuées à 25° de latitude sud, en saison hivernale).

Des raisons purement bioclimatologiques ne peuvent à elles seules justifier ce même minimum observé à deux reprises en région équatorienne, à Esmeraldas et Machala sur zone E. Il s'agirait plutôt d'un déficit hydrique accidentel occasionné par des parasites du bananier (charençons ou nématodes).

Facteur intensité lumineuse.

Dans ce cas également nous avons pris comme référence les travaux de W. A. Brun, qui couvraient une gamme assez fine d'intensités lumineuses, obtenues au moyen de tubes fluorescents. Les bananiers mis en observation étaient cultivés en serre, ce qui impliquait une intensité lumineuse ne dépassant pas 29 000 lux. Les maxima de transpiration sous cette intensité s'élevaient à 700 mg $H_2O/dm^2/h$ pour la face inférieure et 150 pour la face supérieure du limbe, soit un tortal de 0,85 $g/dm^2/h$.

En climat tropical, l'intensité lumineuse dépasse habituellement 30 000 lux. Nous ne disposions malheureusement que d'un appareil étalonné jusqu'à 50 000 lux. Nous n'avons cependant pas remarqué de taux de transpiration nettement différents pour les quelques éclairements affichant des valeurs supérieures à 50 000 lux. Le seuil de saturation lumineuse se situerait donc à ce niveau. Signalons que R. Murgrave et R. Lemon ont trouvé par exemple pour le maïs, en terrain découvert un seuil de saturation voisin de 60 000 lux.

Nous avons tracé sur la figure IV A la courbe des transpirations observées en champ, en fonction de l'intensité lumineuse prise en bordure de plantation. De 400 à 30 000 lux, la courbe présente une pente sensiblement identique à celle de W. A. Brun. Les valeurs sont un peu supérieures, ce qui est normal puisqu'elles constituent la somme des pertes en eau sur les deux faces.

Dans ce même intervalle, les différences entre parcelle irriguée et parcelle sèche ne sont pas accentuées.

La valeur 30 000 lux est le seuil à partir duquel la couche nuageuse se dissipe. Au voisinage de cette intensité, la lumière solaire n'est que légèrement filtrée par des nuages de la classe CM4 du genre altocumulus (1).

(1) Classification du U. S. weather bureau cloud code chart.

Soumis à un éclairement solaire direct, le bananier augmente sa transpiration dans des proportions importantes : dans les premiers 30 000 lux il atteint à peine 1 g, alors que de 30 à 50 000 lux il passe de 1 g à 3 $g/dm^2/h$.

Chez la plupart des plantes anisohydriques parmi lesquelles figure le bananier, la courbe de photosynthèse suit approximativement celle de la transpiration. Cela indiquerait chez ce dernier une nette amélioration du coefficient photosynthétique à partir de 30 000 lux, à condition toutefois que l'alimentation en eau reste normale. On retrouve ici la loi bien connue du facteur limitant figurée par une différence de pente entre les deux courbes (parcelles sèche et irriguée) plus accentuée à partir de 30 000 lux.

La couche nuageuse est d'épaisseur variable suivant les zones bananières équatoriennes ; elle se dissipe donc plus ou moins rapidement. Il convient cependant de rappeler que le spectre d'absorption de la vapeur d'eau est complet dans la gamme de longueur d'onde allant de 5,5 à 7 u et à partir de 14 u et au-delà (G. C. Simpson) ; il absorbe surtout dans l'infrarouge, mais laisse intact le violet, le bleu et partiellement le rouge. Lorsque les phénomènes de réflexion sont faibles (épaisseur de la couche nuageuse inférieure à 60 m, genre CM4), la transpiration baisse notablement par suite de refroidissement occasionné par la filtration des infrarouges, mais l'énergie lumineuse absorbée par la photosynthèse reste en grande partie disponible, parce que proportionnellement moins filtrée.

Mais bien souvent la couche nuageuse dépasse 60 m et les intensités lumineuses enregistrées au luxmètre sont voisines de 15 000 lux. Cela explique les faibles besoins en eau de certains secteurs bananiers surtout dans la partie nord de la zone centrale où la réflexion de la lumière solaire plus importante peut réduire la transpiration du bananier jusqu'au tiers de sa valeur normale (région de S. Dominga).

Activité stomatique.

Dans l'estimation du degré d'ouverture des stomates, nous avons choisi la méthode du film de collodion qui nous offrait la possibilité de décomposer les manipulations de rondelles et d'étaler les observations sur deux jours.

Les travaux de J. Morello et E. Shmueli ne concordent pas sur ce point, le premier faisant état d'une ouverture maxima de 3 u, alors que le second propose 5 et 8 u, aussi bien pour les faces inférieure et supé-

TABLEAU I.

TRANSPIRATION STOMATIQUE ET CUTICULAIRE DU BANANIER : STATION DE PICHILINGUE - FEUILLE II 1/2 LIMBE ENVELOPPANT 1/3 INFERIEUR

heures du jour	9 juillet 1967				15 septembre 1967													2 novembre 1967												
	pas d'irrigation				parcelle irriguée						parcelle sèche							parcelle irriguée						parcelle sèche						
	H_2O	T/E	E	Tr	H_2O	T/E	E	Stomates ↗	Stomates ↘	Tr	H_2O	T/E	E	Stomates ↗	Stomates ↘	Tr	Lux	H_2O	T/E	E	Stomates ↗	Stomates ↘	Tr	H_2O	T/E	E	Stomates ↗	Stomates ↘	Tr	Lux
7	636	1	1	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	636	1	1	97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		0,71	0,35	92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	727	0,88	0,65	98	1000	0,57	0,22	1-2	2-2	96	727	0,44	0,15	1-2	1-2	95	7.000	818	0,56	0,22	1-2	2-3	95,4	636	0,46	0,16	1-2	2-2	97,0	5.000
	636	0,77	0,45	99	818	0,47	0,17	1-2	2-2	98	727	0,44	0,15	1-2	1-2	99		636	0,43	0,15	1-2	1-2	95,9	636	0,46	0,16	1-2	2-2	97,5	
	636	0,77	0,45	93	818	0,47	0,17	1-2	1-2	97	454	0,27	0,08	1-2	1-2	93		454	0,31	0,10	1-2	1-2	90,9	363	0,26	0,05	1-1	1-1	91,8	
9	636	0,87	0,64	98	1000	0,55	0,21	1-1	2-3	96	909	0,50	0,17	1-2	2-3	99	18.000	727	0,66	0,30	1-2	3-3	95,9	636	0,50	0,20	1-2	2-3	95,4	7.800
	636	0,87	0,64	98	1090	0,59	0,25	1-1	2-3	99	545	0,29	0,10	1-2	1-2	99		636	0,58	0,22	1-1	2-3	92,3	636	0,50	0,20	1-2	2-3	94,8	
	363	0,49	0,18	93	727	0,39	0,13	1-1	1-1	88	454	0,24	0,06	1-1	1-1	97		545	0,50	0,18	1-1	2-1	89,0	454	0,35	0,12	1-1	1-1	91,6	
10	636	0,77	0,45	98	1363	0,59	0,25	1-2	2-3	92	1363	0,55	0,21	1-2	2-3	94	37.000	1000	0,68	0,34	1-2	2-3	97,3	727	0,42	0,14	1-2	1-2	96,4	12.000
	545	0,66	0,30	98	1272	0,55	0,21	1-1	2-2	94	636	0,25	0,06	1-1	1-1	97		636	0,43	0,15	1-2	1-2	95,7	545	0,31	0,11	1-2	1-2	96,3	
	636	0,88	0,65	91	909	0,40	0,14	1-1	1-1	93	454	0,18	0,05	1-0	1-0	94		545	0,37	0,13	1-1	1-1	89,4	454	0,26	0,08	1-2	1-2	92,6	
11	636	0,50	0,18	94	1727	0,70	0,35	2-1	3-4	97	1545	0,38	0,13	1-2	1-2	95	40.000	1181	0,51	0,18	1-2	2-3	94,4	818	0,44	0,15	1-2	1-2	97,8	25.000
	727	0,57	0,22	90	1545	0,62	0,26	2-1	3-3	97	727	0,18	0,05	1-1	1-1	96		1000	0,44	0,15	1-2	1-2	94,4	818	0,44	0,15	1-2	1-2	97,2	
	727	0,57	0,22	89	1272	0,51	0,18	1-2	2-2	88	545	0,13	0,04	1-0	1-0	95		1000	0,44	0,15	1-1	1-2	92,4	636	0,34	0,12	1-2	1-2	92,1	
12	1090	0,79	0,47	97	636	0,10	0,02	0-1	1-0	96	1818	0,30	0,10	1-1	1-1	93	50.000	1363	0,46	0,15	1-2	2-2	97,6	1090	0,39	0,14	1-2	1-2	96,1	32.000
	1000	0,73	0,37	95	909	0,15	0,05	0-1	1-0	82	1000	0,16	0,05	1-1	1-1	90		1090	0,37	0,13	1-2	1-2	96,5	1181	0,43	0,15	1-2	1-2	95,4	
	1090	0,79	0,47	-	1363	0,23	0,07	0-1	2-3	84	545	0,09	0,02	1-0	0-1	83		909	0,31	0,11	1-2	1-2	92,2	727	0,26	0,08	1-2	1-2	92,5	
13	1272	0,87	0,64	96	1818	0,30	0,10	1-1	1-2	94	1818	0,46	0,15	1-2	2-2	95	50.000	1727	0,51	0,18	1-2	2-3	97,1	1181	0,40	0,15	1-2	1-2	96,2	38.000
	1181	0,81	0,47	96	1000	0,16	0,05	1-0	1-0	93	1545	0,39	0,13	1-1	1-1	91		1363	0,40	0,15	1-2	1-2	95,2	1000	0,34	0,12	1-2	1-2	96,7	
	1000	0,68	0,32	89	545	0,09	0,02	0-1	1-0	93	1000	0,25	0,06	1-1	1-1	91		1090	0,32	0,11	1-2	1-2	94,3	636	0,21	0,06	1-2	1-2	91,8	
14	1090	0,63	0,27	91	2090	0,60	0,25	1-2	2-3	94	1909	0,52	0,21	1-2	2-3	94	40.000	1181	0,54	0,21	1-2	2-3	96,7	1000	0,44	0,15	1-2	1-2	97,1	30.000
	1090	0,63	0,27	95	1909	0,55	0,21	1-2	2-2	94	1363	0,37	0,13	1-1	1-1	88		1000	0,45	0,15	1-2	2-3	96,4	818	0,36	0,12	1-2	1-2	97,4	
	1000	0,57	0,22	81	1454	0,42	0,15	1-2	1-2	81	454	0,12	0,04	1-0	1-0	90		909	0,41	0,15	1-2	1-2	92,8	636	0,27	0,08	1-2	1-2	91,8	
15	727	0,53	0,20	92	1818	0,60	0,25	1-2	3-3	93	1727	0,47	0,17	1-2	2-3	90	20.000	1090	0,70	0,35	1-2	3-4	95,4	727	0,47	0,17	1-2	2-3	95,6	25.000
	909	0,66	0,30	86	1636	0,54	0,21	1-2	2-2	93	1090	0,29	0,10	1-1	1-1	84		636	0,41	0,15	1-2	1-2	91,6	636	0,41	0,15	1-2	1-2	95,4	
	909	0,66	0,30	92	1090	0,36	0,12	1-2	1-2	80	1090	0,29	0,10	1-1	1-1	89		545	0,35	0,12	1-2	1-2	90,4	454	0,29	0,10	1-2	1-1	91,6	
16	1090	0,74	0,37	97	1616	0,58	0,22	1-2	2-2	97	2363	0,64	0,28	1-2	3-4	94	10.000	727	0,61	0,26	1-2	2-3	96,6	727	0,57	0,22	1-2	2-3	97,5	15.000
	818	0,56	0,22	91	1636	0,52	0,21	1-2	2-2	94	1454	0,39	0,15	1-2	1-2	95		545	0,46	0,16	1-2	1-2	95,0	545	0,42	0,15	1-2	1-2	94,8	
	818	0,56	0,22	-	1090	0,35	0,12	1-2	1-2	83	1090	0,29	0,10	1-2	1-1	90		454	0,38	0,13	1-2	1-2	90,0	454	0,35	0,12	1-2	1-2	93,3	
17	727	0,61	0,26	98	1800	0,60	0,25	1-2	2-3	97	-	-	-	-	-	-	850	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	727	0,61	0,26	96	1700	0,35	0,12	1-2	1-2	95	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	636	0,53	0,20	95	1200	0,40	0,14	1-2	1-2	92	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
					10 % des feuilles faisant un angle de 45°						10 % des feuilles se touchant par les limbes inférieurs																			

E = transpiration relative corrigée
Stomate ↗ = diamètre en μ de l'ostiole sur la face supérieure
Stomate ↘ = face inférieure
T/E = transpiration relative
Tr = turgescence relative
Lux = valeur en lux de l'intensité lumineuse en bordure de plantation
H_2O = eau transpirée en mmgr. dm^{-2} h^{-1}

N. B. - Dans chaque case les trois chiffres sont ceux de haut en bas des zones N, C et E.

rieure du limbe. Il est possible que cette divergence ait pour origine l'ordre des feuilles observées : MORELLO semble avoir travaillé sur feuilles récemment déroulées alors que SHMUELI a fait toutes ses expériences sur feuille III. Mais il se peut aussi que les conditions particulièrement arides de la vallée du Jourdain aient entraîné certaines adaptations écologiques permettant au bananier d'être meilleur économe d'eau.

Les ouvertures d'ostioles de la face inférieure observées en Israël se rapprochent de celles que nous avons trouvé en Équateur à savoir de 3 à 4 u avec une lecture exceptionnelle de 5 u sur parcelle irriguée à Pichilingue.

En ce qui concerne la face supérieure, nous n'avons pas noté d'ouvertures supérieures à 1-2 u.

Les chiffres que nous proposons représentent une moyenne de 25 lectures choisies au hasard sur les rondelles de zone N, C et E. L'échelle de lecture est graduée en fonction de la limite de résolution d'ouverture que nous pouvions déterminer : I-I signifie que plus de 50 p. cent des ostioles ont une ouverture égale à I u, I-2 : plus de 50 p. cent des lectures s'équilibrent entre 1 et 2 etc.

Un bon moyen de tester l'activité stomatique d'une plante est d'exprimer le degré d'ouverture de ses stomates en fonction de la transpiration relative : T/E. La valeur E représente en fait « l'évapotranspiration ponctuelle instantanée » ou perte d'une surface évaporante normale ponctuelle (rondelle de Piche). La transpiration T de la rondelle de végétal se rapproche d'autant plus des conditions d'évaporation E que les stomates sont largement ouverts. C'est ainsi que le 9-7-67 à 7 h du matin (tableau I), nous avons obtenu à Pichilingue un T/E égal à I, les pertes en eau des deux rondelles étant identiques. Généralement les rapports

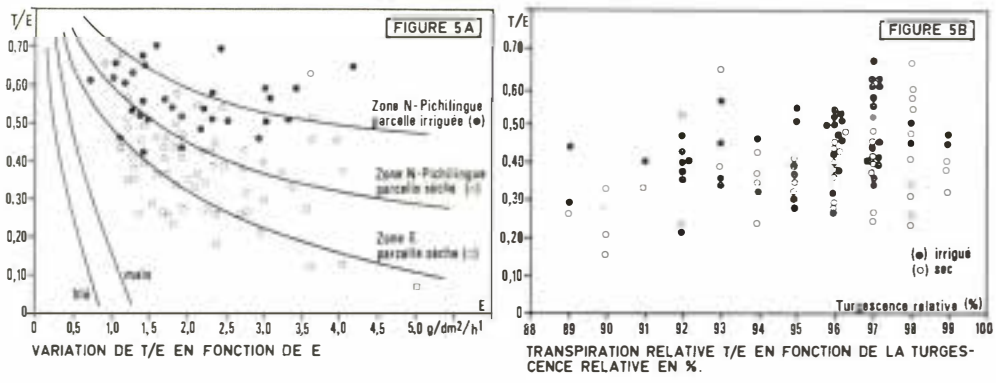


Fig. 5. — Variation de T/E en fonction de l'évapotranspiration ponctuelle instantanée et de la turgescence relative. 5 A. Variation de T/E en fonction de E (les résultats sur maïs et blé sont empruntés à S. de Parcevaux : climat de la région parisienne). 5 B. Transpiration relative T/E en fonction de la turgescence relative en p. cent (jours couverts, 31-7 et 21-8-67, Pichilingue. La dispersion des points montre le caractère anisohydrique du bananier).

T/E élevés, c'est-à-dire voisins de 1 se remarquent le matin de bonne heure lorsque les stomates sont bien ouverts, ou le soir, quelques heures avant le coucher du soleil. Dans le milieu de la journée par contre, le végétal aura tendance à limiter ses pertes en eau par fermeture de ses stomates et la courbe de transpiration T pourra s'écarter notablement de E, d'où une chute du rapport T/E.

Chez les plantes à bonne régulation stomatique, la transpiration relative T/E, exprimée en fonction de l'ouverture des stomates, donne une courbe semblable à celle que nous avons empruntée à M. G. Stalfelt pour le bouleau (voir figure IV, B). L'étalement des valeurs de T/E se fait dans le sens des plus grandes ouvertures de stomates ; en effet, lorsque l'ostiole est grand ouvert, la transpiration se rapprochant de E est beaucoup plus sujette aux aléas météorologiques. En outre, la plage d'ouvertures est importante : de 0 à 10 u pour le bouleau. Une autre remarque faite par Stalfelt est la dispersion des valeurs de T/E tout au long du tracé de la courbe quelles que soient les valeurs de E ; c'est-à-dire que les rapports T/E voisins de 0,1 (faible ouverture) ne sont pas uniquement observés dans le cas de fortes valeurs de E, correspondant aux heures très chaudes du jour, mais que la plante « peut régler » sa transpiration à toute heure du jour indépendamment des valeurs de E.

Rien de pareil chez le bananier. Tout d'abord, les écarts d'ouverture de l'ostiole sont, en conditions naturelles, relativement limités : de 0 à 4 u. Ensuite l'étalement de la courbe est inversé : pour des ouvertures de 1-1 à 1-2 les écarts de T/E atteignent 0,40, ce qui est considérable, alors qu'ils ne sont que de 0,10 pour 3-4 u. Enfin, comme le montre le graphique IV B, les résultats de T/E se succèdent par étagement en fonction des valeurs de E. Les faibles valeurs de T/E proviennent donc en partie de la régulation stomatique, mais surtout de l'élévation des valeurs de E.

Autrement dit, aux heures très chaudes de la journée, le bananier ne ferme qu'imparfaitement ses stomates ; la chute du rapport T/E, dans ce cas, est le résultat d'un épuisement des réserves hydriques et d'une incapacité au niveau de l'absorption racinaire de répondre aux fortes demandes du feuillage. Cette situation pourrait être extrêmement dangereuse puisque la plante n'a plus la possibilité de limiter l'élévation de sa température au niveau des tissus foliaires. Le bananier utilise un autre moyen de défense à ce moment, celui du repliement des limbes.

D'autres données confirment la faible activité stomatique du bananier ; elles ont été regroupées sur le graphique V.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'analyse du rapport T/E signale l'aptitude de la plante à limiter ses pertes en eau d'où l'intérêt d'exprimer T/E en fonction de E (fig. V A) (1).

Les différences entre zone N de terrain irrigué, zone N et zone E de terrain non irrigué sont très importantes. On pourrait même supposer que la régulation stomatique est meilleure en zone E puisque cette courbe se rapporche de celles du maïs et du blé à bonne activité stomatique (résultats empruntés à S. de Parceveaux sous le climat de la région parisienne). Mais l'analyse du tableau I à la rubrique « Stomates » montre que les différences d'ouvertures entre zones N, C, et E sont mineures. La baisse de la courbe E doit être attribuée principalement à une résitance accrue au passage de l'eau, dans le système vasculaire réduit de la zone E (fig. II).

Le graphique V A illustre bien la faiblesse de la régulation stomatique du bananier comparée à celle du maïs et du blé.

Sur le graphique V B, les valeurs de T/E ont été

(1) Toutes ces figures proviennent de différents tableaux de chiffres qu'il n'a pas été possible de reproduire ici.

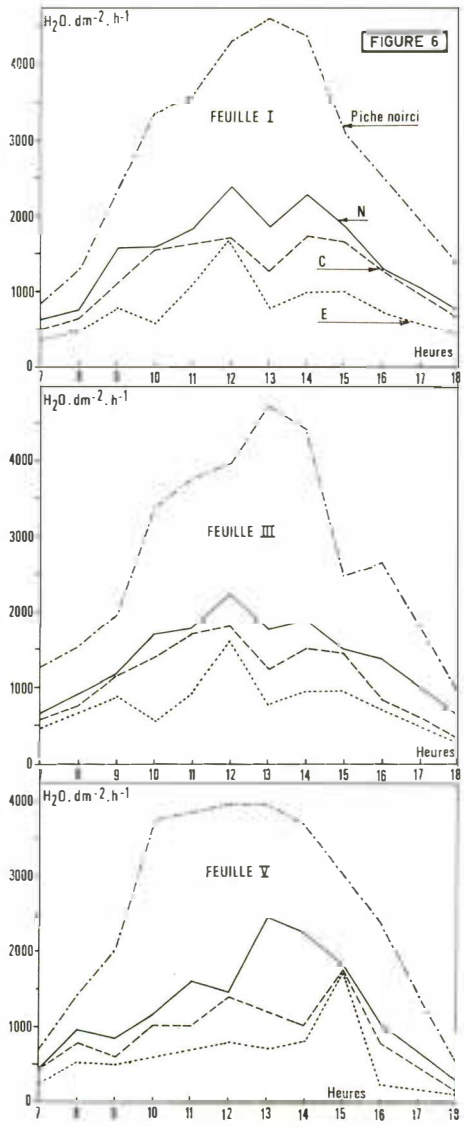


FIG. 6. — Transpiration stomatique et cuticulaire du bananier Poyo. Pichilingue, le 9 octobre 1967, parcelle irriguée. Étude effectuée aux trois niveaux N, C et E sur les feuilles I, III et V.

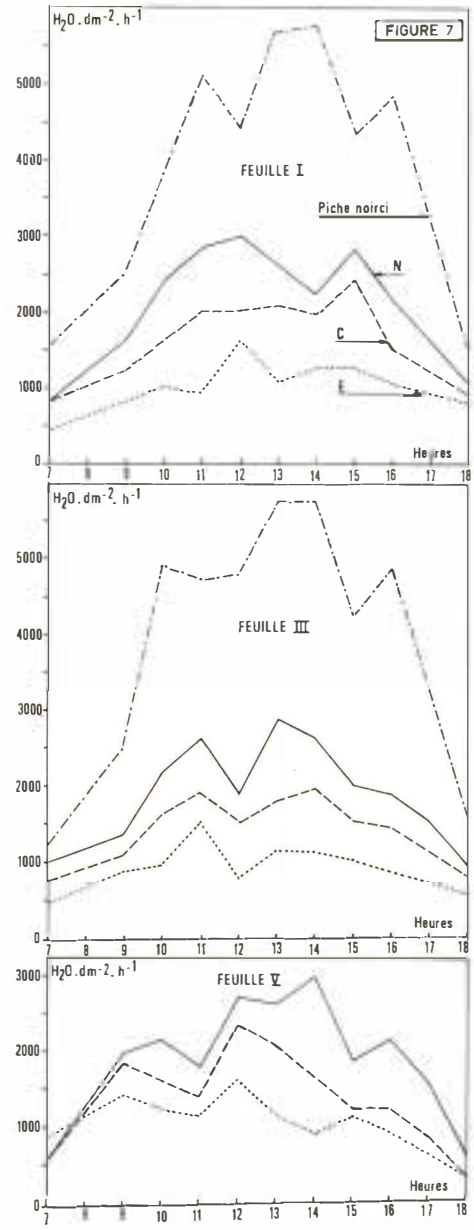


FIG. 7. — Transpiration stomatique et cuticulaire du bananier Poyo. Pichilingue le 9 octobre 1967, parcelle sèche. Étude effectuée aux trois niveaux N, C et E, sur les feuilles I, III et V (1/2 limbe enveloppant).

exprimées en fonction de la turgescence relative. La dispersion des points ne fait ressortir aucune relation très nette, aussi bien pour les bananiers non irrigués que pour les bananiers irrigués. Or, comme l'a montré J. MORELLO sous le climat de Sao Paulo, une turgescence relative de 94 p. cent représente une limite au niveau de laquelle l'angle formé par les deux demi-limbes tombe à 45° alors qu'il est de 120° à 96 p. cent et 15●° à 98 %.

En Équateur, la turgescence relative sur zone N tombe rarement en dessous de 94 p. cent, alors que sur zone E, elle peut atteindre 81 %. On voit cependant que pour ces déficits de saturation importants, le rapport T/E peut se maintenir à des valeurs relativement élevées, avoisinant 0,45, ce taux traduisant une ouverture encore sensible des stomates.

Les lectures de tugescence relative ont été généralement effectuées lors de jours très peu ensoleillés (voir les courbes de l'actinomètre graphique X 31-7, 21-8, 2-11 ; seul le 15-9 a été bien ensoleillé).

Nous avons trouvé que lorsque le soleil n'apparaît pas, les déficits de saturation supérieurs ou égaux à 6 (soit une turgescence relative de 94 %) n'impliquent pas automatiquement le repliement des limbes ; ce dernier phénomène n'est apparu nettement que le 15-9 :

dans le milieu de la journée, les trois dernières feuilles faisaient en moyenne un angle de 45° en parcelle irriguée et se touchaient en parcelle sèche.

Cette observation tend à confirmer que le repliement des limbes est avant tout un mécanisme de contrôle de la température interne des tissus foliaires. Seule, une étude de la variation des températures avec thermocouple pourrait confirmer cette hypothèse. Mentionnons que E. Michel et P. Pallas ont mis en évidence un phénomène analogue sur coton.

En conclusion, le bananier est une plante typiquement anisohydrique pouvant supporter des déficits de saturation importants. Elle est de ce fait sujette à des flétrissements spectaculaires qui sont des moyens de défense de « dernière limite ». Cette défense est d'autant plus efficace que la feuille repliée autour de la nervure centrale n'offre aucune incidence à la radiation globale solaire ; de plus, la zone N très active du point de vue transpiration dans sa face inférieure se trouve la mieux protégée.

Ces données font ressortir indirectement l'importance qu'il faut donner chez le bananier à la puissance d'enracinement, elle-même liée à la qualité du sol. Grand consommateur d'eau, il doit pouvoir mobiliser des réserves énormes en des espaces de temps réduits.

Valeurs étagées de la transpiration suivant l'ordre des feuilles.

Toutes les études qui précèdent ont été conduites sur feuille II. Il était permis de se demander si la régulation stomatique sur les feuilles plus âgées était meilleure, facteur pouvant limiter la transpiration globale de la plante.

Deux séries d'expériences ont été réalisées dans le but d'élucider cette question :

1) Étude simultanée des feuilles I, III, V sur parcelle sèche et parcelle irriguée, le même jour.

2) Étude simultanée des feuilles II et X dans les mêmes conditions.

Chez la plupart des Dicotylédones et chez quelques Monocotylédones, les organes aériens anciens sont reliés aux organes souterrains de même âge et dépendent essentiellement de ces derniers pour leur alimentation en eau. En ce qui concerne le bananier, cette observation n'est pas exacte. D'après A. F. Skutch, son rhizome présente de nombreux « faisceaux secondaires horizontaux » de taille importante. Ils forment un plexus contré sur l'insertion de chaque groupe de 4 racines, et s'anastomosent avec les « faisceaux longitudinaux » qui s'engagent dans les gaines foliaires de telle sorte que « l'eau rentrant par n'importe quelle racine peut selon les besoins être distribuée sur n'importe quel prolongement de faisceau foliaire ».

Il n'y a donc pas de raison à priori de voir les feuilles âgées moins bien alimentées en eau et cette remarque prend toute sa valeur si l'on se rappelle que le système d'enracimenent du bananier est très fragile, les vieilles racines étant souvent nécrosées.

Sur les figures VI et VII sont représentées les courbes de transpiration des feuilles I, III, V des deux parcelles. Dans l'ensemble nous n'avons pas noté de grosses différences sur la consommation totale par dm² et par jour. Les valeurs planimétrées sont voisines de

Fig. 8. — Étude de la transpiration sur feuille II et X en parcelle sèche et irriguée. Pichilingue le 28-12-67.

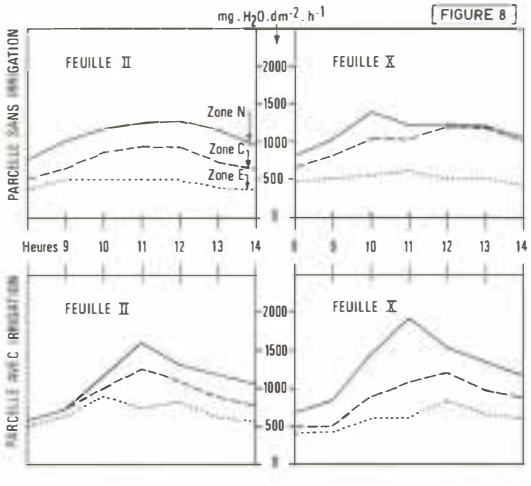
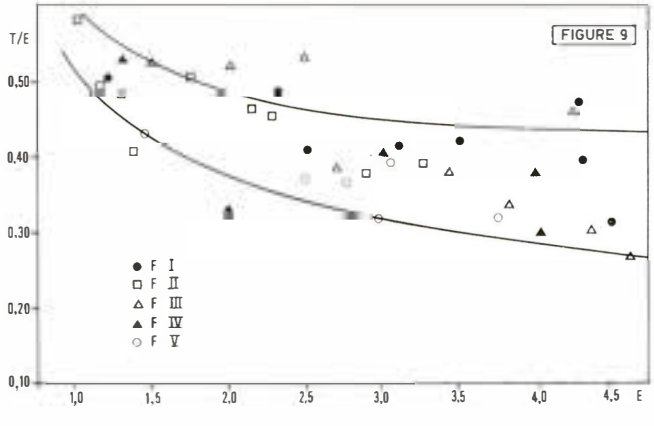


Fig. 9. — Étude comparée des feuilles de rang I à X sur zone N.



	horizon \ Long rac cm	≥ 10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	230	240	250	260	280	360	Σ	Longueurs de racines par horizon	%
PLANTE MERE A	0 - 50	58	45	18	10	9	9	3				2						1		2				2					159	*48,7 + *21,5 + 14,0 = 84,2	61,5
	50 - 100						1	2	3	4	6	9	7	4	1	2		2	2										*43	27,4 + 14,0 = 41,8	30,5
	100 - 200									1	1	1	5	4	4	3	4	2	1	1						1			28	10,9	7,9
PLANTE MERE B	0 - 50	64	34	31	14	4	4	2	1		1	1	3	2	2	1	1		2					1				1	169	58,5 + 20,0 + 5,0 = 83,5	77,5
	50 - 100					4	5	7	4	7	4	2	2	2	1	1					1								40	15,5 + 5,0 = 20,5	19,0
	100 - 200												6		1	1		1		1									10	3,7	3,4
REJET A	0 - 50	16	11	5	4	2	4	2								1				1		1	1	1		1			50	24,5 + 11,5 + 3,5 = 39,5	65,7
	50 - 100							4	3	4	5	2		3	1				1										23	12,0 + 3,5 = 15,5	25,6
	100 - 200									1							2	1		2				1					7	5,1	8,4
REJET B	0 - 50	43	30	22	10	5	6	7	1		2	1	2	1	1	2		1	3	3	2		1		2		1		146	69,6 + 18,0 + 13,5 = 101,1	70,5
	50 - 100					4	7	5	4	3		6	1	3	1				1									1	36	16,4 + 13,5 = 29,9	20,8
	100 - 200										6		3	4	1	2	1	4	1	4			1						27	12,3	8,5

* Le chiffre 48,7 est le résultat de la somme des produits de la fréquence des racines par leur longueur respective. Le chiffre 21,5 est obtenu en multipliant 43 (horizon 50-100) par 50 ce qui représente la longueur de ces mêmes racines dans l'horizon 0-50.

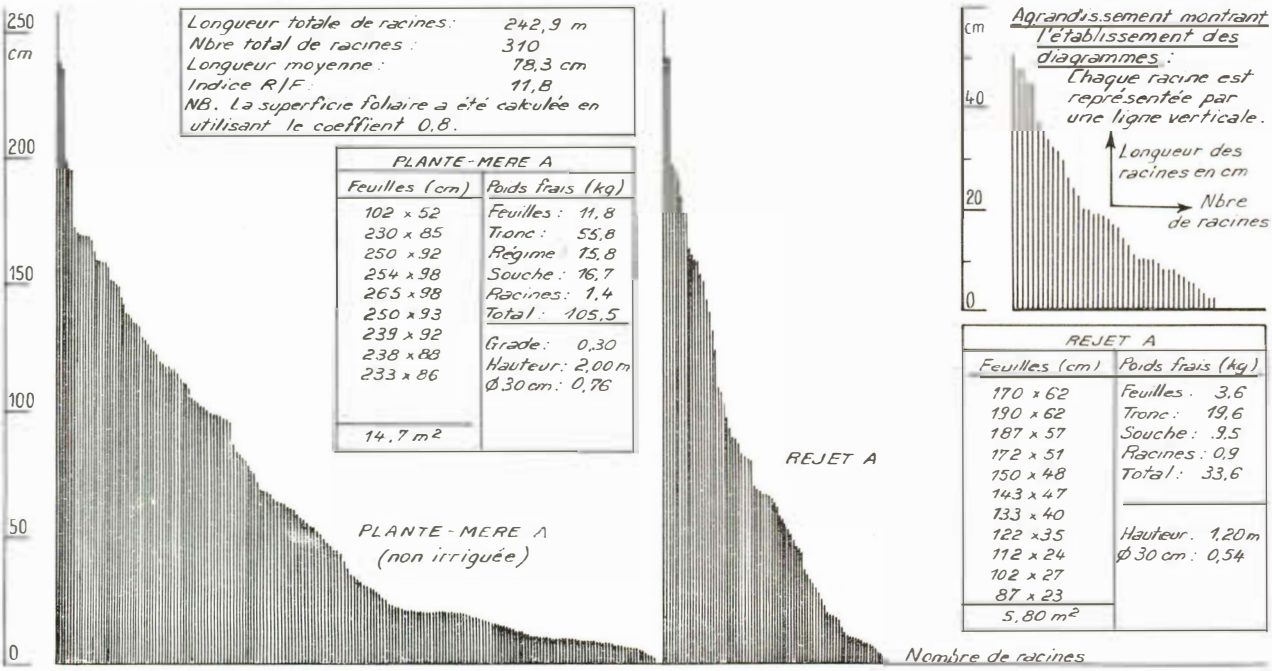


DIAGRAMME ET PROFIL RACINAIRE DE DEUX PLANTS DE BANANIERS DE LA STATION DE PICHILINGUE L'UN IRRIGUE (B) ET L'AUTRE NON IRRIGUE (A) DERACINES RESPECTIVEMENT LE 18-9-67 ET 15-9-67

STATION EXPERIMENTALE I.F.E.I.A DE PICHILINGUE

FIGURE 10

18 g/dm²/jour, pour parcelle sèche et 13 g pour parcelle irriguée. La différence est attribuée au couvert végétal plus abondant et à la plus grande fraîcheur de la parcelle irriguée.

Sur la parcelle sèche, on voit très nettement se succéder les périodes de déficit (fig. VII). La chute de transpiration a lieu à 11 h pour la feuille V qui est atteinte la première, à 12 h pour la feuille III et 15 h pour la feuille I. Cette même journée, à très forte insolation (voir fig. XI, courbe du 9 oct.), les limbes se sont repliés, intéressant d'abord les feuilles plus âgées au moment où la chute de leur transpiration était enregistrée. Ceci montre que malgré le système de compensation au niveau du bulbe, les feuilles les plus âgées sont atteintes les premières en cas d'épuisement des réserves.

La seconde expérience a eu lieu fin décembre, par jour ensoleillé pour tester les feuilles de rang X. Les résultats ont été portés sur le graphique VIII. Ils ont fait apparaître :

3

Photo 3. — Classification des racines par horizon au fur et à mesure du déracinement.

Photo 5. — Engorgement sur bananier Poyo.

5

Photo 6. — Plan apporté au laboratoire pour la mesure de longueur totale de racines et l'étude sanitaire de ces dernières.

6

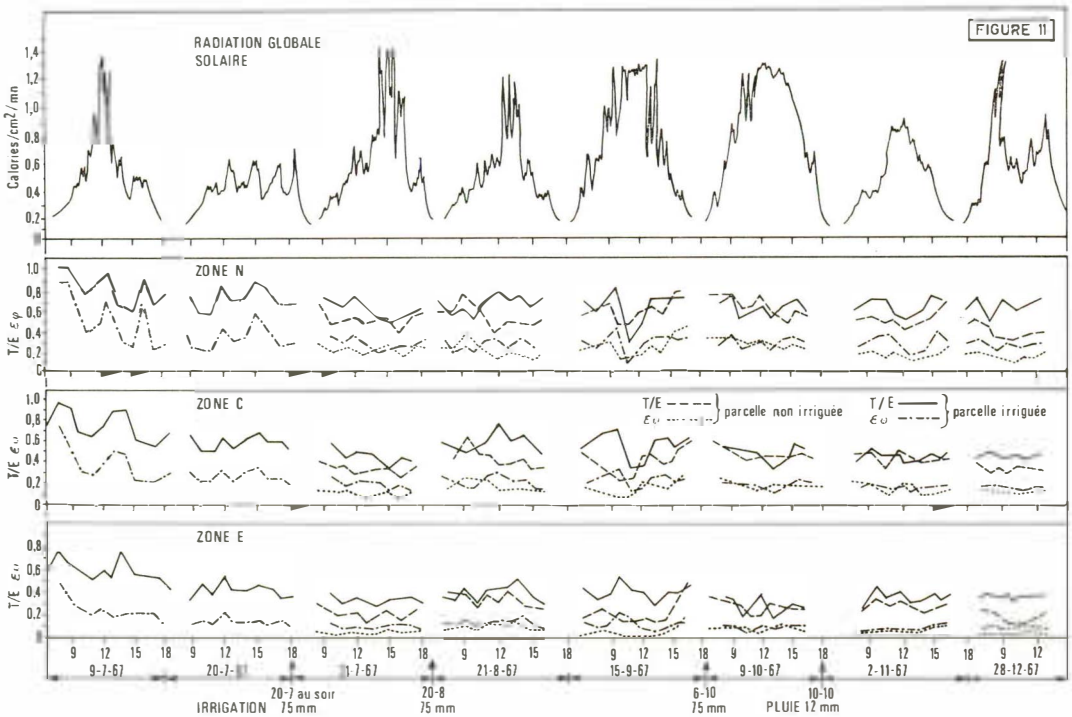


FIG. 11. — Évolution de T/E et $\varepsilon\varphi$ au cours de la saison sèche 1967 sur parcelles irriguée et non irriguée. Station expérimentale de Pichilingue, variété Poyo.

— que sur parcelle non irriguée, il n'y a pas de baisse notable de la transpiration globale de la feuille X ;

— sur parcelle irriguée, la feuille X consomme plus que la feuille I (plante avec régime de 20 jours), observation confirmée par la planimétration de la courbe.

— en passant progressivement vers les feuilles âgées, la transpiration de la zone N a tendance à augmenter ; elle peut s'élever à 58 p. cent par rapport aux zones C et E.

Nous avons groupé sur le graphique IX, la moyenne de T/E des zones N, C et E en fonction de E, des feuilles allant de I à X : la feuille X n'accuse aucune faiblesse par rapport aux plus jeunes feuilles sur le plan transpiration. Seules les valeurs de la feuille V sont légèrement plus basses.

Si l'on se reporte aux travaux de P. MARTIN-PRÉVEL et R. TISSEAU qui avaient décelé une chute d'intensité respiratoire, à partir des feuilles VI et VII, ainsi qu'aux résultats obtenus par l'I. F. A. C. en Côte d'Ivoire, après suppression des vieilles feuilles, on peut conclure que l'ablation systématique des feuilles au-delà du rang VIII permet de réaliser une économie d'eau importante, sans affecter notablement le rendement. Ceci tout au moins dans le cas de régions normalement ensoleillées. Il se peut en effet que dans l'hypothèse inverse, la plante ait besoin d'une plus grande surface foliaire pour équilibrer son métabolisme général.

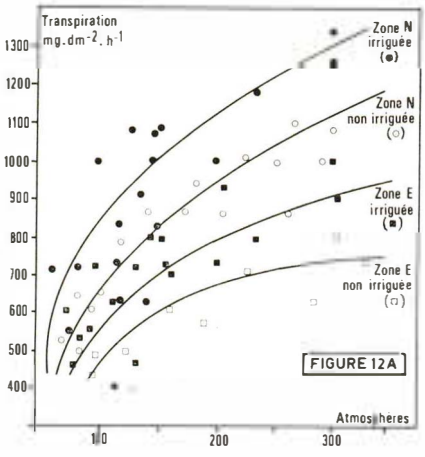
Effets de l'irrigation sur le bananier.

Le but essentiel de l'arrosage est de mettre à la disposition des plantes l'eau nécessaire à leur développement. Mais l'irrigation exerce des actions secondaires non négligeables qui se répercutent plus ou moins directement sur la végétation.

Une dessication prolongée du sol entraîne son asphyxie par tassement et une accumulation de substances inhibitrices dans les horizons humifères. L'arrosage aère le sol par appel direct de l'air extérieur et par apport d'oxygène dissout dans l'eau.

Ces actions secondaires sont intimement liées à l'irrigation, si bien qu'il est difficiel d'en évaluer séparément les effets sur la végétation.

On peut noter sur le bananier, comme d'ailleurs sur la plupart des cultures irriguées, deux effets marquants de l'arrosage : une augmentation de l'indice foliaire et une tendance à développer un système d'enracinement superficiel.



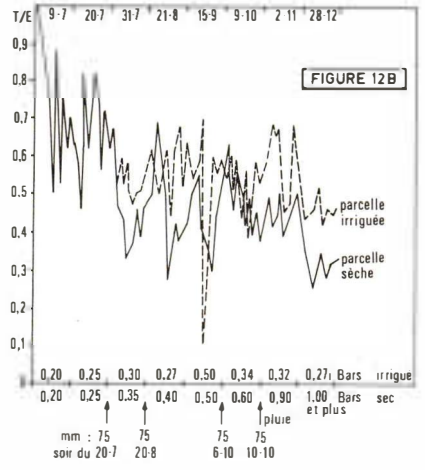


Fig. 12. — Transpiration en fonction du potentiel de l'eau dans l'air et dans le sol. 12 A. Transpiration du bananier en fonction du potentiel de l'eau dans l'air, calculé à 6 m de haut en plantation. Pichilingue, les 31-7 et 21-8-67 : jours couverts. 12 B. Évolution du rapport T/E en fonction du potentiel de l'eau dans le sol. Station expérimentale de Pichilingue.

Nous avons remarqué que la méthode écologique nous donne des transpirations voisines de ETP Bouchet, avec souvent des valeurs inférieures chez les plantes de parcelles sèches. Cette différence correspond au fait que l'indice foliaire est supérieure en parcelle irriguée, par suite d'un développement végétatif plus important. La transpiration rapportée à une surface standart sera plus forte dans le premier cas, sinon égale. En effet, l'évapotranspiration réelle ETR des deux cultures, avoisinant ETP, les feuilles moins nombreuses de la parcelle sèche transpirent relativement plus. Il est bien connu d'ailleurs que le bananier réagit à la sécheresse en ralentissant ses émissions foliaires. Si le manque d'eau dure plusieurs semaines, des troubles de croissance provoquent l'engorgement des gaines foliaires. Ce phénomène est le résultat d'un déficit hydrique prolongé.

L'étude de plusieurs profils racinaires à Pichilingue a fait ressortir également l'influence de l'irrigation sur la croissance des racines.

Sur la figure X sont reproduits deux systèmes d'enracinement observés à la mi-août, l'un sur parcelle sèche, l'autre sur parcelle ayant reçu 75 mm d'irrigation un mois auparavant.

Dans le premier cas, le potentiel de l'eau dans le sol à 60 cm s'élevait à 45 centibars ; les couches superficielles du sol commençaient donc à se dessécher, obligeant ainsi les racines à prospecter en profondeur. Dans l'horizon 0-50 cm, on trouve 61,5 p. cent de racines, 30,5 p. cent entre 50 et 100 cm et 7,9 p. cent de 100 à 200 cm, soit une longueur totale de 10,9 m de racines dans cet horizon très profond.

Sur parcelle irriguée, le pourcentage de racines dans le premier horizon atteint 77,5 p. cent, il est de 19 p. cent dans la couche 50-100 cm et 3,4 p. cent de 100 à 200 cm, soit 3 m seulement dans ce dernier horizon.

Ces chiffres montrent que l'arrosage a tendance à mettre la culture dans des conditions d'équilibre plus fragiles : l'irrigation, une fois commencée ne peut plus être abandonnée sous peine d'exposer les plantes à des accidents spectaculaires ; elle doit en outre être soigneusement répartie dans le temps.

L'analyse du rapport T/E tout au long de la saison sèche (fig. XI) (1) nous en donne d'ailleurs la preuve. Le survol des courbes atteste que, dans l'ensemble, les irrigations, malgré leur insuffisance ont permis de maintenir les valeurs de T/E à un taux moyen de 0,55 (sur zone N), alors que la baisse du même rapport s'accentue sur la parcelle sèche pour devenir alarmante en décembre (moyenne de 0,30), les réserves en eau du sol s'appauvrissant de plus en plus.

L'insuffisance de l'irrigation apparaît nettement le 15-9-1967, jour bien ensoleillé, surtout sur zone N ; la chute de T/E à la mi-journée est remarquable, elle indique un épuisement subit de l'eau disponible. En parcelle sèche, cette chute est beaucoup plus atténuée, le taux se maintenant à 0,45 au lieu de 0,10 dans le premier cas.

Comme nous l'avons montré, à cette époque une grosse majorité des racines demeuraient dans l'horizon 0-60 par suite de l'irrigation. L'épuisement de l'eau dans cet horizon maintient le déséquilibre jusqu'au moment où le système d'enracinement retrouve

(1) La transpiration corrigée $\varepsilon\varphi$ obtenue en utilisant l'abaque de Bouchet figure également dans ce tableau. La rondelle de Piche étant entièrement noircie, ce coefficient n'a pas fait l'objet d'interprétation, puisque la correction de température était théoriquement de ce fait intégrée directement au rapport T/E.

une profondeur suffisante, à moins qu'entre temps survienne l'arrosage suivant.

C. Transpiration en fonction du potentiel de l'eau dans l'air et dans le sol.

Il est admis que les plantes disposent dans le sol d'une tranche d'eau dite « eau utile » comprise entre *p*F 4,2 et 2,8 l'absorption racinaire serait normale jusqu'au moment où la teneur en eau du sol devient proche du point de flétrissement.

La tendance actuelle des physiologistes est de considérer que la plante diminue progressivement sa transpiration au fur et à mesure de la dessication du sol. Dès 1957, R. O. Slayter signalait sur *Gossypium barbadense* L. une incapacité du végétal à faire face à une demande d'évaporation accrue lorsque l'eau dans le sol est en phase décroissante.

Sur le bananier, on sait que E. Shmueli avait énoncé la règle des 2/3 : le bananier consommant facilement le premier tiers de l'eau utile et se trouvant en difficulté au moment où le niveau de l'eau tombe aux 2/3 de l'humidité équivalente, il convient de rappeler à nouveau les conditions particulières d'expérimentation rencontrées par E. Shmueli : extrême aridité du climat, système d'enracinement très superficiel ne dépassant pas 50 cm de profondeur. Ces conditions sont voisines de celles observées dans certaines régions d'Équateur (voir plus loin étude de Balzar) ; un système d'enracinement superficiel est généralement lié à des qualités physiques de sol défavorables au bananier (semelle de labour ou loupe d'argile), et entraînant le plus souvent une détérioration de l'état sanitaire des racines. Il n'est pas rare, dans ce cas, d'observer des phénomènes de « sécheresse physiologique » même pour des teneurs en eau du sol assez élevées.

Sur les sols profonds du type de ceux rencontrés à Pichilingue offrant des conditions optima au développement des racines, la transpiration décroît régulièrement au cours de la saison sèche, les racines s'enfonçant de plus en plus profondément dans le sol. A titre d'indication, nous avons exprimé sur la figure XII B les variations journalières de la transpiration relative T/E en fonction du potentiel de l'eau dans le sol sur parcelles sèche et irriguée (l'irrigation débutant le 21/7). Le potentiel de l'eau dans le sol était fourni par des tensiomètres placés à 60 cm de profondeur.

Sur parcelle irriguée, l'arrosage maintient une valeur moyenne du potentiel de l'eau aux environs de — 0,3 bars tout au long de la saison sèche, alors que sur parcelle non irriguée la progression de cette valeur est constante. On s'aperçoit que pour un même potentiel de 3-0,5 bars enregistré sur parcelles irriguée et sèche, une chute nettement plus importante de T/E était observée le 15/9 sur parcelle antérieurement irriguée.

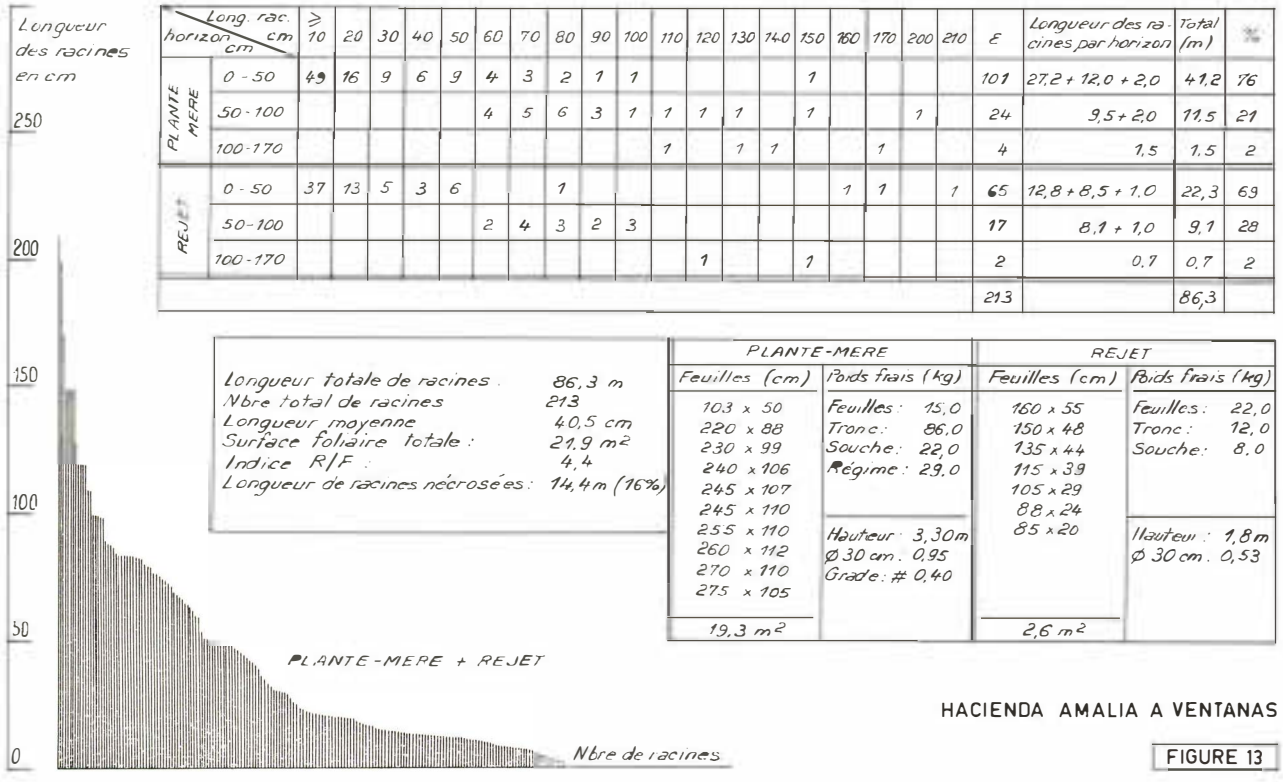
Comme nous l'avons vu précédemment, il s'agit d'un effet de l'étagement en surface du système d'enracinement consécutif à une irrigation préalable insuffisamment renouvelée.

Un fait important à signaler est la baisse définitive de T/E en parcelle sèche à partir de la mi-octobre lorsque le potentiel de l'eau dans le sol atteint sensiblement — 1 bar. Il a été montré qu'en matière d'alimentation en eau, cette même valeur est critique pour le Coton, le Sorgho et le Maïs ; elle semblerait donc se confirmer également pour le bananier.

Dans le cas d'un enracinement superficiel, on assiste à une brusque variation de pression osmotique dans les racines et les feuilles lorsque l'eau utile tombe aux 2/3 de sa valeur originale (E. Shmueli). Si l'enracinement est profond, le phénomène est beaucoup moins brutal : nous avons en effet observé que la baisse de T/E est très progressive et qu'elle ne suit pas obligatoirement la règle des 2/3, la couche superficielle du sol pouvant se trouver dans un état de dessication avancé sans que des symptômes de sécheresse bien marqués se manifestent sur les plantes. Nous avons noté une baisse sensible de T/E lorsque le potentiel de l'eau dans le sol atteint — 1 bar à 60 cm de profondeur, ce qui est évidemment très loin des — 15 bars du point de flétrissement permanent. Il serait donc possible de conduire les irrigations en se basant sur la lecture d'un tensiomètre placé à 60 cm de profondeur : les arrosages devraient alors être répartis de telle façon que le potentiel de l'eau dans le sol ne devienne pas inférieur à — 0,50 bars, ceci répétons-le, dans le cas d'un bon enracinement du bananier (1).

Sur la figure XII A nous avons exprimé la transpiration en fonction du potentiel de l'eau dans l'air donné en Atm/cm³. L'étagement des courbes obtenues sur parcelle irriguée ou sèche reflète l'augmentation d'énergie que doit fournir la plante pour équilibrer sa transpiration lorsque décroît la disponibilité

(1) Les tensiomètres sont gradués le plus souvent de 0 à 90 centibars. Dans le cas présent, l'aiguille ne devrait pas dépasser la valeur 50 indiquée sur le cadran.



	Long. rac. / horizon cm	≥ 10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	200	210	Σ	Longueur des racines par horizon	Total (m)	%
PLANTE MERE	0 - 50	49	16	9	6	9	4	3	2	1	1					1					101	27,2 + 12,0 + 2,0	41,2	76
	50 - 100						4	5	6	3	1	1	1	1		1			1		24	9,5 + 2,0	11,5	21
	100 - 170											1		1	1			1			4	1,5	1,5	2
REJET	0 - 50	37	13	5	3	6			1								1	1		1	65	12,8 + 8,5 + 1,0	22,3	69
	50 - 100						2	4	3	2	3										17	8,1 + 1,0	9,1	28
	100 - 170												1			1					2	0,7	0,7	2
																					213		86,3	

FIGURE 13

en eau du sol [1]. On voit par exemple que, pour une diminution de potentiel de l'eau dans le sol de 0,10 bar mais à potentiel de l'eau dans l'air égal, le taux de transpiration accuse une différence d'environ 250 mg/dm²/h. L'énergie requise pour faire passer chaque molécule d'eau du niveau du sol à celui de l'atmosphère augmente donc assez rapidement.

Les écarts de transpiration enregistrés sur zone E doivent être attribués comme nous l'avons déjà vu, à un changement de structure des tissus du limbe au niveau de la zone marginale de ce dernier.

D. Études détaillées par zone.

Pichilingue et terrasses alluvionnaires de la zone centrale et subcentrale.

Les observations précédentes concernant Pichilingue montrent que les bananiers non irrigués de nouvelles variétés ont une végétation presque normale jusqu'en octobre, époque à partir de laquelle les valeurs de T/E (de parcellles irriguée et sèche) divergent définitivement.

Cette première impression est toutefois trompeuse :

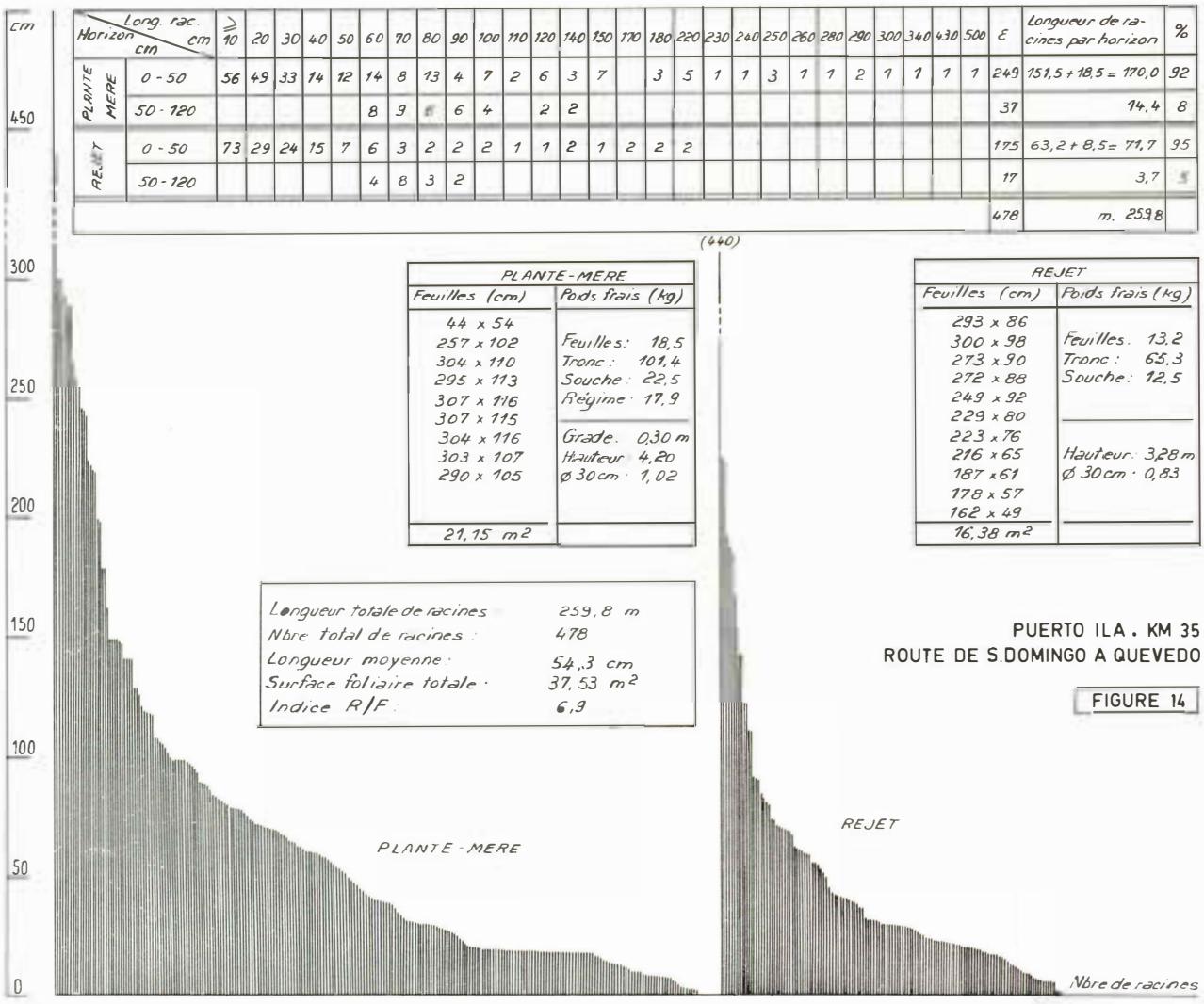
— la plante se trouve dans des conditions limites et la moindre attaque parasitaire au niveau du bulbe ou des racines peut être grave de conséquences.

— cette particularité n'est valable que pour les sols très profonds ; dans le cas inverse, les phénomènes d'engorgement se manifestent dès le mois d'août ;

— si le rendement hectare n'est pas notablement diminué dans les bons terrains, la durée des cycles est allongée : l'examen du diagramme racinaire (fig. X) laisse apercevoir une très grande différence dans la puissance d'enracinement des rejets suivant qu'ils reçoivent ou non des arrosages. Dans la parcelle non irriguée, la plante mère prospecte le sol au maximum et ne laisse au rejet que la possibilité de développer 60 m de racines, contre 143 m dans le cas contraire.

Dans l'hypothèse d'une culture intensive, l'irrigation est pour ces raisons absolument obligatoire.

(1) Slayter (R. O.). 1957. The influence of progressive increases in total soil moisture stress on transpiration, growth and internal water relationships of plants.



Horizon cm \ Long. rac. cm		≥ 10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	150	170	180	220	230	240	250	260	280	290	300	340	430	500	Σ	Longueur de racines par horizon	%
PLANTE MERE	0 - 50	56	49	33	14	12	14	8	13	4	7	2	6	3	7		3	5	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1	249	151,5 + 18,5 = 170,0	92
	50 - 120						8	9	[illegible]	6	4		2	2															37	14,4	8
REJET	0 - 50	73	29	24	15	7	6	3	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2											175	63,2 + 8,5 = 71,7	95
	50 - 120						4	8	3	2																			17	3,7	5
																													478	m. 259,8	

PLANTE-MERE	
Feuilles (cm)	Poids frais (kg)
44 x 54	
257 x 102	Feuilles: 18,5
304 x 110	Tronc: 101,4
295 x 113	Souche: 22,5
307 x 116	Régime: 17,9
307 x 115	
304 x 116	Grade: 0,30 m
303 x 107	Hauteur: 4,20
290 x 105	ø 30 cm: 1,02
21,15 m²	

REJET	
Feuilles (cm)	Poids frais (kg)
293 x 86	
300 x 98	Feuilles: 13,2
273 x 90	Tronc: 65,3
272 x 88	Souche: 12,5
249 x 92	
229 x 80	
223 x 76	
216 x 65	Hauteur: 3,28 m
187 x 61	ø 30 cm: 0,83
178 x 57	
162 x 49	
16,38 m²	

Longueur totale de racines	259,8 m
Nbre total de racines	478
Longueur moyenne	54,3 cm
Surface foliaire totale	37,53 m²
Indice R/F	6,9

Elle permet en outre de faire des plantations en contre-saison (début de saison sèche) ce qui facilite l'étalement de la production des régimes sur toute l'année.

Capacité en eau du sol à la sortie de la saison humide.

Nous avons calculé le « déficit total en eau du sol D » tel qu'il est proposé par M. Hallaire, bien que cette donnée ne puisse refléter d'une manière absolue le degré de sécheresse du sol ; il faudrait dans ce cas faire intervenir la notion de potentiel capillaire ψ, ce que nous avons tenté de faire au chapitre précédent. Le calcul de D nous est cependant utile pour savoir à quel moment il convient de débuter les irrigations.

La formule utilisée est la suivante :

$$Dmm = \sum_{z=0}^{z=Zm} \frac{\sigma z\,(H_0 - H)}{10}$$

où Zm : profondeur maximum atteinte par les racines à Pichilingue soit 200 cm,

σ : densité apparente du sol,

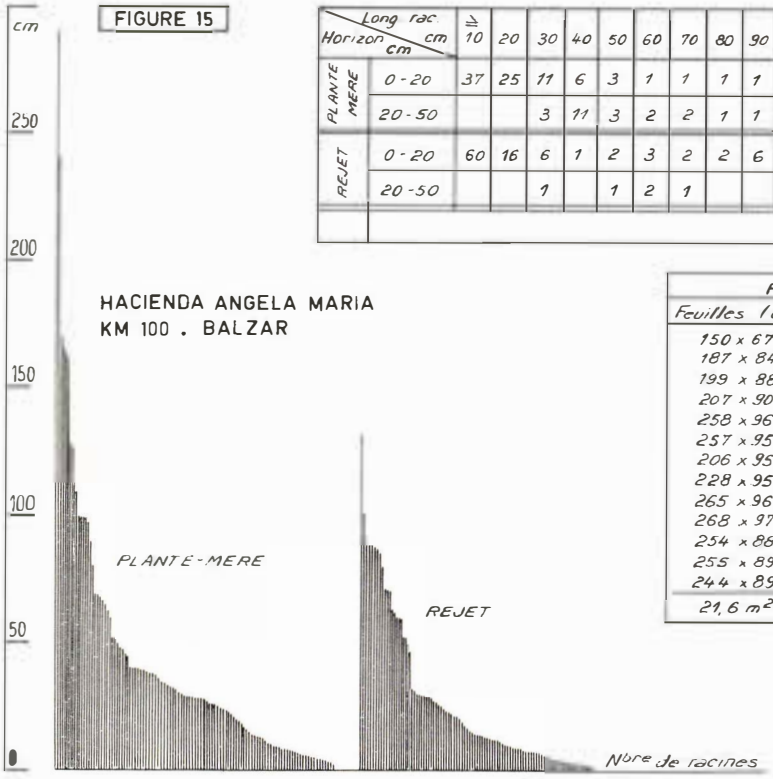
z : tranche de terre de 25 cm représentant les séries successives de profil hydrique,

H_0 : capacité de rétention

H : humidité réelle des tranches de sol considérées en fin de saison sèche (le 28 décembre 1967).

FIGURE 15

Horizon	Long rac. cm	≥ 10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	170	230	290	E	Longueur de racines par horizon	%
PLANTE MERE	0 - 20	37	25	11	6	3	1	1	1	1				2	1		1	90	26,1 + 6,4 = 32,5	67
	20 - 50			3	11	3	2	2	1	1	2	3			3	1		32	15,9	33
REJET	0 - 20	60	16	6	1	2	3	2	2	6	1	1						100	24,8 + 1,0 = 25,8	93
	20 - 50			1		1	2	1										5	1,7	7
																		227	m 75,9	



PLANTE-MERE		REJET	
Feuilles (cm)	Poids frais (kg)	Feuilles (cm)	Poids frais (kg)
150 x 67		160 x 49	
187 x 84	Feuilles 14,3	145 x 46	Tronc : 12,3
199 x 88	Tronc : 57,1	137 x 42	Souche : 9,7
207 x 90	Souche : 15,2	112 x 37	Feuilles : 3,8
258 x 96	Régime : 16,2	94 x 24	
257 x 95			
206 x 95			
228 x 95	Hauteur : 2,92 m		Hauteur : 1,98 m
265 x 96	Ø 30cm : 0,82		Ø 30cm 0,50
268 x 97	Grade : # 0,30		
254 x 88			
255 x 89			
244 x 89			
21,6 m²		2,0 m²	

Longueur totale de racines :	75,9 m
Nbre total de racines :	227
Longueur moyenne :	33,4 cm
Surface foliaire totale :	23,6 m²
Indice R/F :	3,2
Longueur de racines nécrosées :	32 m (42 %)

La valeur de D ainsi obtenue fut de 350 mm d'eau, chiffre représentant les réserves virtuelles en eau du sol à la sortie de la saison humide. Remarquons que cette valeur équivaut en gros, à 4 mois de ETP (voir 2e partie) soit de juin à septembre. D'où la chute du rapport T/E début octobre.

Dans le cas d'une culture intensive, il est prudent de ne retenir que 200 mm comme réserves du sol, chiffre déjà considérable puisque dans la plupart des sols étudiés ultérieurement nous verrons qu'il est souvent voisin de 125 mm.

Sur ces 200 mm il faut supprimer 100 mm de déficit hydrique accumulé au cours des mois d'avril et de mai, par suite d'une baisse progressive de la pluviométrie.

En juin, le taux de ETP tombe aux environs de 65 mm, il atteint 80 mm en juillet. L'irrigation devrait donc commencer au plus tard, à partir de la deuxième quinzaine de juillet (ceci, bien entendu pour des plantations voisines du stade floraison). Les études de T/E et de ETP conduisent à la conclusion que la meilleure formule d'irrigation serait de 50 mm tous les 15 jours, en augmentant à 70 mm tous les 15 jours à partir d'octobre, en raison de l'élévation régulière de ETP jusqu'en décembre.

Mais dans les sols de terrasse alluvionnaire de la zone centrale et subcentrale, il est rare de voir les racines du bananier prospecter à 2 m de profondeur, on peut même dire que c'est un cas d'exception. Le profil racinaire de la figure XIII, exécuté à Ventanas révèle d'une part une profondeur d'enracinement limitée à 1,70 m, d'autre part une longueur totale de racine assez faible : 86 m. Cette condition est la plus souvent réalisée.

Vis à vis de la plante, les réserves en eau du sol seront sensiblement réduites, D atteignant 120 mm seulement. Ce niveau n'est pas suffisant pour combler le déficit qui survient la plupart du temps entre avril et mai. Il faudra donc prévoir les premiers arrosages dès cette époque. Généralement à la mi-mai, une dernière série de précipitations rétablit momentanément l'équilibre. Les volumes et cadences d'irrigation pourront être les mêmes que ceux proposés pour Pichilingue.

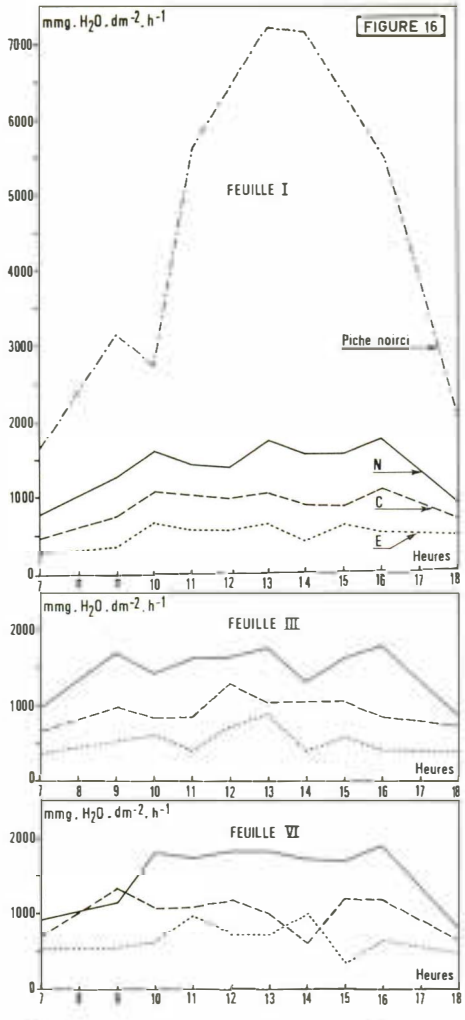


FIG. 16. — Transpiration stomatique et cuticulaire du bananier Poyo. Balzar le 19 octobre 1967. Étude effectuée aux trois niveaux N, C et E sur feuilles I, III et VI (1/2 limbe enveloppé).

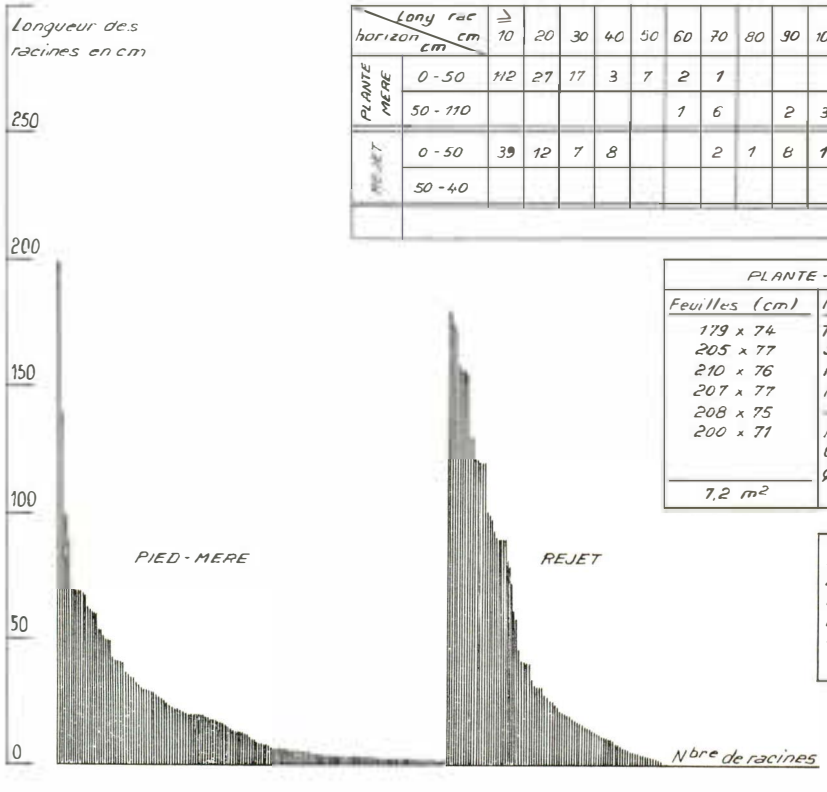
Partie nord de la zone centrale et partie sud de la zone nord.

Cette région chevauche sur deux zones administratives, mais représente un ensemble homogène du point de vue hydrologique : il s'agit du secteur allant du km 65 de la route Santo Domingo à partir de Quévedo, jusqu'à Qinindé. Cette zone a fait l'objet d'études pédologiques importantes (F. COLMET DAAGE et F. CUCALON, *Fruits*, 1965) ; nous sommes ici en face d'un dépôt de cendres andésitiques, dont la partie profonde (dépôt ancien) a donné des sols à allophanes typiques, sous l'action d'une pluviométrie abondante : 3 m.

Mais, comme l'indique le graphique XIV, (observations faites sur nouvelles variétés), les racines de bananiers ne prospectent que les dépôts récents, humifères dont l'épaisseur varie autour de 1 m. Leur longueur peut atteindre des proportions étonnantes : jusqu'à 5 m. La longueur totale de racines par plante peut s'élever à 260 m, chiffre dénotant une excellente vitalité et qui ne se retrouve qu'à Pichilingue et Machala.

Les plantations effectuées en janvier-février n'ont manifesté auxun symptôme de carence hydrique en cours de saison sèche. La valeur du déficit en eau du

	Long rac / horizon cm	≥ 10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	130	140	190	200	Σ	Longueur de racines par horizon	%
PLANTE MERE	0 - 50	112	27	17	3	7	2	1									169	28,3 + 6,5 = 34,8	82
	50 - 110						1	6		2	3			1		2	13	7,4	17
REJET	0 - 50	39	12	7	8			2	1	8	1		2		5		85	34,10 + 5,0 = 39,1	78
	50 - 40											5			5		10	10,5	22
																	277	m 91,8	

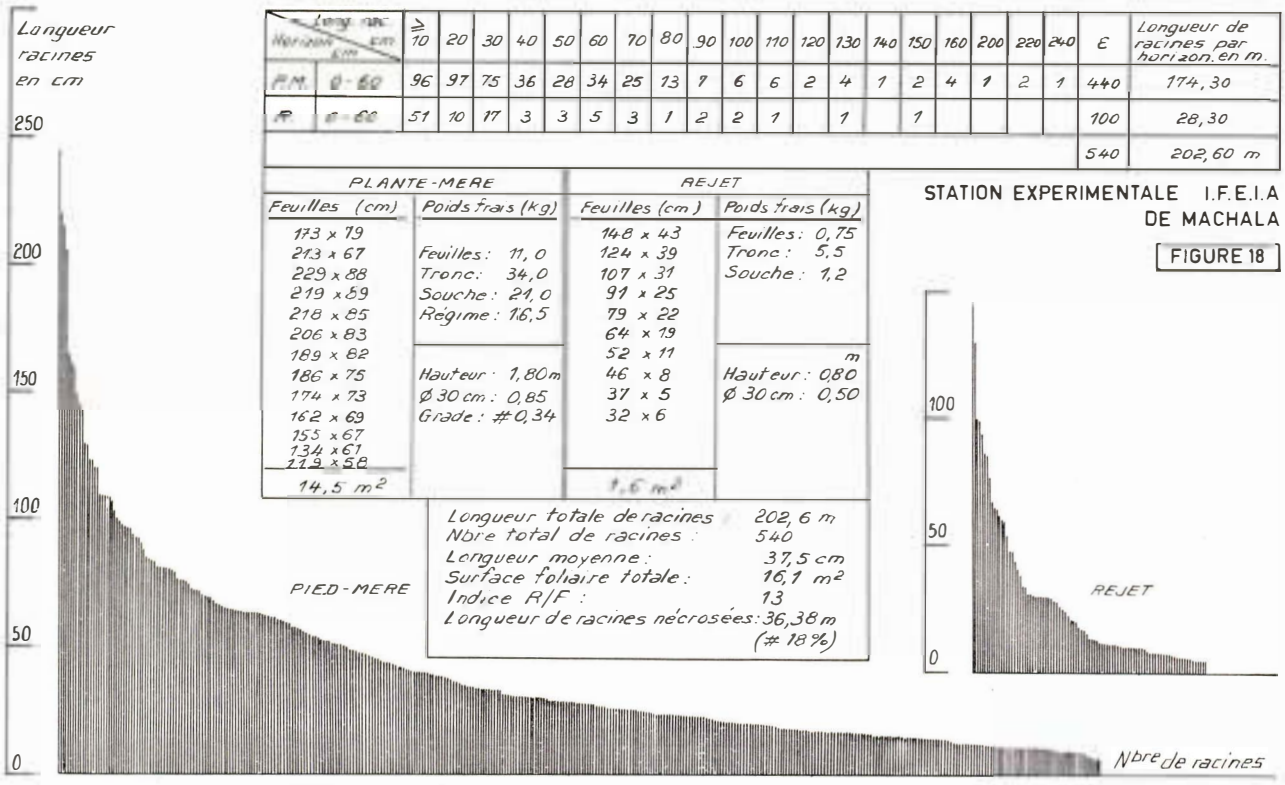


PLANTE-MERE		REJET	
Feuilles (cm)	Poids frais (kg)	Feuilles (cm)	Poids frais (kg)
179 x 74	Tronc 35,7	195 x 56	Feuilles : 3,9
205 x 77	Souche : 10,0	200 x 57	Tronc : 18,0
210 x 76	Feuilles : 4,7	170 x 59	Souche : 7,0
207 x 77	Régime 17,0	162 x 63	
208 x 75		175 x 55	
200 x 71	Hauteur : 2,47 m	183 x 58	Hauteur : 2,11 m
	Grade : # 0,32	190 x 60	ø 30cm 0,39
	ø 30cm : 0,54	192 x 59	
7,2 m²		6,84 m²	

Longueur totale de racines :	91,8 m
Longueur de racines nécrosées :	26,0 m (29 %)
Nbre total de racines	277
Longueur moyenne :	33,1 cm
Surface foliaire totale :	14,0 m²
Indice R/F :	6,5

STATION EXPERIMENTALE I.F.E.I.A DE VAINILLO

FIGURE 17



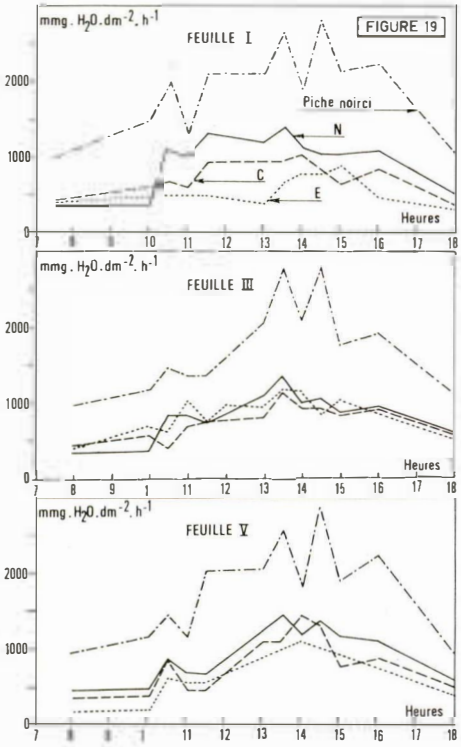


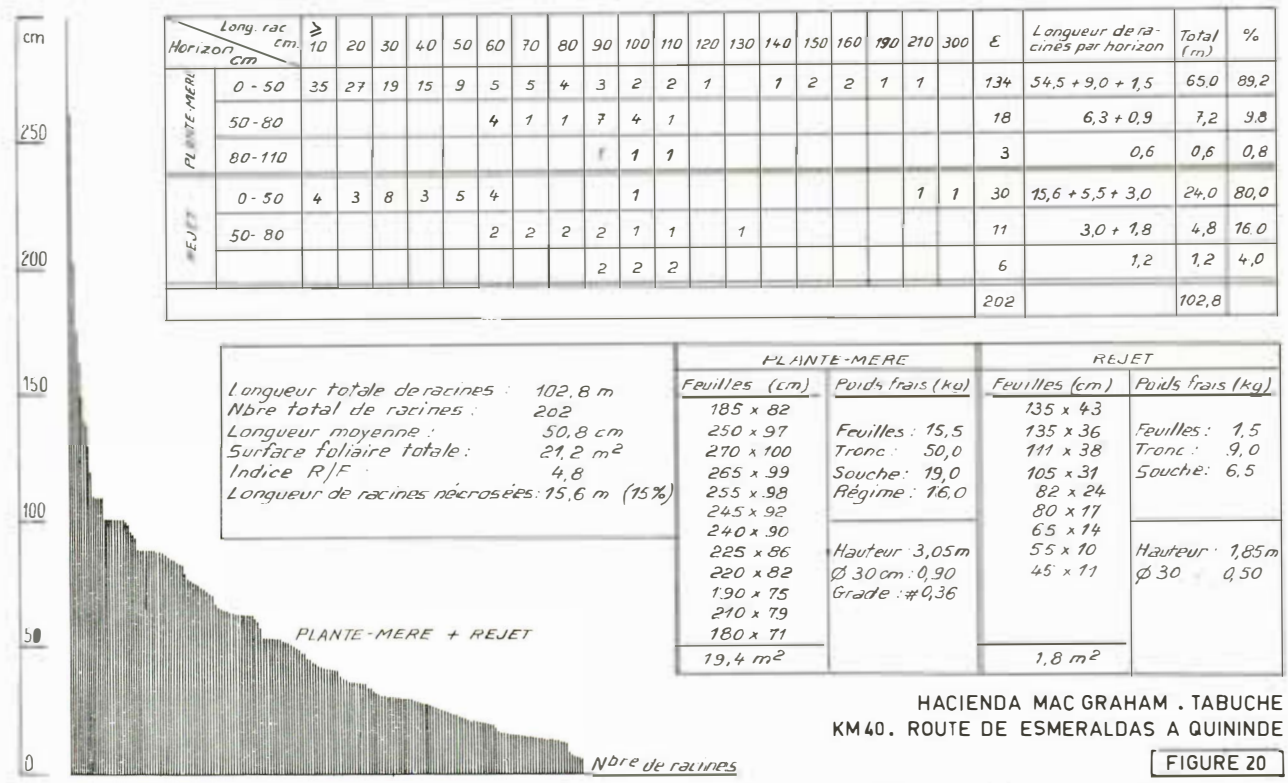
FIG. 19. — Transpiration stomatique et cuticulaire du bananier Poyo. Machala le 7 novembre 1967 (jour bien couvert). Étude effectuée aux trois niveaux N, C et E sur feuilles I, III et V (1/2 limbe enveloppant).

sol « D » entre fin de saison humide et fin de saison sèche est estimée à 180 mm pour la couche supérieure. Mais les réserves hydriques de la couche allophanique sous-jacente sont pratiquement inépuisables, l'eau utile atteignant 40 p. cent (F. COLMET DAAGE et F. CUCALON, *Fruits*, 1965).

Les phénomènes de remontée capillaire entretiennent une alimentation en eau régulière. En saison sèche déjà bien avancée, le rapport T/E se maintient toute la journée aux environs de 0,50, c'est-à-dire l'équivalent d'une plantation irriguée à Pichilingue.

Par ailleurs, l'ennuagement important de cette zone ne soumet pas le feuillage à des déficits élevés, la transpiration se maintenant régulièrement à des taux avoisinant 1,2 g/dm²/h. Le crachin ou « garua » qui tombe presque chaque nuit, compense d'une façon importante les pertes par transpiration : il est directement capté par les feuilles et vient s'accumuler dans le pseudo-tronc sans même atteindre le sol. Certaines estimations laissent à penser que ces précipitations occultes pourraient couvrir jusqu'à 15 p. cent d'une transpiration journalière moyenne.

Devant l'importance des déforestations, on peut se demander si cet équilibre naturel durera longtemps. Depuis plusieurs années, on note en effet une remontée



Horizon cm \ Long. rac cm	≥ 10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	190	210	300	Σ	Longueur de racines par horizon	Total (m)	%
PLANTE-MERE 0-50	35	27	19	15	9	5	5	4	3	2	2	1		1	2	2	1	1		134	54,5 + 9,0 + 1,5	65,0	89,2
PLANTE-MERE 50-80						4	1	1	7	4	1									18	6,3 + 0,9	7,2	9,8
PLANTE-MERE 80-110										1	1									3	0,6	0,6	0,8
REJET 0-50	4	3	8	3	5	4				1								1	1	30	15,6 + 5,5 + 3,0	24,0	80,0
REJET 50-80						2	2	2	2	1	1		1							11	3,0 + 1,8	4,8	16,0
									2	2	2									6	1,2	1,2	4,0
																				202		102,8	

lente mais régulière de l'aridité vers les zones nord du littoral équatorien. Cette situation serait inquiétante si elle affectait les sols allophaniques dont le déssèchement, à partir d'un certain seuil est irréversible. Les études de F. Colmet-Daage sont de ce point de vue très nettes. Cet aspect important mériterait qu'on y prête attention dans les années à venir.

Balzar Vainillo.

Plusieurs tentatives de culture de nouvelles variétés ont été entreprises dans les sols argileux des plaines basses rizicoles du nord et de l'est de Guayaquil. La proximité du port ainsi que les moyens de communication faciles tant par route que par fleuve laissent supposer que ces plantations pourront quelque peu s'étendre dans les années à venir.

Le sol observé à Balzar possédait un niveau argileux foncé à 60 cm de profondeur. L'étude du profil racinaire représenté (fig. XV) montre la faiblesse du système d'enracinement : il est réduit dans sa longueur totale, 75,9 m et très superficiel. L'eau utile a été évaluée en appliquant la formule de F. Colmet-Daage : p. cent d'eau *p*F 4,2 × 0,72, ce qui nous donne une réserve en eau du sol voisine de 80 mm dans l'horizon 0-60. Les cadences d'irrigation devront être dans ce cas rapprochées pour conserver un bon niveau d'humidité, mais il importe également de calculer exacte-

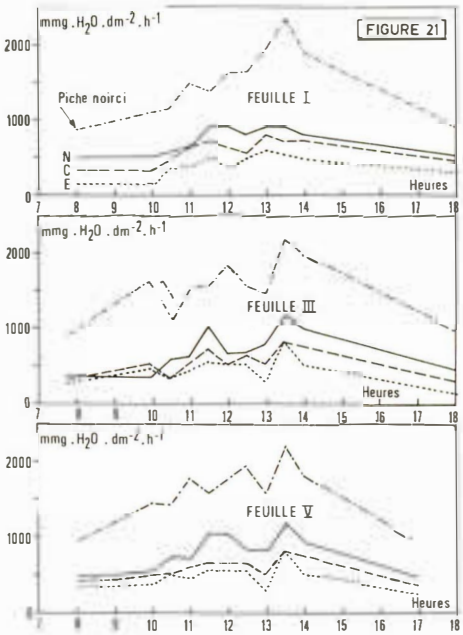


Fig. 21. — Transpiration stomatique et cuticulaire du bananier Poyo. Esméraldas le 23 novembre 1963 (jour très couvert). Étude effectuée aux trois niveaux N, C et E sur feuilles I, III et V (1/2 limbe enveloppant).

ment le volume d'eau nécessaire, ce type de sol présentant un mauvais drainage et une grande facilité à se gorger d'eau. Les racines du bananier supportent très mal ces conditions asphyxiantes et peuvent se trouver exposées ainsi à des attaques parasitaires et fongiques très sévères.

Dans ce cas, la plante aura d'autant plus de difficultés à équilibrer ses pertes en eau, que le climat de ces zones est nettement plus aride, comme nous le verrons dans la partie II : d'où l'engorgement souvent observé.

Sur la courbe (fig. XVI) cela se traduit par un décalage important de la transpiration des zones N, C et E. Le rapport T/E ne dépasse guère 0,25 en zone N.

Les pluies de saison hivernale groupées sur trois mois de l'année apportent un volume d'eau considérable, dont l'excédent ne s'écoule que lentement, d'où la nécessité d'établir un réseau de drainage efficace, voire même de pratiquer la culture sur billon.

L'irrigation par gravité est formellement à déconseiller ici ; quant à l'arrosage par aspersion il devra être soigneusement dosé, l'excès étant plus nuisible que le manque. ETP étant voisine de 150 mm, nous pensons qu'une irrigation de 40 mm chaque semaine serait la plus appropriée.

Les mêmes remarques que nous avons faites à Balzar sont valables pour Vainillo : profil racinaire (fig. XVII).

Comme l'a montré F. Colmet-Daage (rapport de juin 1967), il existe dans la plaine du Guayas orientale et centrale, des sols filtrants qui seraient plus favorables à la culture bananière. Il convient donc de bien choisir le terrain avant l'établissement de plantations dans cette zone.

Machala.

Les sols de l'Oro sont très fertiles, mais ils diffèrent souvent du point de vue de leurs propriétés physiques.

Les études de F. Colmet-Daage ont fait ressortir la différence importante de texture existant dans les horizons du sol. La partie superficielle est argileuse, mais la proportion de limon augmente en profondeur. Cet élément est favorable à l'irrigation même par gravité. Toutefois il existe en profondeur, dans certains endroits, des bandes argileuses provoquant un ralentissement de drainage notable et il convient alors de tenir compte des observations faites plus haut.

Le profil racinaire de la figure XVIII a été exécuté sur un terrain présentant une loupe d'argile à 60 cm. Malgré cela, on voit que le système d'enracinement est excellent : 202,6 m, de longueur totale. Le nombre de racines atteint 540 contre 450 dans les meilleures conditions auparavant rencontrées.

Les courbes de transpiration (fig. XIX) sont normalement équilibrées.

En terrain filtrant, les irrigations pourront être de 60 mm tous les 15 jours jusqu'en septembre, et de 75 mm tous les 15 jours à partir de septembre.

Dans le cas de sol à mauvais drainage, il serait préférable de mettre 40 mm tous les 10 jours jusqu'en septembre et 50 mm d'octobre à décembre.

Tabuche.

De par sa proximité de la mer, 40 km, et la facilité des moyens de communication, la zone de Tabuche est promise à un avenir économique certain.

Les sols que nous y avons rencontrés n'ont pas fait l'objet d'études pédologiques. Ils sont formés sur terrasse alluvionnaire et se rapprochent beaucoup de ceux de Ventanas. Le graphique de la figure XX montre un profil d'enracinement moyennement développé. Les courbes de transpiration figure XXI sont équilibrées. Nous ne connaissions pas les valeurs de ETP dans cette zone. On note un déficit en pluie qui peut durer de 4 à 5 mois. En période sèche, les doses dirrigation identiques à celles de Ventanas sont à conseiller.

(*A suivre.*)