



La revue francophone sur les fourrages et les prairies

The French Journal on Grasslands and Forages

Cet article de la revue **Fourrages**,
est édité par l'Association Francophone pour les Prairies et les
Fourrages

Pour toute recherche dans la base de données
et pour vous abonner :

www.afpf-asso.fr



AFPf - Maison Nationale des Eleveurs - 149 rue de Bercy - 75595 Paris Cedex 12
Tel. : +33.(0)1.40.04.52.00 - Mail : contact@afpf-asso.fr

Association Francophone pour les Prairies et les Fourrages

Mesurer la hauteur d'espèces fourragères pérennes par photogrammétrie à partir d'images acquises avec un drone

F. Surault, E. Roy, S. Mahieu, D. Combes, G. Louarn, E. Frak, M. Ghesquière, B. Julier

RESUME

Le phénotypage des variétés de plantes fourragères passe par des mesures de développement végétatif qui sont réalisées manuellement avec une règle graduée ou électronique. Ces mesures sont consommatrices de temps et particulièrement pénibles. Dans deux essais en micro-parcelles, nous avons testé l'intérêt de la photogrammétrie, avec des photos prises à partir d'un drone, pour remplacer ces mesures de hauteur manuelles. Le premier essai était composé de parcelles de fétuque élevée, dactyle, trèfle blanc, trèfle violet et luzerne et le second était un essai variétal de luzerne. Les résultats diffèrent en fonction des espèces. Les meilleurs résultats, comparaison des hauteurs manuelles et des hauteurs estimées avec la photogrammétrie, sont obtenus avec le dactyle (r^2 de 0,79 à 0,93) et les légumineuses (r^2 de 0,54 à 0,96). Avec la fétuque élevée, les résultats sont moins probants et un travail complémentaire devra être entrepris pour en comprendre les raisons.

SUMMARY

Measuring the height of perennial forage species by photogrammetry from images acquired with a drone

Phenotyping of forage plant varieties requires measurements of vegetative development which are carried out manually with a graduated or electronic ruler. These measurements are time consuming and particularly tedious. In two microplot trials, we tested the interest of photogrammetry, with photos taken from a drone, to replace these manual height measurements. The first trial was composed of plots of tall fescue, orchardgrass, white clover, red clover and alfalfa, and the second was a varietal trial of alfalfa. The results differed depending on the species. The best results, comparing manual heights with photogrammetric heights, were obtained with orchardgrass (r^2 from 0.79 to 0.93) and legumes (r^2 from 0.54 to 0.96). With tall fescue, the results are less convincing and further work should be undertaken to understand the reasons.

L'évaluation des variétés de plantes fourragères ou la caractérisation des ressources génétiques demande un important travail de phénotypage. Cette évaluation est réalisée sur des couverts denses en micro-parcelles. Les maladies, la vigueur de repousse, la pérennité ou le port font l'objet de notations visuelles. Les mesures de développement végétatif des couverts sont réalisées manuellement à l'aide d'une règle graduée ou d'une règle électronique à de nombreuses reprises au cours d'un même cycle de croissance, afin de calculer des vitesses de croissance et de comparer les variétés sur ce critère. Lorsqu'elles sont réalisées sur un grand nombre de parcelles, et ceci plusieurs fois au cours d'un essai, ce qui est souvent le cas pour des études de génétique, ces mesures sont pénibles et très consommatrices de temps. Nous étudions la possibilité de remplacer les mesures de hauteurs manuelles par des hauteurs estimées par photogrammétrie à partir de photos prises avec un drone.

La photogrammétrie est une méthode basée sur la vision stéréoscopique humaine, qui permet de reconstruire un objet ou une scène en 3 dimensions à partir d'images prises selon des points de vue différents. La création d'une copie exacte en 3D d'un essai agronomique à partir de photos prises avec un drone nécessite des repères géoréférencés au sol (avec une précision centimétrique), et de réaliser un grand nombre de photos avec un taux de recouvrement important.

Lors d'une première étude menée en 2017 sur une pépinière de sélection de plantes isolées de dactyle, nous avons montré qu'il existait une bonne relation entre les mesures de hauteurs réalisées manuellement et celles estimées par photogrammétrie à partir de photos prises avec un drone (Surault *et al.*, 2018). Dans cette nouvelle étude, l'objectif est de tester la méthode de mesure de la hauteur des plantes par photogrammétrie sur d'autres espèces de graminées et de légumineuses fourragères pérennes cultivées en pur dans 2 essais en micro-parcelles.

AUTEURS

1 : INRAE, UR P3F (Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères), Le Chêne – RD150, CS80006, 86600 Lusignan

MOTS-CLES : Drone, Phénotypage, Photogrammétrie, Plantes fourragères, Variétés

KEY-WORDS: Drone, Phenotyping, Photogrammetry, Fodder plants, Varieties

REFERENCE DE L'ARTICLE : Sureau F., Roy E., Mahieu S., Combes D., Louarn G., Frak E., Ghesquière M., Julier B., (2021). « Mesurer la hauteur d'espèces fourragères pérennes par photogrammétrie à partir d'images acquises avec un drone ». *Fourrages* 247, 105-108

1. Matériel et méthodes

Les données ont été acquises sur 2 essais en micro-parcelles conduits à Lusignan :

- L'essai 1 était un essai en 4 blocs comportant 140 micro-parcelles en culture pure de 2 variétés de fétuque élevée (*Festuca arundinacea*) et de dactyle (*Dactylis glomerata*) fertilisées ou non fertilisées et trois espèces de légumineuses : trèfle blanc (*Trifolium repens*), trèfle violet (*Trifolium pratense*) et luzerne (*Medicago sativa*). En année n+1, trois vols de drones ont été répétés à 5 jours d'intervalle en juin 2018, parallèlement à des mesures de hauteurs manuelles du couvert avec une règle (3 hauteurs/parcelle).
- L'essai 2 était composé de 440 micro-parcelles de luzerne. Au cours de chacun des 4 cycles de croissance de l'année n+1 de la luzerne (26 mars au 13 novembre 2019), 3 à 6 mesures successives de hauteur (Tableau 1) ont été réalisées par cycle, ce qui représente un total de 18 séries de mesures. Les hauteurs ont été mesurées à l'aide d'une règle électronique (Herbomètre® modifié) ou d'une règle graduée (3 hauteurs/microparcelle) selon que la hauteur des parcelles était inférieure ou supérieure à 35 cm. Un vol de drone a été réalisé à chaque date.

Un drone DJI Phantom 4 Advanced équipé d'une caméra RVB avec un capteur CMOS 1 pouce de 20-megapixels, en position nadir, a été utilisé pour l'acquisition des photos sur les 2 essais. Les vols ont été effectués à une altitude de 9 m avec un espacement de 2 m entre les lignes de vols pour atteindre une résolution de 2 mm (taille du pixel) et un taux de recouvrement entre photos de 80 %.

Le logiciel de photogrammétrie Agisoft Photoscan v1.2.6 Professional Edition (Agisoft LLC) a été utilisé pour générer les modèles numériques d'élévation à partir des photos acquises avec le drone. Le calcul des hauteurs du couvert a été réalisé à l'aide du logiciel QGIS v2.14.16 - Essen (QGIS Geographic Information System; Open Source Geospatial Foundation Project). La hauteur du couvert de chaque micro-parcelle a été estimée en soustrayant l'altitude moyenne des points

après une coupe à l'altitude moyenne des 10 % des points les plus hauts pour les légumineuses et des 0,1 % pour les graminées (Surault et al., 2019).

2. Résultats et discussion

2.1. Essai 1

Les hauteurs naturelles des couverts mesurées manuellement étaient comprises entre 18 et 43 cm pour la fétuque élevée, entre 17 et 47 cm pour le dactyle et entre 31 et 90 cm pour les légumineuses.

Pour la fétuque élevée, les points sont dispersés avec des coefficients de détermination assez faibles aux alentours de 0,4 (Tableau 1). Les ordonnées à l'origine sont différentes entre les 3 dates. Pour le 14 juin, la méthode par photogrammétrie sous-estime de 7,7 cm en moyenne la hauteur des plantes, alors que cette différence est de 4 cm pour le 19 juin et est négligeable pour la dernière date. Les pentes sont quant à elles proches de 1. Pour le dactyle, les coefficients de corrélations sont élevés et compris entre 0,79 et 0,93. La méthode par photogrammétrie sous-estime la hauteur des plantes d'environ 8 cm quelle que soit la date de mesure. Les pentes diffèrent entre les dates, de 1,1 à 1,29.

Les caractéristiques des régressions pour le trèfle blanc, la luzerne et le trèfle violet étant très proches les unes des autres, les trois espèces sont regroupées dans « légumineuses ». Pour ces légumineuses (Figure 1), les coefficients de détermination sont élevés (0,89 à 0,96) pour les trois dates de mesures et les pentes proches de 1. Toutefois en fonction des dates de mesure, les ordonnées à l'origine diffèrent légèrement, de -5,0 à 4,7 cm.

Les résultats les plus probants sont observés avec les légumineuses qui offrent les organes les plus gros (folioles) comparativement aux limbes plus étroits et dressés des graminées. Cela se traduit aussi chez les légumineuses par la possibilité de diminuer la résolution, de 2 à 8 mm (taille du pixel), lors de la construction du Modèle Numérique d'Élévation (MNE), sans que cela ait de conséquences sur les paramètres

Espèces	R ²			Pente			Ordonnées à l'origine		
	14/06	19/06	25/06	14/06	19/06	25/06	14/06	19/06	25/06
Fétuque	0,39	0,40	0,41	1,01	1,11	0,97	-7,75	-3,92	0,26
Dactyle	0,85	0,79	0,93	1,07	1,29	1,19	-8,70	-7,63	-7,90
Légumineuses	0,97	0,88	0,96	1,10	0,96	0,95	-5,00	3,00	4,70

TABLEAU 1 : Régression entre les hauteurs mesurées à la règle (x) et celles estimées par photogrammétrie (y) sur l'essai 1 : coefficients de détermination (r²), pentes et ordonnées à l'origine.

Table 1: Regression between the heights measured with a ruler (x) and those estimated by photogrammetry (y) on test 1: coefficients of determination (r²), slopes and ordinates at the origin.

des régressions. Cette diminution de la résolution divisée par dix le temps de traitement et par 15 la taille du fichier généré. Pour les graminées, la finesse des limbes nécessite la résolution la plus fine (2 mm).

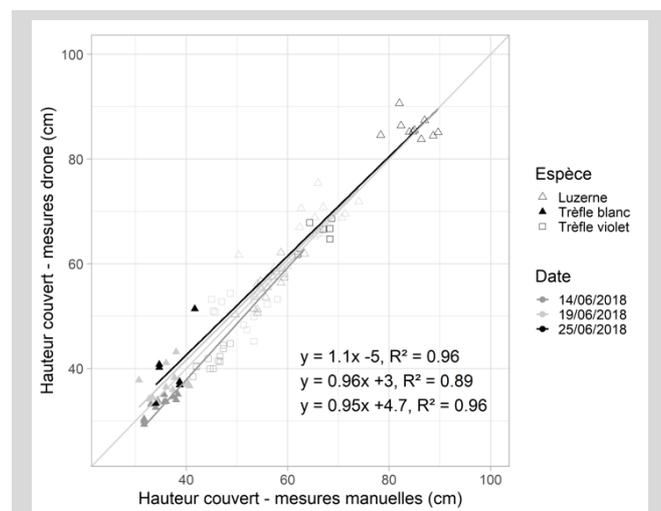


FIGURE 1 : Relation entre les hauteurs mesurées à la règle et celles estimées par photogrammétrie pour les légumineuses le 14/06, 19/06 et 25/06.

Figure 1 : Relationship between heights measured with a ruler and those photogrammetrically for legumes on 14, 19 and 25 June.

Dans cet essai, les résultats les moins probants sont observés avec la fétuque élevée sans que l'on en connaisse véritablement la raison. Plusieurs hypothèses sont à étudier comme la finesse des limbes, leur brillance (Koide *et al.*, 2019) ou le port érigé de la fétuque qui, vu du dessus, offre un profil moins visible que le dactyle qui a un port retombant. Ces spécificités pourraient avoir un impact sur la qualité de la reconstruction du nuage de points et par conséquent sur le calcul des hauteurs.

2.2. Essai 2

Sur ce second essai, les hauteurs moyennes des couverts de luzerne par cycle, mesurées manuellement, étaient comprises entre 10,5 et 68,7 cm (Figure 2). Les coefficients de détermination des régressions (r^2) entre les hauteurs mesurées manuellement, à la règle électronique ou à la règle graduée, et celles estimées par photogrammétrie, varient entre 0,53 et 0,81 en fonction des dates de mesures (Tableau 2). Ils sont inférieurs à ceux observés sur légumineuses dans l'essai 1. Néanmoins, de très bonnes corrélations sont obtenues pour 4 dates de mesures parmi 5 au cours du 4ème cycle en automne où les hauteurs manuelles ont toutes été réalisées avec la règle électronique et les photos prises par temps couvert.

Les paramètres des régressions sont différents en fonction des dates de mesure. Les régressions semblent de meilleure qualité lorsque les hauteurs manuelles

sont réalisées avec la règle électronique : outre les r^2 légèrement supérieurs, la pente est en moyenne de 0,90 alors qu'elle se situe en moyenne à 0,70 avec la règle graduée. La qualité des mesures manuelles peut être influencée par l'outil utilisé, puisque la règle électronique intègre une surface de 30 cm x 30 cm, alors que la règle graduée ne concerne qu'une poignée de tiges. Nous avons déjà observé des résultats similaires dans un précédent travail avec des plantes isolées de dactyle (Surault *et al.*, 2018).

	Cycle 1 (26/03–03/06)	Cycle 2 (19/06–15/07)	Cycle 3 (07/08–17/09)	Cycle 4 (07/10–13/11)
Date 1	0,63	0,77	0,55	0,54
Date 2	0,54	0,77	0,58	0,82
Date 3	0,58	0,58	0,59	0,72
Date 4	0,68	0,70		0,80
Date 5	0,69			0,77
Date 6	0,59			

TABLEAU 2 : Relation entre les hauteurs mesurées manuellement (x) avec une règle électronique ou une règle graduée (en gris) et celles obtenues avec la photogrammétrie (y) sur l'essai 2: coefficients de détermination (r^2)

Table 2 : Relationship between heights measured manually (x) with an electronic ruler or a graduated ruler (shaded) and those obtained with photogrammetry (y) on trial 2: coefficients of determination (r^2)

Les hauteurs estimées par photogrammétrie des couverts de luzerne sont légèrement inférieures à celles mesurées manuellement (Figure 2). Cette différence est liée au pourcentage de pixels pris en compte pour estimer les hauteurs drone, ici 10% sur les

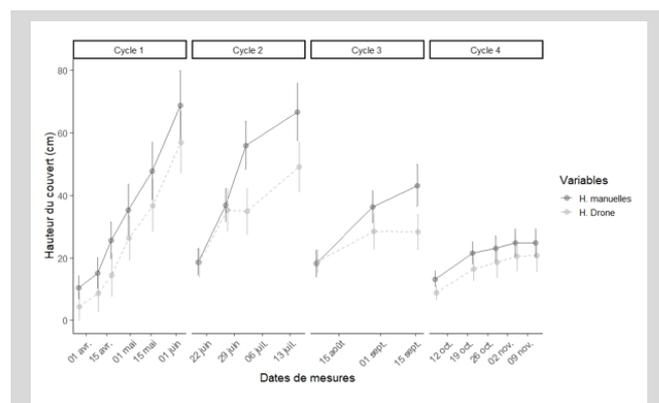


FIGURE 2 : Hauteurs moyennes (cm) des couverts de luzerne mesurées manuellement et par photogrammétrie au cours des 4 cycles de repousse sur l'essai 2.

Figure 2 : Average heights (cm) of alfalfa canopies measured manually and by photogrammetry during the 4 regrowth cycles on trial 2.

légumineuses. A certaines dates, comme le 3 juillet, le 15 juillet et le 17 septembre, avec des hauteurs manuelles réalisées à la règle graduée, les écarts peuvent être importants. Ces dates correspondent aussi à des périodes de stress hydrique et parfois de fortes chaleurs. Ces paramètres climatiques modifient la structure des couverts (perte de feuilles, densité plus faible) et vont avoir un impact sur l'estimation des hauteurs par photogrammétrie. En effet, dans un couvert de faible densité une proportion plus importante de « pixels bas » sera prise en compte dans le calcul de la hauteur.

Conclusion

Ces 2 études montrent que les mesures de hauteurs de couvert par photogrammétrie numérique à partir de photographies acquises avec un drone sont bien corrélées aux mesures de hauteurs manuelles pour le dactyle, le trèfle blanc, le trèfle violet et la luzerne. Elles confirment l'intérêt de cette méthode pour mesurer la hauteur de couverts et offrent une opportunité pour réduire les coûts des mesures phénotypiques et/ou accroître le nombre de mesures à coût constant.

Des études complémentaires sont en cours afin de tester l'effet de différents facteurs de sensibilité comme

la luminosité lors de l'acquisition des photos. Elles permettront peut-être de comprendre les moins bons résultats obtenus avec la fétuque élevée. Pour promouvoir cette méthodologie en routine, nous devons aussi confirmer qu'elle permet de mettre en évidence une variabilité génétique au même titre que les hauteurs réalisées manuellement.

Remerciements : Ce projet a reçu un financement du Programme Horizon 2020 pour la Recherche et l'Innovation de l'Union Européenne sous l'agrément n°727312 (EUCLEG) et n°817970 (INVITE).

Article accepté pour publication le 16 juillet 2021

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Koide D., Ide R., Oguma H., (2019). « Detection of autumn leaf phenology and color brightness from repeat photography: Accurate, robust, and sensitive indexes and modeling under unstable field observations ». *Ecological Indicators*, 106, 1-11.
- Surault F., Barre P., Escobar-Gutierrez A.J., Roy E., (2018). « Le drone, un nouvel outil au service de la sélection pour estimer la hauteur des plantes fourragères ». *Fourrages*, 236, 281-288.
- Surault F., Roy E., Barre P., Bourgoin T., Ghesquière M., Escobar-Gutiérrez A., (2019). « Capturing plant height from images taken with a drone to provide information for use in breeding forage grasses ». *Grassland Science in Europe*, 24, 339-341.