

## Comparaison des surfaces foliaires mesurées par trois méthodes : planimétrie, papier millimétré et technique rectangulaire

Falasi R.N.<sup>1\*</sup>, Mutombo F.L.<sup>2</sup>, Mufwaya C.K.<sup>1</sup> et Lumpungu C.K.<sup>1</sup>

### Abstract

#### Paper History

Received:  
September 25, 2015

Revised:  
October 29, 2015

Published online :  
March 27, 2016

#### Keywords:

leaf area, strata,  
morphometric types,  
planimetry, graph paper,  
rectangular method

### Comparison of leaf area measured by 3 methods: Planimetry, Graph Paper, rectangular Technique

In developing countries, many leaf area of various species are often measured using rectangular method, with the regression coefficient of "0.83" ( $LA = L \times W \times 0.83$ ). This study aim to verify if the use of 0.83 is appropriate for accurate measurements, regardless of the geometry of the leaves. Thus, leaf area estimated using the rectangular method was compared with those obtained from two more accurate methods (planimetry and graph paper). Nine plants, from various species, located at the University of Kinshasa, were selected. The leaves were collected in a randomized manner on the three layers, grouped into four morphometric types and then photocopied at scale of 1:1. These images were used for measurements and  $R^2$ . BIAS, RMSE and CV were calculated. The results obtained show that the leaf area obtained by the use of graph paper were close to those generated by planimetry compared to the one afforded so far by rectangular technique. Thus, the planimetry can be substituted by the graph paper to measure leaf area. Moreover, the difference was greater for leaves having several lobes; the use of factor "0.83" is not valid for such leaves forms.

<sup>1</sup>Département de Gestion des Ressources Naturelles, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa (UNIKIN), B.P. 873, Kinshasa-Lemba

<sup>2</sup>Département d'économie agricole, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa (UNIKIN), B.P. 873, Kinshasa-Lemba

\* To whom correspondence should be addressed: [reaganfalasi@gmail.com](mailto:reaganfalasi@gmail.com)

### INTRODUCTION

La feuille est le principal siège des réactions métaboliques au sein de la plante (WARING *et al* SCHLESINGER, 1985; KOZLOWSKI *et al*, 1991) et l'organe par lequel les échanges gazeux avec l'atmosphère se réalisent [CAMPAGNA, 1996].

Ainsi, elle fait l'objet de plusieurs travaux de recherche portant, notamment, sur la photosynthèse [LESPINAT *et al*, 1975 ; TCHAMITCHIAN *et al*, 1991], la croissance des plants [DUCREY *et al*, 1981 ; RIOBE *et al*, 1983], l'état nutritionnel des cultures [LEROY, 1968], la prédiction de la production fruitière [WANG *et al*, 2010], la densité culturale [GRET, 1990], l'apport des fertilisants ou des produits phytosanitaires [TAYLOR, 2011, KEARNS *et al*, 2008], l'impact régional et saisonnier de la végétation sur le climat [RICARDO *et*

*al*, 1997], l'effet des conditions extrêmes comme la sécheresse sur la plante [CHAVES *et al*, 2002] et l'impact de l'élévation de la teneur en CO<sub>2</sub> sur la respiration [BUNCE, 2004].

Plusieurs caractéristiques de la feuille sont exploitées dans ces études [BEATTIE *et al*, 2002], dont la surface foliaire [RIOBE *et al*, 1983; AL-TARDEH *et al*, 2008]. Celle-ci peut être évaluée après la récolte ou non des feuilles, par des méthodes directes ou indirectes (approches allométriques) [NORMAN and CAMPBELL, 1989; DAUGHTRY, 1990].

Les techniques de mesure directe de la surface foliaire incluent l'usage des images satellites [CHEN *et al*, 2015], des photographies [LAW *et al*, 2001; GARDINGEN *et al*, 1999], des planimètres portatifs

[DAUGHTRY, 1990] ou la mesure de la capacitance [VICKERY *et al.*, 1980]. Elles sont plus précises mais ont le désavantage, soit de coûter cher soit de prendre beaucoup de temps au manipulateur. Ceci est dû au coût d'acquisition de certains instruments importants et la nécessité, parfois, de récolter et d'évaluer la surface de chaque feuille d'une plante [BIGNAMI *and* ROSSINI, 1996].

Ainsi, certains auteurs issus pour la plupart des pays en développement, recourent plus aux méthodes indirectes puisqu'elles sont plus rapides et moins coûteuses [BHATT *and* CHANDA, 2003]. Il s'agit principalement de la technique rectangulaire qui est basée sur le calcul de la surface foliaire individuelle de feuilles représentatives, en intégrant leurs mesures de longueur et de largeur maximales dans une fonction de régression. Pour des plantules, la surface foliaire (*LA*) peut être estimée sur base du nombre des feuilles, de la longueur (*L*) et de la largeur (*W*) maximales de certaines feuilles [GHOREISHI *et al.*, 2012]. Notons que les fonctions linéaires sont plus utilisées que les fonctions quadratiques et/ou exponentielles, à cause de leur simplicité [VILLEGAS *et al.*, 1981; BEERLING AND FRY, 1990; MONTGOMERY *and* PECK 1992].

Diverses formules de régression ont été proposées pour quelques plantes. Il s'agit par exemple de la formule « $LA = 0.754 + 0.655 (L \times W)$ » pour le soja (*Glycine max*) [BAKSHANDEH *et al.*, 2011], « $LA = 0.0334 + 0.8402 (L \times W)$ » pour la banane (*Musa accuminata*) [POTDAR *and* PAWAR 1990], « $LA = 11.98 + 0.06 (L \times W)$ » [BHATT *and* CHANDA, 2003] ou « $LA = 0.1026 L^{1.6871}$ » [QUEIROGA, 2003] pour le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.), « $LA = 0.8955 L^{1.0842} \cdot W^{0.7569}$ » pour l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) [KATHIRVELAN *and* KALAISELVAN, 2007], « $LA = -210.61 + 13.358 W + 0.5356 (L \times W)$ » [YEOL, 2007] ou « $LA = 0.88 (L \times W) - 4.27$ » [BLANCO, 2005] pour le concombre (*Cucumis sativus*), « $LA = 0.2798 (L \times W) + 71.267$ » pour la patate douce (*Ipomea batatas*) [SILVA *et al.*, 2008], « $\ln(LA) = 0.854 \ln(W) + 1.231 \ln(L) - 0.990$ » et pour le maïs (*Zea mays*) [MOKHTARPOUR *et al.*, 2010]. Ces équations calculent la surface foliaire (*LA*) à partir de la longueur (*L*), la largeur (*W*) et les coefficients de régression.

Plusieurs coefficients sont ainsi exploités par les auteurs. Pour le thé (*Camellia sinensis*), le coefficient de régression utilisé varie de 0,65 à 0,83 (avec une moyenne de 0,74) [HABIMANA *et al.*, 2014]. Fallovo *et al.* [2008] qui ont travaillé sur les espèces fruitières, estiment que le coefficient de régression est de 0,78 pour les feuilles de forme ellipsoïdale et de 0,5 pour les feuilles de forme triangulaire. Pour les feuilles de géométrie intermédiaire entre un triangle et une ellipse, les auteurs précités proposent des coefficients variant entre 0,5 et 0,78.

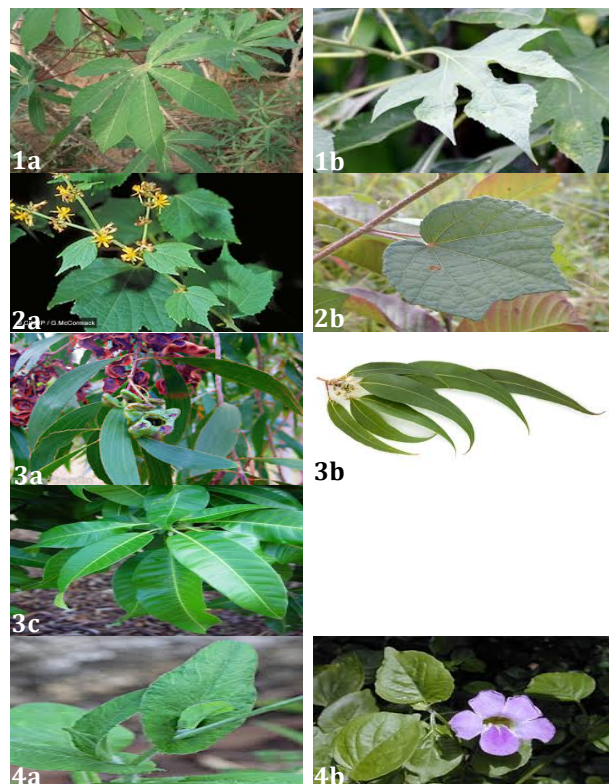
Pour mesurer la surface foliaire de diverses plantes dont les équations de régression ne sont pas proposées dans la littérature ou par méconnaissance de celles-ci, beaucoup d'auteurs dans les pays en développement utilisent le facteur « 0,83 » en recourant à la formule « $LA = 0,83 \times (L \times W)$ », pourtant les feuilles utilisées peuvent avoir des géométries différentes selon les espèces (voire les variétés) et l'âge [POETHIG, 1997].

Cela est susceptible de fausser les mesures réalisées pour certaines formes des feuilles. C'est ce qui nous a poussé à comparer, pour les feuilles de différentes géométries, les mesures de la surface foliaire réalisées suivant la formule ci-dessus (facteur « 0,83 ») avec celles obtenues en utilisant d'autres méthodes réputées plus précises telles que la planimétrie et le papier millimétré. De cette manière, nous pourrions vérifier si la formule sus évoquée est valable ou non quelle que soit la géométrie des feuilles.

## MATERIEL ET METHODES

### Matériel végétal

Les feuilles utilisées dans ce travail appartenaient à 9 espèces regroupées en 4 types morphométriques, à savoir :



**Figure 1.** Images des feuilles. **Groupe 1 :** *M. esculenta* et *T. diversifolia*; **Groupe 2** *T. rhomboide* et *U. lobata*; **Groupe 3 :** *A. auriculiformis* *E. umbellata* et *M. indica*; **Groupe 4 :** *E. coccinea* et *A. gangetica*.

L'étude a été réalisée en 2013 sur des plantes localisées sur le site de l'Université de Kinshasa en

République Démocratique du Congo, autour de la Faculté des Sciences Agronomiques. Cette dernière est située à 15°18'24,644"E et 4°25'3,255"S. Nous avons pris un plant par espèce, sur lequel 5 feuilles ne présentant aucun dommage ou déformation (causés par les pathogènes, les insectes ou d'autres facteurs) ont été cueillies de manière randomisée et désignées par les chiffres 1, 2, 3, 4 et 5 [DE SWART *et al.*, 2004]. Les niveaux du feuillage étaient distingués comme suit: "a" niveau inférieur ou le moins élevé, "c" niveau supérieur ou le plus élevé et "b" niveau moyen ou intermédiaire aux deux premiers.

## Méthodes

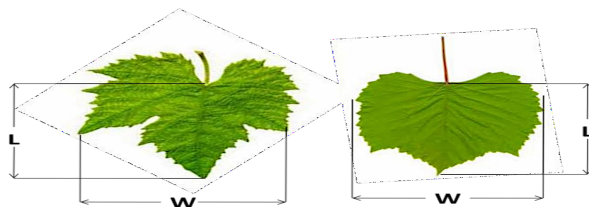
Pour prévenir la modification de la forme des feuilles suite au séchage, les feuilles cueillies étaient immédiatement collées sur du papier et photocopiées à l'échelle 1:1. C'est sur ces photocopies que les différentes mesures des feuilles ont été estimées.

La surface des feuilles des différentes espèces étudiées a été évaluée sur base de 3 méthodes ci-après: la *technique rectangulaire* (en utilisant le coefficient 0,83), la *planimétrie* et l'*usage du papier millimétré*.

Pour la technique rectangulaire, la formule suivante était utilisée :

$$Sf \text{ (surface foliaire)} = (\text{Longueur maximale} \times \text{largeur maximale}) \times 0,83.$$

La largeur était mesurée à la partie médiane du limbe et la longueur était prise perpendiculairement à la largeur, en utilisant une latte de la base à l'apex du limbe (voir **Figure II**). La mesure par planimétrie a consisté à faire passer sur la photocopie d'une feuille, un planimètre à loupe de marque A.OTT KEMPTEN Type 30013 calibré à 10 mm<sup>2</sup>. En ce qui concerne l'usage du papier millimétré, il fallait calquer le contour du limbe foliaire sur ce papier (comportant des petits carreaux d'1 mm<sup>2</sup> et des grands carreaux d'1 cm<sup>2</sup>) puis compter le nombre des grands et petits carreaux occupés par l'image de la feuille. Pour éviter des erreurs probables, les carreaux comptés ont été à chaque fois pointés au crayon.



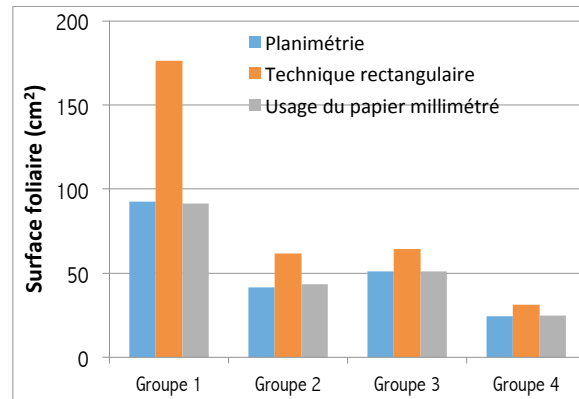
**Figure II.** Mesure de la longueur (L) et de la largeur (W) [EFTEKHARI *et al.*, 2011].

Le logiciel **Excel 2007** a été utilisé pour l'analyse statistique des résultats qui consistait à l'établissement des droites de régression sur base des 4 groupes morphométriques de feuilles étudiées et à calculer le **R<sup>2</sup>** (coefficient de corrélation entre 2 méthodes), le **BIAS** (ou Mean Error : erreur moyenne), le **RMSE** (root mean

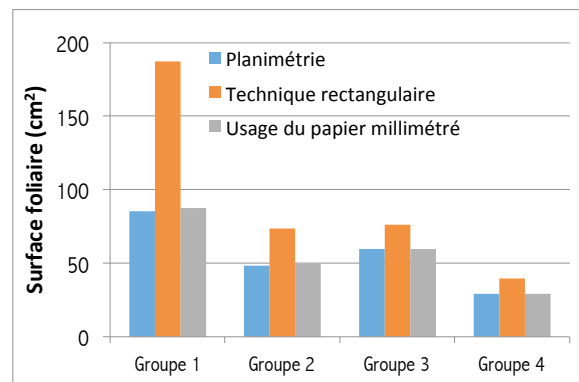
square error) et le CV (coefficient de variation obtenu à l'issu de l'analyse de variance).

## RESULTATS ET DISCUSSION

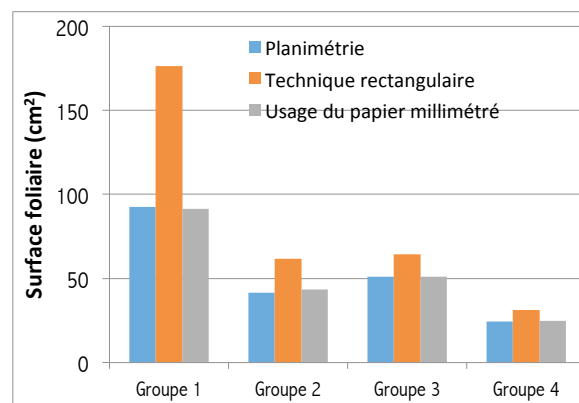
Les valeurs des surfaces foliaires présentées dans les **Figures III, IV et V** ont été obtenues grâce à 3 différentes méthodes, à savoir la planimétrie, l'usage du papier millimétré et la technique rectangulaire (*facteur 0,83*).



**Figure III.** Moyenne de la surface foliaire sur la strate **a**



**Figure IV.** Moyenne de la surface foliaire sur la strate **b**



**Figure V.** Moyenne de la surface foliaire sur la strate **c**

En observant ces figures pour chaque groupe et pour chaque strate, il ressort que la technique rectangulaire surestime les valeurs de la surface foliaire par rapport aux deux autres méthodes dont les résultats sont proches.

Entre plusieurs méthodes d'estimation de la surface foliaire, les meilleures sont celles qui donnent le **BIAS**, le **RMSE** et le **CV** les plus faibles, et le **R<sup>2</sup>** le plus élevé [EFTEKHARI *et al.*, 2011; FALLOVO *et al.*, 2008]. Les **Tableaux 1, 2 et 3** présentent les valeurs de **BIAS**, **RMSE**, **CV** et **R<sup>2</sup>**, obtenues en comparant la technique rectangulaire (**TR**) au papier millimétré (**PM**) et à la planimétrie (**PLA**).

Pour la strate **a**, il ressort des résultats du **Tableau 1** que la comparaison entre la planimétrie et le papier millimétré donne le **R<sup>2</sup>** le plus élevé qui est de 0,99 dans le Groupe 3 (constitué des feuilles d'*Acacia auriculiformis*, d'*Eucalyptus umbellata* et de *Mangifera indica*). En ce qui concerne le **RMSE** et le **CV**, leurs valeurs les plus basses sont obtenues dans le Groupe 3 en comparant l'usage du papier millimétré et la planimétrie et sont, respectivement, de 15,65 et 21,59%. Aussi, le **BIAS** est le plus bas dans le Groupe 4 (constitué des feuilles d'*Asystasia gangetica* et d'*Emilia coccinea*) où il est de 15,03. Il est suivi de celui du Groupe 3 qui est de 15,15 en comparant l'usage du papier millimétré à la planimétrie.

Pour ce qui est de la strate **b**, le **R<sup>2</sup>** le plus élevé (0,99) a été obtenu dans le Groupe 4 en comparant la planimétrie à l'usage du papier millimétré. Quant au **BIAS**, au **RMSE** et au **CV**, les valeurs les plus faibles sont obtenues en comparant la planimétrie à l'usage du papier millimétré et étaient, respectivement, de 10,29 dans le Groupe 4, de 11,2 dans le Groupe 4 et de 28,8% dans le Groupe 3.

S'agissant de la dernière strate (**c**), le **R<sup>2</sup>** le plus élevé (0,99) a été obtenu en comparant la planimétrie à l'usage du papier millimétré dans les groupes 2, 3 et 4. Le **BIAS** (6,46), le **RMSE** (6,84) et le **CV** (27,85%) les plus bas ont été obtenus dans le Groupe 4 en comparant la planimétrie à l'usage du papier millimétré.

De ce qui précède, il apparaît qu'au regard des valeurs de **BIAS**, **RMSE**, **CV** et **R<sup>2</sup>** obtenues pour chaque groupe de feuilles et sur chaque strate, l'usage du papier millimétré donne des résultats plus proches de la planimétrie que la technique rectangulaire. Les analyses statistiques réalisées confirment les tendances observées dans les histogrammes (**Figures III, IV et V**) qui montrent clairement que l'usage du papier millimétré donne des valeurs proches de celles de la planimétrie.

**Tableau 1. Valeurs de BIAS, RMSE, CV et R<sup>2</sup> sur strate a**

	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3		Groupe 4	
	Pla vs TR	Pla vs PM	Pla vs TR	Pla vs PM	Pla vs TR	Pla vs PM	Pla vs TR	Pla vs PM
<b>BIAS</b>	-132,44	131,49	-34,95	35,33	-15,51	15,15	-16,43	15,03
<b>RMSE</b>	136,31	135,26	38,86	40,02	15,87	15,66	18,42	17,11
<b>CV</b>	120,32	119,39	57,36	59,08	21,89	21,60	40,25	37,40
<b>R<sup>2</sup></b>	0,31	0,93	0,88	0,85	0,95	0,99	0,89	0,95

**Tableau 2. Valeurs de BIAS, RMSE, CV et R<sup>2</sup> sur strate b**

	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3		Groupe 4	
	Pla vs TR	Pla vs PM	Pla vs TR	Pla vs PM	Pla vs TR	Pla vs PM	Pla vs TR	Pla vs PM
<b>BIAS</b>	-101,91	99,59	-25,65	23,91	-16,46	16,29	-10,36	10,30
<b>RMSE</b>	106,25	103,89	28,91	26,70	17,19	17,15	11,23	11,22
<b>CV</b>	124,43	121,67	60,04	55,46	28,83	28,76	38,26	38,24
<b>R<sup>2</sup></b>	0,79	0,95	0,75	0,89	0,78	0,88	0,6	0,99

**Tableau 3. Valeurs de BIAS, RMSE, CV et R<sup>2</sup> sur strate c**

	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3		Groupe 4	
	Pla vs TR	Pla vs PM	Pla vs TR	Pla vs PM	Pla vs TR	Pla vs PM	Pla vs TR	Pla vs PM
<b>BIAS</b>	-83,73	84,75	-19,93	17,98	-13,60	13,55	-6,80	6,46
<b>RMSE</b>	88,12	88,50	21,30	19,48	14,49	14,47	7,15	6,85
<b>CV</b>	95,40	95,81	51,10	46,73	28,45	28,41	29,07	27,86
<b>R<sup>2</sup></b>	0,15	0,95	0,91	0,99	0,91	0,99	0,8	0,99

La surestimation est plus prononcée dans le Groupe 1 (*Manihot esculenta* et *Tithonia diversifolia*), suite, sans doute à la structure des feuilles concernées

(présence des espaces vides entre les lobes). En effet, en considérant ces feuilles comme des rectangles alors que des vides sont laissés entre des lobes, il est normal

que la surface mesurée en multipliant la longueur par la largeur soit plus grande que celle réelle. Le facteur « 0,83 » devrait corriger cette erreur mais au regard des écarts entre les résultats de cette méthode et ceux de deux autres, il apparaît que ce coefficient n'est pas approprié pour ces types de feuilles. Les résultats de la planimétrie corroborent ceux trouvés par Fallovo *et al.* [2008] et Roupael *et al.* [2007].

Par ailleurs, au regard de la similitude de leurs résultats présentés aux **Figures VI, VII et VIII**, la planimétrie qui est utilisée comme méthode de référence dans beaucoup des travaux antérieurs [EFTEKHARI *et al.*, 2001; DE SWART *et al.*, 2004; ROUPHAEL *et al.*, 2007] à cause de l'exactitude des valeurs obtenues, peut être substituée par l'usage du papier millimétré pour mesurer la surface foliaire là où cet appareil n'est pas disponible.

Les écarts entre les valeurs obtenues par le papier millimétré et celles données par la technique rectangulaire sont plus importants pour le Groupe 1 (*Manihot esculenta* et *Tithonia diversifolia*), sur la strate a ( $R^2 = 0.93$  vs  $R^2 = 0.31$ ) et la strate c ( $R^2 = 0.95$  vs  $R^2 = 0.15$ ). Cela montre que le coefficient « 0.83 » ne permet pas d'estimer correctement la surface des feuilles d'une telle structure (feuilles à plusieurs lobes avec beaucoup d'espaces vides).

Beaucoup d'auteurs proposent d'autres formules de régression et méthodes de prise des données sur la longueur et la largeur des feuilles ayant plusieurs lobes. Pour le manioc par exemple, Karim *et al.* [2010] ont trouvé que les formules appropriées sont  $LA = -9.96 + 12.128 * L$  et  $LA = 1.933 + 0.907 * L * B$ . La longueur et la largeur utilisées par ces auteurs étaient les moyennes mesurées sur chaque lobe. Aussi, en ce qui concerne la largeur, la valeur utilisée pour chaque lobe était la moyenne des résultats mesurés au sommet, au milieu et à la base de chacune. Il faudrait signaler que ces formules de régression proposées par Karim *et al.* [2010] ont été établies indépendamment de la strate des feuilles utilisées. En ce qui nous concerne, nous avons évalué la surface de ces feuilles, selon leurs strates respectives et en nous basant sur 3 méthodes (papier millimétré, planimétrie et technique rectangulaire). Les trois méthodes ont été comparées et deux d'entre elles sont fortement corrélées, il s'agit du papier millimétré et de la planimétrie ([Supplément, Figures IX à XIV](#)).

## CONCLUSION

Comparativement aux mesures réalisées par la technique rectangulaire, les valeurs de surface foliaire obtenues en faisant usage du papier millimétré ont été plus proches de celles générées par la planimétrie (considérée comme méthode de référence) pour la plupart des types des feuilles sur les 3 strates. Cela montre que la planimétrie peut se substituer au papier millimétré pour mesurer la surface foliaire là où cet appareil n'est pas disponible.

Les données obtenues avec la technique rectangulaire sont très différentes de celles obtenues

avec les autres pour les espèces du Groupe 1 (*Manihot* et *Tithonia*), en raison des espaces vides laissés entre les lobes. Pour ces dernières, il faut absolument utiliser d'autres formules de régression proposées dans la littérature et modifier la prise des données sur la longueur et la largeur des feuilles. Compte tenu de la complexité de ce processus, le papier millimétré reste l'outil le moins coûteux et le plus fiable.

## RESUME

Dans les pays en développement, a surface des feuilles de diverses espèces est souvent mesurée par la méthode rectangulaire, en utilisant uniquement le facteur « 0,83 » comme coefficient de régression ( $LA = L \times W \times 0,83$ ). La présente étude a été menée dans le but de vérifier si l'usage de ce facteur, permet des mesures exactes, quelle que soit la géométrie de la feuille. Ainsi, des mesures de la surface foliaire réalisées suivant la méthode sus-évoquée, ont été comparées avec celles obtenues en utilisant deux autres méthodes réputées plus exactes (planimétrie et papier millimétré). Pour ce, neuf plants localisés sur le site de l'Université de Kinshasa et appartenant chacun à une espèce, ont été sélectionnés. Les feuilles étaient récoltées de manière randomisée sur trois strates, regroupées en quatre types morphométriques, puis photocopiées à l'échelle 1:1. C'est sur ces images que des mesures ont été réalisées, et le  $R^2$ , le BIAS, le RMSE et le CV ont été estimés. Il ressort de cette étude que les valeurs des surfaces foliaires obtenues en faisant usage du papier millimétré, étaient plus proches de celles générées par la planimétrie par rapport à celles de la technique rectangulaire. Cela montre que la planimétrie peut être substituée par le papier millimétré, pour mesurer la surface foliaire. De plus, les écarts étant plus importants pour les feuilles ayant plusieurs vides entre les lobes, l'usage du facteur « 0,83 » n'est pas valable pour les feuilles de telles formes.

**Mots clés :** surface foliaire, strates, types morphométriques, planimétrie, papier millimétré, méthode rectangulaire

## REFERENCES ET NOTES

- AL-TARDEH S., SAWIDIS T., DIANNELIDIS B.-E. and DELIVOPOULOS S. [2008]. Morpho-anatomical features of the leaves of Mediterranean geophyte *Urigea maritime* (L.) Baker (Liliaceae). *Journal of Plant Biology* 52 (2), 150-158.
- BAKSHANDEH E., KAMKAR B. and TSIALTAS J.T. [2011]. Application of linear models for estimation of leaf area in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Photosynthetica* 49 (3): 405-416.
- BEATTIE G.A. and MARCELL L.M. [2002]. Effect of alterations in cuticular wax biosynthesis on the physicochemical properties and topography of maize leaf surfaces. *Plant, Cell and Environment* 25: 1-16.
- BEERLING D.J. and FRY J.C. [1990]. A comparison of the accuracy, variability and speed of five different methods for estimating leaf area. *Ann. Bot.* 65: 483-488.
- BHATT M. and CHANDA S.V. [2003]. Prediction of leaf area in *Phaseolus vulgaris* by non-destructive method. - *Bulg. J. Plant Physiol.* 29: 96-100.

- BIGNAMI C.** and **ROSSINI F.** [1996]. Image analysis estimation of leaf area index and plant size of young hazelnut plant. *J. Hort. Sci.* 71 : 113-121.
- BLANCO F.F.** and **FOLEGATTI M.V.** [2005]. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* 62 (4): 305-309.
- BUNCE, J.A.** [2004]. A Comparison of the Effects of Carbon Dioxide Concentration and Temperature on Respiration, Translocation and Nitrate Reduction in Darkened Soybean Leaves. *Annals of Botany* 93: 665-669.
- CAMPAGNA M.** [1996]. Le cycle du Carbone et la forêt: De la photosynthèse aux produits forestiers. Direction de l'environnement forestier. Service de l'évaluation environnementale. Québec, 56p.
- CHAVES M.M., PEREIRA J.S., MAROCO J., RODRIGUES M.L., RICARDO C.P.P., OSORIO M.L., CARVALHO I., FARIA T. and PINHEIRO C.** [2002]. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany* 89 : 907- 916.
- CHEN B., WU Z., WANG J., DONG J., GUAN L., CHEN J., YANG K. and XIE G.** [2015]. Spatiotemporal prediction of leaf area index of rubber plantation using HJ- 1A/AB CCD images and recurrent neural network. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 102, 148-160.
- DAUGHTRY C.S.T.** [1990]. Direct measurements of canopy structure. *Remote Sensing Reviews* 5 : 45-60.
- DE SWART E.A.M., GROENWOLD R., KANNE H.J., STAM P., MARCELIS L.F.M. and VOORRIPS R.E.** [2004]. Non-destructive estimation of leaf area for different plant ages and accessions of *Capsicum annuum* L. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 79 (5) : 764-770.
- DUCREY M.** [1981]. Etude bioclimatique d'une futaie feuillue (*Fagus sylvatica* L. et *Quercus sessiliflora* Salisb.) de l'Est de la France: Potentialités photosynthétiques des feuilles à différentes hauteurs dans le peuplement. *Ann. Sci. Forest.* 38 (1) : 71-86.
- EFEKHARI M., KAMKAR B. and ALIZADEH M.** [2011]. Prediction of leaf area in some Iranian table grape (*Vitis vinifera* L.) cuttings by a non- destructive and simple method. *Science Research Reporter* 1(3):115 – 121.
- FALLOVO C., CRISTOFORI V., MENDOZA E. DE, G. RIVERA C.M., REA R. and FANASCA S.** [2008]. Leaf Area Estimation Model for Small Fruits from Linear Measurements. *Hortscience* 43(7): 2263-2267.
- GARDINGEN P.R.V., JACKSON G.E., HERNANDEZ-DAUMAS S., RUSSELL G. and SHARP L.** [1999]. Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 94 : 243- 257.
- GHOREISHI M., HOSSINI Y. and MAFTOON M.** [2012]. Simple models for predicting leaf area of mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Biology and Earth Sciences* 2(2) : B45-B53.
- GRET** [1990]. Manuel d'agronomie tropicale appliquée à l'agriculture haïtienne, pp. 224-328.
- HABIMANA, S., NYIRABUHO, J., MUKAMUHIRWA, A. and TUYISHIME, O.** [2014]. Impact of plucking interval on tea productivity and green leaf quality. *International Journal of Soil and Crop Sciences: Vol. 2*(10): pp. 068-072.
- KARIM M.R., FAKIR M.S.A., MOSTAFA M.G. and PRODHAN A.K.M.A.** [2010]. Leaf area estimation by linear regression models in Cassava (Morphotype: Philippine). *J. Agrofor. Environ.* 4 (1): 17-22.
- KATHIRVELAN P. and KALAISELVAN P.** [2007]. Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) leaf area estimation using allometric model. *Res. J. Agric. & Biol. Sci.* 3(1): 59-61.
- KEARNS S.G. and BARLOCHER F.** [2008]. Leaf surface roughness influences colonization success of aquatic hypomycete conidia. *Fungal Ecology* 13-18.
- KOZLOWSKI T.T., KRAMER P.J. and PALLARDY S.G.** [1991]. *The Physiological Ecology of Woody Plants*, San Diego, California, Academic Press, inc. 657 p.
- LAWA B.E., TUyla S.V., CESCATTIB A. and BALDOCCHI D.D.** [2001]. Estimation of leaf area index in open-canopy ponderosa pine forests at different successional stages and management regimes in Oregon. *Agricultural and Forest Meteorology* 108 : 1-14.
- LEROY P.** [1968]. Variations saisonnières des teneurs en eau et éléments minéraux des feuilles de chêne (*Quercus pedunculata*). *Ann. Sci. forest.* 25 (2) : 83-117.
- LESPINAT P-A., ANDRE M. et BOUREAU M.** [1975]. Étude quantitative du carbone libéré par les racines de maïs cultivé en conditions contrôlées sous 14C02. *Physiol. Vég.* 13 (1) : 137-151.
- MOKHTARPOUR H., THE, B.S.C, SALEH G., SALAMAT A.B., ASADI M.E. and KAMKAR B.** [2010]. Non-destructive estimation of maize leaf area, fresh weight, and dry weight using leaf length and leaf width. *Communication in biometry and crop science.* 5(1): 19-26.
- MONTGOMERY D.C. and PECK E.A.** [1992]. *Introduction to linear regression analysis.* John Wiley and sons, New York.
- NORMAN J.M. and CAMPBELL G.S.** [1989]. Canopy structure. In: *Pearcy, R.W., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Rundel, P.W. (Eds.), Plant Physiological Ecology. Field Methods and Instrumentation*, Chapman and Hall, London, pp. 301-325.
- POETHIG R. S.** [1997]. Leaf morphogenesis in flowering plants. *The Plant Cell*, 9 : 1077-87.
- POTDAR M.V. and PAWAR K.R.** [1990]. Non-destructive leaf area estimation in banana. *Sci. Hortic.* 45: 251-254.
- QUEIROGA J.L., ROMANO E.D.U., SOUZA J.R.P. and MIGLIORANZA E.** [2003]. Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. *Hortic. bras.* 21(1): 64-68.
- RICARDO K.S., DAVID R. F. and KATHLEEN E.M.** [1997]. Detecting leaf area and surface resistance during transition seasons. *Agricultural and Forest Meteorology* 84 : 273-284.
- RIOBE J., BAUBAULT C. et MOUSSEAU M.** [1983]. Influence de l'intensité et du mode de distribution de l'énergie lumineuse sur la croissance et les échanges de CO2 de jeunes plants de tomate de serre (*Lycopersicon esculentum* var. « Lucy »). *Agronomie* 3 (1) : 27-32.
- ROUPHAEL Y., COLLA G., FANASCA S. and KARAM F.** [2007]. Leaf area estimation of sunflower leaves from simple linear measurements. *Photosynthetica* 45 (2): 306-308.
- SILVA M.C.C., FONTES P.C.R. and VIANA R.G.** [2008]. Estimativa da área da folha da batateira utilizando medidas lineares. *Hortic. bras.* 26(1): 083-087.
- TAYLOR P.** [2011]. The wetting of leaf surfaces. Current opinion in colloid and Interface. *Science* 16 : 326-334.
- TCHAMITCHIAN M. et LONGUENESSE J.J.** [1990]. Photosynthèse d'une culture en rangs de tomates sous serre. Modélisation analytique et cartographie de l'activité du feuillage. *Agronomie* 11 : 17-26.
- VICKERY P.J., BENNET I.L. and NICOL G.R.** [1980]. An improved electronic capacitance meter for estimating herbage mass. *Grass and Forage Sci.* 35, 247-252.
- VILLEGAS C.D., BAUTISTA A.T. and COTEJO J.R.** [1981]. Accurate and rapid techniques for leaf area measurement in cassava and sweet potato. *Radix* 3, 10.
- WANG K. and SHANGGUAN Z.** [2010]. Photosynthetic characteristics and resource utilization efficiency of maize (*Zea mays* L.) and millet (*Setaria italica* L.) in a

semi-arid hilly loess region in China, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 38(4): 247-254, DOI: 10.1080/01140671.2010.503987.

**WARING R.H.** and SCHLESINGER W.H. [1985]. *Forest Ecosystems: Concepts and Management*, Academic Press, Orlando, Florida, 340p.

**YEOL C.Y.**, OH S., OH M.M. and SON J.E. [2007]. Estimation of individual leaf area, fresh weight, and dry weight of hydroponically grown cucumbers (*Cucumis sativus* L.) using leaf length, width, and SPAD value. *Sci. Hortic.* 111: 330–334.



This work is in open access, licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in the credit line; if the material is not included under the Creative Commons license, users will need to obtain permission from the license holder to reproduce the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>