

Description et mode d'utilisation d'un appareil de mesure photoélectrique des surfaces végétales

par

B. BONZON

Laboratoire d'Agronomie.

Centre O. R. S. T. O. M. d'Adiopodoumé, Abidjan (Côte d'Ivoire).

Un simple luxmètre utilisé en physiologie végétale pour des études d'éclairéments a permis de réaliser un appareil de mesure photoélectrique des surfaces.

La précision obtenue est toujours supérieure à 2 % de la surface mesurée.

L'utilisation de cet appareil est envisagée pour des mesures de surfaces foliaires et radiculaires chez l'ananas.

Son mode d'utilisation pour d'autres plantes devrait pouvoir être rapidement défini.

Mesurer la surface d'un organe végétal — feuille, tige, racine — est encore souvent une opération très longue dont la conséquence directe sur un travail scientifique utilisant ce paramètre est la faiblesse du nombre de répétitions envisageable. Cela tient pour une part à la morphologie très variable des organes végétaux, et pour une autre part à l'inadaptation à la biologie végétale des méthodes classiques proposées pour la mesure de ce paramètre, méthodes qui sont essentiellement :

— pour les feuilles, les planimètres à bras mobiles, la méthode des pesées ; ces méthodes supposent toutes deux que l'on ait auparavant photographié la feuille ;

— pour les racines ou les tiges, la division et la répartition en classes de diamètre, la mesure dans chaque classe de la longueur totale de racines (ou de tiges), et le calcul direct (1) (2).

L'appareil de mesure photoélectrique des surfaces décrit dans cet article permet d'effectuer rapidement des mesures de surfaces foliaires allant de 30 cm² à 1 800 cm² environ, avec une erreur relative toujours inférieure à 0,02.

Une estimation correcte des surfaces cylindriques de racines, et par là une estimation de la surface de contact racines-sol, serait possible également.

Cet appareil, qui n'est pas une nouveauté dans son principe essentiel (3) à (13) (*), est le prolongement d'un prototype réalisé en collaboration avec H. RABECHAULT (14) au laboratoire de Physiologie végétale du Centre O. R. S. T. O. M. de Bondy.

Très voisin de celui décrit en 1962 par P. W. VOISEY et W. J. MASON (13), il se distingue de ce dernier appareil par ses dimensions extérieures beaucoup plus grandes : 1,70 × 1,40 × 3,20 m (contre 1,12 × 1,10 × 0,61) dues au fait que les rayons lumineux issus de la platine de chargement et focalisés par une lentille sur la surface sensible d'une cellule ne sont réfléchis par aucun miroir, et que l'on désirait avoir la possibilité de se référer presque instantanément à une platine de chargement vide.

(*) La bibliographie de (3) à (12) inclus reprend celle fournie par P. W. VOISEY et W. J. MASON (13).

Principe de fonctionnement et réalisation de cet appareil.

Le principe de fonctionnement de cet appareil est le suivant. Si l'on peut disposer d'un faisceau de rayons lumineux convergents, tel que l'intensité des rayons lumineux en tous les points à l'intérieur d'une section transversale soit constante, la quantité de lumière interceptée par un objet plat (ou relativement plat en regard de l'angle d'ouverture du faisceau), disposé dans le plan d'une section transversale, est proportionnelle à la surface projetée de cet objet sur le plan de cette section.

Les problèmes techniques qui se posaient donc au départ étaient :

— l'obtention d'un faisceau de rayons lumineux convergents d'intensité lumineuse constante à un niveau donné du faisceau,

— la mesure d'une différence d'intensité lumineuse avec une précision suffisante pour que l'erreur relative commise sur la surface mesurée soit inférieure à 0,02.

Le schéma 1, la photo 2 et leur légende ci-contre permettent de comprendre le montage de l'appareil. Les points suivants doivent être notés :

1° La plaque de verre dépoli est immédiatement (c'est-à-dire à 15 cm) au-dessus des tubes fluorescents, avant tout diaphragme, pour ne pas induire au-dessus d'elle de gradient lumineux ;

2° aucun miroir, qui aurait permis de modifier le

Légende SCHÉMA et PHOTO,

A. Local des tubes fluorescents.

- A₁. 16 tubes fluorescents « Blanc-Super » de 120 cm de long.
Dimensions de la surface lumineuse : 120 × 68 cm.
- A₂. Plaque de verre dépoli au sable de 65 × 65 cm et de 0,4 cm d'épaisseur.
- A₃. Ventilateur monté sur la porte d'accès aux tubes.
- A₄. Premier diaphragme.

B. Corps central de l'appareil.

- B₁. Second diaphragme supportant le filtre rouge (plaque de plexiglass rouge de 54 × 44 cm et de 0,4 cm d'épaisseur).
- B₂. Platine de référence (dimensions utiles : 50 × 40 cm).
- B₃. Platine de chargement (dimensions utiles : 50 × 40 cm).
- B₄. Tiroir support des platines.
- B₅. Écran mobile permettant de ne pas laisser la cellule éclairée en permanence.
- B₆. Masque du tiroir et de l'écran.

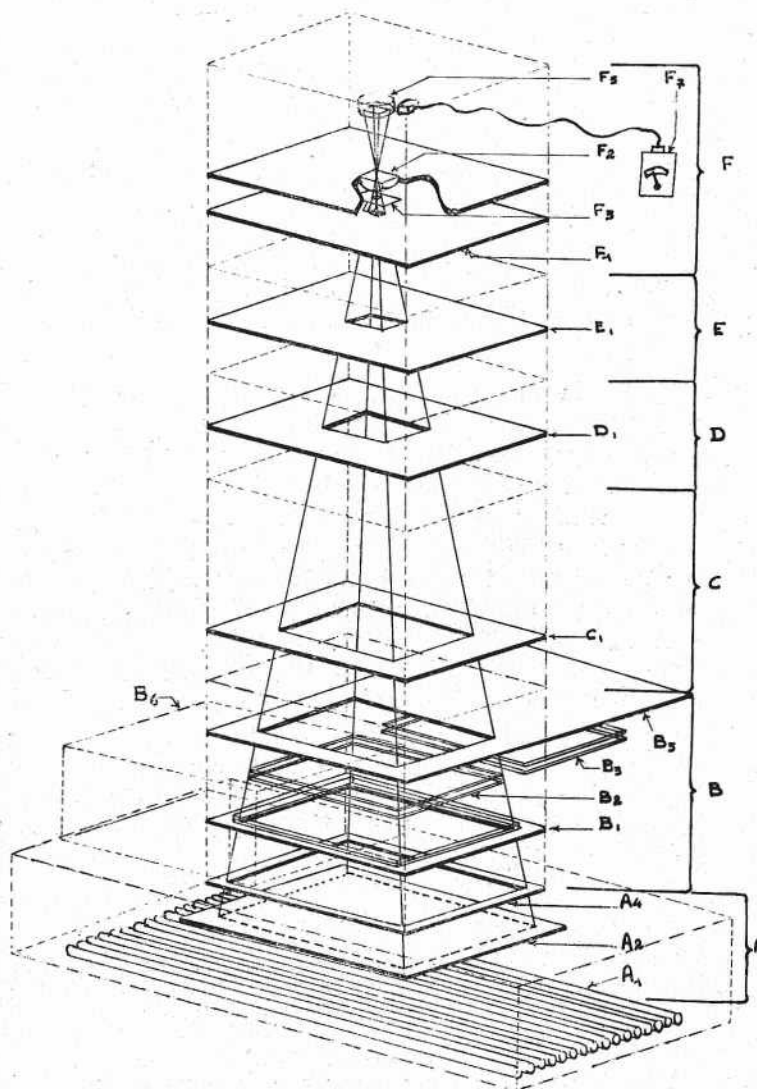
C, D, E. Anneaux intermédiaires amovibles permettant de faire varier dans des rapports déterminés la distance platine-lentille.

- C₁, D₁, E₁. Diaphragmes respectifs des anneaux intermédiaires.

F. Local lentille-cellule.

- F₁. Diaphragme.
- F₂. Lentille plan-convexe rectangulaire de 73 × 63 mm, f = 166 mm.
- F₃. Diaphragme dans le plan du centre optique de la lentille. Il existe une série de 10 diaphragmes d'ouvertures en progression arithmétique de raison égale à l'ouverture du plus petit diaphragme.
- F₄. Porte d'accès au support de la lentille et des diaphragmes.
- F₅. Cellule photoélectrique reposant sur un support mobile verticalement permettant de faire correspondre la distance lentille-cellule à la distance platine-lentille.
- F₆. Porte d'accès à la cellule photoélectrique.
- F₇. Microampèremètre associé à la cellule avec échelle de 80 mm graduée de 0 à 50 lux.

G. Passerelle amovible permettant de modifier aisément en quelques instants les caractéristiques de travail de l'appareil (les différents éléments A, B, C, D, E, F de l'appareil s'emboîtent les uns dans les autres).



trajet des rayons lumineux et par suite de diminuer la hauteur de l'appareil, n'a été utilisé, car il aurait induit un gradient lumineux léger mais dissymétrique au-dessus de lui ;

3° les bords intérieurs de tous les éléments jouant le rôle de diaphragme doivent être biseautés de telle sorte qu'aucun des rayons lumineux se réfléchissant sur ces surfaces biseautées ne parviennent sur la lentille ;

4° la position des diaphragmes des anneaux intermédiaires est telle qu'aucun des rayons lumineux réfléchis sur les parois de l'appareil ne puisse parvenir sur la lentille ;

5° la platine de référence est montée sur le même cadre mobile (tiroir) que la platine de chargement ; avec ce montage une mesure de flux lumineux I_c au travers de la platine chargée suit une mesure de flux lumineux I_v au travers de la platine vide dans un intervalle de 5 à 8 s.

Il est ainsi possible, moyennant certaines précautions — 4 à 6 répétitions du couple de mesures

(I_v, I_c) — de se passer de stabilisateur de tension automatique et d'utiliser une cellule photoélectrique à couche d'arrêt (un luxmètre de précision est utilisé pour l'appareil).

La surface projetée s de l'objet sur la platine de chargement est alors donnée par la formule :

$$s \text{ cm}^2 = \frac{I_v - I_c}{I_v} S \text{ cm}^2 \quad (1)$$

où I_v et I_c , définis plus haut, sont des intensités lumineuses en lux, S la surface de travail des platines en centimètres carrés.

L'erreur relative théorique sur s , calculée à partir de la formule (1) est

$$\frac{\Delta s}{s} = \frac{I_v + I_c}{I_v - I_c} \frac{\Delta I}{I_v} + \frac{\Delta S}{S} \quad (2)$$

où Δs , ΔI , ΔS sont les erreurs absolues commises sur s , I_v ou I_c , S .

En prenant $\Delta I = 0,1$ lux, $\frac{\Delta S}{S} = 0,005$, $I_v = 45$ lux (valeur autour de laquelle on peut maintenir ce flux lumineux au niveau de la cellule en jouant sur l'ouverture du diaphragme de la lentille), on trouve d'après (2) que :

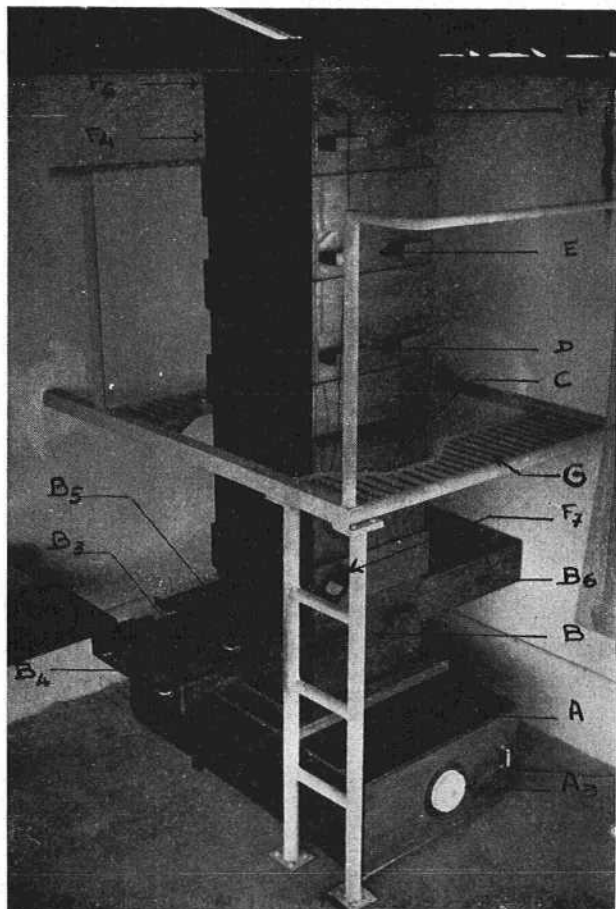
$$\frac{\Delta s}{s} < 0,02 \quad \text{si} \quad I_c < 33,4 \text{ lux}$$

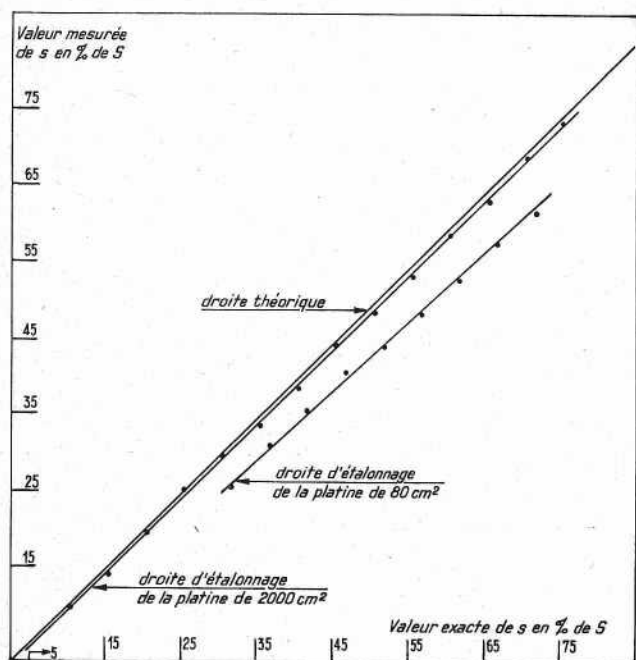
Si l'on prend 30 lux comme limite supérieure pour I_c , on trouve que le rapport $\frac{s}{S}$ ne doit pas être inférieur à 0,333 si l'on désire $\frac{\Delta s}{s} < 0,02$.

Il faut donc utiliser une série de platines de dimensions appropriées aux surfaces à mesurer.

Une seule série de platines de $S = 2000 \text{ cm}^2$ ($50 \times 40 \text{ cm}$) est utilisée avec l'appareil. Cinq séries de caches avec évidement central de $40 \times 32 \text{ cm}$, $30 \times 24 \text{ cm}$, $20 \times 16 \text{ cm}$, $15 \times 12 \text{ cm}$, $10 \times 8 \text{ cm}$, permettent d'adapter les dimensions de la surface de travail des platines à l'importance de la surface à mesurer.

Afin de conserver les mêmes dimensions à l'image de la surface de travail de la platine, sur la surface sensible de la cellule, une série d'anneaux intermédiaires permet de modifier la distance platine-lentille dans les mêmes rapports que les dimensions des platines. La distance lentille-cellule doit être évidemment modifiée en conséquence ; à cet effet le support de la cellule peut se déplacer verticalement.





GRAPHIQUE 4.

Contrôle du fonctionnement de l'appareil.

Le contrôle de la précision des mesures fournies par l'appareil peut s'effectuer en utilisant des surfaces tarées absolument opaques peintes en noir sur les deux faces.

Le tableau 3 et le graphique 4 montrent que la droite de réponse de l'appareil ne se confond pas avec la droite théorique. Cela est normal. Une certaine quantité de lumière parasite est diffusée par les bords, si minces soient-ils, des platines en contre-plaqué.

Cette quantité de lumière diffusée croît lorsque I_0 décroît, et diminue de s , la valeur exacte de s . Il faut donc établir la courbe d'étalonnage de chaque série de platines. Chaque courbe d'étalonnage peut être graphiquement considérée comme une droite, et permet par la suite de déterminer la valeur exacte de s lorsque l'on a la valeur calculée.

Mode d'utilisation de l'appareil pour des déterminations de surfaces foliaires et radiculaires chez l'ananas.

Chaque plante, chaque étude particulière, posera le problème du meilleur mode d'utilisation de l'appareil.

Des études entreprises actuellement sur l'ananas ont permis de mettre au point son utilisation pour

3. — Tableau des valeurs portées sur le graphique correspondant (gr. 4).

Valeurs exactes de la surface s à mesurer exprimées en % de la surface de travail de la platine	Valeurs mesurées de la surface s exprimées en % de la surface de travail de la platine (chaque valeur est la moyenne de quatre mesures)	
	Platine de 2 000 cm ²	Platine de 80 cm ²
5,0	4,7	
10,0	9,6	
15,0	14,1	
20,0	19,6	
25,0	25,2	
30,0	30,0	
31,2		25,8
35,0	33,8	
36,2		31,1
40,0	38,9	
41,2		35,8
45,0	44,4	
46,2		40,8
50,0	49,0	
51,2		44,4
55,0	53,6	
56,2		48,7
60,0	59,0	
61,2		53,2
65,0	63,6	
66,2		58,0
70,0	69,5	
71,2		62,2
75,0	74,1	

la détermination de surfaces foliaires et radiculaires sur cette plante.

La détermination d'une surface foliaire exacte d'ananas pose un problème pratique, celui de l'étalement des feuilles sur la platine.

Les feuilles d'ananas se présentent en effet toujours sous forme d'une gouttière possédant un rayon de courbure longitudinal plus ou moins accentué.

Une méthode consiste à découper ces feuilles en lanières plus ou moins larges et longues suivant la morphologie des feuilles. Cette opération est assez rapide.

Le chargement des lanières sur la platine ne présente aucune difficulté.

La transmittance des feuilles d'ananas en lumière rouge ou blanche est nulle (il n'en est pas de même pour toutes les plantes, manioc par exemple, pour lesquelles cet appareil a déjà été utilisé, mais il est possible alors de déterminer un terme correctif applicable aux résultats des mesures. En lumière rouge la transmittance des feuilles de manioc les moins opaques est de l'ordre de 2 %. Il devrait être possible

de rendre presque nulle la transmittance des feuilles en travaillant en lumière bleue de 430 m μ (15)).

La détermination d'une surface racinaire d'ananas est plus délicate. Elle suppose d'abord un étalement très soigné des racines propres et fraîches à la surface de la platine, en acceptant cependant un certain chevauchement des racines, en particulier des racines d'ordres différents.

Ce que l'on mesure ensuite est essentiellement la surface diamétrale des racines de premier, deuxième, troisième ou quatrième ordre, en admettant que ces racines aient une transmittance nulle.

Les poils absorbants très denses à la surface de toutes les racines chez l'ananas ne sont pratiquement pas accessibles aux mesures photoélectriques, car ils se rabattent le long des racines lorsqu'on sort ces dernières de l'eau (*). Il devrait être cependant possible d'estimer la surface de contact extrêmement importante qu'ils représentent en faisant l'hypothèse, qu'il faudra vérifier, de la constance de leur dimension et de leur densité/cm² de surface cylindrique de racine.

Si ce que l'on mesure avec l'appareil est par conséquent la surface diamétrale $s\bar{d}$ des racines, la surface réelle de contact racines-sol serait en première approximation de la forme :

$$\pi s\bar{d} (\alpha + k)$$

où α représenterait la part dégagée de poils absorbants des racines, et k la surface totale cylindrique des poils absorbants par centimètre carré de surface cylindrique de racines.

La détermination de la densité des poils absorbants à la surface des racines pourrait s'effectuer selon la méthode de H. EVANS (1).

Les estimations de surfaces radiculaires sont beaucoup plus longues que les mesures de surfaces foliaires, indépendamment du fait qu'elles nécessitent un déterrage et un nettoyage préalables des racines. L'essorage et l'étalement des racines sur la platine de chargement sont en effet des opérations assez délicates demandant beaucoup d'attention.

CONCLUSION

Le plus grand intérêt de cet appareil semble résider dans la possibilité qu'il offre d'aborder l'étude des contacts racines-sol.

Sa réalisation est à la portée d'un petit atelier de menuiserie. Il est entièrement construit en bois (**).

Conçu pour être utilisé simplement avec un luxmètre composé d'une cellule photoélectrique à couche d'arrêt et d'un micro-ampèremètre ayant une échelle de 80 mm de long, on travaille actuellement à l'amélioration de la sensibilité et de la précision des mesures de cet appareil.

BIBLIOGRAPHIE

- EVANS, H. (1938). — Studies on the absorbing surface of sugarcane root systems. — I. Method of study with some preliminary results. *Annals of Botany*, N. S. Vol. II, n° 5, January 1938.
- PELERENTS, C. (1958). — Étude du système racinaire du riz de terre ferme en conditions naturelles. *Bulletin agricole du Congo belge*, vol. XLIX, n° 5.
- FREAR, Donald E. H. (1935). — Photoelectric apparatus for measuring leaf areas. *Plant Physiol.* 10 : 567-574.
- GERDEL, R. W. & R. M. SALTER (1923). — Measurement of leaf area using the photoelectric cell. *J. Amer. Agron. Soc.* 20 : 635-642.
- HIBBARD, R. P., GRIGSBY, B. H. & W. G. KECK (1937). — A low light intensity photoelectric device for the measurement of leaf areas. *Proc. Mich. Acad. Sci. Arts and Letters*, p. 141-147.
- KRAMER, P. J. (1937). — An improved photoelectric device for measuring leaf areas. *Amer. J. Botany* 24 : 375-376.
- MILLER, E. E., SHADBOLT, C. A. & LEROY HOLM (1956). — Use of an optical planimeter for measuring leaf area. *Plant Physiol.* 31 : 484-486.
- MILTHORPE, F. L. (1942). — A simplified photoelectric cell method for measuring leaf area. *J. Australian Inst. Agri. Sci.* : 27.
- MITCHELL, J. W. (1936). — Measurement of the area of attached and detached leaves. *Science* 83 : 334-336.
- PETROV, E. G. & GAVRILOV, N. I. (1939). — A device for obtaining leaf areas. *Compt. rend. Acad. Sci. U. S. S. R.* 24 : 499-501.
- WITHROW, R. B. (1935). — A photoelectric device for the rapid measurement of leaf area. *J. Agr. Research.* 50 : 637-643.
- DONOVAN, L. S., MAGEE A. I. & W. KALBFLEISCH (1958). — A photoelectric device for measurement of leaf areas. *Can. J. Plant Sci.* 38 : 490-494.
- VOISEY, P. W. & MASON W. J. (1962). — Note on an improved device for measuring leaf areas. *Can. J. Plant Sci.* 43 : 247-251, April 1963.
- Rapport de stage, octobre 1963. Document non publié.
- MOURAVIEFF I. (1963). — Sur les propriétés optiques des feuilles de quelques plantes méditerranéennes au cours de la saison sèche (note préliminaire). *Bulletin de la Société Botanique de France*, tome 110, n° 7-8, oct.-Nov. 1963.

(*) Les racines déterrées et nettoyées baignent dans de l'eau en attendant qu'on puisse effectuer dessus observations et mesures de surface cylindrique.

(**) Les plans de cet appareil sont disponibles auprès du Centre O. R. S. T. O. M. d'Adiopodoumé.