

Mesure de l'indice foliaire du bananier par photographies hémisphériques faites «*in situ*»

R. BONHOMME et J. GANRY*

MESURE DE L'INDICE FOLIAIRE DU BANANIER PAR PHOTOGRAPHIES HEMISPHERIQUES FAITES «*IN SITU*»

R. BONHOMME et J. GANRY

Fruits, Jul.-aug. 1976, vol. 31, n°7-8, p. 421-425.

RESUME - On décrit une technique de mesure de l'indice foliaire (LAI) du bananier par photographies hémisphériques de la voûte du couvert végétal. Elle consiste à mesurer le pourcentage de taches de soleil sur un cercle de hauteur 35°.

On compare l'indice foliaire ainsi obtenu à l'indice foliaire calculé à partir de mesures directes de surfaces de feuilles ($S = 0,80 \times L \times l$). La corrélation est bonne entre les valeurs obtenues avec les deux méthodes.

Cette technique, outre une détermination rapide de l'indice foliaire, peut rendre de grands services pour l'étude de la pénétration du rayonnement solaire direct dans la végétation.

L'étude de l'évolution du feuillage au cours d'un cycle de végétation est un terme essentiel de l'analyse de la productivité d'une culture. Pour caractériser le développement foliaire d'un couvert végétal WATSON (1932) a défini l'indice foliaire f (ou Leaf Area Index : LAI) comme étant égal à la surface des feuilles par unité de surface de sol.

Pour des cultures de haute taille et à grandes feuilles, telles que le bananier, la plupart des méthodes de mesure de la surface foliaire (planimétrage, empreintes, comparaison à des formes géométriques ...), sont très difficiles à utiliser. Aussi la mesure des dimensions (longueur L , largeur l) de chaque feuille et l'utilisation d'une relation telle que :

surface d'une feuille $S = a(L \cdot l)$, constituent la technique d'évaluation de l'indice foliaire la plus courante.

Nous nous proposons de montrer que la technique des photographies hémisphériques faites «*in situ*», déjà testée pour d'autres cultures (BONHOMME, 1974), est facilement applicable au cas des cultures de bananier.

* - R. BONHOMME, INRA, Bioclimatologie, CNRA, route de St Cyr 78000 Versailles.
J. GANRY, IRFA (ex IFAC), Station de Neufchateau, 97135 Sainte-Marie (Guadeloupe).

PRINCIPE DE LA MESURE DE L'INDICE FOLIAIRE PAR PHOTOGRAPHIE HEMISPHERIQUE

Une photographie hémisphérique prise sous un couvert végétal (photo 1) permet de mesurer la part de ciel vue («trous») dans différentes directions.

Depuis les travaux de MONSI et SAEKI (1953) de nombreux autres auteurs ont confirmé que la part de ciel vue « s_h » à travers la voûte végétale d'indice foliaire f pour la hauteur de visée h est une fonction de la forme :

$$s_h = \exp(-K \cdot f)$$

La fonction K dépend de la disposition des feuilles et de h , mais il a été montré théoriquement que pour une hauteur de visée $h = 35^\circ$, K reste constant et voisin de 0,9.

La part de ciel vue s_h étant mesurée sur les photos hémisphériques prises sous différentes cultures, nous avons vérifié expérimentalement que l'on a bien une relation linéaire (BONHOMME, 1974) : $\text{Loge } s_{35} = -k \cdot f$, mais que la valeur de k est parfois assez différente de la valeur théorique K . Cependant k reste constant pour une culture donnée quel que soit son stade de développement.

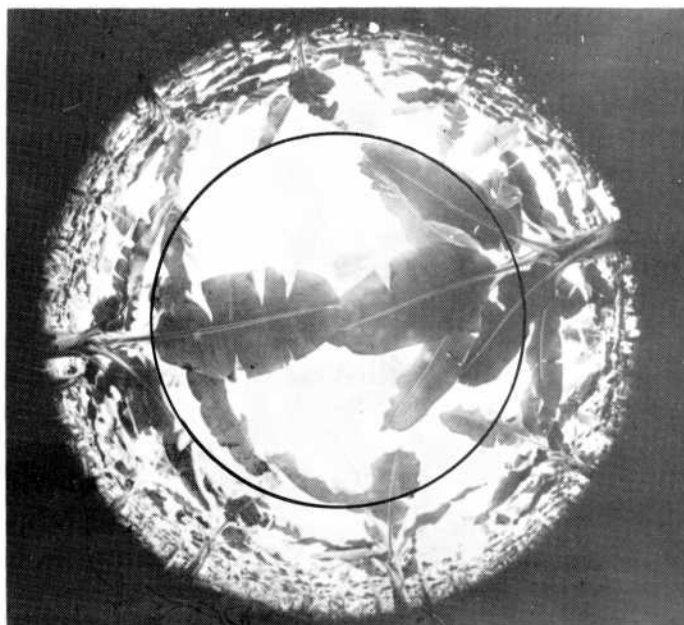


Photo 1. Photographie hémisphérique prise sous un couvert végétal de bananiers. On a figuré le cercle correspondant à une hauteur de visée de 35°.

En procédant pour une plante donnée à des mesures simultanées de l'indice foliaire f et des valeurs de s_{35} correspondantes sur les photographies, il est donc possible d'évaluer k . Lorsque ce coefficient est connu une série de clichés permet le calcul de l'indice foliaire f :

$$f = -(1/k) \text{Loge } s_{35} \\ = -(2,30/k) \text{log}_{10} s_{35}$$

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Réalisation des clichés.

L'appareil utilisé est un Nikon F équipé d'un objectif «fish-eye» Nikkor (1 : 5,6 ; 7,5 mm de focale) dont l'angle de visée est de 180°.

Le boîtier de l'appareil photographique est placé sur un support facile à positionner à environ un mètre du sol de façon à éliminer du champ d'éventuelles autres plantes. Un petit niveau à bulle permet de bien apprécier l'horizontalité de l'appareil, donc la parfaite verticalité de l'axe optique.

Afin d'accroître le contraste entre les feuilles et le ciel, pour faciliter le dépouillement ultérieur, il faut choisir un film assez sensible (150 ASA par exemple) et opérer à l'aube, au crépuscule ou par ciel couvert.

Les clichés doivent être pris au hasard dans la parcelle en nombre suffisant pour obtenir une bonne précision sur s_{35} .

Dépouillement des clichés.

Un cliché donne une image de l'ensemble de la voûte végétale qui surplombe le niveau de mesure. Il permet donc la mesure de la part de rayons lumineux qui peuvent traverser la végétation pour une hauteur et un azimut de visée

donnés. Afin d'obtenir une meilleure précision sur la mesure de s_h nous utilisons sur chaque cliché tous les points correspondants à la même hauteur h (couronne circulaire) ; c'est l'avantage principal de l'objectif fish-eye qui permet d'avoir tous les azimuts sur un seul cliché.

Sur le négatif le cliché est un disque de 23 mm de diamètre. Comme le montre la figure 1 il y a une correspondance linéaire entre la hauteur h d'un point de la voûte et sa distance X au centre du cliché ; le cercle de centre O (zénith) et de rayon 7,125 mm correspond au parallèle de hauteur $h = 35^\circ$.

Le dépouillement consiste donc à mesurer sur ce parallèle $h = 35^\circ$ la part de zones de ciel vues « s_{35} ».

Dans le présent travail le négatif est projeté sur un écran où est tracé le cercle correspondant à la hauteur de visée 35° ; la mesure des longueurs d'intersection de ce cercle avec des zones de ciel (soit ΣI) permet le calcul de s_{35} .

$$s_{35} = \Sigma I / 2\pi r \quad (r = 7,125 \text{ mm} \times \text{rapport d'agrandissement})$$

Nous décrivons en annexe d'autres méthodes de dépouillement plus ou moins élaborées.

Calcul direct de l'indice foliaire.

La surface d'une feuille de bananier a été calculée à l'aide de la relation :

$$S_i = L_i \cdot l_i \cdot 0,80 \quad (\text{CHAMPION, 1963})$$

et la surface totale du pied est :

$$\sum_{i_0}^{i_n} S_i$$

i_0 est le rang de la première feuille non fanée, i_n est le rang de la dernière feuille développée.

L'indice foliaire calculé f calculé est alors :

$$\Sigma S_i / S_0$$

S_0 étant la surface de sol par bananier.

Il faut signaler que cet indice foliaire calculé est légèrement différent de l'indice foliaire mesuré par photographies hémisphériques, celui-ci incluant les pseudo-troncs et les feuilles sèches. Nous ne tiendrons pas compte par la suite de cet écart, faible pour des plantes adultes.

RÉSULTATS

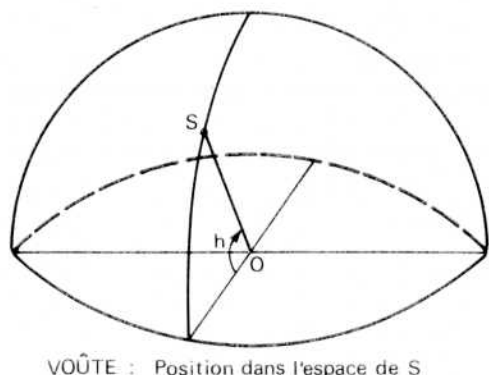
Les mesures ont été réalisées sur deux parcelles expérimentales de la station IRFA de Neufchâteau (Guadeloupe).

Elles ont été effectuées à trois dates différentes : le 15 janvier, le 27 mai et le 10 octobre 1975.

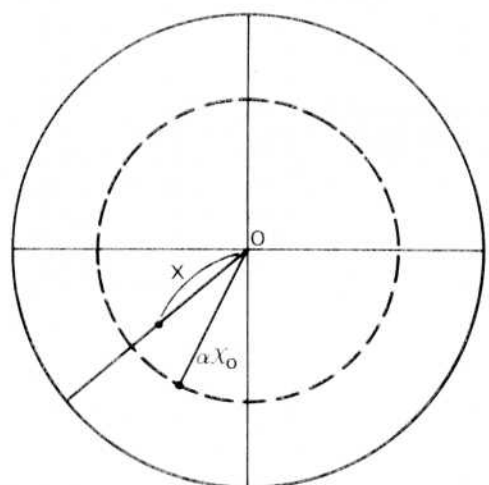
Les deux parcelles observées sont en plantation échelonnée (rythme de deux mois) avec six dates de plantation.

L'une d'elle est plantée avec des bananiers du cultivar 'Giant du Honduras', sélection 901 (groupe Cavendish) à une densité de 1820 pieds par hectare, correspondant à une surface de sol par bananier S_0 de 5,5 m².

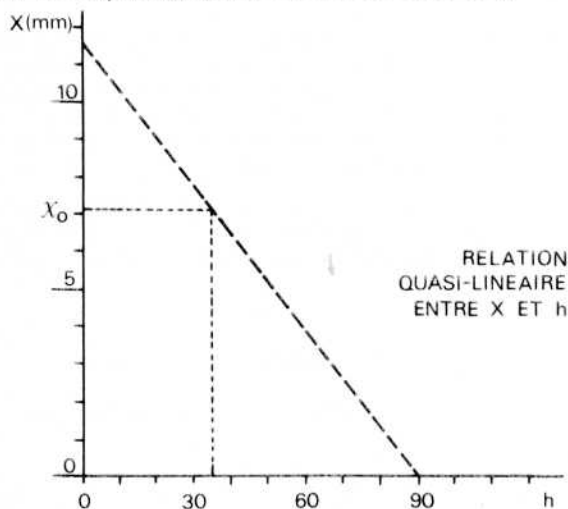
La plantation est réalisée en triangle. L'intervalle entre lignes est de 2,50 m et l'intervalle entre plantes sur la ligne



VOÛTE : Position dans l'espace de S



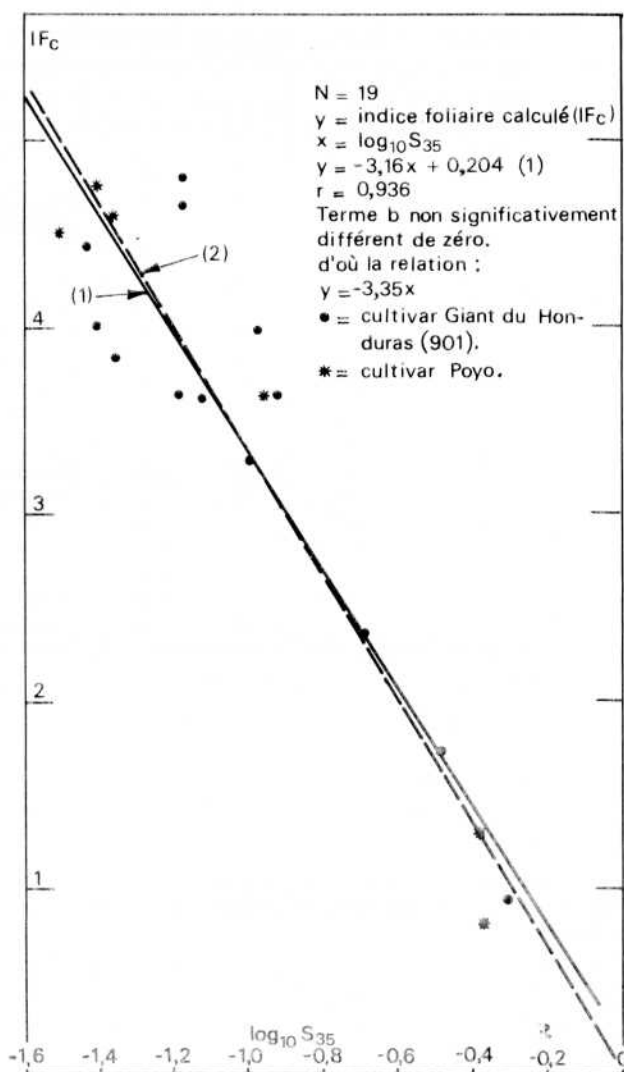
CLICHÉ : Projection de S sur un cliché pris avec un "fish eye". Il est projeté à une distance X de O. Si S se trouve à une hauteur $h = 35^\circ$, il est projeté sur un cercle de rayon αX_0 .



RELATION QUASI-LINEAIRE ENTRE X ET h

Figure 1 • RELATION ENTRE LA HAUTEUR h D'UN POINT S ET LA DISTANCE X SUR UN CLICHÉ.

L'appareil photographique étant placé en O, horizontal et dirigé vers le haut, il est possible, grâce à la relation quasi-linéaire entre X et h, de connaître sur le cliché la hauteur h d'un point S. Cas d'un cliché 24 x 36 : Négatif : $h = 35^\circ$, $X = X_0 = 7,125$ mm. Agrandissement : $h = 35^\circ$, $X = \alpha X_0$ avec $\alpha =$ rapport d'agrandissement.



N = 19
 $y =$ indice foliaire calculé (IFc)
 $x = \log_{10} S_{35}$
 $y = -3,16x + 0,204$ (1)
 $r = 0,936$
 Terme b non significativement différent de zéro.
 d'où la relation :
 $y = -3,35x$
 • = cultivar Giant du Honduras (901).
 * = cultivar Poyo.

Fig. 2 • RÉGRESSION ENTRE L'INDICE FOLIAIRE CALCULÉ ET $\log_{10} S_{35}$.

est de 2,20 m. La taille d'une parcelle unitaire est de 530 m^2 .

L'autre parcelle est plantée avec des bananiers du cultivar 'Poyo', également du groupe Cavendish, à une densité de 2000 pieds par hectare, correspondant à une surface de sol par bananier S_0 de 5,0 m^2 . La plantation est de type «lignes jumelées», en quinconce. L'intervalle entre lignes est de 3 m pour le grand rang et de 2 m pour le petit rang et l'intervalle entre plantes sur la ligne est de 2 m. La taille d'une parcelle unitaire est de 700 m^2 .

Les caractéristiques des parcelles «mesurées» figurent dans le tableau 1.

Dans chacune des parcelles, on réalise dix clichés en différents points de la parcelle afin d'avoir une mesure moyenne des taches de soleil.

TABLEAU 1 - Caractéristiques des parcelles mesurées et résultats des mesures.

Date de mesure	Cultivar	n° parcelle	Cycle	Stade de végétation	IFC	σ IFC	S ₃₅	σ S	Log ₁₀ S ₃₅
15/1	901	1	2e	floraison	4,65	0,46	0,067	0,014	-1,17
	901	2	2e	20 feuilles	3,63	0,57	0,119	0,015	-0,921
	901	3	2e	12 feuilles	0,94	0,10	0,495	0,026	-0,304
	901	4	1er	75 jours AF	3,28	0,33	0,102	0,013	-0,989
	901	5	1er	45 jours AF	3,64	0,29	0,066	0,010	-1,178
27/5	901	6	2e	75 jours AF	3,62	0,40	0,075	0,005	-1,123
	901	7	2e	floraison	4,80	0,30	0,067	0,006	-1,173
	901	8	2e	22 feuilles	3,98	0,43	0,106	0,010	-0,971
	901	9	2e	16 feuilles	1,72	0,39	0,328	0,022	-0,483
	Poyo	10	1er	13 feuilles	1,29	0,19	0,415	0,037	-0,381
	Poyo	11	1er	13 feuilles	0,80	0,10	0,429	0,034	-0,367
10/10	901	12	1er	16 feuilles	2,36	0,47	0,202	0,015	-0,693
	901	13	2e	80 jours AF	4,00	0,32	0,039	0,004	-1,403
	901	14	2e	75 jours AF	3,83	0,24	0,045	0,003	-1,346
	901	15	2e	floraison	4,43	0,38	0,037	0,008	-1,428
	Poyo	16	1er	75 jours AF	4,51	0,35	0,031	0,004	-1,497
	Poyo	17	1er	45 jours AF	4,76	0,32	0,039	0,003	-1,406
	Poyo	18	1er	20 feuilles	3,63	0,29	0,111	0,017	-0,954
	Poyo	19	1er	floraison	4,60	0,30	0,042	0,008	-1,359

AF : après floraison

IFC : indice foliaire calculé : $S = L \times l \times 0,80$

IFC : $(\Sigma S/S_0)$ avec ΣS = surface totale des limbes du bananier
 S_0 = surface de sol

σ IFC : écart type de IFC

S₃₅ : part de zones de ciel vues pour $h = 35^\circ$, σS = écart type de S₃₅

En parallèle, on mesure les longueurs et largeurs des limbes vivants de 20 bananiers situés dans la zone de mesure.

La figure 2 montre que la régression entre f calculé et $\log_{10} s_{35}$ est linéaire et que la droite passe par l'origine des ordonnées :

$$f = -3,35 \log_{10} s_{35}$$

La valeur de k est voisine de 0,69. La différence entre k calculé et K théorique peut s'expliquer par le fait que les feuilles de bananier ont des superpositions privilégiées entre leurs feuilles de différents rangs.

La dispersion plus grande des valeurs pour les indices foliaires élevés peut être imputable au développement plus ou moins important des rejets au moment de la mesure.

Il serait nécessaire d'en tenir compte ultérieurement. Si l'on veut mesurer l'indice foliaire total de la voûte végétale (pied parent plus rejets), on devra réaliser une photographie normale, en plaçant l'appareil assez près du sol.

Si l'on veut par contre ne mesurer que la surface des feuilles de pied parent, on sera obligé de placer l'appareil suffisamment haut pour que les rejets n'interviennent pas à la hauteur 35° .

CONCLUSION

La technique de mesure de l'indice foliaire par photogra-

phie hémisphérique est donc applicable au bananier avec une précision suffisante dans de nombreux cas, particulièrement en cours de croissance des feuilles.

Cette technique sera d'autant plus précise que la parcelle observée sera homogène et que le dispositif de plantation sera régulier. Il apparaît intéressant de préciser la méthodologie dans le cas du bananier en étudiant les variations pouvant être dues au cultivar, au cycle de végétation, à la densité et au dispositif de plantation.

Outre une mesure rapide de l'indice foliaire, cette technique peut rendre de grands services pour l'étude de la pénétration du rayonnement solaire direct dans la végétation.

ANNEXE

Différentes méthodes de dépouillement des photographies.

■ Dépouillement manuel.

Il peut être réalisé soit à partir d'un tirage papier soit à partir de la projection du négatif.

● Mesure sur agrandissement.

Le cliché est agrandi et tiré sur un papier dur ; on peut alors procéder :

- par découpage et pesée des zones de ciel sur la couronne circulaire,

- par planimétrie des taches de ciel.

Ces deux méthodes sont longues mais très précises.

● Mesure par projection des négatifs.

Cette méthode est décrite dans le «Matériel et Méthodes».

■ Dépouillement automatique.

● Mesure sur agrandissement.

Comme dans le cas précédent le cliché agrandi, tiré sur papier dur, et muni d'un cache laissant libre la couronne de hauteur 35°, est placé dans un planimètre photoélectrique (type Metraplan, résolution 1 mm²).

● Mesure par projection des négatifs.

Le négatif est placé de façon très précise dans un cache pour diapositives (le centre correspond à la hauteur de visée au zénith). Un projecteur à mise au point automatique (Autofocus Prestinox, 150 W) en donne une image agrandie dix fois sur un écran. Un phototransistor monté sur un bras mu par un moteur (Crouzet) décrit le cercle correspondant à la hauteur de visée 35° en deux minutes. Un générateur envoie des impulsions régulièrement espacées qui sont enregistrées par le compteur de référence : N pour une rotation complète. Au phototransistor correspond un compteur de mesure qui indique le nombre d'impulsions pendant lequel le phototransistor est à l'ombre («tache de ciel» sur le négatif projeté) : soit n pour une rotation. La surface relative des zones de ciel vues est : n/N .

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BONHOMME (R.). 1974.

Détermination des profils d'indice foliaire et de rayonnement dans un couvert végétal à l'aide de photographies hémisphériques faites «in situ».

Thèse de Docteur-Ingénieur, Université de Marseille-Luminy, 56 p.

CHAMPION (J.). 1963.

Le bananier.

Maisonneuve et Larose, Paris.

MONSI (M.) et SAEKI (T.). 1953.

Über den Lichtfactor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion.

Jap. J. Bot., 22-52.

WATSON (D.J.). 1952.

The physiological basis of variation in yield.

Adv. Agron., 4, 101-145.



LA COMPAGNIE DES BANANES

SOCIÉTÉ ANONYME

IMPORTATEURS DE BANANES

Siège social :
15, rue du 4 Septembre
75 - PARIS (2^e)

Tél. : 266-23-33
Téleg. : LACIEBAN - PARIS
Télex : n° 22.512