

# Quelques indications sur les besoins en eau du bananier "nain"

données bibliographiques recueillies et commentées par

**J. CHAMPION**

*Institut français de Recherches fruitières outre-mer.*

---

*Il est admis que le bananier est une plante exigeant une alimentation en eau abondante et régulière. Dans les contrées à saison sèche prononcée où la culture bananière est parfois pratiquée, de fortes irrigations sont indispensables pour obtenir des floraisons normales. Même là où les sécheresses sont de courte durée, les cultivateurs choisissent des terres où le plan d'eau assez proche de la surface permet aux racines de puiser l'eau nécessaire à une croissance et à une fructification normales.*

*On doit d'ailleurs remarquer que les espèces ou clones de Musa, se trouvent, à l'état spontané ou subspontané, presque toujours dans des situations moyennement ombragées, en lisières ou clairières forestières ; ces conditions d'humidité permanente sont excellentes pour le développement végétatif, mais le manque d'éclaircissement retarde fortement la floraison. Le cultivateur recherche cette rapidité de production des régimes qui permet l'obtention de rendements valables, et dispose les bananiers en terrain découvert, évitant même, en culture intensive, toute concurrence de plantes étrangères tant pour l'éclaircissement que pour l'alimentation en eau ou en éléments nutritifs.*

*La rapidité de végétation à laquelle on veut parvenir, et le fait que pour la plupart des zones de production bananière, il existe une saison sèche, courte ou longue, font que le problème de l'alimentation régulière en eau ne manque pas de se poser. Il a souvent été résolu, plus ou moins complètement, par des essais en champ, par des observations du comportement des plantes.*

*Il manquait cependant des données sur les besoins en eau du bananier, de par sa transpiration, et sur les facteurs influençant celle-ci. Cette lacune est assez bien comblée par deux études intéressantes, l'une de E. SHMUELI (1), faite dans la région bananière du lac du Jourdain, en Israël, à environ 31° 5 lat. N, l'autre de J. MORELLO, à São Paulo, Brésil (2), à environ 24° lat. S. Dans les deux cas, le matériel étudié était le Bananier « nain » (= 'Dwarf Cavendish'), du groupe Cavendish (= sinensis). Ces deux auteurs travaillèrent à peu près à la même époque (1946-1951) et ignoraient très probablement leurs recherches respectives.*

## LE BANANIER ET LA SÈCHERESSE

Jusqu'à présent, les connaissances relatives aux consommations d'eau du bananier étaient assez restreintes, mais on savait reconnaître les symptômes des effets de la sécheresse sur cette plante.

On remarque d'abord un ralentissement du rythme des émissions foliaires. SUMMERVILLE (3) montre que l'intervalle entre deux émissions passe de 7 à 25 jours, pour le bananier Nain, en Australie. Le même auteur signale une diminution de la durée de la vie des feuilles. Il faut signaler qu'il envisagea dans ses recherches principalement l'action d'un défaut de température plutôt que l'effet d'une mauvaise alimentation en eau. En réalité, les deux facteurs jouaient dans le même sens. Nous avons fait les mêmes constatations en Guinée (gr. 1), car en saison sèche, on constatait une diminution sensible du nombre moyen de feuilles vivantes à un stade où la comparaison est facile (à la floraison).

Un effet concomittant, mais indiquant selon son degré une action plus ou moins profonde de la sécheresse est la réduction de la longueur des diverses parties de la feuille du bananier. La réduction du limbe s'exprime par une diminution parfois sensible du rapport foliaire (longueur/largeur du limbe). Le manque d'élongation des gaines se matérialise par la diminution des intervalles entre les bases de pétioles (faux entre-nœuds) : c'est ce qu'on nomme l'engorgement

foliaire. (A noter que cet engorgement peut avoir d'autres causes que la sécheresse.)

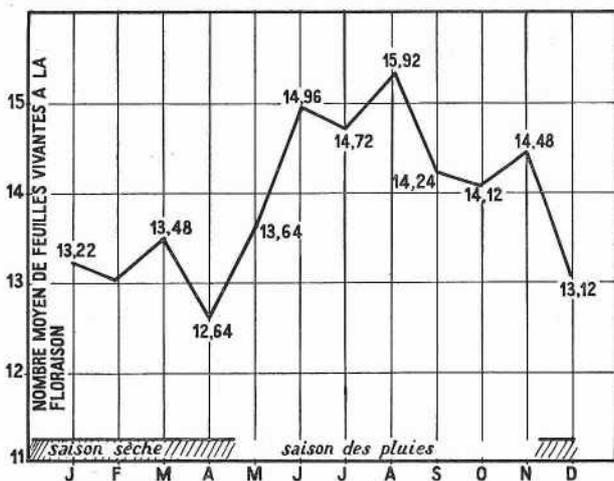
Si le défaut d'alimentation en eau se produit à l'époque de la croissance interne de la tige florale, des accidents spectaculaires atteignent l'inflorescence, dont la sortie est plus ou moins gênée. Le régime peut rester oblique, et se déformer, ou même, ne pouvant sortir du faux tronc, subir des torsions, sortir latéralement, et être de toute façon inutilisable commercialement.

Une longue période de déficience en eau aboutit, par le jeu des fanaisons plus rapides et des sorties plus lentes de nouvelles feuilles, au flétrissement total des limbes, et finalement au flétrissement de la plante entière, tout au moins à la cassure du faux tronc. Par contre, le rhizome, au sec et à l'abri de la lumière, peut conserver plusieurs mois sa capacité de développer ses bourgeons latéraux, dès que les conditions redeviennent propices.

Dans la plupart des régions bananières où l'irrigation est nécessaire, les modalités de cette technique ont été mises au point par des essais empiriques plus ou moins complets.

N. W. SIMMONDS (4) en cite plusieurs exemples dans son ouvrage « Bananas ». A la Station Expérimentale de l'I. F. A. C. en Guinée, dès 1948, on s'apercevait que de grandes quantités d'eau apportées superficiellement par rigoles ne parvenaient pas à supprimer entièrement les dommages de la sécheresse décrits plus haut, quand il s'agissait de terres à plan d'eau profond. La technique de l'irrigation en aspersion diminua beaucoup ces inconvénients et les essais montrèrent que les meilleurs résultats, dans ce pays où la saison sèche se poursuit pendant quatre à cinq mois, étaient obtenus avec une périodicité de cinq jours, chaque irrigation apportant 30 mm de pluie (soit un apport mensuel de 180 mm).

Par suite, on considéra que les mois ayant moins de 100 mm de précipitation étaient déficitaires dans les contrées où les saisons dites sèches ne se poursuivent pas plus de deux mois ; lorsque cette saison durait de trois à cinq mois, des pluviométries de 150 mm étaient au minimum nécessaires pour maintenir la végétation du bananier. Les faits sont en réalité plus complexes si on fait intervenir les besoins journaliers du bananier, la répartition des pluies dans le temps, les notions de pluie utile, et celles du comportement du sol vis-à-vis de l'eau.



**GRAPHIQUE 1** - VARIATION SAISONNIÈRE DU NOMBRE DE FEUILLES VIVANTES À LA FLORAIISON DE BANANIER "NAIN".  
(Moyennes de 50 mesures. Station I.F.A.C. près Hindia, Guinée).  
Bulletin n° 7. 1952. J. CHAMPION.

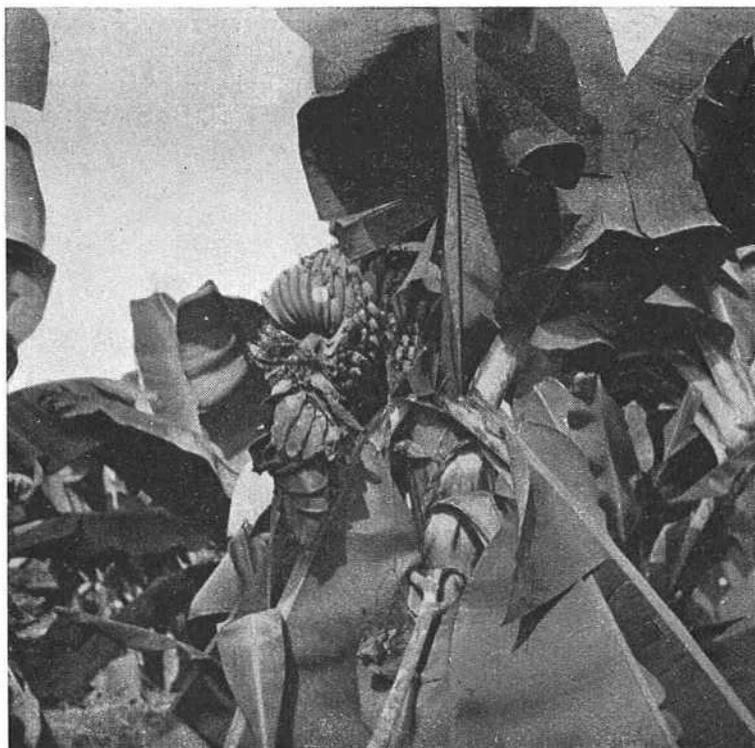


PHOTO 1. — Engorgement du bananier nain en saison sèche.

Quelques faits généraux doivent être rappelés dans ce but.

#### Les ressources en eau.

La pluie est la source quasi unique de l'approvisionnement en eau. Il est possible de régulariser la pluviométrie par des apports artificiels : irrigation au sol ou aspersion. On doit citer diverses sortes de précipitations moins visibles, dépôts de rosées, condensations de brumes ; elles contribuent, dans beaucoup de pays à humidifier les surfaces des feuilles, et à rehausser en fin de nuit et pendant les premières heures du jour, l'état hygrométrique du microclimat de la bananeraie jusqu'à saturation.

Dans le cas particulier où les plantes sont cultivées sur un sol dont le plan d'eau est proche de la surface de 0,60 à 2 m, elles peuvent y trouver un approvisionnement important.

Mais ce plan d'eau est en général fonction de la pluviosité et s'abaisse au cours des saisons sèches.

Une quantité de pluie donnée prend diverses destinations dont les proportions relatives varient en fonction de nombreux facteurs dont on peut citer : l'intensité et la durée de la pluie, le couvert végétal

(nature et densité), la topographie du terrain, les caractères physiques du sol, etc...

Avant d'arriver au sol, une portion mouille les organes aériens des végétaux. Beaucoup d'auteurs estiment qu'il y a une certaine absorption d'eau par les stomates et une diffusion variable par les cuticules. Une partie de cette eau est évaporée immédiatement, une autre ruisselle sur les limbes et, pour le bananier, peut glisser d'une part jusqu'au creux des pétioles, d'autre part à terre. Toute couverture vivante du sol (mauvaises herbes ou plantes de couverture) joue le même rôle d'interception, évidemment plus considérable au début d'une pluie, et pour des pluies de faible intensité. Dans le cas d'une couverture morte (mulch) de pailles ou de branches (techniques communes sur la côte d'Afrique), l'effet d'écran devient considérable. On a pu considérer en Guinée qu'en fin de saison sèche, des précipitations de 10 à 15 mm n'atteignent pas un sol couvert de 20 à 30 cm de paille.

La portion de pluie atteignant la surface du sol se répartit à son tour diversement. Il peut y avoir ruissellement superficiel, phénomène assez rare en bananeraie, sauf sur des sols en pente de nature argileuse. Le plus souvent, l'eau s'infiltrera dans le sol, jusqu'à refus de celui-ci, c'est-à-dire au moment où la rapidité d'infiltration est insuffisante pour l'intensité de

la pluie. On sait que le sol peut retenir une quantité d'eau qui a été définie comme sa « capacité au champ ». Il peut en contenir plus momentanément, suivant sa porosité, mais ce surplus sera drainé ensuite plus ou moins rapidement vers les couches profondes.

Le sol ne retient donc qu'une quantité limitée d'eau, qui ne saurait augmenter avec une pluie très abondante. Dans ce cas si le drainage est lent, si on a omis de le faciliter, le sol est gorgé d'eau et devient asphyxiant pour les racines. Il peut y avoir refus d'infiltration, ruissellement et érosion.

L'eau retenue dans le sol s'évapore progressivement par assèchement à partir de la surface. Les quantités ainsi perdues peuvent être considérables, variant fortement avec le microclimat de la surface, température et humidité, le couvert végétal et l'état physique de l'horizon superficiel du sol.

Enfin, les racines des plantes puisent également l'eau dans le sol. De nombreuses études ont montré que par le jeu des forces de succion antagonistes, celle des racines et celle des colloïdes du sol, une certaine portion seulement de la teneur en eau totale du sol était disponible pour les racines. Cette eau utile se définit comme la différence entre la teneur en eau du sol ressuyé (capacité = humidité équivalente) et la teneur en eau du sol au point dit de flétrissement. De

plus en plus d'ailleurs, il semble que cette eau dite utile le soit plus ou moins selon que l'on se trouve proche de la capacité ou du point de flétrissement, alors qu'on pensait autrefois que les végétaux étaient capables d'utiliser aussi facilement toutes les fractions de cette eau utile.

On aura l'occasion de constater que le bananier utilise assez mal une grande partie de cette eau utile. Cette plante réclame, comme tout végétal, beaucoup plus d'eau que ce qui lui est nécessaire pour l'édification de ses organes (100 à 150 litres d'eau pour un bananier Nain). Sa consommation est essentiellement destinée à la transpiration.

L'étude de ce phénomène est essentielle, puisque déterminant les « demandes » en eau de la plante, variant fortement avec les facteurs agissant sur le microclimat où elle se développe.

Le bananier n'est pas sans posséder quelques moyens de régulation de la transpiration, moyens que nous examinerons plus loin. Ils ne sont cependant pas suffisants pour interrompre le phénomène, et lorsque certaines conditions défavorables se prolongent, on constate des perturbations dans le fonctionnement normal de la plante, se révélant finalement par les symptômes décrits brièvement au premier paragraphe.

## MÉCANISMES DE RÉGULATION DE LA TRANSPIRATION DU BANANIER

### Les stomates et leur fonctionnement.

Les stomates s'ouvrent et se ferment réglant ainsi dans une certaine mesure le degré de la transpiration.

La répartition des stomates sur les limbes de bananier est irrégulière.

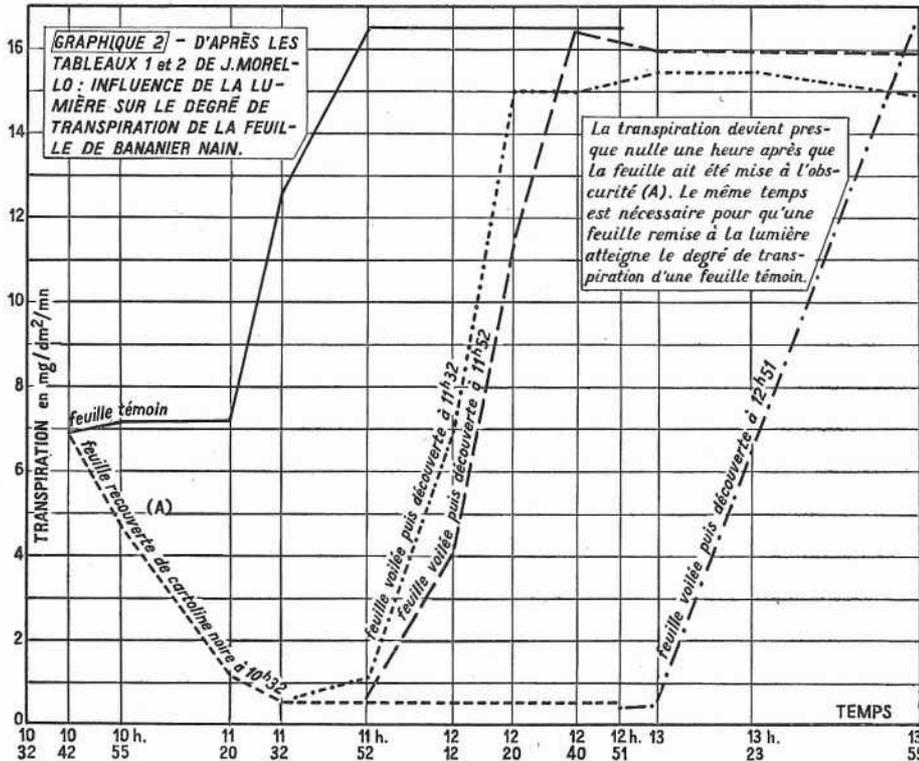
SKUTCH (5) l'étudiant sur la variété « Gros Michel » a montré que leur nombre croît de la base vers l'apex de la feuille sur les deux faces mais qu'il est très différent entre celles-ci : de 158 à 223 au millimètre carré en moyenne pour la face inférieure, de 40 à 64 au millimètre carré en moyenne pour la face supérieure. Cet auteur signale une variation entre les jeunes feuilles du début de la végétation du bananier et les grandes feuilles apparaissant plus tard.

J. MORELLO (2) ne trouve pas, sur bananier Nain de grandes variations entre base et apex, et donne des chiffres comparables à ceux de SKUTCH : 180 à

187 stomates au millimètre carré pour la face inférieure et 36 à 46 pour la face supérieure.

E. SHMUELI (1) considère que la densité des stomates sur les deux faces peut varier suivant les modes d'irrigation utilisés (au sol ou par aspersion), fait très curieux qu'il conviendrait d'étudier plus avant.

J. MORELLO et E. SHMUELI ont utilisé diverses techniques d'étude du degré d'ouverture des stomates, particulièrement les tests d'infiltration de MOLISH, et l'observation microscopique directe. Le second auteur a établi une échelle (0 à 100) basée sur les temps nécessaires pour obtenir la confluence des taches après infiltration. Il devait étudier plus particulièrement ce degré d'ouverture qu'il considère comme le meilleur des critères indiquant un besoin en eau du bananier. J. MORELLO étudia principalement les pertes en eau de portions foliaires (à la balance de torsion), corrélativement à des observations de stomates (infiltra-



tion, observation directe) avec une échelle moins détaillée que celle de SHMUELI.

**Réaction des stomates à la lumière.**

Sur des feuilles mises à l'abri total de la lumière par des écrans, J. MORELLO constate que la fermeture totale des stomates nécessite environ une heure (les premiers signes de fermeture se produisent en 20 à 23 minutes). Si l'on découvre des feuilles ayant été soumises à l'obscurissement assez longtemps pour que leurs stomates se soient fermés complètement, la réouverture demande également une heure (gr. 2). Pour s'assurer que cet obscurissement artificiel ne provoque pas d'anomalies, l'auteur vérifie que la fermeture se produit rapidement après la fin du jour (elle était effective, à São Paulo, entre 19 h et 19 h 30).

L'auteur constatait que, lorsque les stomates étaient fermés, on notait le même palier de transpiration : 0,57 mg/dm<sup>2</sup>/mn (ce mode d'expression sera retrouvé souvent plus loin : quantité transpirée en milligrammes par décimètre carré de limbe et en une minute).

Si les stomates se fermaient complètement la nuit, fait classique, les obscurissements au cours de la jour-

née n'affecteraient pas, s'ils sont d'assez brève durée, selon le même chercheur, le degré d'ouverture des stomates. Il constate que les stomates s'ouvrent le matin et se ferment le soir, cela pour la face inférieure des limbes à São Paulo, car dans ce même lieu, les stomates de la face supérieure étaient ou semblaient être complètement fermés.

L. SHMUELI note au contraire que les stomates des deux faces sont fortement ouverts en période d'insolation, mais que les feuilles ombragées par les autres ont des ouvertures de stomates moindres. Nous ne pouvons expliquer cette différence, mais observer seulement qu'en Israël, il s'agit de plantes irriguées régulièrement, tandis qu'au Brésil il semble, d'après les rythmes d'émissions foliaires signalés par l'auteur, que les plantes se trouvaient dans des conditions moins bonnes.

**Réaction des stomates à la teneur en eau des feuilles.**

Des portions de limbes prélevées sur des limbes et pesées continuellement poursuivent leur transpiration un certain temps, au détriment de l'eau contenue dans ces fragments, dont le déficit en eau augmente donc

progressivement. MORELLO a considéré en détail cette augmentation, et constaté que les premiers signes de dessèchement (courbure du fragment) apparaissent avec un déficit de 4 %, que la courbe de transpiration décroît rapidement à partir de 8 % et que la fermeture totale des stomates ne se produit que par un déficit en eau de la feuille de 19 à 21 % en moyenne. L'auteur indique cependant nettement qu'il n'a jamais observé ce dernier cas dans la nature, même dans des conditions très défavorables.

Le fait intéressant est de constater que la fermeture totale des stomates ne se réalise pas avec des déficits de saturation, de la feuille allant de 4 à 8 % et même au-delà. *La protection contre un excès de transpiration semble donc très incomplète chez le bananier, par la seule action des mouvements des stomates.*

#### Réaction des stomates à l'humidité atmosphérique.

Le même auteur compare l'allure des courbes de transpiration sur des portions foliaires coupées à des moments où les humidités atmosphériques sont très différentes. Dans le premier cas (27 % d'humidité), la baisse de transpiration est presque immédiate, puisqu'après 4 minutes, elle est de 50 % de la valeur initiale. Dans le second cas (62 % d'humidité), après le même laps de temps, la baisse n'a été que de 20 %. L'explication donnée est que par faible humidité, les stomates sont déjà partiellement fermés, et qu'ils peuvent poursuivre rapidement ce mouvement de fermeture.

#### Fermeture des stomates et humidité du sol.

SHMUELI, utilisant une méthode plus précise d'estimation de la fermeture des stomates, montre que ce phénomène est fonction du pourcentage de l'eau utile encore disponible dans le sol, comme cela peut être vu dans le tableau suivant, emprunté à l'auteur israélien.

La fermeture des stomates n'est pas totale même quand la fraction de l'eau utile tombe à 34 %, 7 à 9 jours après l'irrigation. Les deux auteurs sont donc en accord sur le fait d'une protection incomplète. SHMUELI signale bien, par ailleurs, que par des ouvertures de stomates de 0 à 2 microns, les transpirations peuvent rester considérables.

Il considère seulement que le degré de fermeture est avant tout *un indicateur* du besoin en eau de la plante, par suite de la baisse d'eau disponible dans le sol.

% DU TOTAL D'EAU UTILE ENCORE PRÉSENT DANS LE SOL	COTATION D'OUVERTURE DES STOMATES (100 MAXIMUM)
plus de 100 %	90
86 %	82
77 %	83
67 %	53
55 %	52
43 %	52
34 %	23

moyennes des deux  
faces des feuilles,  
exposées au soleil

En résumé — *les stomates du bananier réagissent normalement aux facteurs lumière, humidité atmosphérique, teneur en eau de la feuille ; la réaction à ce dernier état est sans doute très sensible, puisque la liaison avec la teneur en eau utile du sol est nette. Cependant, la fermeture totale ne se constate que rarement, sinon la nuit, et une fermeture presque totale ne limite pas suffisamment la transpiration pour réduire nettement sa consommation d'eau.*

#### Mouvements foliaires.

TRELEASE (6) et SKUTCH (5) ont décrit le phénomène du repliement foliaire, bien connu de tous ceux qui cultivent le bananier. Par temps sec, dans la journée, les deux demi-limbes se plient vers le bas, les bords de la nervure centrale formant charnière. Elles sont appelées bandes pulvinaires et leur anatomie a été décrite en détail par SKUTCH. Lorsque les demi-limbes se rapprochent, il se crée entre leurs faces inférieures, dans cet angle plus ou moins aigu un microclimat où l'humidité de l'air peut sans doute se maintenir à niveau plus élevé qu'à l'extérieur. Par temps couvert et la nuit, les demi-limbes reviennent presque dans le même plan. Ce mouvement est dû à une diminution de turgescence agissant localement sur les tissus spécialisés des bandes pulvinaires.

J. MORELLO a étudié ce phénomène, comparant les déficits de saturation de feuilles et les angles inférieurs formés par les deux demi-limbes (le sommet de l'angle étant la nervure centrale). Pour des angles de 45 et 50°, le déficit de saturation en eau des limbes variait de 6,5 à 7 %. Pour des angles de 130°, il était de 3 %. Il conclut que le mouvement coïncide avec le début de fermeture des stomates, mais n'a pas précisé le degré de fermeture, n'utilisant pas une cota-

tion assez sensible. Il a cependant noté des cas de fermeture totale (infiltration nulle) quand les deux demi-limbes se touchaient (angle 0°).

Lorsque les feuilles reprennent leur position étalée on peut supposer que le déficit de saturation a diminué. Il serait d'ailleurs intéressant d'étudier ces mouvements plus en détail.

SHMUELI indique qu'au fur et à mesure que les jours s'écoulent après une irrigation, la teneur en matière sèche diminue dans la feuille ; ces feuilles reprendraient donc chaque nuit leur « saturation » en eau ; mais il n'a pas étudié l'amplitude de ces mouve-

ments foliaires au cours des journées succédant à une irrigation. Pourtant, il nous semble que cet « indicateur », l'angle des demi-limbes, peut devenir très utile si ses variations indiquent sensiblement l'état de l'eau dans la feuille.

TRELEASE et MORELLO ont également signalé que la courbure des nervures centrales augmente quand le temps est sec, certainement par diminution de turgescence. Les feuilles se redressent la nuit. Nous avons observé des cassures de pétiole dues à des diminutions de turgescence brutales, cette portion foliaire ne pouvant plus supporter le poids du limbe.

## LA TRANSPIRATION

### Quantités transpirées.

Le fait intéressant est que les deux auteurs, utilisant la méthode des pesées de fragments foliaires, pour la même variété de bananier, mais en deux lieux très éloignés, aboutissent à des résultats comparables, et utilisables pour des estimations de consommation d'eau par la plante. Dans les exemples donnés ci-dessous, il s'agit toujours de feuilles récemment émises sur plantes adultes, non ombragées par d'autres feuilles et au maximum de transpiration observé au cours d'une journée :

J. MORELLO :

	HUMI-DITÉ	TEMPÉ-RATURE	TRANS-PIRATION
Feuille adulte ..	40 %	30° C	39 mg/dm <sup>2</sup> /mn
Feuille jeune....	41 %	28° C	27,6
Feuille adulte :			
jour calme, soleil	35 %	32° C	47 mg/dm <sup>2</sup> /mn
jour avec vent,			
soleil .....	15,7 %	34° C	48,3

E. SHMUELI :

(D'après les graphiques 6,5, 7 de son article-ref. 1)

(fig. 6)	1 jour après irrigation	43 mg/dm <sup>2</sup> /mn
(fig. 5)	4 jours après irrigation	54
	humidité 28 %	
(fig. 7)	humidité 40 %	39 mg/dm <sup>2</sup> /mn

Nous préciserons plus loin les quantités transpirées au cours d'une journée ou d'une période donnée. Il

est nécessaire de donner quelques indications sur les composants de la transpiration et les facteurs qui agissent sur elle.

### Composants de la transpiration.

*Transpiration par les stomates.* — Elle est de beaucoup plus importante que la transpiration dite cuticulaire.

J. MORELLO, travaillant sur bananiers non irrigués par aspersion, compare la transpiration respective des deux faces du limbe, par envaselinage d'une face pour étudier la transpiration de l'autre. Le matin et le soir, la face supérieure transpire une quantité d'eau égale à 12,5 % de celle transpirée, par la face inférieure, ce qui n'est pas proportionnel au rapport des nombres de stomates (20 %). Mais il ne faut pas oublier qu'à São Paulo, les stomates des faces supérieures sont pratiquement fermés ou presque. En pleine journée, la face supérieure ne transpire plus que les 3,3 % (minimum) de la face inférieure.

SHMUELI indique que dans le cas de bananiers irrigués au sol, les infiltrations au travers des stomates sont plus importantes sur les faces inférieures que sur les supérieures, ce qui s'accorde dans une certaine mesure avec les observations de MORELLO, mais que c'est l'inverse sur des bananiers irrigués par aspersion. Cette technique est-elle capable de modifier le comportement des stomates, même avec une répétition des aspersionnements seulement chaque cinq jours ?

Une sécheresse persistante réduit-elle la capacité de fonctionnement des stomates ?

Quelle est l'action de la pluie sur cette capacité ?

Nombreuses questions actuellement encore sans réponse.

La *transpiration cuticulaire* se produit au travers de la cuticule que SKUTCH (5) note comme étant plus épaisse (1 à 2 microns) sur la face supérieure que sur la face inférieure (0,5 microns), variété « Gros Michel ».

MORELLO a recherché les valeurs de cette perte d'eau dans deux cas :

celui où la cuticule est sèche, au cours d'une journée ensoleillée par exemple ;

celui d'une cuticule saturée (ayant subi l'action de la rosée c'est-à-dire ayant absorbé par diffusion le maximum d'eau). La transpiration tend dans le premier cas, pour des fragments foliaires à atteindre un palier où la perte se maintient à 0,48 mg/dm<sup>2</sup>/mn. Un calcul de l'auteur montre qu'il faudrait plus de 40 heures pour que la feuille arrive à dessiccation.

Il en conclut à une excellente protection cuticulaire chez le bananier.

Il apparaît de plus que la transpiration cuticulaire est plus faible pour les feuilles anciennes que pour celles qui viennent de se dérouler.

Finalement, MORELLO, étudiant des feuilles adultes, fixe la valeur de la transpiration moyenne nocturne à 0,57 mg/dm<sup>2</sup>/mn et conserve cette valeur dans ses calculs. Mais elle ne représente qu'une faible part (de l'ordre de 2 %) de la transpiration moyenne totale.

#### Facteurs influençant la transpiration.

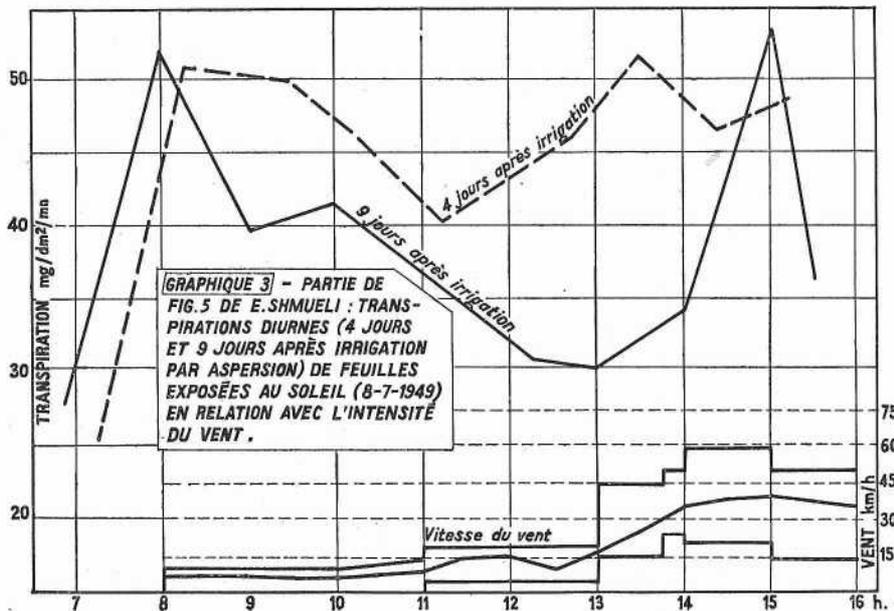
*Age des feuilles.* — D'après MORELLO, une feuille âgée de neuf jours transpire moins le matin qu'une

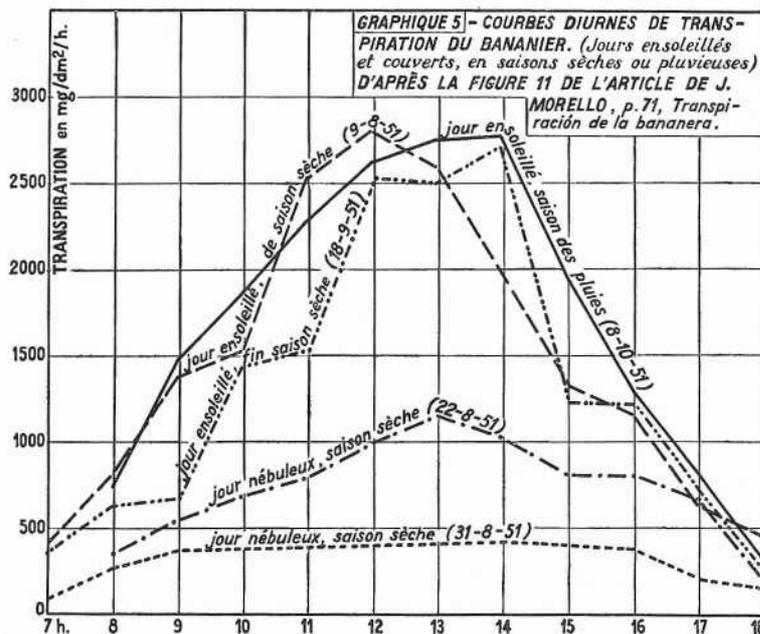
feuille adulte de deux mois ; la différence s'amenuisera jusqu'à devenir nulle vers 16 heures. Ceci signifierait une meilleure régulation chez les jeunes feuilles.

*Éclairement.* — SHMUELI a établi des courbes comparant l'infiltration stomatique sur feuilles ensoleillées et ombragées ; les différences sont nettes : les stomates des feuilles à l'ombre sont partiellement clos. Cela correspond effectivement à de fortes différences de transpiration (sans jamais annuler celle-ci). J. MORELLO montre que les transpirations par jours ensoleillés peuvent être le triple de celles relevées en jours couverts (graphique 5). Il y a là un fait intéressant, si on considère qu'une transpiration par jour ensoleillé et calme représente la condition où la plante végète le mieux, où son métabolisme est maximum.

La nébulosité est un facteur défavorable important, car finalement, nous verrons que les estimations du dernier auteur cité, après intégration des courbes diurnes, donnent une quantité transpirée de 9,45 litres d'eau pour un jour couvert, contre 25,05 litres pour un jour ensoleillé. D'autres observations (GUYOT en Guadeloupe, E. TAI en Jamaïque, etc.) montrent que la nébulosité ralentit sensiblement la végétation du bananier.

Cependant, nous avons envisagé jusqu'ici une *transpiration maxima normale*. Nous pensons qu'elle peut être anormale dès que ce phénomène rompt l'équilibre interne de la feuille, dès que le limbe présente un déficit hydrique supérieur (MORELLO) de 4 à 5 %.





*Hygrométrie et vent.* — Il paraît assez difficile, d'après les données actuellement disponibles, de discerner l'importance des divers facteurs en cause. Nous estimons personnellement que le microclimat de la surface foliaire transpirante est essentiel, mais pratiquement aucune étude n'a été faite sur ce problème.

SHMUELI met en évidence une réduction de la transpiration aux heures les plus chaudes et les plus sèches de la journée, avec des courbes transpiratoires à deux sommets (graphique 3). Il semble cependant que le second sommet soit dû à l'existence d'un vent d'après-midi. Il faut noter que les courbes relatives à des feuilles protégées n'ont qu'un sommet, comme dans les graphiques de MORELLO.

Or, le vent, en dehors d'une action mécanique très possible, crée de toute façon un déficit permanent d'hygrométrie de l'atmosphère immédiatement en contact avec les ostioles par un « balayage » ininterrompu. Bien qu'il existe toujours des turbulences dans une bananeraie ensoleillée, on peut admettre cependant que par temps calme, la couche d'air en contact avec le limbe puisse constituer un microclimat.

Puisque selon SHMUELI l'ouverture des stomates augmente par le vent d'après-midi, alors qu'elle diminue par temps calme aux mêmes heures, on peut supposer que le vent est cause d'une transpiration supplémentaire et que l'on peut qualifier d'anormale.

L'action du vent sur la transpiration a donné lieu à des controverses entre auteurs travaillant sur divers matériels végétaux. Pour le bananier, nos observa-

tions sur l'action des vents desséchants en Afrique occidentale (harmattan) confirment l'importance donnée par SHMUELI à ce facteur.

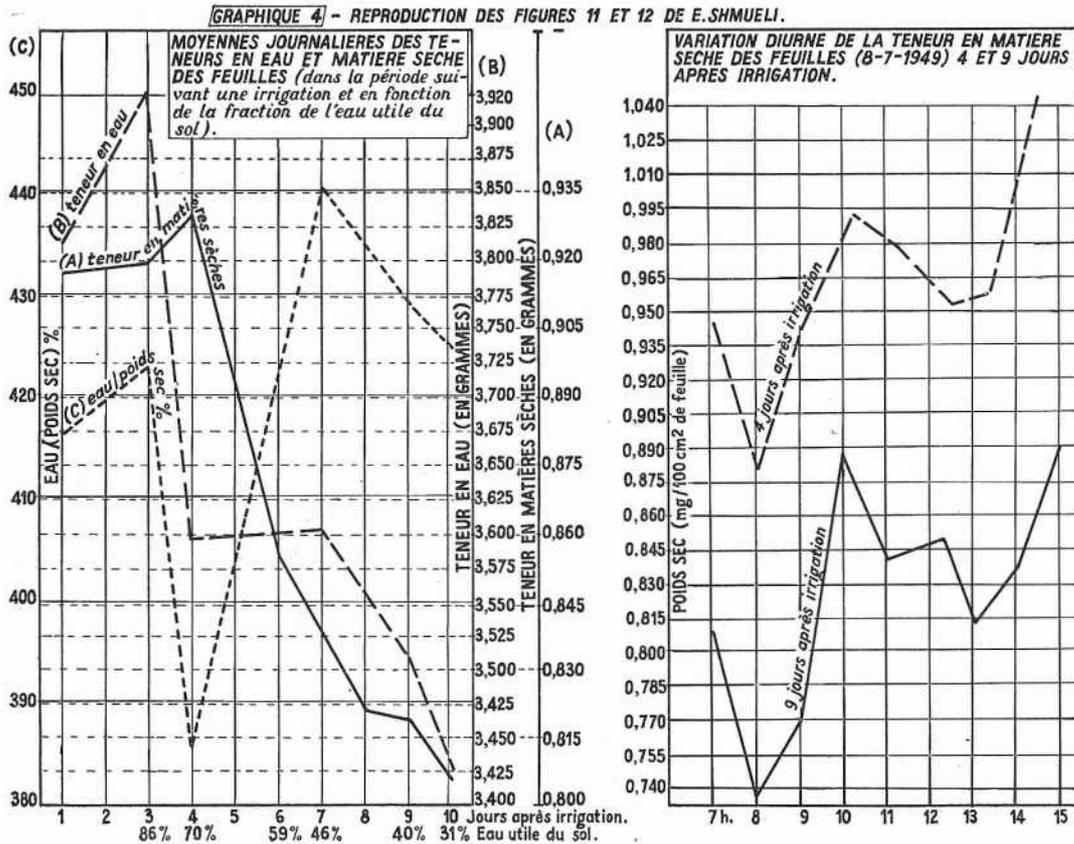
Les symptômes extérieurs ne paraissent surtout qu'à cette époque, en particulier les engorgements.

Il faut signaler pour être complet que le vent découpe les demi-limbes des bananiers en nombreuses lanières transversales, dans le sens des nervures secondaires. Malgré une subérisation des cellules bordant ces déchirures (SKUTCH), il y a une perte de surface assimilatrice.

D. SIEV [cité par J. LORCH (7)] a montré, d'ailleurs, en Israël, que des plantes à feuilles normales donnent des régimes significativement plus lourds que des bananiers à feuilles lacérées. En étudiant l'effet des brise-vent, J. LORCH a démontré que le nombre de déchirures sur des feuilles âgées d'une semaine quintuple depuis le rang adjacent au brise-vent jusqu'au sixième rang après cet écran.

*Pour conclure, nous sommes amenés à émettre l'hypothèse que l'on doit distinguer la transpiration normale, qui se produit quand les stomates sont parfaitement ouverts, de la transpiration anormale, qui existe quand les stomates sont partiellement fermés, et qui présente de grands inconvénients pour le bananier.*

Le mérite de SHMUELI est d'avoir en quelque sorte considéré la fermeture des stomates comme un signe d'alarme. Les deux auteurs ont bien reconnu la limi-



tation partielle de la transpiration par la réaction de la plante, fermeture des stomates, repliement des limbes.

Les données de SHMUELI montrent bien que la diminution de l'eau utile du sol amène une diminution de transpiration, mais la perte d'eau n'en est pas considérablement diminuée. En plein ensoleillement, le fonctionnement normal de la plante se révèle par l'ouverture totale des stomates.

**Conséquences physiologiques.**

Une étude sur fragments foliaires découpés sur des limbes ne peut exactement nous renseigner : l'approvisionnement en eau est coupé. Les premiers signes de dessèchement apparaissent dans ces conditions par un déficit de saturation dans la feuille de 4 à 6 %, et on pourrait considérer ce chiffre comme représentant le maximum de perte d'eau que peut subir un limbe en transpiration normale.

Dès que la transpiration peut être qualifiée d'anormale, il se produit de grands changements dans les proportions d'eau et de matière sèche en particulier. Les observations de SHMUELI montrent que la variation diurne de matière sèche reste parallèle que ce soit

4 jours ou 9 jours après l'irrigation : il y a d'abord croissance de teneur en matière sèche jusqu'à un premier sommet, puis nouveau sommet dans l'après-midi. On remarque que les teneurs en matière sèche 9 jours après la dernière irrigation ne sont plus que les 90 % de celles observées 4 jours après irrigation. Les différences sont significatives (graphique 4).

La figure de gauche de ce graphique, empruntée à SHMUELI montre que dès que la fourniture d'eau de la part du sol devient déficitaire il se produit une perte de teneur en eau, suivie rapidement d'une perte en matière sèche. Cependant la plante réagit très rapidement et la chute de teneur relative en eau (teneur en eau/poids sec) remonte fort rapidement, même au-dessus de son niveau antérieur.

Cette réaction rapide du bananier est également un processus de défense par changements cellulaires. Elle explique que dans la nature, MORELLO n'ait pas constaté les déficits hydriques constatés sur portions foliaires. Si l'on étudie la proportion d'eau par rapport au poids total à diverses dates du graphique n° 4 de SHMUELI, on constate que cette proportion ne varie guère, entre 79,5 % et 81 %. Mais il s'agit de moyennes journalières et on peut penser que les

déficits existent principalement à certaines heures de la journée et qu'ils se produisent très rapidement. Il faut songer en effet qu'une perte de 40 mg d'eau par minute épuiserait l'eau totale d'un décimètre carré de limbe en une vingtaine de minutes s'il n'y avait réaction d'aucune sorte.

SHMUELI a également abordé l'étude des pressions osmotiques dans les feuilles et racines (méthode cryoscopique de WALTER, 1931). Il a constaté que quand l'eau utile du sol a décliné aux 40 % du maximum, la pression osmotique des racines passe par un maximum entre 12 h et 13 h 40 comme si elles tendaient à aug-

menter leur succion à ce moment. Dans les feuilles, une réduction de pression est observée quand l'eau disponible tombe à moins de 50 % du total. Ceci coïncide, remarque cet auteur, avec l'augmentation relative de teneur en eau de la feuille, au quatrième jour suivant une irrigation quand l'eau du sol commence à se raréfier.

Enfin SHMUELI a vérifié que le jaunissement des feuilles (flétrissement) se produit quand la teneur en eau du sol passe à moins du tiers du maximum d'eau utile possible (capacité % — % au point de flétrissement).

## LE BILAN HYDRIQUE

### Les besoins du bananier.

Dans les conditions de São Paulo, J. MORELLO a procédé à une tentative d'évaluation des besoins du bananier, en basant ses calculs sur une surface transpirante par plante de 13,5 m<sup>2</sup> ce qui correspond assez bien à la réalité pour des bananeraies de faible densité. Il se sert de ses courbes journalières de transpiration, pour le calcul des consommations journalières (gr. 5).

Pour un jour ensoleillé, cette consommation est de 25 litres ; pour un jour mi-couvert, de 18 litres et pour un jour complètement nébuleux, de 9,5 litres. Sur une courbe de transpiration établie par SHMUELI pour la région du Jourdain, nous avons estimé la consommation à 28 litres (la courbe est différente, fait que nous attribuons aux jours plus longs en Israël).

MORELLO, extrapolant sur la base des moyennes climatiques de São Paulo (67 jours de soleil, 170 mi-couverts et 128 couverts), attribue au bananier un besoin annuel de 6 025 litres par plante. Nous ne pouvons nous permettre une extrapolation identique pour le Jourdain, en l'absence de données climatiques précises, mais on notera que en sept mois ensoleillés d'été, la même consommation serait atteinte.

Le chercheur brésilien a ensuite considéré que des faibles densités (800 bananiers à l'hectare) pouvaient trouver les ressources en eau par la seule pluviométrie (étudiée mensuellement), alors que des populations de 2 500 plantes auraient à faire face à des déficits pendant plusieurs mois. Il est difficile de dire dans quelle mesure ces considérations sont justifiées, mais elles contribuent déjà à résoudre le problème de l'irrigation. Elles ne tiennent pas compte des pertes directes du sol ou des pertes dues à la végétation adven-

tice, qui diminuent, elles, quand les densités utilisées en bananiers augmentent. Il est probable qu'en bananeraie, l'ombrage interne augmentant avec la densité, la partie de surface foliaire transpirant au maximum diminue sensiblement pour des populations denses.

Pour un mois constamment ensoleillé, pour 2 500 bananiers adultes, et une consommation journalière de 25 litres, la demande est de 1 875 m<sup>3</sup>. Il est à noter que les essais d'aspersion en Guinée ont amené à apporter mensuellement 180 mm, ce qui est très voisin de la consommation de la plante (Station I. F. A. C.). On notera qu'en Israël, dans la vallée du Jourdain, il est apporté 3 600 m<sup>3</sup> par mois et par hectare, donc le double, mais les conditions sont notablement différentes.

En plus de ces notions déjà intéressantes de consommations journalières, mensuelles ou annuelles, il paraît indiqué de considérer les besoins du bananier, pour des temps courts, au moment où la transpiration est à son maximum.

Pour fixer les idées, en choisissant 50 mg/dm<sup>2</sup>/mn (forte saison sèche, soleil) pour une surface toujours de 13,5 m<sup>2</sup> (soit une dizaine de feuilles bien exposées au soleil), le besoin en eau par minute est de 67,5 g. Interviennent alors deux facteurs très importants, dont l'un, l'eau du sol, a été étudié par SHMUELI, et dont l'autre, le potentiel racinaire de la plante, nous paraît essentiel.

### Racines et sol.

Si nous considérons seulement le besoin journalier du bananier en période ensoleillée, soit 25 litres environ, le sol peut facilement fournir cette quantité dans

le cas d'un plan d'eau proche. Si le drainage est libre on doit considérer le problème de plus près. On admet généralement que le système racinaire explore trois tonnes de terre par bananier.

SHMUELI a bien mis en évidence que le bananier n'était susceptible d'utiliser correctement que le tiers de l'eau dite utile. Pour une teneur de 20 % d'eau utile, le bananier n'utilise bien que 6 % à 7 %. Pour une plante, 210 litres sont donc parfaitement utilisables, mais l'évaporation d'eau directe du sol réduira cette quantité progressivement après une irrigation.

On notera immédiatement que pour une teneur d'eau utile de 12 %, donc utilisable de 4 %, la réserve tombe à 120 litres, ce qui ne suffit guère qu'à quatre jours de consommation : cela semble être ce qui se passe en Israël.

Il est intéressant de revenir à la notion de consommation instantanée. Pour fournir 67,5 g d'eau, les racines assècheront (sol à 7 % d'eau utilisable par le

bananier) 1 kg de terre en une minute. L'état du système racinaire prend une singulière importance, et c'est peut-être à ce stade que se produisent les insuffisances du flux de sève et donc les déficits en eau dans les feuilles et les baisses de turgescence. Dans le cas du parasitisme, par les nématodes notamment, on peut avoir seulement 50 racines actives, alors qu'un bananier sain en aura facilement 2 à 300. On ignore actuellement quelle quantité d'eau peut absorber une racine saine, pourvue de ses racines secondaires. On peut supposer qu'elle peut assez rapidement épuiser ce que le volume de terre prospecté peut offrir. On peut supposer également que les possibilités d'extraction d'eau du sol sont fonction du nombre de racines intactes. Sans vouloir aller plus loin dans le domaine des hypothèses, nous voulons simplement mettre en évidence l'importance du maintien et de la protection du système racinaire, principalement aux époques où la transpiration est la plus élevée.

## QUELQUES IDÉES SUR LA PRATIQUE DES IRRIGATIONS

### Connaissance du sol.

Dans le cas où le plan d'eau est accessible aux racines, aucun problème ne devrait théoriquement se poser. Cependant puisqu'on constate parfois dans ces conditions des effets de sécheresse, il faut incriminer soit un parasitisme tel qu'on vient de l'évoquer, soit une insuffisance de la conduction dans une partie du bananier, rhizome ou gaine par exemple, inhérente à la plante et contre laquelle on serait désarmé. Les constatations de SHMUELI laissent cependant peu de chances à cette hypothèse.

Pour un sol drainant profondément, cet auteur a montré que la notion d'eau utile est à réviser, apportant d'ailleurs sa contribution à la controverse en cours sur cette question. En fait, à partir du point « capacité » la faculté d'utilisation de l'eau est variable, diminuant rapidement quand un tiers en est

consommé, et s'annulant bien avant le point dit de flétrissement.

On peut donc conseiller aux producteurs de connaître les caractéristiques hydriques de leurs sols par des prises d'échantillons moyens d'autant plus abondants que la topographie des bananeraies est variée.

C'est le sol qui fixe les quantités d'eau maxima à apporter à chaque irrigation. Il est inutile en effet de dépasser de beaucoup la capacité du sol, l'eau apportée en trop tendant à drainer. Comme pour le bananier, on ne doit pas laisser la teneur en eau descendre en dessous du niveau critique déterminé pour le bananier, la quantité à utiliser à chaque irrigation peut être adoptée une fois pour toutes. Ainsi, un sol dont l'eau utile est de 20 % (eau utilisable de 7 %) épaisseur de sol utile de 35 cm, densité 1,5, réclamera 37 mm au maximum (quantité atteignant réellement le sol). Compte tenu des pertes, on considérera qu'on doit

apporter de 400 à 450 m<sup>3</sup> dans ce cas. Mais on doit bien noter que si l'eau utilisable n'est que de 4 %, cette pluviométrie n'est plus de 21 mm.

Ceci est une indication de base qui doit être corrigée par diverses considérations.

### Protection du sol.

L'eau apportée peut être évaporée du sol pour une fraction plus ou moins importante. Les couches superficielles du sol, riches en racines, se dessèchent les premières. Dans le cas cité par SHMUELI, l'évapotranspiration fut de 70 m<sup>3</sup>/ha pendant les premiers jours suivant une irrigation abondante de 600 m<sup>3</sup>/ha ; on peut penser que la transpiration comptait pour 60 m<sup>3</sup> par jour environ et que les pertes par évaporation du sol étaient donc de 1 mm par jour, cette évaluation évidemment très approximative. Dans une

étude de J. BERNARD, M. E. BLOODWORTH et W. R. COWLEY (8) réalisée au Texas, la perte journalière d'un sol nu travaillé sur 7,5 cm superficiellement, était de 3,5 mm par jour, en condition très sèche (évaporation d'une nappe libre d'eau : 7,1 mm) soit 35 m<sup>3</sup>/ha. On peut donc concevoir qu'en bananeraie, elle soit de 10 m<sup>3</sup>/ha par jour.

Dans la même étude, les auteurs ont montré qu'un sol enherbé perd 5,3 mm par jour, tandis qu'un léger paillis de 7 cm réduit la perte à 2,8 mm. Pour ce qui est des bananeraies, les planteurs connaissent les avantages des épais paillis ou branchages, jusqu'à 30 et 40 cm, pour le maintien de l'humidité.

Du moins peut-on conseiller aux praticiens le maintien du sol nu, soit manuellement, soit mécaniquement, ou par désherbage chimique. Dans ces conditions, et lorsque le couvert végétal du bananier est bien assuré, les pertes par évaporation en plantation peuvent être très réduites.

**Périodicités des irrigations.**

Les caractéristiques du sol fixent donc les apports d'eau utilisables par la plante. Le problème est le maintien des réserves sans à-coups, ce qui est certainement la partie la plus délicate de la conduite des irrigations. Il faut rechercher des méthodes extrêmement simples, praticables dans les conditions souvent rustiques de la culture.

SHMUELI conseille l'examen de l'ouverture des stomates.

MORELLO apporte des estimations de consommation journalière suivant les conditions atmosphériques.

Il semble que l'on puisse déduire de toutes ces données des indications valables en pratique, à condition de procéder à quelques observations simples.

De toute évidence, les périodes

les plus délicates sont celles où la pluviométrie se ralentit, devient irrégulière. Trop souvent, les cultivateurs croient en des réserves importantes du sol, alors que celles-ci peuvent être épuisées en quelques jours. Il serait indispensable que les praticiens tiennent une comptabilité de leur stock d'eau utilisable.

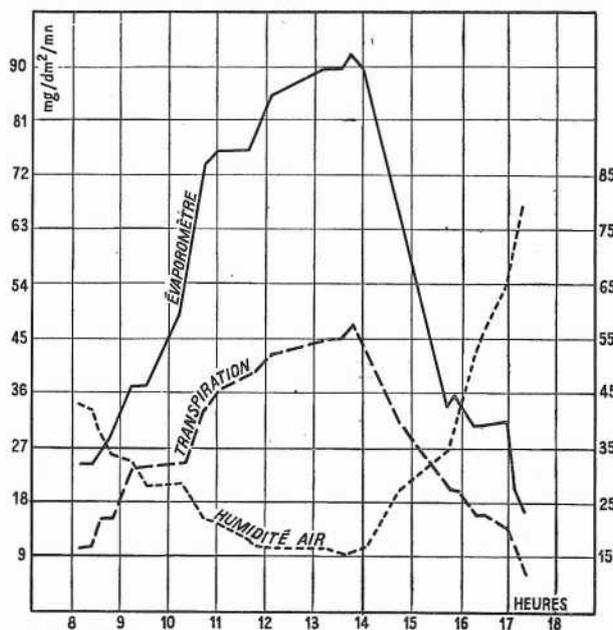
Dans la bananeraie, le drainage sera contrôlé par l'examen de trous ou celui du niveau d'eau dans des tuyaux perforés disposés de place en place, jusqu'à 1 m de profondeur. En fin de saison des pluies, on observera la baisse progressive du plan d'eau. Dès qu'il n'apparaît plus à 80 cm-90 cm de profondeur, on doit considérer que le sol est à sa capacité et que la consommation du stock débute.

La consommation d'une bananeraie à 2 500 plantes adultes à l'hectare varie selon les conditions climatiques et on peut prendre les

bases, approximativement selon MORELLO :

- jours ensoleillés : 65 à 70 m<sup>3</sup> à l'ha
- jours mi-couverts : 45 à 50 m<sup>3</sup>
- jours couverts : 24 à 26 m<sup>3</sup>

Le cultivateur devra noter les précipitations pluviométriques. On doit retrancher systématiquement une certaine portion de chaque pluie considérée comme ne pénétrant pas le sol. Par exemple 5 mm en fin de saison pluvieuse, 10 mm en cours de sécheresse jusqu'à 20 mm si le terrain est fortement paillé. Si une pluie dépasse 42, 47 ou 57 mm (selon ce que l'on vient d'indiquer), on considère simplement que le stock est revenu à son maximum de 370 m<sup>3</sup>, sans tenir compte d'un supplément considéré comme perdu. Par une journée pluvieuse, on considérera la consommation des bananiers comme nulle.



GRAPHIQUE 6 - D'APRÈS J. MORELLO, figure 10 : COURBES DIURNES DE LA TRANSPIRATION DU BANANIER, DE L'ÉVAPORATION ET DE L'HUMIDITÉ RELATIVE ATMOSPHÉRIQUE, PAR JOUR ENSOLEILLÉ DE LA SAISON DES PLUIES. (L'évaporation est calculée par pesée simultanée de disques de papier vert, saturés d'eau, de même dimension que les portions foliaires servant aux calculs de transpiration, l'évaporomètre Puche donne des indications plus élevées, surtout par vent).

L'évaluation des ensoleillements est toujours délicate, mais on peut y procéder grâce à un évaporimètre

Piche, ou s'il est impossible de s'en occuper journallement, avec un hygromètre enregistreur. MORELLO a

montré le parallélisme entre les indications de ces appareils et la transpiration (graphique 6).

## CONCLUSION

Depuis quelques années, on conseillait d'irriguer par aspersion avec périodicité courte et des doses proportionnellement plus faibles. Deux auteurs nous apportent des bases nouvelles d'évaluation pour la conduite des apports d'eau à la plante.

J. MORELLO calcule les consommations journalières selon diverses conditions climatiques, SHMUELI démontre que le bananier n'utilise au mieux qu'une faible partie de l'eau dite disponible du sol. Il nous paraît possible de régler plus facilement les irrigations en connaissant les caractéristiques d'un sol et en estimant la consommation d'eau en fonction de l'ensoleillement des jours successifs.

Étant donné les pointes de consommation possibles en milieu de journée, il semble qu'il faille accorder la plus grande attention à l'état du système racinaire du bananier, sujet au parasitisme.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) E. SHMUELI. — Irrigation studies in the Jordan Valley- I. Physiological activity of the Banana in relation to soil moisture. *Bulletin of The Research Council of Israel*.
- (2) J. MORELLO. — Transpiracion y balance de agua de la bananera en las condiciones de la ciudad de São Paulo. *Univers. São Paulo. Botanica*, n° 10, p. 27-97.
- (3) SUMMERVILLE W. A. T. — Studies on nutrition as qualified by development in *Musa Cavendishii* Lambert. *The Queensland Journ. of Agricult. Science*, 1944, I, (1-127).
- (4) N. W. SIMMONDS. — Bananas, 1959, Longmans, Londres.
- (5) Alex. F. SKUTCH. — Anatomy of leaf of Banana, *Musa sapientum* L. var. hort. Gros Michel. *The Botanical Gazette*, dec. 1927, vol. LXXXIV, n° 4.
- (6) Sam TRELEASE. — Night and day rates of elongation of banana leaves. *Phil. Journ. Sci.*, 23, p. 85-96, 1923.
- (7) J. LORCH. — Analysis of windbreak effects. *Bulletin of the Research Council of Israel*, Sect. D. Botany, 6 D, n° 4, Ju. 58.
- (8) C. J. BERNARD, M. E. BLOODWORTH and W. R. COWLEY. — Effects of Grasses and Mulches on Soil Moisture Losses and Soil Temperature Changes in the Lower Rio Grande Valleys of Texas. *Journ. of the Rio Grande Valley Horticultural Society*, vol. 13, 1959.

