



HAL
open science

A systemic approach to identify relevant information provided by UAV in precision viticulture

Leo Pichon, Corentin Leroux, Bruno Tisseyre

► To cite this version:

Leo Pichon, Corentin Leroux, Bruno Tisseyre. A systemic approach to identify relevant information provided by UAV in precision viticulture. *Innovations Agronomiques*, 2018, 67, pp.23-36. 10.15454/sk6m7b . hal-04463043

HAL Id: hal-04463043

<https://hal.inrae.fr/hal-04463043>

Submitted on 16 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Une approche systématique pour identifier les informations pertinentes fournies par drone en viticulture de précision

Pichon L.¹, Leroux C.^{1,2}, Tisseyre B.¹

¹ ITAP, Montpellier SupAgro, Irstea, Univ Montpellier, bâtiment 21, 2 place Pierre Viala, F- 34060 Montpellier

² SMAG, 55 Rue Euclide, F-34000 Montpellier

Correspondance : leo.pichon@supagro.fr

Résumé

Par rapport aux satellites ou aux avions, les drones présentent des caractéristiques uniques telles qu'une extrême agilité de vol et une haute résolution spatiale. Ces plates-formes d'acquisition peuvent être utilisées pour effectuer des observations sur les parcelles tout au long du cycle de production de la vigne avec une très haute résolution spatiale. Elles sont ainsi capables de fournir des informations utiles, différentes de celles habituellement considérées en télédétection. Afin d'explorer toutes les utilisations possibles des images de drones en viticulture, une expérience spécifique a été mise en place. Cette expérimentation visait à identifier i) les informations pertinentes que des producteurs et des conseillers (P&C) pouvaient identifier sur les images, ii) les dates les plus appropriées pour collecter ces informations, et iii) la valeur ajoutée que ces informations pouvaient apporter pour le travail quotidien des P&C.

Afin de répondre à ces questions, une approche systématique a été menée sur un vignoble commercial du sud de la France. Des images visibles (résolution de 2,5 cm) ont été acquises par drone toutes les deux semaines. Les images obtenues ont été présentées à huit experts (P&C) au cours de six séances selon un protocole alternant phases individuelles et collectives pendant toute une saison de production. L'application de cette méthode a permis de montrer qu'un grand nombre d'informations inédites relatives aux plantes, au sol et à l'environnement du vignoble pouvaient être identifiées sur des images visibles issues de drones. Les résultats ont montré, surtout pour les conseillers, que ces informations pouvaient constituer une aide à la décision pour la gestion du vignoble. Cette étude a également permis de proposer des orientations futures pour favoriser l'utilisation des images de drones ainsi que des axes de recherche en traitement d'images en vue d'extraire ces informations de manière automatique.

Mots-clés : Drone, Recueil d'expertise, Télédétection, Viticulture de précision

Abstract : A systemic approach to identify relevant information provided by UAV in precision viticulture

Compared to satellites or airplanes, UAVs exhibit unique features such as an extreme agility and a high image resolution. These sensor platforms may well be used to monitor vines field all along the vine's growing season at a very high spatial resolution. They could provide useful information, different to those normally considered in the literature. To identify the possible uses of UAV images in viticulture, a specific experiment was put into place. This study aimed at identifying i) relevant information that growers and advisers (G&A) can extract from UAV images ii) the most suitable dates to observe this previous information, and iii) the added value this information can have for both G&A daily job.

This approach was conducted on a commercial vineyard of the south of France. UAV-based visible images (2.5 cm resolution) were acquired every two weeks. Images were shown to two groups of G&A

in six sessions during the growing season. Each of these sessions consisted in i) an individual period during which images were first presented one at a time to each expert and then all together in chronological order, and ii) a collective period during which G&As were asked to share and discuss their point of view. Application of this methodology demonstrated that most of the information on vines status, soil and vineyard environment can be extracted from UAV-based visible images showing high interest in developing specific image processing techniques to extract these information from images. Results showed that this information is of great interest all along the growing cycle of the vine, particularly for advisers, as a support to drive management strategies. This study also enabled to propose future directions to foster the use of UAV images.

Keywords: Expertise gathering, Precision viticulture, Remote sensing, UAV

Introduction

Au cours des dernières années, de nombreuses études ont exploré le potentiel des images de drones en viticulture (Matese et al., 2013). La plupart de ces travaux se sont concentrés sur des applications ciblées telles que la détection de manquants (Comba et al., 2015), la cartographie de la vigueur de la vigne (Mathews et Jensen, 2013), la mesure de l'activité photosynthétique (Zarco-Tejada et al., 2013), l'estimation de la hauteur du couvert végétal (Burgos et al., 2015), l'estimation de l'état hydrique des plantes (Baluja et al., 2012), la détection des maladies (Di Gennaro et al., 2016), etc. à des stades spécifiques du cycle végétatif. Ces études font généralement appel à des capteurs dédiés (multispectral, hyperspectral, imagerie thermique, etc.) ainsi qu'à des algorithmes de traitement d'images spécifiques pour identifier ou mesurer de manière optimale les caractéristiques agronomiques souhaitées. Il en résulte que la plupart de ces études ont proposé des expériences de recherche très semblables à celles qui ont été réalisées en télédétection avec des images aériennes ou satellitaires.

Toutefois, compte tenu des spécificités des drones, telles que leur extrême agilité, le faible coût d'acquisition d'images ainsi que la haute résolution spatiale des images acquises, ces plates-formes peuvent être utilisées pour acquérir des observations sur les parcelles de vigne tout au long de la saison de production avec une très haute résolution spatiale (~2,5 cm) et une haute résolution temporelle (Figure 2). Ainsi, de nouvelles informations utiles, différentes de celles habituellement considérées dans la littérature scientifique, sont susceptibles d'être extraites de ces images. Ces nouvelles informations pourraient constituer une aide à la décision pertinente pour aider les viticulteurs et leurs conseillers dans leur travail quotidien. En outre, ces connaissances pourraient être utiles pour (i) proposer de nouveaux sujets de recherche, par exemple des algorithmes pour extraire de nouveaux paramètres d'intérêt pour la gestion du vignoble, (ii) concevoir des conditions d'acquisition optimales en rapport avec la date d'acquisition, l'angle d'observation, l'altitude de vol ou l'utilisation d'un capteur spécifique, et (iii) concevoir de nouveaux services pertinents pour la filière vinicole. A notre connaissance, aucune expérience exploratoire systématique n'a été menée pour analyser les applications potentielles du drone pour les producteurs ou les conseillers viticoles (P&C). S'agissant d'une nouvelle source d'information, il est important d'explorer, de manière aussi exhaustive que possible, toutes les informations que cette nouvelle plateforme d'acquisition est susceptible d'apporter en termes d'aide à la décision. Pour répondre à cette question, une expérimentation systématique a été menée dans le sud de la France en 2015. A partir d'une photo-interprétation experte des images de drones effectuée dans le visible, l'objectif de cette expérience était d'identifier toutes les observations utiles qui pouvaient en être extraites sur le vignoble tout au long de la période de production (toutes les 2 semaines). Cet article présente le dispositif expérimental ainsi que les principaux résultats obtenus.

1. Matériel et méthodes

1.1 Zone d'étude

La zone d'étude est un vignoble de 11,3 ha situé à 10 km au nord-ouest de Béziers, dans la région Occitanie, au sud de la France. La région se caractérise par un climat méditerranéen. La zone d'étude a été choisie pour sa représentativité des vignobles du Sud de la France en termes de densité de plantation (4000 pieds/ha), de mode de conduite (cordon palissé 3 fils) et de cépage. En plus de ces caractéristiques, la zone d'étude présente une grande variabilité spatiale du sol et de la vigueur des plantes. La zone d'expérimentation est composée de cinq parcelles, toutes plantées au début des années 2000 (Figure 1). Quatre d'entre elles ont été plantées avec le cépage Syrah (6,5 ha) et une avec le cépage Grenache (4,8 ha). Les parcelles sont irriguées au goutte à goutte afin de limiter la contrainte hydrique estivale, l'inter-rang est désherbé mécaniquement.

La zone d'étude forme un bassin hydrographique avec des pentes qui varient de 0 à 10%. Les sols les plus profonds sont situés au centre du vignoble, là où les altitudes sont les plus faibles. Pour chaque cépage, deux sites spécifiques d'observation ont été définis, soit quatre sites pour l'ensemble de la zone d'étude (Figure 1). Ces sites ont été sélectionnés, d'après les connaissances du chef de culture, dans des zones de forte et de faible vigueur. Ils ont été utilisés pour effectuer des acquisitions d'images spécifiques (voir section suivante). Aucune maladie n'a été détectée dans le vignoble au cours de l'expérimentation.

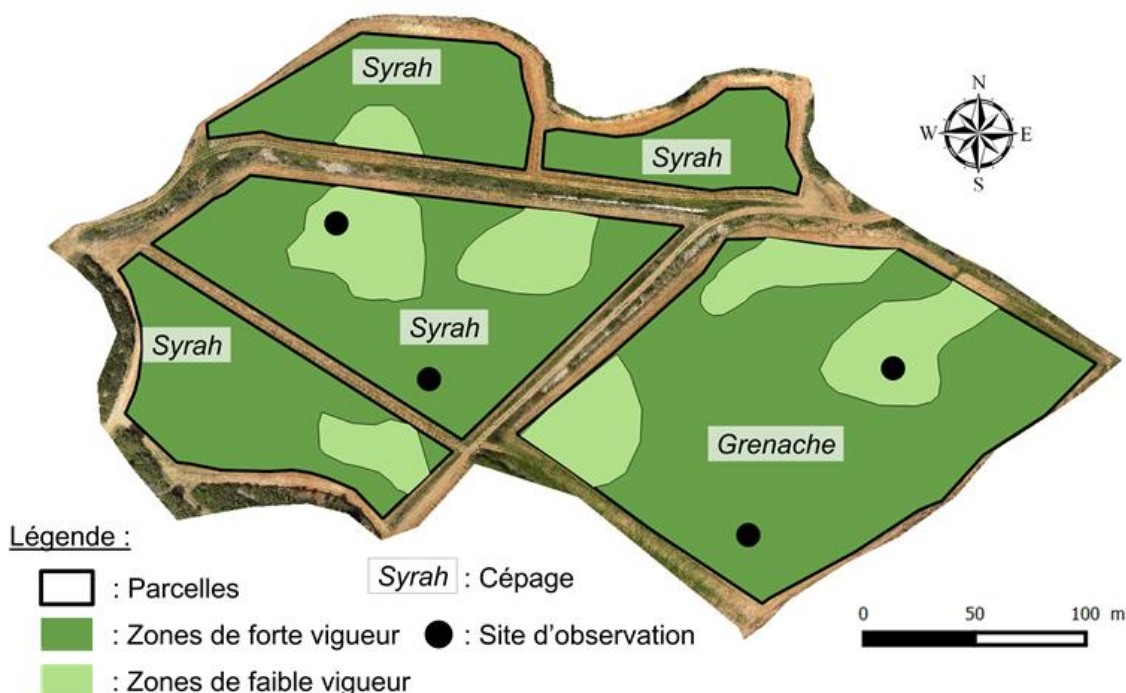


Figure 1 : Zone d'étude et localisation des zones de faible et de forte vigueur définies de façon experte par le chef de culture. Les sites d'observation spécifiques sont représentés par des cercles noirs.

1.2 Acquisition des données

Les images ont été acquises par drone dans le domaine du visible (VIS) toutes les deux semaines tout au long du cycle végétatif de la vigne. Cette résolution temporelle a été définie en fonction du développement végétatif de la vigne de manière à ce que deux images successives traduisent des états significativement différents tout en évitant de manquer des étapes essentielles du développement de la

vigne. Notons toutefois que l'impact d'événements brefs et soudains (forte pluie, grêle, etc.) risquent de ne pas être perçus s'ils n'ont pas d'effets pérennes sur le vignoble. Douze acquisitions ont été effectuées entre le 8 avril (débourrement) et le 29 septembre (après récolte) en conditions commerciales par sept sociétés de drones. Pour toutes les acquisitions (et toutes les sociétés) un même cahier des charges a été imposé. Le livrable attendu était une image visible géo référencée avec une résolution spatiale de 2,5 cm sur l'ensemble de la zone d'étude (Tableau 1). Pour chacun des quatre sites d'observation (Figure 1), il a été demandé aux entreprises d'acquérir une image spécifique avec un angle de vision de 45° par rapport à l'azimut sur les deux faces du rang de vigne. Compte tenu du mode de conduite palissé, ces images à 45° avaient pour objectif d'identifier des informations additionnelles comme la porosité ou des différences de couleur de feuilles difficilement observables sur une image prise à la verticale mais éventuellement visibles sur le côté du rang. Les images verticales et les images à 45° ont été fournies respectivement aux formats GeoTIFF et JPEG. Sur la base de ce cahier des charges, chaque société de drone a déterminé ses propres paramètres de vol (Tableau 1). Deux d'entre elles ont utilisé une aile volante, cinq ont utilisé un drone à voilure tournante (multirotor). Pour des raisons techniques évidentes, seules les acquisitions réalisées avec des drones à voilure tournante ont permis d'acquérir les images à 45°.

Tableau 1 : Conditions d'acquisition et caractéristiques des images de drones.

Conditions d'acquisition						Caractéristiques des images		
Date	Heure	Durée	Conditions climatiques	Altitude de vol	Type de drone	Résolution	Format	Images à 45°
8 Avril	12:00	2h	Dégagé Pas de vent	50m	Multirotor	2 cm	GeoTiff	Oui
22 Avril	13:00	1h	Nuageux Vent fort	20 à 50m	Multirotor	10 cm	Jpeg	Oui
7 Mai	9:00	2h	Dégagé Pas de vent	50m	Multirotor	2 cm	GeoTiff	Oui
14 Mai	10:00	4h	Dégagé Vent faible	40m	Multirotor	2.5 cm	GeoTiff	Oui
28 Mai	10:00	2h	Dégagé Vent faible	40m	Multirotor	1 cm	Jpeg	Oui
4 Juin	9:00	2h	Dégagé Pas de vent	50m	Multirotor	2 cm	GeoTiff	Oui
23 Juin	10:00	1h	Dégagé Vent faible	40m	Multirotor	1 cm	GeoTiff	Oui
30 Juin	14:00	2h	Dégagé Vent modéré à fort	50 à 100m	Multirotor	2 cm	GeoTiff	Oui
17 Juillet	13:00	4h	Dégagé Vent faible	35 à 50m	Aile volante	5 cm	GeoTiff	Non
6 Aout	14:00	1,5h	Dégagé Vent modéré à fort	40m	Aile volante	3 cm	GeoTiff	Non
26 Aout	14:00	2h	Dégagé Vent modéré à fort	50m	Multirotor	2 cm	GeoTiff	Oui
29 Septembre	14:00	2h	Dégagé Vent faible	50m	Multirotor	2 cm	GeoTiff	Oui

1.3 Extraction de l'expertise

Les images ont été présentées séparément à deux types d'experts selon une méthodologie inspirée des focus groupes (Basch, 1987 ; Rabiee, 2004). Le premier groupe était composé des deux viticulteurs qui effectuent les travaux au quotidien (appelé producteurs dans le reste du document) et qui ont donc une bonne connaissance du vignoble et de sa variabilité. Le deuxième groupe réunissait six conseillers travaillant dans la région mais n'ayant jamais visité le vignoble auparavant. Pour les conseillers, les images de drones constituaient donc la seule source d'information sur la zone d'étude. Six sessions ont été organisées avec ces experts entre le 20 mai et le 3 octobre (Figure 3). Au cours de ces sessions, les images acquises ont été projetées sur un écran pour les deux groupes. Un animateur gérait la séance de présentation en faisant des zooms avant et arrière selon les requêtes des experts. Les images géoréférencées ainsi que celles prises à 45° ont été présentées respectivement avec le logiciel QGIS 2.6 (Open Source Geospatial Foundation, <http://qgis.osgeo.org>) et un logiciel classique de lecture d'images.

Le premier objectif de ces sessions était d'identifier les informations que les producteurs et les conseillers (P&C) étaient en mesure de trouver, que ce soit à partir des images acquises à une date donnée ou des séquences chronologiques d'images. Le deuxième objectif était de comprendre l'intérêt que ces observations pouvaient avoir pour la prise de décision des P&C. Pour chaque image et chaque séquence chronologique, les P&C devaient décrire ce qu'ils observaient. Dans un second temps, ils ont examiné et comparé les décisions qu'ils auraient prises dans leurs missions respectives, avec ou sans ces observations. Enfin, ils ont indiqué si les observations faites sur les images pouvaient avoir un intérêt pour i) une prise de décision plus rapide, ii) une prise de décision plus adaptée à la variabilité spatiale des parcelles, iii) les deux ou iv) si l'information était inutile.

Les séances ont été divisées en quatre phases (Tableau 2). Les deux premières phases ont été consacrées à la collecte des opinions individuelles des experts. Les images ont d'abord été montrées une à une (première phase) et puis toutes ensemble en ordre chronologique (deuxième phase). Les deux phases suivantes ont été consacrées à la discussion entre experts. Elles avaient pour objectif de favoriser l'émergence de nouvelles idées. Au cours de ces deux dernières phases, les images de drones ont une nouvelle fois été présentées une à une, puis dans un ordre chronologique à l'ensemble du groupe. Il a été demandé aux experts de partager leurs propres observations et de réagir à celles des autres. Les observations et les réactions ont été notées par l'animateur.

Tableau 2 : Méthode utilisée au cours des sessions avec les experts

	Organisation d'une session type			
	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
Durée (minute)	30	15	30	15
Caractéristiques de la session	Individuelle (par écrit)	Individuelle (par écrit)	Collective (par oral)	Collective (par oral)
Mode de présentation des images	Une par une	Toutes suivant un ordre chronologique	Une par une	Toutes suivant un ordre chronologique

2. Résultats et discussion

2.1 Quelles informations peuvent être extraites des images des drones par les experts ?

Deux exemples d'images parmi celles analysées par les experts P&C sont présentés à la Figure 2. La figure montre l'étendue des échelles d'observation permises (globale ou locale), elle montre également la diversité des observations qui peuvent être réalisées en fonction de la date d'acquisition. Les experts P&C ont extrait de nombreuses observations pertinentes des images de drones tout au long de la saison (Figure 3). Toutes ces observations ont été regroupées en trois grands groupes afin d'en simplifier la présentation : l'environnement de la parcelle, le sol ou la plante. Cette section présente succinctement les observations effectuées pour chacun des groupes et livre un ou plusieurs témoignages d'expert afin d'en illustrer l'intérêt.

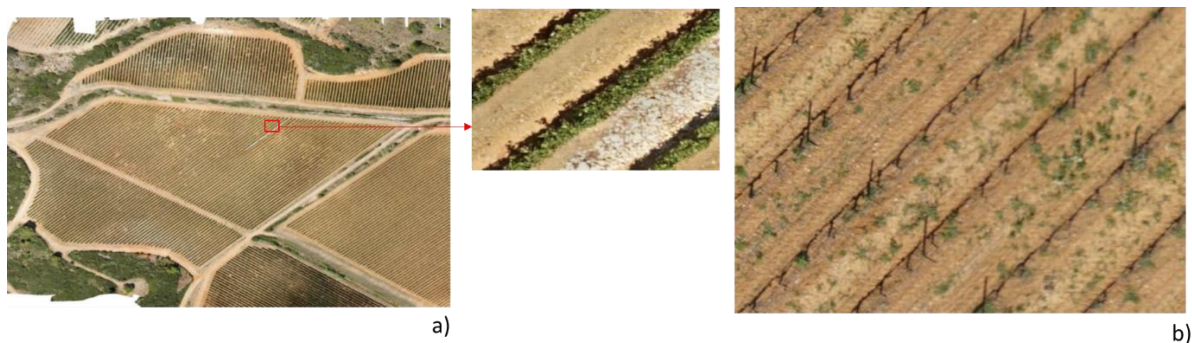


Figure 2 : Exemple d'images obtenues à deux dates différentes a) 14 mai, b) 8 avril, et le niveau de détail que la résolution spatiale des images permet d'observer. En a) il est possible d'observer les variations de couleur et d'épaisseur de la canopée, en b) il est possible d'observer la présence de mauvaises herbes sur les inter-rangs, chaque pied de vigne ainsi que les piquets de palissage.

2.1.1 Environnement de la parcelle

Les experts P&C ont repéré de multiples composantes de l'environnement des parcelles, comme les chemins, les tournières, les fossés et la garrigue environnante. Géraud, le chef du vignoble, s'est particulièrement intéressé à l'état de cet environnement.

Géraud : *"Avec ces différentes images, nous pouvons repérer les fossés qui ont besoin d'être nettoyés. Le 22 avril, on peut aussi voir clairement les "zones sales" où les mauvaises herbes apparaissent préférentiellement. L'état du palissage (problèmes de piquets, de fils releveurs, etc.) est également assez facile à caractériser"*.

2.1.2 Le sol

Les observations effectuées sont généralement relatives à la couleur, la texture ou la pierrosité du sol, mais elles peuvent aussi concerner les opérations de travail du sol. Par exemple, pour Géraud, différentes zones de sol à l'intérieur des parcelles peuvent être identifiées sur les images :

Géraud : *"Les images donnent un aperçu rapide du sol et mettent en évidence son hétérogénéité"*

Cédric, le conducteur du tracteur, s'est fait l'écho de cette affirmation, notant que, sur l'image acquise le 22 avril, c'est-à-dire le lendemain d'un événement pluvieux, il pouvait voir l'étendue spatiale, plus grande qu'il ne le pensait, des zones humides qu'il avait observées sur le terrain.

Cédric : *"Oui, c'est vrai, les zones de sol sont très contrastées : on peut voir les zones pierreuses et les différentes couleurs du sol dans les parcelles. Les images mettent également en évidence l'émergence"*

de zones plus sombres après l'événement pluvieux. Ces zones correspondent aux zones humides que l'on peut observer sur le terrain".

2.1.3 La vigne

Les observations effectuées sur la plante concernent principalement la canopée (couleur, volume), les différences de précocité, les ceps manquants ou morts et l'état général du palissage. A titre d'exemple, Robin, un conseiller en viticulture travaillant dans la région de Béziers, s'est concentré sur une image acquise début mai pour commenter l'état de la végétation.

Robin : "Sur l'image du 7 mai, on voit clairement les manquants ainsi que les zones de vigueur différentes dans les parcelles. On peut voir des plantes de couleur plus pâle, assez jaune".

Bien qu'il ait trouvé de l'intérêt pour ces images de drones prises à la verticale, Géraud, le chef de culture du vignoble, a été plus intéressé dans les images à 45° pour effectuer les observations sur la couleur des feuilles, la porosité, etc. susceptible de l'aider à faire un diagnostic rapide sur l'état général des plantes :

Géraud : "Ces images acquises à la verticale sont parfaites pour identifier les manquants et la couverture foliaire exposée. Mais, celles qui permettent les meilleures observations sont les images acquises à 45°".

Les images acquises sur la période entre les stades 19 (début de floraison) et 23 (pleine floraison) a permis aux P&C de faire de nombreuses observations. A des stades plus tardifs, en raison du développement de la végétation, certaines observations n'ont pas pu être réalisées (en particulier l'observation des manquants ou l'état du sol). Les P&C n'ont rapporté des observations sur le sol que sur les trois premières dates d'acquisition. Certaines observations n'ont été possibles que pour des périodes spécifiques en fonction de l'évolution de la végétation. Par exemple, la croissance des apex (extrémité des rameaux) a été observée uniquement entre les stades 19 et 35, ce qui correspond logiquement à la période de croissance de la vigne dans cette région.

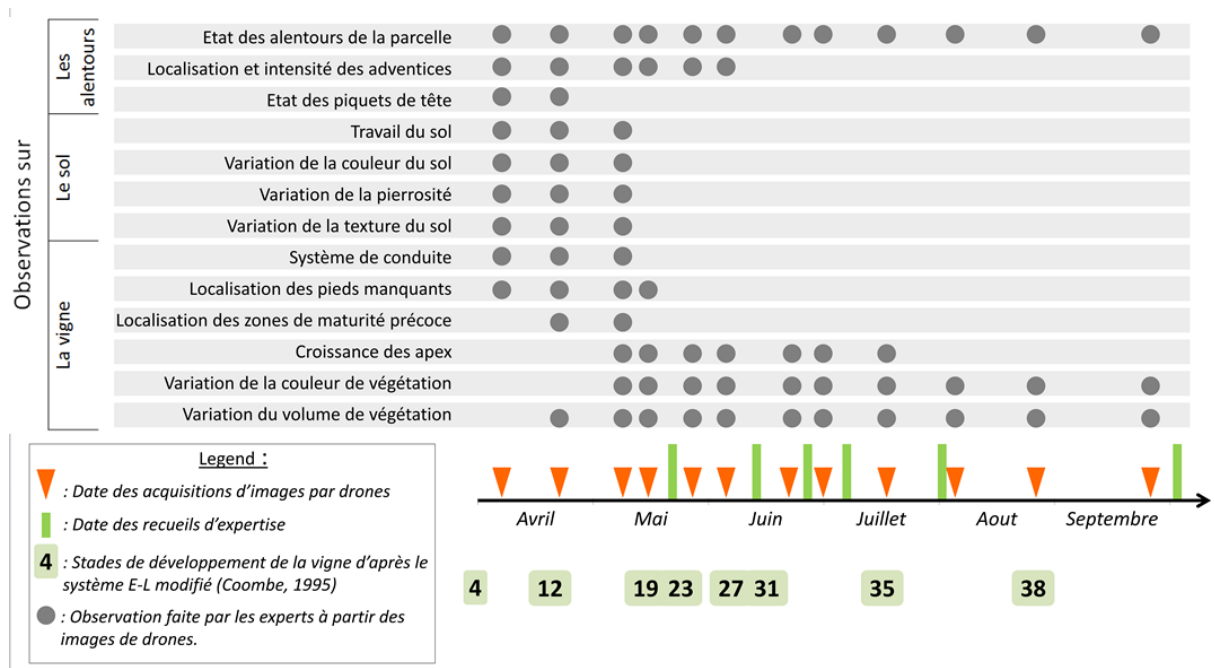


Figure 3 : Observations expertes effectuées par les Producteurs et Conseillers (P&C) sur les parcelles de vigne à partir des images de drone sur toute la saison.

Toutes les observations effectuées par les P&C sont présentées sur la Figure 3. Remarquons que beaucoup d'entre elles sont cohérentes avec ce qui est communément considéré dans la littérature : (i) l'épaisseur de la végétation qui peut être considérée comme un indicateur de variabilité de la vigueur (Mathews et Jensen, 2013), (ii) la couleur de la canopée qui peut être considérée comme un indicateur de stress (stress hydrique, nutritionnel, ou biotique, etc.) (Di Gennaro et al, 2016) selon les variétés, ou (iii) les manquants (Primicerio et al., 2017). Toutefois, des observations inédites ont été effectuées. Elles ont été jugées très importantes par les P&C, soit pour la gestion modulée des intrants, soit pour des raisons plus logistiques. Ces résultats sont particulièrement intéressants parce qu'ils montrent le potentiel des images de drones acquises dans le visible pour apporter de nouvelles observations pertinentes en viticulture. Ces dernières portent sur :

i) *La caractérisation des poteaux de palissage et du système de palissage en général.* Sur les premières images avant le début du mois de mai, lorsque le développement de la végétation était encore faible, les P&C ont fait de nombreuses observations sur l'état du palissage. Ces observations ont été jugées intéressantes pour planifier les opérations de maintenance en début de saison,

ii) *La localisation des adventices :* Les producteurs ont été particulièrement attentifs à la gestion des mauvaises herbes. En effet, dans ce vignoble, tout le désherbage est réalisé de manière mécanique selon les exigences de l'agriculture biologique. Les observations relatives aux adventices ont été faites essentiellement sur les images acquises avant juin. La localisation des mauvaises herbes a également fourni de l'information indirecte sur l'érosion du sol et la formation de ravines dans les parcelles. La colonisation des mauvaises herbes s'effectuant majoritairement le long des ravines, un transport des semences par ruissellement a pu être mis en évidence rendant impératif le suivi et l'élimination de ces ravines pour un meilleur contrôle des adventices.

iii) *La croissance des apex (extrémité des rameaux).* Sur les images acquises à la mi-juillet, les P&C ont identifié des zones avec des apex encore en croissance (jeunes feuilles vert clair) et des zones où la croissance de la végétation s'était arrêtée (canopée plus uniforme et de couleur plus foncée). Pour les P&C, ces différences sont très importantes à la date considérée car l'arrêt de croissance des apex est étroitement lié à la contrainte hydrique dans cette région (Hardie et Martin, 2000). La variabilité spatiale de la croissance des apex permet d'identifier des zones où la disponibilité en eau varie.

2.2 Pour quelles décisions les images de drones ont-elles de l'intérêt ?

Lorsque les P&C ont été interrogés sur le potentiel des observations effectuées pour les aider à prendre des décisions de gestion parcellaire, les deux groupes d'expert (producteurs et conseillers) ont eu des avis relativement différents (Figure 4). Afin de mettre en évidence ces différences, les avis et remarques des deux groupes d'expert ont été séparés.

2.2.1 Les décisions de gestion parcellaire pour les producteurs

Selon les producteurs, l'intérêt principal des observations concerne l'entretien général des parcelles et la lutte contre les mauvaises herbes (Figure 4). Pour Géraud, le chef de culture, ces images pourraient l'aider pour la gestion des adventices.

Géraud : *"On voit clairement les mauvaises herbes sur le vignoble. Il y a plus de mauvaises herbes dans certains rangs. Cette observation pourrait aider à mieux gérer le travail du sol et peut-être à reconsidérer la fertilisation".*

Cédric, le conducteur du tracteur, a également été surpris par l'ampleur des phénomènes d'érosion. Selon lui, ces observations pourraient permettre de revoir et d'optimiser le système de drainage du vignoble :

Cédric : *"Nous pouvons voir que l'érosion est importante par endroit. Il faut faire quelque chose. Le vignoble est fortement impacté".*

Géraud a également noté que ces observations pouvaient l'aider à planifier les travaux futurs pour l'entretien général du vignoble :

Géraud : *"C'est vrai, ces images pourraient nous aider à planifier le nettoyage des fossés et la mise en place d'un drain"*.

Les producteurs n'ont pas trouvé d'autres applications pour les observations relatives à l'environnement des parcelles ou au sol. Par ailleurs, les observations effectuées sur la vigne restent très classiques et correspondent à des applications déjà largement décrites dans la littérature comme la gestion de la vigueur, de l'eau, et de la date de récolte. Ces résultats ont été jugés décevants car l'expérience n'a pas permis d'identifier de stratégies de gestion originale proposées par les producteurs. Deux hypothèses peuvent expliquer ce résultat : i) la méthodologie proposée ne favorise pas l'expression d'utilisations originales des images par les producteurs ; il en résulte que ces derniers se concentrent donc sur des applications usuelles qu'ils connaissent, ii) il n'y a pas d'autres utilisations possibles que celles mentionnées et qui sont déjà largement évoquées dans la littérature.

Dans les conditions de l'expérience, les producteurs ont déclaré être plus à l'aise avec des images à 45°. Il leur était plus facile d'y effectuer des observations que sur les images prises à la verticale. Les images à 45° semblent donc plus intéressantes pour les producteurs, peut-être parce qu'elles sont plus proches de ce qu'ils ont l'habitude d'observer lorsqu'ils sont dans les parcelles. Ces résultats posent la question de la méthode à utiliser pour analyser les besoins des producteurs à partir d'images de télédétection. Ces derniers n'ont peut-être pas identifié tout le potentiel des images tout simplement parce qu'ils ne sont pas familiers avec la perspective imposée par des images prises à la verticale.

2.2.2 Les décisions de gestion parcellaire pour les conseillers

Les observations effectuées à partir des images des drones ont été jugées beaucoup plus intéressantes par les conseillers en termes d'aide à la décision (Figure 4). Les conseillers étaient beaucoup plus à l'aise avec l'analyse des images de drones. Tous avaient déjà été confrontés auparavant à ce type d'information et la majorité d'entre eux l'avait déjà utilisé au moins une fois dans leur travail. Les conseillers ont identifié majoritairement deux types d'utilisation détaillés ci-après.

▪ Faciliter et améliorer le diagnostic général du vignoble

Le diagnostic général du vignoble est en lien direct avec (i) des aspects agronomiques tels que l'état sanitaire du vignoble ou (ii) économiques tels que les pratiques culturales et leur adéquation avec la certification d'origine entre autres. Selon Katrina, située dans la région Languedoc, ces images ont une valeur ajoutée intéressante pour un premier aperçu rapide d'un vignoble inconnu.

Katrina : *"Quand on ne connaît pas le vignoble, l'information sur le sol est la plus intéressante. Sur les images acquises en avril et en mai, on peut voir les zones humides, les zones de couleur des différents types de sol, la pierrosité, l'état des tournières ou la surface couverte de mauvaises herbes. Nous pouvons également observer les informations agronomiques de base telles que les manquants, la distance entre les rangs ou l'état des travaux en vert. Ces images permettent de faire un premier diagnostic rapide"*.

Edouard, un conseiller travaillant près de Perpignan dans le sud de la France, a même commencé à proposer des hypothèses sur la base des observations effectuées :

Edouard : *"Sur les images du 22 avril, on voit clairement les zones du sol. On voit qu'il y a plus de mauvaises herbes sur les sols légers. On peut donc faire l'hypothèse que les sols à faible teneur en argile se réchauffent plus rapidement et que les mauvaises herbes s'y développent plus vite. Pour le suivi de la date du débourrement, je ciblerai mes observations sur ces zones."*

Elise, de la région Languedoc, a considéré que ces images étaient intéressantes pour déterminer a priori des zones homogènes dans le vignoble.

Elise : "Avec ces images, il est possible de définir des zones intra-parcellaires en fonction des caractéristiques du sol et de la localisation des manquants".

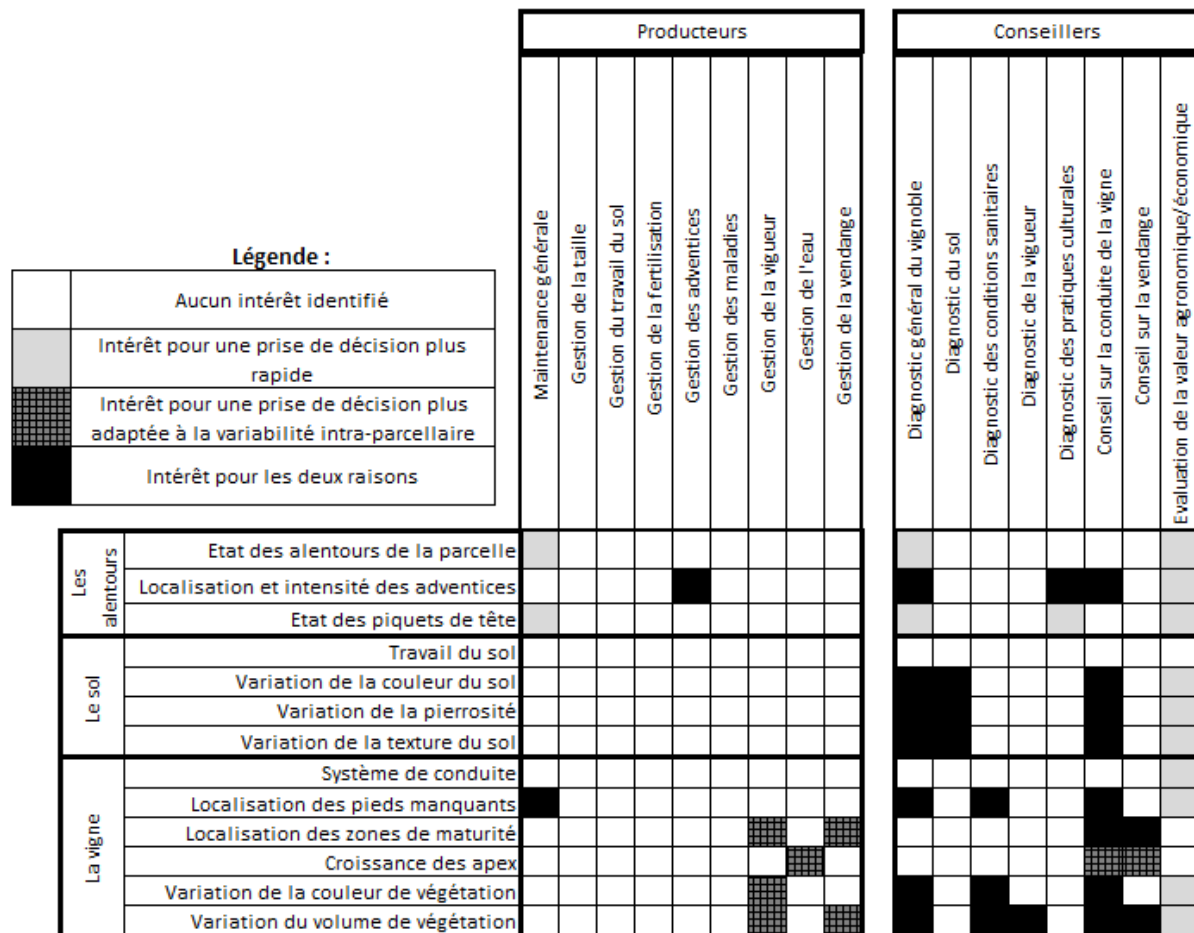


Figure 4 : Intérêt des observations effectuées sur les images de drone par les experts (producteurs et conseillers) en vue d'une aide à la décision pour la gestion ou la caractérisation du vignoble.

▪ Améliorer le conseil auprès des producteurs

Les images permettent une identification plus rapide des problèmes relatifs à l'entretien du sol, aux maladies ou à la vigueur des plantes entre autres. Par exemple, Katrina, située dans la région Languedoc, a proposé une première analyse en matière de gestion de la vigueur :

Katrina : "On voit clairement les pampres qui sortent du cep ou les rameaux qui sortent sur le rang. Cette information est utile pour conseiller le producteur sur des zones prioritaires pour la gestion de l'épamprage et du rognage".

Pour les conseillers, les images constituent une source d'observation permettant de renforcer leur expertise en se basant sur des observations rapides et globales du vignoble. Ces observations ne peuvent pas être utilisées comme information agronomique directe mais permettent de faire des hypothèses qui pourront ensuite, si nécessaire être validées par des observations ciblées sur le terrain

ou des analyses complémentaires. Patrice, un conseiller du Sud du Languedoc, a considéré que l'échantillonnage orienté constituait le principal intérêt des images de drones pour son métier.

Patrice : "Avec cet ensemble d'images, nous disposons d'un très bon outil pour déterminer l'emplacement des observations à effectuer. Il serait également intéressant de bénéficier de cette vision globale lorsqu'on est sur le terrain ».

Dans cette étude, l'expertise des conseillers a été cruciale pour identifier l'utilisation potentielle des images de drones. Les conseillers ont en effet identifié beaucoup plus d'applications potentielles que les producteurs. Ce point soulève des questions quant aux méthodes habituellement utilisées pour analyser les besoins de la viticulture en termes d'images de télédétection. Une meilleure intégration des conseillers dans le processus pourrait aider à identifier de nouvelles applications à l'avenir.

2.3 Orientations futures pour les images de drones en viticulture

Cette étude a montré que de simples images de drone acquises dans le visible avec une haute résolution spatiale étaient très utiles pour les deux groupes d'experts. Une analyse plus approfondie de l'intérêt et du comportement des experts à l'égard des images de drones nous a permis d'identifier des améliorations susceptibles de répondre à leurs besoins métiers.

2.3.1 Repenser l'acquisition d'images de drones

L'expérience a montré que l'acquisition d'images de drones dans le visible pouvait être améliorée à plusieurs niveaux. Tout d'abord, le nombre d'images et les dates d'acquisition pourraient être choisis en fonction de l'information utile et des décisions qui en résultent. Par exemple, les images fournies par les sociétés commerciales sont actuellement acquises principalement autour de la véraison ou pendant la maturation de la vigne (stade 35). Comme le montre la Figure 3, cette date d'acquisition convient pour évaluer la variabilité intra-parcellaire de l'expression végétative. Du point de vue de la gestion du vignoble, ces images sont beaucoup plus intéressantes pour les producteurs que pour les conseillers (Figure 4). Une date d'acquisition plus précoce, par exemple au stade 12 (Figure 3), permettrait de faire des observations qui pourraient avoir plus d'intérêt pour les conseillers, notamment concernant l'état du sol, les pieds manquants, ou encore la variabilité spatiale de la vigueur au printemps (Figure 4).

L'étude a aussi montré que les producteurs utilisent souvent des zones de référence qu'ils comparent dans le temps et l'espace. Les producteurs intègrent ainsi l'expérience qu'ils ont de leurs parcelles et considère le drone comme un outil de tour de plaine. D'un point de vue opérationnel, cet aspect est intéressant pour le développement de futurs services. En effet centrer l'acquisition sur quelques sites de référence permettrait : i) de s'affranchir des problèmes de coût et d'autonomie relatifs à un survol systématique de la totalité du domaine, ii) de limiter les volumes de données à traiter et à manipuler, iii) d'envisager l'acquisition d'images à très haute résolution et avec des angles de prises de vue différents. Cela pourrait par exemple être le cas avec des images à 45° qui ont été plébiscitées par les producteurs.

2.3.2 Développer des logiciels de visualisation plus ergonomiques

L'expérience a permis de mettre en évidence les limites des logiciels actuellement disponibles pour visualiser et explorer le potentiel des images de drones en viticulture. La chaîne de traitement et de mise en forme des images (voir la section Matériel et méthodes) a été conçue pour être aussi simple que possible. Cependant, la préparation et l'animation des sessions ont été plus complexes que prévu. En effet, plusieurs étapes nécessitant du temps et de l'expertise en géomatique ont été nécessaires (re-projection, géoréférencement, changement de format, etc.) pour utiliser les images de drones fournies par les différentes entreprises. Malgré la relative simplicité de la chaîne de traitement, les outils existants ne sont pas adaptés aux professionnels de la viticulture. Il s'agit d'un verrou important qui doit

être surmonté par les entreprises de drones afin que des experts thématiques avec peu de compétences en géomatique puissent bénéficier de cette source d'information dans le cadre de leur métier.

Les experts ont spontanément utilisé des indicateurs visuels simples qu'ils ont associés à un raisonnement agronomique plus global et plus complexe. Ils se sont essentiellement appuyés sur des caractéristiques de couleur (sol, végétation) ou de forme (palissage, végétation). La couleur du sol permet par exemple de faire des hypothèses sur sa texture, son entretien ou sa pierrosité. De même, une couleur vert clair permet d'identifier les plantes encore en croissance qui ne sont pas affectées par des restrictions hydriques importantes. Les experts ont basé leur réflexion sur une évaluation visuelle simple des images souvent en comparant deux zones afin de valider si elles présentaient la même couleur ou non. Il en résulte que l'implémentation d'outils simples et intuitifs de visualisation et de comparaison avec des niveaux de seuil, sur la couleur par exemple, pourraient grandement faciliter, accélérer et objectiver l'analyse et les décisions qui en résultent.

Enfin, au cours des séances, les experts étaient libres de se déplacer dans les images en faisant des zooms avant ou arrière, ou en se déplaçant sur l'ensemble du vignoble. Tous les experts ont navigué de la même manière que ce soit dans l'espace (à l'intérieur d'une image) ou dans le temps (entre plusieurs images) sur la base de zones de référence (carrés d'environ 10 mètres de côté). L'étude de ces zones de référence a été effectuée dans l'espace par comparaison avec d'autres zones au sein d'une même image, et dans le temps par comparaison avec une même zone sur des images différentes. Cette méthode de fonctionnement exige d'être en mesure de naviguer facilement et intuitivement dans l'espace et le temps. Les DataWarehouse (DW) et ou les On Line Analytical Processing (OLAP) pourraient constituer des outils intéressants pour répondre à ces exigences de navigation dans de grands volumes de données (Bouadi et al., 2017). Notons que certains travaux ont déjà étudié ce potentiel pour des applications en agriculture (Bouadi et al., 2017 ; Boulil, 2013 ; Nilakanta et al., 2008).

2.4 Extension de l'approche proposée à d'autres contextes

En viticulture, de nombreux articles ont étudié le potentiel d'autres sources d'information issues de la télédétection comme les images multispectrales (Rey et al., 2013), hyperspectrales (Diago et al., 2014) ou thermiques (Santesteban et al., 2017). Ces études se focalisent presque exclusivement sur l'estimation d'un paramètre d'intérêt agronomique à partir d'une grandeur physique calculée à partir des images. Aucune de ces études n'a proposé de présenter des images brutes ou pré-traitées à des experts sans aucun a priori, en vue d'identifier la manière dont ces derniers intégreraient ces nouvelles sources d'information dans leur processus décisionnel. Il est probable que l'utilisation d'une méthodologie telle que celle déployée dans cette étude permettrait d'identifier des applications pratiques à forte valeur ajoutée. La mise en œuvre d'une telle approche soulèverait certainement de nouvelles questions de recherche sur les traitements d'images à mettre en œuvre afin de répondre à ces besoins opérationnels.

Les exemples analysés dans notre étude étaient limités par le cas d'étude considéré. Par exemple, aucune maladie (Flavescence Dorée, Eutipiose, Escoriose, etc.) n'était présente sur le vignoble pendant l'expérimentation. Par conséquent, ces observations n'apparaissent pas dans les résultats. Toutefois, il s'agit d'une question très importante en viticulture et les images de drones semblent avoir un grand potentiel pour y répondre (Kasbari et Leroux, 2016). Cette démarche d'expertise pourrait être complétée par une autre étude réalisée sur un vignoble affecté par des maladies comme la flavescence dorée.

Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer l'intérêt des images de drone comme outil d'aide à la décision pour la gestion du vignoble pour deux types d'acteurs : les producteurs et les conseillers. Ce travail a démontré l'intérêt d'une approche systématique pour confirmer la pertinence des observations déjà proposées dans la littérature mais aussi pour identifier de nouvelles observations utiles qu'il serait possible d'extraire des images de drones. D'un point de vue général, les conseillers ont été beaucoup plus réceptifs aux images de drones que les producteurs. En termes d'aide à la décision, le potentiel des images de drones est par conséquent plus important pour les conseillers que pour les producteurs. Bien que cette expérience ait été conduite dans les conditions particulières d'un vignoble du sud de la France et que seules des images visibles aient été utilisées, des observations pertinentes et inédites ont été identifiées. La conception d'algorithmes permettant l'extraction automatique de ces observations pourrait constituer de nouvelles voies de recherche que notre approche a permis d'identifier. Notons toutefois que les experts ont pu extraire beaucoup d'informations par une simple observation des images (photo-interprétation). Une première recommandation pourrait donc être d'encourager les prestataires de services à développer des interfaces appropriées permettant de faciliter l'exploration ou l'analyse spatiale et temporelle des images.

Remerciements

Ce projet a été réalisé grâce au soutien de la Chaire AgroSYS de Montpellier SupAgro (<https://www.supagro.fr/wordpress/agrosys/>). Nous remercions la cave Advini, propriétaire des vignobles de l'étude. Nous remercions également les sociétés de drones Aerotec solution, Atlas, Airinov, Cyleone, Format Drone, Decidrone, et Geofalco pour leur participation gratuite à ce travail.

Références bibliographiques

- Baluja J., Diago M.P., Balda P., Zorer R., Meggio F., Morales F., Tardaguila J., 2012. Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Irrigation Science*, 30(6), 511-522.
- Basch C. E., 1987. Focus Group Interview: An Underutilized Research Technique for Improving Theory and Practice in Health Education. *Health Education Quarterly*, 14(4), 411-448. <https://doi.org/10.1177/109019818701400404>
- Bouadi T., Cordier M.O., Moreau P., Quiniou R., Salmon-Monviola J., Gascuel-Odoux C., 2017. A data warehouse to explore multidimensional simulated data from a spatially distributed agro-hydrological model to improve catchment nitrogen management, *Environmental Modelling & Software*, 97, 229-242,
- Boulil K., Pinet F., Bimonte S., Carluer N., Lauvernet C., Cheviron B., Miralles A., Chanet J.P., 2013. Guaranteeing the quality of multidimensional analysis in data warehouses of simulation results: Application to pesticide transfer data produced by the MACRO model. *Ecological Informatics*, 16, 41-52
- Burgos S., Mota M., Noll D., Cannelle B., 2015. Use of very high-resolution airborne images to analyse 3D canopy architecture of a vineyard. *International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 399-403.
- Comba L., Gay P., Primicerio J., Aimonino D.R., 2015. Vineyard detection from unmanned aerial systems images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 114, 78-87.
- Coombe B.G., 1995. Adoption of a system for identifying grapevine growth stages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1, 100-110.
- Diago M.P., Pou A., Milla B., Tardaguila J., Fernandes A.M., Melo-Pinto P., 2014. Assessment of grapevine water status from hyperspectral imaging of leaves. *Acta Horticulturae*, 1038, 89-96
- Di Gennaro S., Battiston E., Di Marco S., Facini O., Matese A., Nocentini M., Palliotti A., Mugnai L., 2016. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-based remote sensing to monitor grapevine leaf stripe disease within a vineyard affected by esca complex. *Phytopathologia Mediterranea*, 55(2), 262-275.

Hardie W.J., Martin S.R., 2000. Shoot growth on de-fruited grapevines: a physiological indicator for irrigation scheduling. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6(1), 52-58.

Kasbari M., Leroux B., 2016. Méthodologie pour l'usage d'un drone de catégorie E pour la détection de la flavescence dorée. *Cahier des techniques de l'INRA, Mesure et métrologie*, 1(2), 30-35

Matese A., Primicerio J., Di Gennaro F., Fiorillo E., Vaccari F.P., Genesio L., 2013. Development and application of an autonomous and flexible unmanned aerial vehicle for precision viticulture. *Acta Horticulturae*, 978, 63-69.

Mathews A., Jensen J., 2013. Visualizing and Quantifying Vineyard Canopy LAI Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Collected High Density Structure from Motion Point Cloud. *Remote Sensing*, 5(5), 2164-2183.

Nilakanta S., Scheibe K., Rai A., 2008. Dimensional issues in agricultural data warehouse designs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 60, 263-278

Primicerio J., Caruso G., Comba L., Crisci A., Gay P., Guidoni S., Vaccari F.P., 2017. Individual plant definition and missing plant characterization in vineyards from high-resolution UAV imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 179-186.

Rabiee F., 2004. Focus-group interview and data analysis. *Proceedings of the Nutrition Society*, 63(4), 655-660.

Rey C., Martin M.P., Lobo A., Luna I., Diago M.P., Millan B., Tardaguila J., 2013. Multispectral imagery acquired from a UAV to assess the spatial variability of a Tempranillo vineyard. *Precision agriculture* 13. 617- 624.

Santesteban L.G., Di Gennaro S.F., Herrero-Langreo A., Miranda C., Royo J.B., Matese A., 2017. High-resolution UAV-based thermal imaging to estimate the instantaneous and seasonal variability of plant water status within a vineyard. *Agricultural Water Management*, 183, 49-59.

Zarco-Tejada P.J., Guillén-Climent M.L., Hernández-Clemente R., Catalina A., González M.R., Martín P., 2013. Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Agricultural and forest meteorology*, 171, 281-294.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL ou DOI).