

Un exemple de l'utilisation des drones dans la gestion technique d'un verger de pêchers en Tunisie

Hatem Mabrouk

Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), Laboratoire d'arboriculture, Tunis, Tunisie

Denis Feurer

Institut de recherche pour le développement, UMR Laboratoire d'études des interactions entre sols-agrosystème-hydrosystème (LISAH, INRA-IRD-Montpellier SupAgro), Montpellier, France

Sylvain Massuel

Institut de recherche pour le développement, UMR Gestion de l'eau, acteurs, usages (G-EAU), Montpellier, France

Fatma Ben Jemaa

Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), Laboratoire d'arboriculture, Tunis, Tunisie

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) ont fait leur entrée depuis une dizaine d'années dans le monde agricole, d'abord avec les téléphones mobiles et désormais avec l'avènement rapide des nouvelles technologies. Ce secteur est déjà très développé en Tunisie. Selon un rapport de juin 2016 du service économique de l'ambassade de France en Tunisie, il représente plus de 7 % du PIB et plus de 30 % des exportations, en s'appuyant largement sur les infrastructures et compétences locales.

Les TIC peuvent être des outils d'aide à la décision précieux, mais leur appropriation par les petits et moyens agriculteurs reste limitée, notamment dans les pays de la rive sud de la Méditerranée où les niveaux de connaissances requises sont encore inadaptés. Il est donc nécessaire de développer des méthodes opérationnelles simples, visant à la maîtrise de ces techniques pour la gestion avancée des exploitations.

Parmi ces nouvelles technologies, l'utilisation des drones dans le domaine agricole prend de plus en plus d'ampleur (Zhang et Kovacs, 2012). Ils sont utilisés pour la surveillance des cultures, la détection des foyers de maladies, du stress hydrique précoce, l'estimation du rendement, etc. Pourtant, dans de nombreux pays, comme en Tunisie, l'utilisation civile des drones reste très limitée principalement à cause de problèmes logistiques causés par la réglementation en lien avec la sûreté du territoire et le système d'obtention d'autorisations (Séfi, 2015). À titre d'exemple, selon cet auteur, seulement dix autorisations de vol ont été accordées pour les années 2014 et 2015, essentiellement dans le cadre cinématographique ou bien pour l'aménagement urbain. Ainsi, dans le domaine de la recherche scientifique agronomique, très peu d'études ayant recours aux drones ont été conduites.

C'est pourquoi l'un des objectifs de cette étude est de montrer le potentiel offert par les TIC pour le développement de l'agriculture, en proposant une méthode innovante d'intégration des drones dans la gestion technique de vergers en Tunisie. De tels retours d'expérience doivent contribuer à faire évoluer la réglementation actuelle en Tunisie afin de rendre ces technologies accessibles au plus grand nombre et à en décupler les avantages économiques et environnementaux.

Ainsi, il est proposé de tester une méthode d'estimation de l'indice de surface foliaire ou LAI (Leaf Area Index) d'un verger de pêcher en utilisant des images basse altitude prises par un drone. Cet indice est le rapport entre la surface de l'ensemble des feuilles d'une culture et la surface de sol qu'elle occupe (Watson, 1947). Il permet à l'agriculteur de mieux gérer l'itinéraire technique de sa culture, car de la surface foliaire dépendent en partie les besoins en eau pour l'irrigation et les doses nécessaires pour la protection phytosanitaire.

Il existe différentes méthodes d'estimation du LAI : des méthodes directes destructives et des méthodes indirectes non destructives qui utilisent des relations fortes entre le LAI et d'autres paramètres. Par exemple, la fréquence de trous dans le feuillage est mesurable grâce à des photos hémisphériques et peut être directement corrélée au LAI (Weiss et al., 2004). Mais ces méthodes sont généralement laborieuses et plutôt adaptées aux grandes cultures. Elles se basent sur des échantillonnages spatiaux restreints qui limitent la représentativité des valeurs de LAI obtenues, notamment dans le cas de parcelles arboricoles hétérogènes.

C'est pourquoi de nouvelles méthodes d'estimation spatialisée du LAI se sont développées. Elles peuvent être classées en deux groupes. Un premier groupe qui utilise la mesure de la réflectance à partir des images satellite et aériennes et estime le LAI via des indices tels que le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Le second groupe se base sur la reconstitution 3D de la structure de la végétation (en nuage de points) grâce à la vision par ordinateur. Les exemples les plus courants sont la méthode du LiDAR (qui utilise le laser) et la photogrammétrie (*Structure from Motion* ; Snavely, 2008) qui nous intéresse dans ce travail.

Fournir à l'agriculteur sous la forme d'un service, une estimation précise du LAI à des intervalles de temps très courts (de l'ordre d'une semaine) rend possible une gestion « en temps réel » de son verger. C'est pourquoi le travail sur des images basse altitude à haute résolution spatiale et temporelle est particulièrement adapté à cette problématique.

Le premier objectif de ce travail est de proposer et de valider une nouvelle méthode d'estimation du LAI qui utilise la technique de photogrammétrie "Structure from Motion" par comparaison avec la technique classique basée sur les photographies hémisphériques. Le deuxième objectif est de montrer des exemples d'utilisation pratique du LAI ainsi calculé dans la gestion de l'irrigation et des traitements phytosanitaires d'une culture de pêchers.

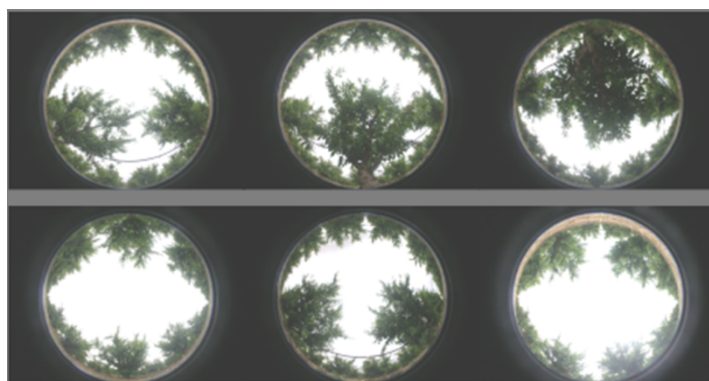
Développement de la méthode d'estimation indirecte du LAI

Ce travail de recherche a été réalisé sur une parcelle de pêchers (variété Sweet cap) âgée de 5 ans, plantée avec une densité de 666 pieds/ha, irriguée au goutte à goutte et située dans la région de Ben Arous en Tunisie.

Tout d'abord, une « vérité terrain » a été établie avec une méthode issue de la littérature (Weiss et al., 2004). Des photos hémisphériques ont été obtenues avec un appareil numérique Nikon Coolpix à objectif fisheye FC-E8 à visée verticale vers le ciel. Les photos ont été prises tous les mètres selon deux transects perpendiculaires à la ligne de plantation, l'un passant entre deux arbres voisins et l'autre sous les arbres. Un total de 18 photos a été acquis à chaque date de mesure (6 dates), au moment du coucher du soleil pour n'avoir sur la photo que la végétation et le ciel, sans le soleil. La Figure 1 montre quelques exemples de photos hémisphériques.

Figure 1

Photographies hémisphériques du 4 juin 2015



Par la suite, ces photos ont été traitées avec Hemisfer. Ce logiciel spécialisé dans le traitement des images hémisphériques, développé par le WSL (Suisse) permet de calculer le LAI de l'ensemble de la parcelle. Par ailleurs, la méthode proposée et examinée dans cet article est basée sur l'utilisation d'images aériennes à basse altitude. Cette méthode suit, pour chaque date, les étapes suivantes :

1. Acquisition d'images aériennes basse altitude
2. Calcul d'une maquette 3D des arbres de la parcelle sous forme d'un nuage de points
3. Simulation, à partir de la maquette, d'images hémisphériques avec une prise de vue verticale dirigée vers le haut
4. Estimation du LAI à partir des photos hémisphériques simulées

Pour l'étape 1, des photos aériennes basse altitude ont été prises à partir d'un drone hexacoptère autopiloté, ayant une charge utile de 900 g pour une autonomie de vol de 12 min. A chaque date de mesure, 2 vols à une altitude d'une dizaine de mètres ont été effectués. Le drone est muni d'une nacelle stabilisée sur 2 axes manœuvrant un appareil photo numérique (Sony RX100iii) en visée verticale pendant le premier vol et incliné de 45° pendant le deuxième. Une centaine de photos est acquise lors de chaque vol. La figure 2 montre une série de photos aériennes de la parcelle prises au cours de la saison agricole.

Figure 2

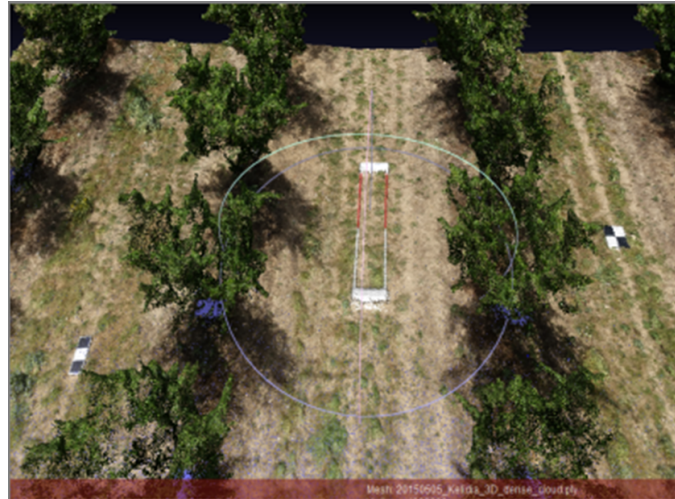
Évolution de la végétation au cours de la saison



À l'étape 2, les photos aériennes sont traitées avec Agisoft Photoscan, logiciel permettant de créer une maquette en 3D de la parcelle à partir des images multiples d'une même zone. La figure 3 montre la maquette 3D à la date du 26 mai 2015.

Figure 3

Image 3D reconstituée de la parcelle au 26 mai 2015

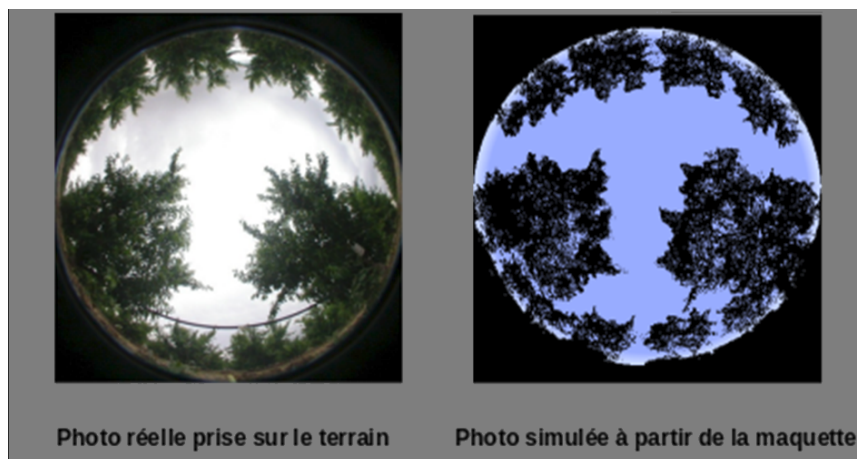


À l'étape 3, la maquette 3D est ensuite utilisée pour simuler des photos hémisphériques via PovRay, un logiciel de synthèse d'image basé sur la technique du Raytracing. Cette approche permet de simuler des photos hémisphériques en tout point. Ainsi, il est non seulement possible de simuler les mêmes images que celles prises sur le terrain, mais aussi de simuler d'autres images, ce qui permet un échantillonnage plus dense de la parcelle.

La maquette 3D obtenue à l'étape 2 étant un nuage de points, il a été choisi pour la simulation par PovRay de donner une taille arbitraire à ces points, matérialisés pour la simulation PovRay par des sphères. Afin de caler le rayon de ces sphères, les photos hémisphériques ont été simulées à partir des mêmes points de vue que les photos hémisphériques réelles effectuées sur le terrain. Sur les 18 positions de prise de vue, une seule a été utilisée pour le calage du rayon des sphères. La qualité du résultat est évaluée visuellement sur les autres photos simulées avec le même paramètre. La Figure 4 montre une photo hémisphérique réelle et une autre simulée à partir de la maquette 3D au même emplacement.

Figure 4

Comparaison des photos hémisphériques réelles et simulées

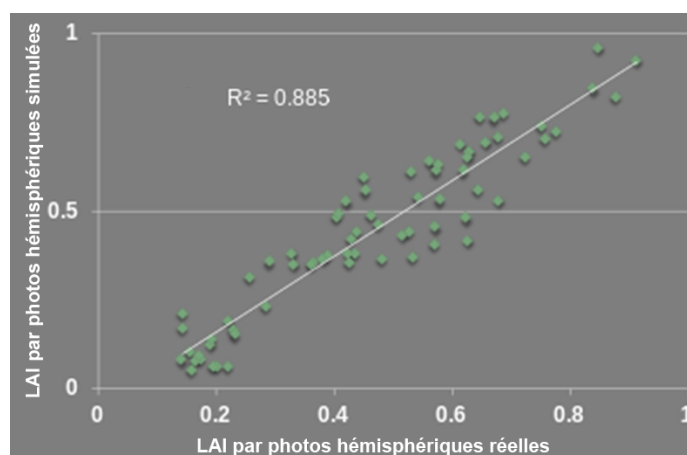


Par la suite les photos hémisphériques simulées sont traitées par le logiciel « Hemisfer » afin de calculer le LAI.

Le LAI est ainsi estimé selon deux approches : une approche directe, utilisant les photos hémisphériques de terrain, et une approche indirecte, utilisant des photos hémisphériques simulées à partir de la maquette 3D issue des photos aériennes. La figure 5 montre la comparaison entre les résultats de ces deux approches. Il existe une très bonne correspondance entre les deux valeurs de LAI avec une dispersion très faible autour de la droite $y=x$ ($R^2=0.885$), ce qui valide l'approche indirecte.

Figure 5

Comparaison des valeurs du LAI obtenues par les photos hémisphériques réelles et simulées



L'avantage de l'approche indirecte est de permettre de simuler toutes les photos hémisphériques nécessaires et donc d'avoir un meilleur échantillonnage de la parcelle pour l'estimation du LAI. Il reste cependant nécessaire d'effectuer une prise de vue au sol de manière à disposer d'une photo hémisphérique réelle pour caler le paramètre de simulation. Par ailleurs, pour ce premier travail, des choix forts et très simplificateurs ont été effectués. En effet le fait de choisir de passer par la simulation de photos hémisphériques pour accéder au LAI à partir d'information 3D et de photos aériennes multiples ne tire pas parti de toute l'information présente dans ce jeu de données image. Un travail pour l'estimation directe du LAI à partir des images aériennes et du nuage de points 3D semble en effet très prometteur.

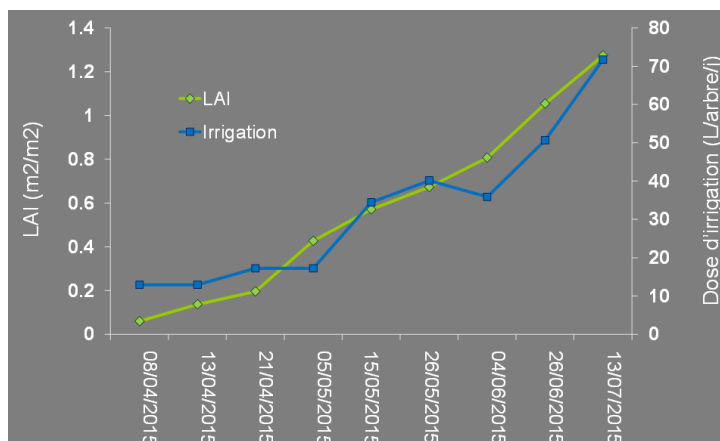
Cependant, les résultats encourageants obtenus avec la méthode proposée permettent d'envisager une utilisation opérationnelle du LAI dans la gestion technique du verger, deux exemples développés ci-dessous permettant d'illustrer ce potentiel. Dans ces deux exemples, on compare les chroniques d'estimation de LAI effectuées à partir d'images drone et les pratiques réalisées par l'agriculteur sur la même parcelle sur la même période. Il est à noter que l'agriculteur n'a pas utilisé les données de LAI pour la conduite de sa parcelle.

Exemples d'application

Le premier exemple montre comment l'agriculteur a pu adapter sa stratégie d'irrigation à l'évolution de la surface foliaire de son verger. La figure 6 illustre l'évolution du LAI et celle de la quantité d'eau donnée par arbre et par jour au cours de la saison. Les besoins en eau des arbres dépendent de la quantité de feuilles qui transpirent (donc indirectement du LAI) mais également des conditions climatiques (demande évaporative), ce qui explique les différences entre les deux courbes. Nous constatons cependant une bonne corrélation globale entre ces deux paramètres, permettant d'envisager l'élaboration future d'indices pratiques que l'agriculteur pourra utiliser dans la gestion de l'irrigation.

Figure 6

Évolution parallèle du LAI et de la quantité d'eau apportée à la parcelle

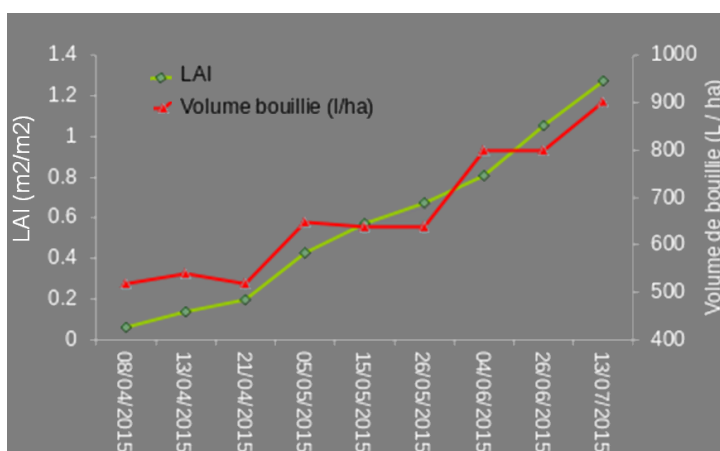


Un constat semblable peut être fait pour la gestion des traitements phytosanitaires, avec l'enjeu supplémentaire d'apporter la quantité de pesticides adaptée au développement végétatif des arbres, pour des raisons non seulement économiques (coûts des produits) mais aussi environnementales (une application par excès aura pour conséquence une pollution inutile de l'environnement).

La figure 7 montre l'évolution comparée du LAI et du volume de bouillie (en litres/ha) c'est-à-dire la quantité de mélange eau/pesticides pulvérisée sur les arbres. Nous constatons à nouveau une nette corrélation entre la quantité de pesticides apportée par l'agriculteur et le LAI du verger. Cette relation est un signe d'une pratique agricole efficace. La disponibilité accrue de données de LAI (pouvant cartographier les variabilités intra-parcellaires à l'échelle d'exploitations entières) permet d'envisager une optimisation accrue des pratiques.

Figure 7

Évolution parallèle du LAI et de la quantité de pesticides apportés à la parcelle



En conclusion, les photographies basse altitude acquises grâce au drone ont permis de reconstituer la structure géométrique des arbres sous forme de nuage de points 3D autorisant l'obtention de valeurs de LAI comparables à celles obtenues par les méthodes classiques (coefficient de détermination de la relation linéaire de 0,88). La principale innovation de ce travail est de donner accès au calcul du LAI à volonté et en tout point de la parcelle ce qui représente un réel avantage pour l'estimation de ce paramètre clé de la gestion des cultures. La méthode proposée peut d'ores et déjà être utilisée pour accéder à une cartographie globale (au niveau des exploitations) et détaillée (caractérisation intra-parcellaire) grâce à la couverture spatiale procurée par les photographies aériennes. La disponibilité de telles données ouvre de nouvelles perspectives de gestion des cultures dans le cadre de l'agriculture de précision.

L'utilisation des TIC en agriculture doit encore largement progresser en Tunisie. Le rapport 2015 du Forum économique mondial classe la Tunisie (avec l'Afrique du Sud et le Maroc) dans le trio de tête concernant le potentiel de ces technologies sur le continent africain. En effet, selon une étude réalisée en 2016 par le cabinet Xvision Engineering, le secteur agricole, bien que représentant près de 15% de la population active, reste mal structuré, aboutissant à une situation où l'offre numérique ne correspond pas aux besoins des agriculteurs. Ainsi les solutions TIC mises en place sont souvent le fait d'initiatives publiques et/ou réalisées sur fond propres, en lien avec des petites exploitations. Consciente de ce manque, dans le secteur agricole en particulier, mais aussi de son potentiel en matière de technologies numériques, la Tunisie a élaboré le Plan « Tunisie Digitale 2020 », visant à développer infrastructures, e-services et promouvoir l'innovation et la délocalisation des services en Tunisie. Ce plan, sa mise en œuvre et ses retombées sont très attendus par les industries du secteur et pourraient permettre, à terme, que la Tunisie se positionne en tête de file pour l'utilisation des TIC en agriculture dans les pays en développement.

Bibliographie / Pour plus d'informations

- Watson, D. Jh., 1947, *Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years*, Annals of Botany 11.41.
- Noah Snavely., 2008, *Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections*. Doctoral thesis, University of Washington
- Weiss M, Baret F, Smith G, Jonckheere I, Coppin P, 2004. *Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination Part II. Estimation of LAI, errors and sampling*, Agric. For. Meteorol. 121.
- Chunhua Z, and Kovacs J.M. 2012. *The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review*. Precision Agric 13.
- Séfi A, 2015. *Les drones civils en Tunisie*. Séminaire international « Drones et moyens légers aéroportés pour les applications géospatiales en recherche: état des lieux et perspectives » 3-4-5 novembre 2015, Tunis, TUNISIE

