Quelles observations directes peut-on réaliser à partir d'images à haute résolution prises par drones aériens et des méthodes disponibles commercialement au cours du cycle végétatif de la vigne ?

Guillaume Besqueut

Master Viticulture et Oenologie

Date de soutenance : 06 novembre 2015

Guillaume Besqueut

Master Viticulture et Oenologie

Date de soutenance : 06 novembre 2015

Quelles observations directes peut-on réaliser à partir d'images à haute résolution prises par drones aériens et des méthodes disponibles commercialement au cours du cycle végétatif de la vigne ?

Jury :

Jean-Michel BOURSIQUOT

Bruno TISSEYRE

Maitre de stage : Léo Pichon

Tuteur : Bruno Tisseyre

Résumé

Le drone est une technologie qui est arrivée à maturité pour une utilisation commerciale. Ses caractéristiques de maniabilité, de fiabilité et d'autonomie facilitent son utilisation dans des domaines comme l'architecture, l'aménagement, et plus récemment l'agriculture. Dans ce domaine, le drone est essentiellement utilisé en grande culture (blé tendre et colza) pour réaliser des diagnostics ou du conseil sur la fertilisation azotée. Ces marchés étant très concurrentiels, les différents acteurs cherchent à élargir leur offre de services et se tournent vers des secteurs à haute valeur ajoutée comme la viticulture. De par ses caractéristiques, le drone offre en effet des potentialités intéressantes pour le suivi et l'aide à la conduite de la vigne.

- ➔ **Quelles observations directes peut-on réaliser à partir d'images à haute résolution prises par drones aériens et des méthodes disponibles commercialement au cours du cycle végétatif de la vigne ?**

Cette étude a compilé un ensemble de prises de vues aériennes prises par drones sur une même parcelle au cours du cycle végétatif de la vigne. Ces prises de vues ont été soumises à l'analyse d'experts, et corrélées aux stades végétatifs de la vigne.

Le niveau de détails permis par le drone permet de réaliser des observations similaires à celles effectuées en étant au sol, tout en apportant une spatialisation et une vision d'ensemble. Des stades phénologiques particuliers permettent de maximiser les observations. Les applications possibles de ces observations sont surtout concentrées sur le diagnostique parcellaire. En plus de la résolution des images, Les paramètres de prises de vues ont une importance non négligeable dans ce qui sera observable.

Mots-clefs : drones, orthophotoplan, haute résolution, cycle végétatif

Drone is now a mature technology available for commercial use. Its specifications concerning maniability, reliability and flight time makes it a primary asset in fields such as architecture, landscaping and most recently agriculture. In this particular field, drones are mostly used for corn and wheat surveys and planify fertilization. These markets become more and more crowded and drone operators are looking toward high value business category such as viticulture. Regarding its specifications, drone looks like a very interesting tool to monitor a vineyard.

- ➔ **What observations can be made from aerial drone high resolution pictures using actual commercial technics during vineyard vegetative cycle?**

This study was based on a set of aerial high resolution drone-made maps taken over the same vine plot from the begining of the vegetative cycle until after the harvest. The maps were subjected to analysis by multiple experts and correlated to the related phenological state.
High resolution such as obtained by drones makes it possible to see most of what can be seen on foot in the vineyard, but gives it also a more global and geolocalised vision. It appears that some specific phénological states maximise the possible observations. The usefullness of such observations is mainly centered on diagnosis. In addition to high-resolution, it turned out that surrounding parameters such as flight hour and camera parameters were of high importance in what could be observed on the resulting map.

Keywords : drone, othomosaic, high resolution, vegetative cycle

Remerciements

Je remercie chaleureusement Bruno Tisseyre et Léo Pichon pour tout le soutien technique et l'encadrement apportés au cours de ce stage. La pédagogie est entrée grâce à eux dans une nouvelle dimension.

Je remercie également la chaire Agrosys d'avoir accompagné jusqu'au bout et même plus ce projet. Merci en particulier à Isabelle Massai pour sa flexibilité et sa réactivité.

Ce projet n'aurait également pas pu avancer sans la participation aimable et généreuse de toutes les sociétés de drones. Merci donc aux sociétés AirInov', Aerotec Solution, DroneHive, Atlas, Décidrone, FormatDrone, Cyléone et Geofalco pour les vols effectués et le travail fourni sur les assemblages.

De même, il aurait été difficile de réaliser une expertise sans la participation des experts. Merci donc à Hernan Ojeda, Patrice Coll, Nicolas Saurin, Guillaume Coulouma, Katrina Muller, et Laurent Torregrosa pour le temps qu'ils m'ont accordé.

La coopération du Mas La Chevalière et d'ADVINI a également été précieuse. Je remercie particulièrement Geraud Blanc, Cedric Cabrol et Yves Tindon pour leur implication.

Merci à Aurélie Pédrola pour sa capacité à remonter le temps pour remplir les ordres de missions.

Merci à Eve qui a bravé les cigales pour m'aider à réaliser la carte de porosité du feuillage.

Merci enfin aux Masters VO 2015 pour leur soutien moral, sportif et œnologique au cours de ces 6 mois.

Mention spéciale aux chauffagistes sans qui nous aurions vraiment eu trop chaud cet été.

Table des matières

Glossaire....7
1.Introduction....9
1.1. Contexte du projet....9
1.2.Typologie de drones aériens utilisés couramment....10
1.3. Spécificité des drones....11
1.4.Technologies de capteurs embarqués....11
1.5.Les moyens d'observation du vignoble....12
2.Matériel et méthode....13
2.1.Site d'étude....13
2.1.1.Relief....14
2.1.2.Climat....15
2.1.3.Parcelles....15
2.2.Obtention des images....16
2.2.1.Chaine d'acquisition....16
2.2.2.Calendrier des vols....17
2.3. Recueil d'expertise....18
2.3.1.Méthode....18
2.3.2.Séances effectuées....19
2.4. Mesures terrains....19
2.4.1.Mesure de la vigueur....19
2.4.2.Mesure de la porosité....19
3.Résultats....20
3.1. Recueil d'expertise....20
3.1.1.Observations et stades phénologiques....21
3.1.2.Correspondance des observations avec les mesures terrain....24
3.2.Utilité des observations 25
3.3. Résultats collatéraux : modèles 3D, fiches techniques, cahier des charges etc....29
3.3.1.Obtention de modèles numériques de surfaces....29
3.3.2.Paramètres de prise de vue et d'assemblage....29
3.3.2.1.Paramètres de prise de vue....29
3.3.2.2.Paramètres d'assemblage....30
4.Discussion....30
4.1.Discussion des résultats :....30

4.1.1.Dates optimales de prises de vues.....
4.1.2.Spatialisation et vue d'ensemble.....
4.1.3.Complémentarité des angles de prise de vue.....
4.1.4.Utilité des images obtenues par drone :.....
4.1.4.1.Observabilité et exploitabilité.....
4.1.4.2.Potentialité des modèles 3D.....
4.2.Biais du recueil d'expertise.....
4.2.1.Difficulté de présentation des images.....
4.2.2.Effet individu.....
4.2.3.Peu de maîtrise des paramètres de prise de vue.....
4.3. Paramètres de prise de vue.....
4.3.1.Influence de l'heure de prise de vue.....
4.3.2.Maîtrise des paramètres de prise de vue.....
4.4. Utilité des images : l'analyse automatique comme solution ?.....
5.Conclusion.....
Bibliographie.....
Annexes.....

Glossaire

Orthophotographie/orthophotoplan : document photographique obtenu par redressement, mise à l'échelle et assemblage des surfaces élémentaires d'une photographie aérienne. *Dictionnaire Larousse 2015*

Photogrammetrie : la photogrammetrie est une technique qui consiste à effectuer des mesures dans une scène en utilisant la parallaxe obtenue entre des images acquises selon des points de vue différents. Sur le même principe que la vision humaine, elle permet de reconstituer exactement des scènes en 3 dimensions.

Orthoréctification : l'orthorectificatiion est une correction géométrique des images qui a pour but de les présenter comme si elles avaient été prises depuis la verticale exacte en tous points de l'image.

Vigueur : La vigueur est l'expression de la captation des ressources en eau, carbone et azote du milieu (*Van Leeuwen, 2008*)

Drone : le terme drone est dérivé de l'anglais. En France, le législateur le décrit comme un aéronef évoluant sans personne à bord, et le différencie d'un aéromodèle (le classique avion téléguidé) par sa capacité à évoluer partiellement ou totalement en dehors du contrôle direct du téléopérateur, par exemple lorsqu'il effectue des vols programmés. (*Arrêté du 11 avril 2012*)

NDVI : l'Indice de Végétation par Différence Normalisé, se construit à partir des canaux rouge(R) et proche infra rouge (PIR). NDVI=(PIR-R)/PIR+R) Cet indice est sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation. En effet, la chlorophylle présente dans les végétaux absorbe une bonne partie du spectre des longueurs d'ondes visibles, en particulier le rouge et le bleu, mais réfléchie en grande partie les longueurs d'ondes du proche-infrarouge, porteur d'énergie risquant de surchauffer les feuilles.
Les valeurs du NDVI sont donc comprises en théorie entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages, pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7 - les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses. (*C. J. Tucker, 1974*)

Viticulture de précision : il s'agit d'un mode de culture visant à optimiser les performances du vignoble, en particulier en ce qui concerne les rendements et la qualité, en réduisant au maximum l'impact environnemental et les risques. Cette optimisation se base sur la connaissance localisée des paramètres impactant la culture comme la fertilité des sols, le microclimat, l'eau, la santé de la vigne, et se base sur des technologies faisant appel au GPS et aux capteurs. (*T. Proffitt et al, 2006*)

Système d'information Géographique : un système d'information géographique est conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques.

Mouillère : zones d'une parcelle aillant tendance à rester humide plus longtemps que les autres zones. Il peut s'agir de zones en creux recueillant plus d'eau, ou d'une nature de sol différente (plus riche en argile par exemple). Ces zones peuvent être plus froides que le reste de la parcelle et présenter des symptômes d'étouffement racinaire.

Résolution : la résolution se caractérise par un nombre de pixel par unité de longueur. C'est donc la densité de pixels de l'image.

Modèle numérique de surface : un modèle numérique de surface est une représentation en 3 dimensions d'un terrain et de sa couverture (végétations, enrochements, objets...)

Modèle numérique de terrain : un modèle numérique de terrain est une représentation en 3 dimensions des courbes de niveaux au niveau du sol d'un terrain.

1. Introduction

1.1. Contexte du projet

La viticulture est le secteur agricole français le plus demandeur en produits phytosanitaire (Butault *et al., 2011*). Les raisins destinés à produire du vin sont également les produits agricoles nécessitants le plus haut niveau de qualité organoleptique.

Dans le contexte environnemental actuel, le secteur viticole fait donc face à la problématique suivante : comment réduire l'impact environnemental des pratiques culturales tout en maintenant ou en améliorant le niveau de qualité ?

La viticulture de précision est une des réponses envisageable pour cette problématique(T. Proffitt *et al, 2006)*. Son principe repose sur une connaissance élevée et géolocalisée des paramètres culturaux de la parcelle, permettant d'adapter les opérations au plus près des besoins, réduisant ainsi la quantité d'intrants tout en répondant aux besoins de la vigne.

Comment collecter ces informations ? Comment les employer ? La chaire d'entreprises "Ingénierie pour des Agrosystèmes durables" de Supagro, financée par mécénat, soutient des projets innovants visant à développer des agrosystèmes durables. C'est dans ce cadre que le projet prend place.

Depuis quelques années, la technologie des drones aériens est en fort développement. De quelques dizaines en France en 2012, le nombre d'opérateurs est passé à plus de 1200 en 2015. Une explosion en à peine 3 ans (figure 1).

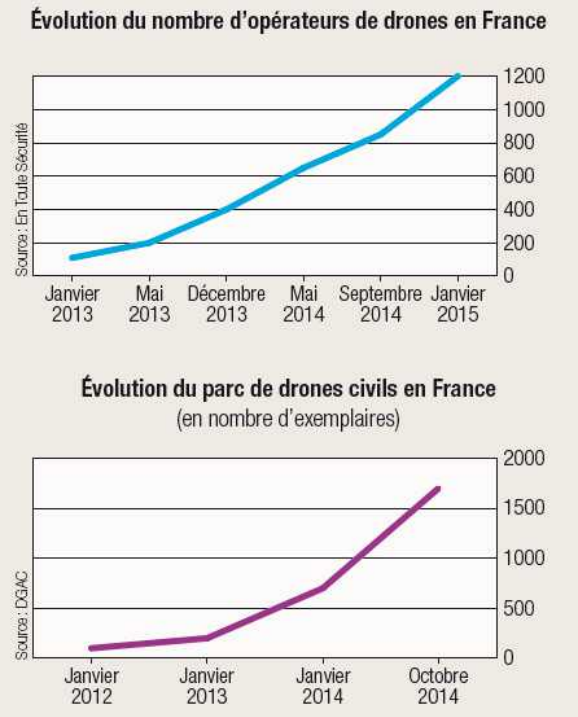


Figure 1: Evolution de l'activité professionnelle des drones en France

Les marchés conventionnels tels que la presse, la télévision ou l'architecture devenant de plus en plus étroits face au nombre grandissant d'opérateurs, de plus en plus d'entre eux se tournent vers des marchés vierges, comme l'agriculture, et en particulier les cultures spécialisées, plus demandeuses en technologies de pointes, comme la viticulture et le maraîchage. Ainsi, de plus en plus d'opérateurs proposent des services de prises de vues aériennes de vignobles, sans toutefois être en mesure de proposer beaucoup plus de valeur ajoutée, comme du conseil ou de l'analyse d'image. De plus, le manque de connaissances du secteur rend difficile la construction d'un modèle économique en phase avec les capacités et besoins du secteur viticole.

La photographie aérienne étant un moyen important de collecte d'informations, la chaire AgroSys a souhaité soutenir le projet proposé par AgroTIC Services :

- ➔ **Quelles observations directes peut-on réaliser à partir d'images à haute résolution prises par drones aériens et des méthodes disponibles commercialement au cours du cycle végétatif de la vigne ?**

L'objectif du projet est de proposer une base pour l'utilisation de drones en viticulture, aussi bien à destination des sociétés de services de drones que des professionnels viticoles.

1.2.Typologie de drones aériens utilisés couramment

Les deux types de drones les plus utilisés sont les ailes volantes et les multirotors (figure 2). Les ailes volantes ont la forme d'un avion et elles doivent se déplacer constamment pour voler. Elles disposent d'une autonomie importante (45-60min) et sont capables de couvrir jusqu'à 20 ha avec une seule batterie. Elles nécessitent une certaine surface plane pour atterrir et leur capacité d'emport de matériel est limitée entre 100 et 300 grammes, soit le poids d'un appareil photo compact. Il faut compter entre 15 000 et 25 000 euros pour l'aile, les capteurs, et les logiciels de pilotage et de cartographie.

Les multirotors possèdent quatre à huit moteurs et hélices qui leur permettent de se déplacer et de réaliser des vols stationnaires. Ils sont maniables, peuvent décoller et atterrir verticalement et permettent d'emporter des charges relativement importantes, de 0,2 à 3kg, suffisant pour emporter un petit reflex et une nacelle pilotable, permettant de changer l'angle de vue en vol. Leur autonomie est réduite (10-15 minutes), ils sont fragiles et leur complexité impacte leur fiabilité. Les multirotors professionnels coûtent entre 1000 et 10 000 euros, ce prix incluant rarement le logiciel de cartographie.

Figure 2: (gauche): exemple d'un drone multirotor (société DroneSys); (droite) exemple d'un drone aile volante (société eBee)

La surface moyenne des parcelles sur les exploitations viticoles françaises est inférieure à 1 ha (Viniflhor, 2006). Les drones aériens actuels sont donc capables de couvrir l'ensemble d'une parcelle en un seul vol.

1.3. Spécificité des drones

La petite taille des drones permet aux opérateurs de les transporter et de les lancer depuis n'importe quel type de terrain. Leur extrême maniabilité leur permet de s'adapter à toutes formes de parcelles, et d'éviter d'éventuels obstacles, comme les arbres, bâtiments ou lignes à haute tension.

L'altitude de vol peut être adaptée en fonction des paramètres de prises de vues et des besoins de résolution, permettant ainsi de s'adapter à la définition des capteurs.

Par rapport aux autres plateformes d'acquisition aériennes comme les satellites ou les avions, le drone permet d'acquérir des images à une résolution plus élevée, avec un coût d'exploitation plus faible (Matese *et al., 2015*). Contrairement aux satellites, ils peuvent acquérir des images par temps couvert, mais sont plus sensibles au vent que les avions. Au-delà de 40km/h, il est en général difficile d'envisager un vol. Grâce aux technologies récentes de stabilisation reposant sur des centrales à inerties miniatures, les nacelles emportant les capteurs sont capables d'être très stables et de fournir des images de qualité même en cas de vent et de déplacements brusques.

1.4.Technologies de capteurs embarqués

Grâce aux progrès de la miniaturisation, de nombreux capteurs sont suffisamment petits pour être embarqués sur drones. Parmi ces capteurs, trois sont principalement utilisés en agriculture : les capteurs RGB, qui captent la lumière visible, les capteurs proche-infrarouges destinés à calculer des indicateurs comme le NDVI, et des capteurs thermiques, capables de déterminer la température de tous les points de l'image enregistrée.

Bien que la technologie des plateformes drones ainsi que celle des capteurs soit maîtrisée, les applications possibles en viticulture n'en sont pas toutes au même stade. Le tableau 1 propose une synthèse non exhaustive des observations aujourd'hui envisageables avec ces capteurs. Pour chacune d'entre elles, il détaille le type de capteur nécessaire et indique s'il s'agit d'une application opérationnelle (OP), en cours de développement (DEV) ou encore du domaine de la recherche (R). Ce tableau liste également les usages qui peuvent être faits directement à partir des images ou indirectement en réalisant des observations complémentaires sur le terrain ou en utilisant des modèles agronomiques.

Tableau 1: Applications possibles du drone en viticulture

Observation	Type de capteur	Application directe	stade	Application indirecte	stade
Expression végetative	Visible proche-IR	Repérage de zones de feuillage décoloré	OP	Comptage automatique de pieds manquants	DEV
		Caractérisation de l'hétérogénéité du volume du feuillage	OP	Diagnostique parcellaire : caractérisation du stress hydrique, carences azotées…	DEV
		Repérage de zones de stress ou de carences	OP	Calcul de surfaces foliaires exposées	R
		Evaluation d'incidents climatiques	OP		
Maladies	Hyperspectral Proche-IR	Identification précoce de foyers de maladies	R	Protection phytosanitaire	R
Couleur du sol	Visible	Caractérisation de l'hétérogénéité de la couche supérieure du sol	OP	Diagnostic parcellaire	DEV
		Repérage de zones humides	DEV		
Couverture du sol	Visible Proche-IR	Evaluation de l'enherbement	OP	Calcul des surfaces enherbées	OP
Température	Thermique	Répartition des températures sur la parcelle	OP	Estimation de la contrainte hydrique	DEV
Reliefs	Visible	Modélisation 3D de la parcelle	OP	Calcul de pentes	OP
				Calcul des surfaces réelles	OP
				Calcul d'expositions	OP
				Evaluation du ravinement	DEV

OP=opérationnel ; DEV=en cours de développement ; R=en cours de recherche

On se rend compte ici que la plupart des applications opérationnelles, directes ou indirectes, sont en viticulture basée sur des capteurs visibles. L'étude portant sur des méthodes disponibles commercialement, nous nous concentrerons donc sur les capteurs visibles. Ces derniers sont représentés la plupart du temps par des appareils photos commerciaux. Les modèles utilisés lors de l'étude ont été le Sony Alpha 6000, une GoPro, ainsi que des modèles compacts de chez Canon.

1.5.Les moyens d'observation du vignoble

Traditionnellement, et le plus souvent en France, la plupart des observations nécessaires à la conduite au vignoble se font à pieds et à l'œil nu par le viticulteur. Par observation des ceps, le viticulteur cherchera ainsi à établir différents paramètres comme l'état de stress hydrique de la plante, sa vigueur ou la présence de maladie. D'autres témoins peuvent êtres utiles à caractériser, comme l'état du sol, sa couverture ou encore sa nature, ces observations pouvant entraîner une adaptation de l'itinéraire technique.

Récemment, plusieurs capteurs, embarqués ou fixes, ont été développés pour permettre d'obtenir des informations plus précises concernant notamment la vigueur avec par exemple le Greenseeker (Debuisson *et al.,* 2010) ou l'état hydrique de la vigne avec entre autre des sondes hydriques ou des

capteurs de flux de sève (Thibaut Scholasch, 2010). Ces moyens sont complexes à mettre en œuvre et coûteux, et nécessitent une expertise pour interpréter les résultats. Certains, comme le Physiocap (Force A), ne permettent d'obtenir des mesures qu'à la fin de la saison végétative, les données ne pouvant alors servir que pour l'année suivante. La plupart de ces mesures ne sont qu'unidimmensionnelles et ne permettent de mesurer qu'un seul facteur. Seule le parcours à pieds des parcelles permet d'observer plusieurs facteurs à la fois, mais nécessite beaucoup de temps pour être exhaustif. Le drone est-il aussi efficace pour observer la vigne et peut-il permettre de remplacer ou de diminuer ces temps d'observations ?

Résumé

Les drones fournissent une plateforme d'emport de capteurs à faible coût d'exploitation permettant de réaliser des images à très haute résolution. Cependant, dans l'état actuel des connaissances, seuls les capteurs du spectre lumineux visible semblent abordables et interprétables par le plus grand nombre.

2. Matériel et méthode

Le choix a été fait de ne pas mener l'étude sur un domaine expérimental, afin d'éviter les biais liés à ce genre d'activité. Le Mas La Chevalière a ainsi mis à disposition un groupe de parcelles ainsi que son expertise. Les parcelles situées à Béziers permettaient de se rendre fréquemment sur les lieux et d'être réactifs sur l'évaluation des différents paramètres.

Le département Agrotic ne disposant pas des compétences nécessaires pour réaliser les orthomosaïques, il a été décidé de faire appel à des sociétés privées souhaitant gracieusement participer au projet. Ce mode de fonctionnement a permis d'évaluer les performances de différentes méthodes et des différents matériels utilisés.

2.1.Site d'étude

En 2010, la société JeanJean, producteur et négociant du Languedoc, fusionne avec la maison Laroche, située dans le chablisois. De cette fusion est créé Advini, qui redéfinit les objectif des deux sociétés afin d'en assurer le développement. Un de ces objectifs est l'amélioration de la qualité de la production de certains terroirs du Languedoc, en s'appuyant sur des vins de domaines comme le Mas de la Chevalière.

Dans cette optique, la viticulture de précision semble être un outil adapté. Le Mas La Chevalière a donc mis en place sur ses parcelles d'excellences une démarche d'amélioration et de collectes d'informations. Les responsables du Mas La Chevalière étant impliqués dans cette démarche, ils ont proposé une coopération essentielle à la réussite du projet, en fournissant leur expertise et des informations sur les parcelles d'études.

Les parcelles prêtées par le Mas La Chevalière sont situées sur le site de Roqua Blanca, à Cazouls-lès-Béziers, à 20 minutes au nord-ouest de Béziers (figure 3).

Figure 3: Situation du site d'étude

2.1.1. Relief

Le site est constitué d'un vallon dont l'axe central est orienté du nord-ouest au sud-est (figure 4).

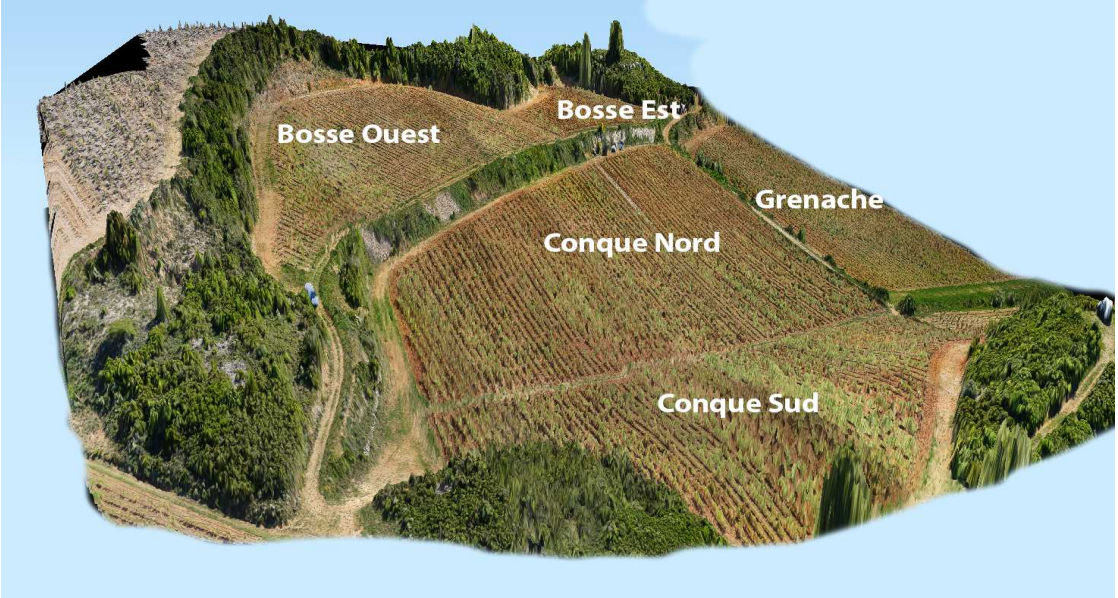


Figure 4: Représentation du site d'étude

Le relief est relativement prononcé, avec une différence d'altitude de 25 mètres entre le bas et le haut de la parcelle.

Ce relief permettra d'évaluer la capacité des prises de vues par drone à en rendre compte.

2.1.2. Climat

L'indice de Huglin calculé à partir des données de la station météo située sur la parcelle se situe entre 2100 et 2400 ; le climat peut être caractérisé comme « tempéré et chaud » (Vaudour, 2003). Le nombre important de jour de soleil par an limite les risques de ne pas pouvoir voler les jours prévus.

La tramontane, vent dominant sur cette région, souffle du nord-ouest au sud-est. Il souffle pratiquement tous les jours, souvent en rafales, et peut dépasser les 40 km/h, et se lève en général en début d'après-midi. Afin d'éviter les annulations de vols à cause du vent, la plupart des vols auront lieux le matin.

2.1.3. Parcelles

Le site de Roqua blanca est composé de plusieurs parcelles, dont 3 seront utilisées pour l'étude (figure 5).

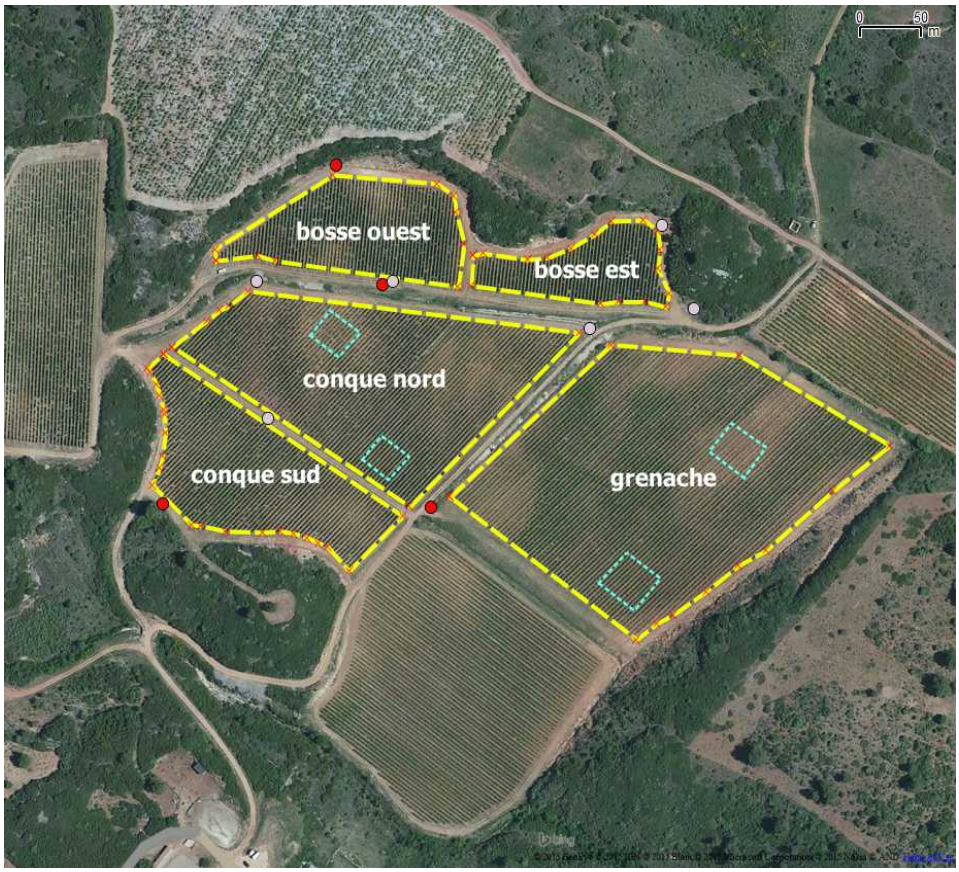


Figure 5: Parcelles d'études de Cazouls-les-Béziers

La Conque (4,5 ha) et les Bosses (2 ha) sont plantées en syrah, et la dernière parcelle en grenache (4,8 ha). Il sera donc possible d'étudier les différences d'observations entre les deux cépages.

Les parcelles ne sont pas enherbées, laissant le sol à nu. La parcelle est conduite en viticulture raisonnée, sans emploi d'herbicides. Des adventices poussent ainsi régulièrement en fonction des précipitations et des travaux du sol. L'irrigation est utilisée à partir du mois de mai.

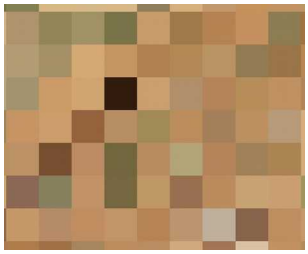
Ces parcelles ont fait l'objet d'une étude de terroir menée par Léa Rouyet en 2014. Cette étude a permis d'obtenir des informations sur la répartition de la vigueur de la parcelle par mesure des circonférences de ceps (Barbeau *et al,* 2006), ainsi que des cartes de conductivité des sols.

2.2.Obtention des images

Depuis quelques années, des images aériennes sont disponibles facilement sur internet, par des applications type Google Map©. Ces images proposent de voir les parcelles en se positionnant à leur verticale. Composées de plusieurs photos assemblées et dont la géométrie a été corrigée, elles sont appelées « orthophotoplans ». La résolution disponible sur les services gratuits est de l'ordre de 1 à 2 mètres par pixel (m/px). Lorsque l'on considère aujourd'hui des images à très hautes résolution, on se place à une résolution inférieure à 5cm/px. La figure 6 présente les différences visuelles entre haute et basse résolution.

1cm/px

25cm/px



100cm/px

Figure 6: Influence de la résolution sur la qualité d'une image

Plus couramment, le moyen le plus simple d'obtenir une vue d'ensemble d'une parcelle est de se placer sur un point haut comme une colline. Il est alors possible d'obtenir une vue d'ensemble de la parcelle, toute l'année. Il faut néanmoins que la topographie s'y prête, ce qui n'est pas le cas de la majorité des parcelles en France.

Ces deux modes de visualisation proposent des points de vues différents sur le vignoble et peuvent être obtenus par drones, et seront donc étudiés.

2.2.1. Chaine d'acquisition

Un total de 7 sociétés de drones a été retenu pour réaliser les vols tout au long du cycle végétatif. Il a ainsi été possible de recueillir des informations par différentes méthodes commerciales, à partir de différentes plateformes et capteurs.

Pour simuler les vues d'un point haut, les capteurs ont été orientés à 45°, à une altitude de vol d'environ 25 mètres, perpendiculaire aux rangs (figure 7).

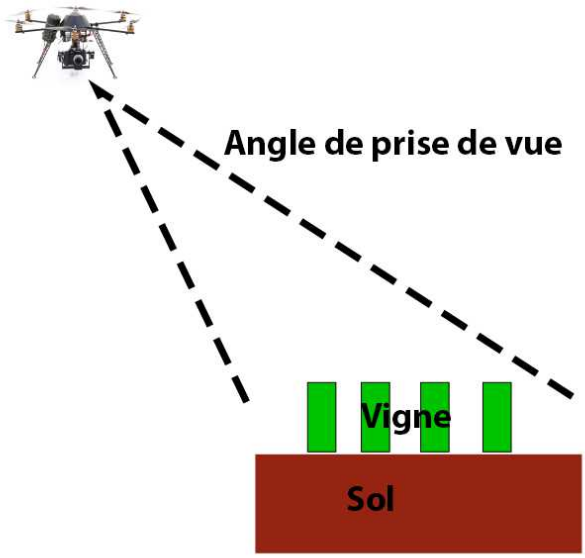


Figure 7: Principe de la prise de vue à 45°

Les images prisent à la verticales sont assemblées en orthophotoplans assemblées par photogrammétrie par les sociétés, puis ortho-rectifiées et géoréférencées.

La technicité nécessaire pour réaliser des corrections radiométriques étant trop élevée pour la plupart des sociétés de drones actuelles, aucune correction n'a été appliquée sur les images.

2.2.2. Calendrier des vols

Des vols ont été réalisés à environ 15 jours d'intervalle au cours du cycle végétatif. Lors de chaque vol, le stade végétatif était relevé sur les parcelles de Syrah. (tableau 2).

Tableau 2: Résumé des dates de vols et des stades végétatifs correspondants

Date des vols	Stade végétatif
8 avril 2015	Bourgeons dans le coton
22 avril 2015	Grappes séparés
7 mai 2015	Boutons floraux séparés
14 mai 2015	Début floraison
28 mai 2015	Fin floraison
4 juin 2015	Nouaison
23 juin 2015	Gros petits-pois
30 juin 2015	Fermeture de la grappe
17 juillet 2015	véraison
6 aout 2015	maturation
26 aout 2015	maturité
29 septembre	Post-recolte

2.3. Recueil d'expertise

2.3.1. Méthode

L'objectif du projet est double : déterminer ce qui est visible sur les images recueillies, et avoir une première approche des usages possibles de ces images, en dehors des considérations pratiques et financières. Il s'agit alors d'obtenir des informations qualitatives à partir d'un sujet précis. Une enquête qualitative (Roche, 2009) a donc été menée auprès de plusieurs groupes d'experts.

Le recueil d'expertise a été basé sur une forme mixte, avec une première partie d'entretien semi-ouvert, où les experts ont été invités à décrire ce qu'ils voyaient sur les images sur un document d'accompagnement (voir annexe 1) de manière individuelle, sans communiquer avec les autres experts. Des questions pouvaient cependant être posées à l'animateur.

Dans un deuxième temps, l'entretien a pris la forme d'un focus-groupe (Nikki Slocum**,** 2006), où les experts étaient invités à discuter des images entre eux. L'animateur avait alors en charge le recueil des débats ainsi que l'animation des discussions.

Cette forme d'enquête permet de défricher un sujet en interrogeant des experts très pointus sur un sujet particulier. On obtient ainsi une base de travail à partir de laquelle organiser des enquêtes plus large. Elle convient donc à l'analyse de sujets nouveaux peu étudiés précédemment.

Les groupes d'experts ont été sélectionnés dans les trois grands secteurs ayant des besoins d'observation de la vigne :

- Technique : les experts sont amenés au quotidien à conduire une parcelle de vigne. Ils seront consultés tous les mois, afin de faire correspondre les observations avec les observations culturales.
- Recherche : les experts sont des chercheurs spécialisés dans la viticulture, à différents niveaux. Ils seront consultés tous les 3 mois, le besoin de réactivité étant moins élevé.
- Diagnostique-conseil : les experts sont amenés à effectuer des diagnostiques ou à fournir du conseil viticole sur des parcelles qui ne sont pas les leurs. Ils seront consultés tous les 3 mois, le besoin de réactivité étant moins élevé.

Les images étaient soient projetées au vidéo projecteur et manipulées par l'animateur à la demande des experts (zoom et déplacements des images), soient manipulées directement par les experts, en fonction de leur connaissance du logiciel de SIG utilisé (QGis). La disponibilité en temps des experts et en matériel ne permettait pas d'envisager une formation de ces derniers à l'utilisation individuelle de Qgis.

Le transcrit des séances a ensuite été informatisé, et les observations de chaque experts codifiées pour permettre de les classer. L'objectif du projet étant de déterminer ce qui était observable par drone, ce protocole ne porte pas sur l'évidence des observations. Dès qu'un expert mentionne une observation validée sur le terrain, elle est considérée comme valable, indépendamment du nombre de personnes capables de l'observer.

Le déroulement d'une séance est résumé en figure 8.

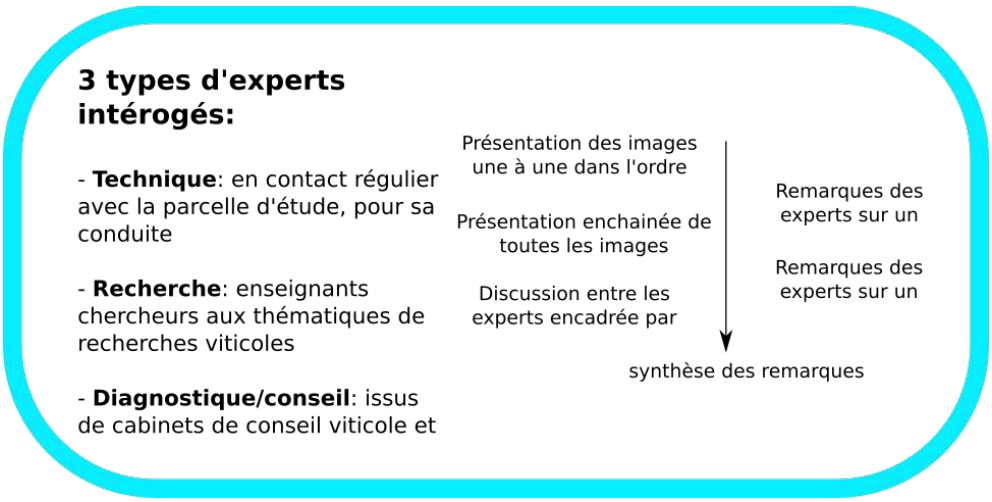


Figure 8: Déroulement des séances d'expertises

2.3.2. Séances effectuées

A la fin du projet, 5 séances ont été menées avec les experts techniques, et 2 avec les experts Recherche et Diagnostique/Conseil.

2.4. Mesures terrains

Pour les besoins du projet, il a été nécessaire d'évaluer la vigueur des parcelles d'étude, ainsi que la porosité du feuillage.

2.4.1. Mesure de la vigueur

La mesure de la circonférence des ceps est une méthode reconnue pour représenter la vigueur des ceps moyenne sur plusieurs années (Barbeau *et al*, 2006). Lors d'un projet précédent, des mesures ont été effectuées sur la parcelle d'étude et étaient donc déjà disponible.

2.4.2. Mesure de la porosité

La porosité a été mesurée en prenant en photo avec un appareil photo numérique grand public le feuillage derrière lequel était placé un drap rouge.

Un recadrage est effectué pour sélectionner la surface de feuillage située entre le deuxième fil de palissage et la charpentière. Les images ont ensuite été converties en espace colorimétrique LAB. Dans cet espace colorimétrique, l'axe A (rouge-vert) était sélectionné, puis converti par seuil en noir (correspondant à toutes les nuances de vert) et blanc (correspondant à toutes les nuances de rouges). Le pourcentage de pixels blancs représente alors le pourcentage de porosité du feuillage. Toutes les opérations ont été réalisées à l'aide du logiciel Gimp (figure 9).

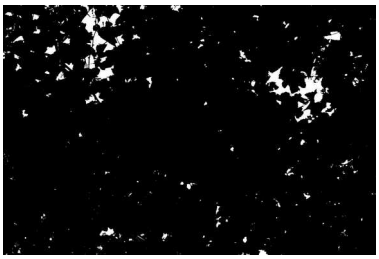
	Image brute
	Image recadrée
	Image convertie en espace L*A*B à 2 niveaux

Figure 9: Préparation d'une image pour calculer la porosité du feuillage

Résumé

Le site d'études présente des hétérogénéités au niveau du matériel végétal, des sols et de la topographie que l'on cherchera à mettre en évidence au cours de l'étude. Des mesures de terrains permettront de valider ou d'infirmer les observations faites sur les orthophotoplans. Ces derniers seront présentés à des experts issus de différents domaines de la filière viticole afin qu'ils fournissent des observations et des remarques sur ce qu'il est possible ou non de voir.

3. Résultats

Les résultats présentés portent sur les données recueillies jusqu'à la fin du mois d'août. Les données recueillies en Septembre et en Octobre seront présentées sur le blog du projet.

Il est à noté que le projet étant supporté par du mécénat, l'ensemble des données est public et mis à disposition sur le site www.agrotic.org/drones .

3.1. Recueil d'expertise

Au final, 5 séances d'expertises ont eu lieu avec les experts techniques, 2 avec les experts recherche, et 1 avec les experts conseils. Les vendanges dans le sud de la france, à partir de la fin du mois d'aout, n'ont pas permis de réaliser toutes les séances prévues avec les experts recherches et conseils.

3.1.1. Observations et stades phénologiques

La figure 10 présente les observations faites par les experts, positionnées par rapport aux stades végétatifs de la vigne.

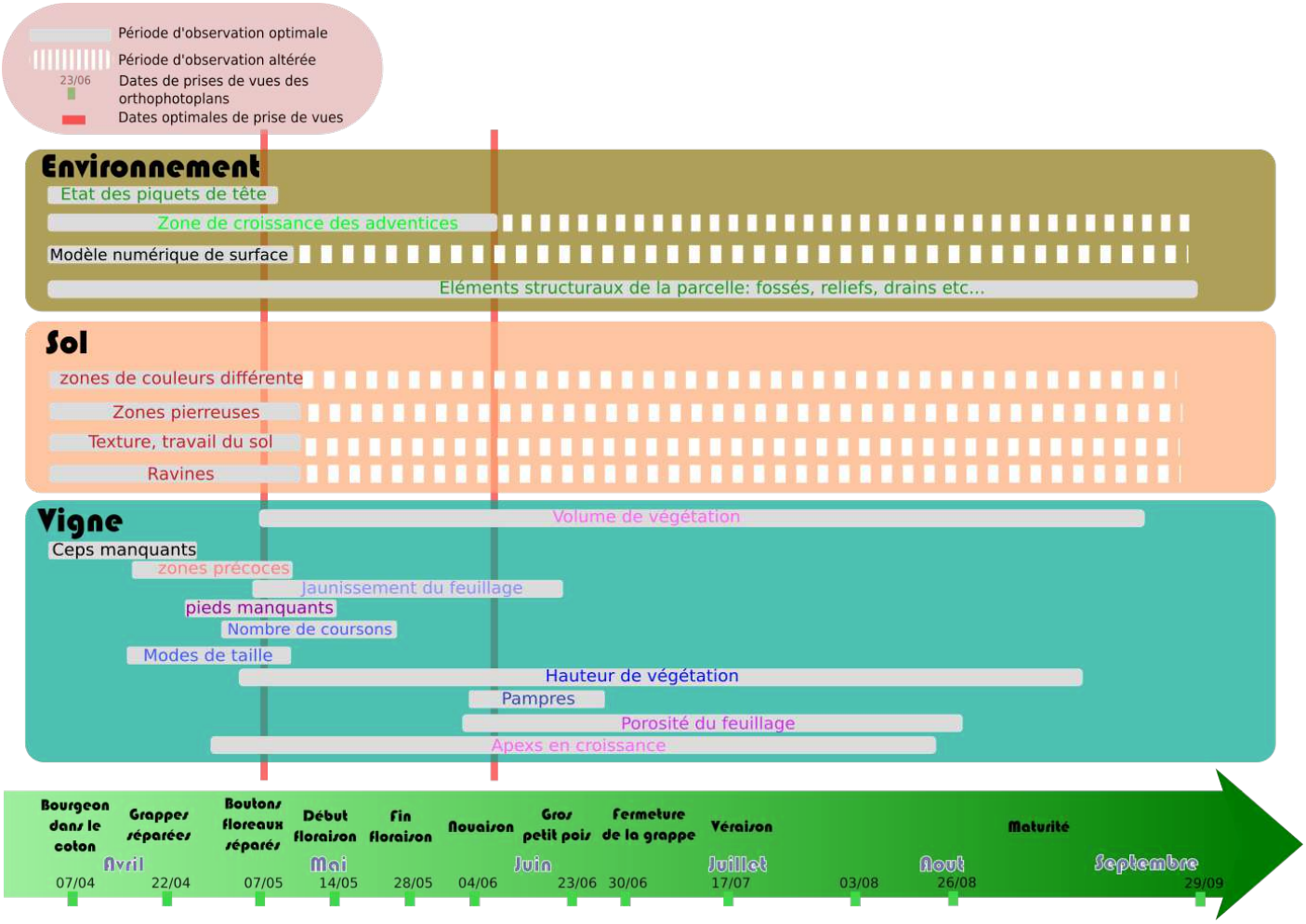


Figure 10: frise chronologique des observations réalisables par drone au cours du cycle végétatif

Les périodes d'observations altérées représentent les périodes durant lesquelles une observation est réalisable, mais est plus difficile ou possible seulement dans des conditions restreintes de prise de vue.

<u>Les piquets de têtes</u> : ils sont visibles tant que la végétation n'est pas trop développée. A partir du moment où les ceps encadrant les piquets produisent des feuilles, il devient difficile de distinguer les piquets. Résolution nécessaire : 1cm/px

<u>Zone de croissance des adventices (figure 11)</u> : L'observation des adventices sur l'entre-rang peut se faire toute l'année à partir des orthophotoplans, mais à partir du développement de la végétation, les ombres portées gênent l'observation. Les adventices sous le rang sont visibles sur les orthophotoplans jusqu'au stade boutons floraux séparés, tant que les sarments sont peu développés. Ensuite, elles restent assez visibles sur les images à 45°. Résolution nécessaire : 1-3cm/px

Figure 11: adventices avant débourrement

Modèle numérique de terrain : Les algorithmes des principaux logiciels de photogrammétries permettent d'obtenir des modèles numériques de terrain, tant que le relief additionnel n'est pas trop perturbé par le volume foliaire. A partir du stade « boutons floraux séparés », il est toujours possible de générer des modèles numériques de terrain en prenant manuellement des points de références sur l'entre-rang. La méthode n'est pas automatique et plus fastidieuse.

Modèle numérique de surface : Réalisable toute l'année.

Eléments structuraux de la parcelle : Fossés, drains, talus, chemins, tournières et bosquets sont observables toute l'année sur les deux types d'images. Le relief est lui plus perceptible sur les images à 45°. Résolution nécessaire : 1-5cm/px

Compartiment Sol (figure 12) : bien que le sol sur l'entre-rang soit visible toute l'année, son observation est perturbée par les ombres portées. La largeur des rangs gène aussi la perception de zones. Ainsi, plus le rang sera haut, plus le risque de couverture du sol par des ombres portées sera important. Il est possible de déterminer si le sol est labouré ou non, de voir les marques de roues du tracteur, ainsi que des objets de la taille de graviers. Résolution nécessaire : 1cm/px

Figure 12: zones de sol calcaire et de sol argileux. On distingue également les piquets de tête et le travail du sol.

Volume de végétation et zones précoces : la végétation est visible à partir de l'apparition des premières feuilles. Jusqu'au stade « Boutons floraux séparés », les jeunes sarments colonisent surtout l'espace verticale, et distingue alors des zones ayant démarré plus de sarments que d'autres. Au-delà de ce stade, le retard s'estompe et la vigueur des plans détermine le volume foliaire. Ce volume tend à s'homogénéiser lors des opérations de rognage/écimage, qui ont eu lieu sur les parcelles d'essai à partir du début du mois de Juin. Résolution nécessaire : 1-5cm

Hauteur de végétation : il est possible à partir des orthophotoplans d'estimer la hauteur de végétation en fonction de la longueur de l'ombre portée projetée, mais cette observation est peu fiable, car l'ombre évolue entre le début et la fin de la session d'acquisition. Les photos à 45° proposent une meilleure estimation de la hauteur de végétation.

Ceps et pieds manquants (figure 13) : avant le démarrage végétatif, on distingue assez bien la présence ou l'absence d'un pied. Cependant, si les pieds morts n'ont pas été enlevés l'année précédente, il est impossible de faire la distinction entre un cep mort et un cep en dormance. Après débourrement, la présence ou l'absence de feuilles permet de déterminer si un cep est vivant ou mort. Passé le début de la floraison, les sarments occupent les espaces vides et il est impossible de déterminer avec certitude si un pied est manquant, absent ou manquant de vigueur. Les vues à 45° permettent à ce stade une meilleure visualisation mais rendent difficile une évaluation précise sur l'ensemble de la parcelle. Résolution nécessaire : 1-5cm/px

Figure 13: Zone comportant un fort taux de pieds manquants

Jaunissement du feuillage : sur le site d'étude, il n'a pas été observé de court-noué ou autres maladies amenant un jaunissement du feuillage. En revanche, la nature calcaire du sol ainsi qu'une fertilisation très limitée ont amené des signes de carences. Le changement de couleur du feuillage est bien visible jusqu'à la nouaison, puis les symptômes s'estompent, et ils ne sont donc plus observables sur les images. Résolution nécessaire : 1-5cm/px

Nombre de coursons et type de taille : si les orthophotoplans permettent de distinguer le nombre de bourgeons aillant débourrés, la résolution n'est pas suffisante pour le faire avec facilité et certitude. Les images à 45° permettent de distinguer la forme des ceps et des baguettes et permettent de déterminer assez facilement le mode de taille. Résolution nécessaire : 1cm/px

Pampres : les pampres ne sont pas visibles sur les orthophotoplans, mais se distinguent facilement sur les photos à 45°, surtout si les sarments n'ont pas encore atteint la hauteur de rognage. La période d'observation reportée sur la frise est limitée par les épamprages ayant eu lieu sur les parcelles.

Porosité du feuillage : elle s'évalue de manière indirecte par observation des ombres portées, à partir des orthophotoplans. Les photos à 45° ne donnent pas un aperçu très précis, les pores du feuillage étant comblés par le feuillage des rangs en arrière-plan.

Apex en croissance : La couleur verte claire de l'apex en croissance permet de le distinguer des sarments en arrêt végétatif. A partir de la fin du mois de Juin, il a été possible d'observer ces apexs notamment sur les photos à 45°. Sur les orthophotoplans, on remarque également des sarments plus clairs que d'autres, mais même avec une résolution centimétrique, il est difficile de dire s'il s'agit d'un apex, d'une jeune feuille, ou d'un sarment présentant une carence. Résolution nécessaire : 1cm/px

3.1.2. Correspondance des observations avec les mesures terrain

Toutes les observations faites par les experts ont pu être vérifiées sur le terrain. Les dates de réalisations d'opérations culturales comme le rognage/écimage correspondaient bien aux observations faites par les experts.

Les ombres portées ont été analysées par les experts comme représentant la porosité du feuillage. La corrélation entre la densité des ombres et la porosité du feuillage est assez bonne. En délimitant sur un orthophotoplan les zones d'ombrage faible, ces dernières ont systématiquement correspondu avec des zones de porosité élevée du feuillage (figure 14).

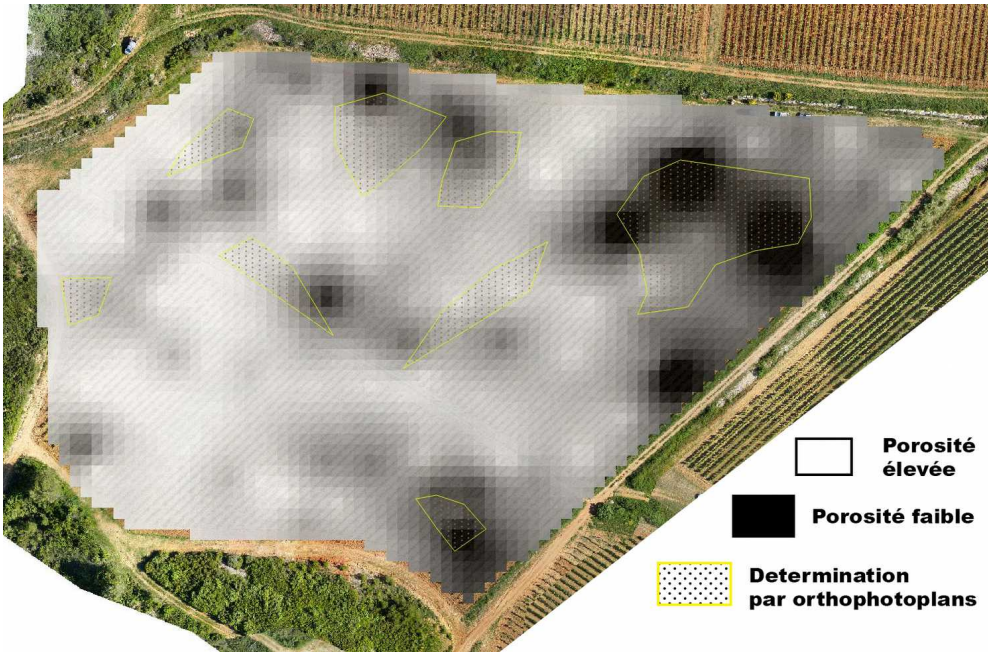


Figure 14: zones de forte et faible porosité déterminées par mesure terrain et par orthophotoplans

3.2.Utilité des observations

Les utilisations possibles des observations faites sur les orthophotoplans ont été résumées sur la figure 15. La classification a été faite indépendamment de la nature des experts ayant proposé l'utilisation.

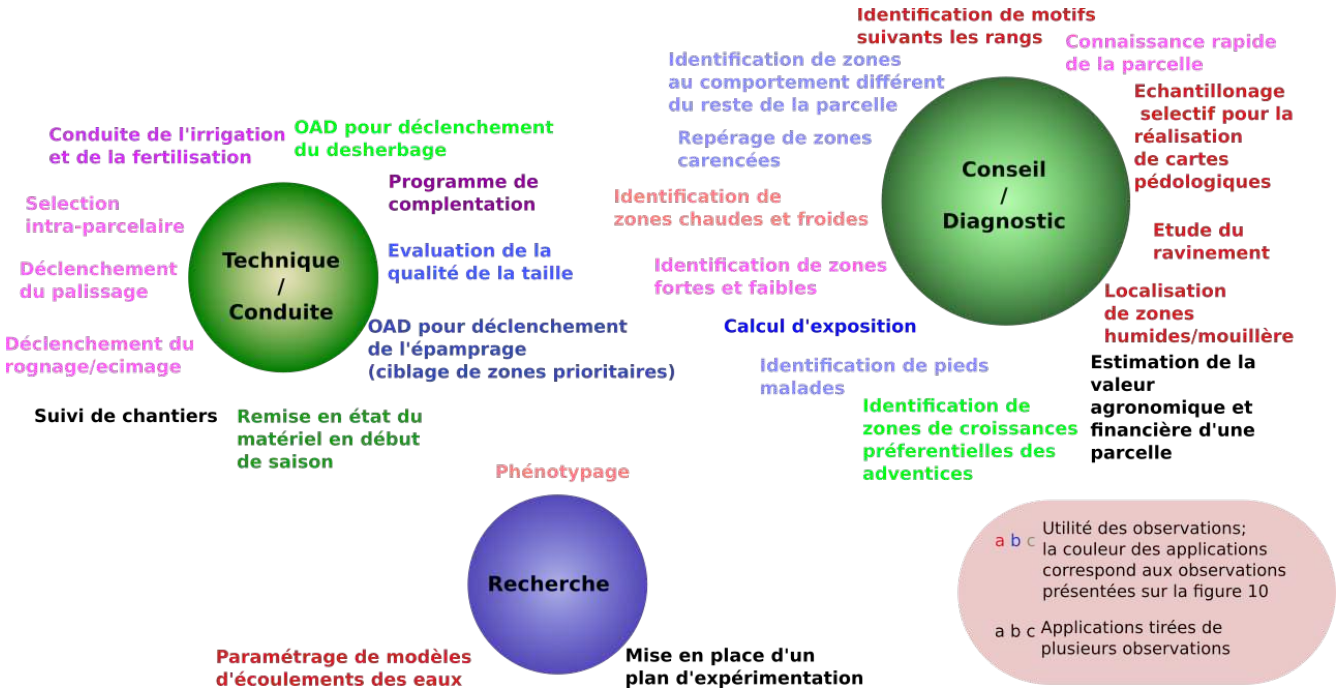


Figure 15: Utilité des observations selon les différents secteurs d'expertises

La vigueur est un des paramètres principaux mentionné par les experts. Ils se basent sur la largeur du rang sur les orthophotoplans (surtout avant rognage/écimage), ainsi que sur la densité et la hauteur des ombres portées lorsque ces dernières sont présentes.

La corrélation entre la porosité et les zones de « vigueurs » observables sur les orthophotoplans est bonne, de même que la corrélation entre le diamètre des ceps et les mesures de porosité. On notera que la corrélation est meilleure entre la porosité et les observations de vigueurs qu'entre ces observations et la circonférence des ceps.

Figure 16: Mise en évidence d'une mouillère après un épisode pluvieux

Conduite de l'irrigation et de la fertilisation : à partir de l'observation de l'appareil végétatif (volume, couleur), il est envisageable d'adapter la conduite de l'irrigation et de la fertilisation, et d'en vérifier l'effet sur une image postérieure.

OAD pour le déclenchement du desherbage : à partir de la surface couverte par les adventices, un seuil peut être déterminé au-delà duquel il devient nécessaire de faire un desherbage.

Programme de complantation : la plupart des appélations déterminent un pourcentage de pieds manquants au-delà duquel la parcelle est déclassée. Plus généralement, au dessus d'un certain seuil, la parcelle n'est plus économiquement viable. Localiser et connaître le nombre de pieds manquants permet de déterminer les parcelles prioritaires et de planifier le renouvellement.

Évaluation de la qualité de la taille : par comptage du nombre de sarments ayant démarré.

Suivi des chantiers : en comparant une image prise avant un chantier avec une image postérieure, il est possible d'en évaluer l'avancement et la qualité.

Déclenchement du rognage/ecimage : par évaluation du volume de végétation et de l'encombrement des rangs.

Déclenchement du palissage : le palissage est également une operation gourmande en temps, et il peut être nécessaire de définir des zones prioritaires.

Sélection intra-parcellaire : la sélection peut être basée sur la nature du sol ou encore la vigueur, deux informations identifiables par drone.

Identification de motifs suivants les rangs : certaines operations culturales ne sont réalisées qu'un rang sur deux et peuvent avoir un impact sur la vigne. On remarque par exemple sur la figure 16 qu'1 inter-rang sur 2 est plus blanc.

Connaissance rapide de la parcelle : les conseillers viticoles n'ont souvent pas la possibilité de passer autant de temps que nécessaire sur une parcelle. L'image aérienne haute définition peut permettre d'étudier une parcelle avant de s'y rendre et d'identifier les zones prioritaires à inspecter. Cela peut

aussi permettre de poser des questions plus pertinentes aux techniciens sur des détails qu'il n'aurait pas pensé à préciser.

Échantillonnage sélectif : Au lieu de réaliser un échantillonnage systématique ou aléatoire on peut envisager réaliser des echantillonages limités dans des zones définies à l'avance. L'échantillonnage serait alors valable pour la zone entière. Cette méthode serait à la fois moins gourmande en temps, et plus précise en ce qui concerne les résultats. Elle a été décrite et proposée à l'étude par Bruno Tisseyre en 2012 lors de son habilitation à diriger des recherches.

Étude de ravinement : en comparant différents modèles numériques de surfaces à un modèle numérique de terrain de référence, il est en théorie possible de suivre l'évolution du ravinement. Les données acquises lors de l'étude ont montrées que les modèles numériques de surfaces étaient suffisamment précis pour prétendre à ce type d'application.

Localisation de zones humides : une des cause de faible vigueur ou de dépérissement de la vigne peut être l'apparition de zones restant humides longtemps et créant de l'étouffement racinaire. Le repérage de zones de mouillère est possible par comparaison de la couleur du sol sur des images prises avant et après un épisode pluvieux. Une fois humide le sol est plus foncé. Si l'image utilisée est prise quelques jours après l'épisode pluvieux, certaines zones sont déjà sèches et ont la même couleur que sur les images précédent l'épisode, alors que les zones humides sont plus foncées. Ce phénomène a pu être vérifié sur le terrain (figure 16).

Estimation de la valeur agronomique et financière d'une parcelle : lors d'un achat de parcelle, son homogénéité et la santé des vignes qui peuvent s'y trouver sont des critères important pour en déterminer la valeur. Le drone permet d'observer la vigueur et la nature du sol superficiel et est donc un outils de choix pour estimer l'homogénéité d'une parcelle rapidement.

Identification de zones de croissances préférentielles adventices : les adventices sont le témoins de conditions de croissances très favorables : présence d'eau, d'engrais, de température plus élevée… Déterminer des zones de croissances préférentielles peut aider au diagnostique d'une parcelle.

Identification de pieds malades : certaines maladies connues de la vigne entraînent un changement de couleur du feuillage. Bien que la parcelle d'étude présenta un très bon état sanitaire, quelques pieds présentant un feuillage jaune ont pu être identifiés. Ce type d'image peut ainsi permettre de suivre l'apparition et le développement de certaines maladies comme le court-noué ou la flavescence dorée.

Calcul d'exposition : la quantité de lumière reçue est un paramètre primordiale pour le diagnostique d'une parcelle ou l'établissement d'un vignoble. A partir des modèle numériques de surfaces obtenus, il est possible avec un logiciel adapté de simuler et de calculer ces données d'ensoleillement.

Identification de zones fortes et faibles : le volume végétatif rend compte de la vigueur de la vigne.

Identification de zones chaudes et froides : les zones au démarrage plus précoce sont potentiellement les zones ayant reçues le plus de degré-jour durant la période hivernale, et seront à priori situées sur les zones les plus chaudes de la parcelle.

Phénotypage : il peut être basé sur las caractéristiques végétatives de la vigne.

Mise en place d'un plan d'expérimentation : aujourd'hui, il est nécessaire de déterminer un plan d'expérimentation aléatoire avec des surfaces importantes afin de pallier les hétérogénéité d'une parcelle. S'il est possible de caractériser avec précision les hétérogénéité de la parcelle, il est en théorie possible de réduire le nombre de placettes nécessaires.

Paramétrage de modèles d'écoulement des eaux : l'étude du ravinement et de l'écoulement des eaux se base sur des modèles dont l'un des principaux paramètre est la texture et la couverture du sol. Les images sont suffisamment précise pour déterminer de manière exhaustive ces deux paramètres, permettant ainsi de limiter les approximations.

Il semblerait ainsi qu'en l'état, il y ait plus d'application concernant le diagnostic parcellaire et le conseil, avant même la conduite du vignoble. Les applications en recherche sont souvent limitées par la nature du capteur, les recherches actuelles portant le plus souvent sur des capteurs proche-infrarouge ou thermiques.

Lors des discussions, les modalités de mise en œuvre du drone ont également été questionnées.

Pour les experts techniques, les images doivent être obtenues à bas coût, de manière répétable, pour pouvoir suivre l'évolution du vignoble à la suite d'une opération culturale comme une fertilisation par zone. Il s'agit pour la plupart de ces applications d'optimiser des pratiques déjà existantes, et non de solutionner des impasses techniques. Par conséquent, les viticulteurs sont peu enclins à investir dans cette technologie. En revanche, il a été souligné l'importance des images en termes de support de communication dans le cas où différents acteurs sont appelés à s'occuper d'un vignoble. Il devient alors plus facile de se rendre compte de l'ampleur d'un phénomène et de définir des zones de priorités à communiquer au personnel exécutant.

Pour les experts diagnostic/conseil, l'intérêt a été plus vif. Il s'agit pour eux d'obtenir le plus d'informations possible sur des parcelles en un minimum de temps, afin d'optimiser les déplacements. Il n'est ainsi pas envisageable de parcourir tous les rangs d'un vignoble et d'en avoir la même connaissance que le technicien s'en occupant lors d'une visite. Les images aériennes à haute résolution prises par drones permettent de gagner beaucoup de temps pour obtenir les paramètres principaux d'un vignoble. Lors d'un diagnostic, l'information spatiale est souvent cruciale et les drones permettent d'en obtenir de manière réactive et à bas coût. Les images peuvent, de même que précédemment, servir de support de discussion entre les conseillers et les viticulteurs. Bien que disposés à mettre plus de moyens pour obtenir les images, il a été souligné la nécessité d'obtenir très rapidement ces images. La possibilité d'intégrer l'usage du drone au sein de la palette d'outils du conseiller a été questionnée.

Le secteur de la recherche est celui disposé à mettre le plus de moyens dans la technologie, mais aussi le plus exigeant en matière de résultats. Si la plateforme présente un intérêt certain en matière de capacité à emporter des capteurs, l'utilité des capteurs RGB du commerce sans analyse automatisée d'image est limitée dans ce domaine.

On notera enfin qu'un orthophotoplan est un moyen très rapide d'évaluer l'hétérogénéité et la santé générale d'une parcelle et ainsi d'en estimer la valeur, aussi bien agronomique que commerciale.

3.3. Résultats collatéraux : modèles 3D, fiches techniques, cahier des charges etc

3.3.1. Obtention de modèles numériques de surfaces

La technique d'obtention d'orthophotoplans par photogrammétrie permet d'obtenir à partir des mêmes images initiales des modèles numériques de surfaces. Certaines sociétés ont ainsi accepté de nous communiquer ces modèles. Un projet réalisé par les étudiants du module optionnel « Agrotic » a permis de déterminer que la précision de ces modèles était très proche de ceux obtenues par des méthodes de références comme celles utilisant un tachéomètre. En soustrayant le modèle numérique de surface obtenu par drone à celui obtenu par le tachéomètre, il a été possible de visualiser les traces de ravinement de manière très précise.

3.3.2. Paramètres de prise de vue et d'assemblage

3.3.2.1. Paramètres de prise de vue

Par comparaison des différentes méthodes de prises de vues des sociétés participantes au projet, des estimations des paramètres optimaux de prise de vue ont été recueillies. Les résultats ont été diffusés sur le blog du projet.

Les observations des carences et de zones de nature de sol superficiel étant basées sur la couleur, il est essentiel d'éviter la présence d'artefacts liés à la prise de vue. L'observation de la texture du sol, ou du nombre de coursons reposent eux sur la résolution très élevée des images. La netteté est donc très importante.

La figure 17 présente un extrait d'orthophotoplan avec des paramètres non-maitrisés entraînant des erreurs d'interprétations et une perte de qualité.

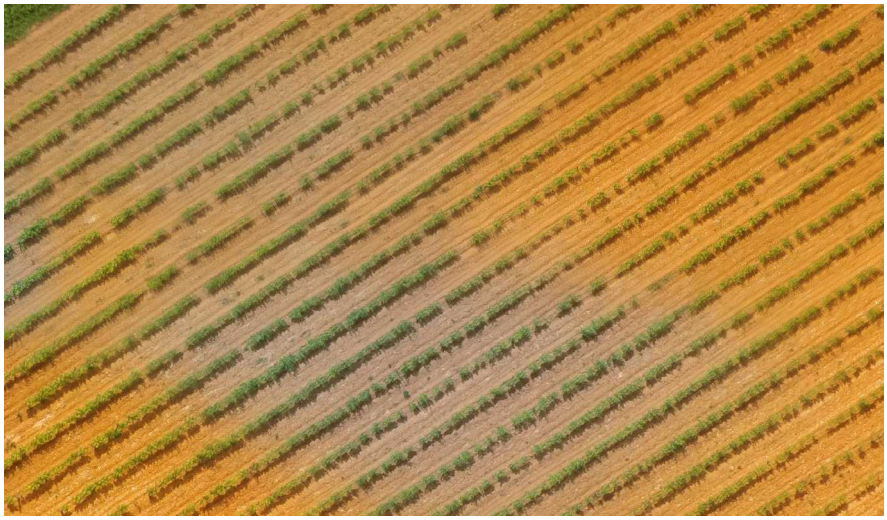


Figure 17: Température de couleur variable lors de la prise de vue: bien que le sol soit de nature homogène sur cette zone, il apparaît de couleur différente sur l'orthophotoplan. Un temps de pose trop long a entraîné des zones floues sur l'image finale.

D’après les différents essais effectués, il semble que cela soit possible en utilisant une température de couleur fixe d'éviter les artefacts. Une vitesse d’obturation et une ouverture fixe permettent d'obtenir une image finale homogène. La vitesse angulaire du drone étant élevée, il est nécessaire d'utiliser un temps de pose rapide. Les essais ont montré qu'un temps d'exposition supérieur à 1/1600ème de secondes permet d'obtenir des résultats satisfaisants.

Ces réglages ne sont valables que si la durée de la séance est limitée dans le temps, les conditions lumineuses évoluant au cours de la journée. D’autres méthodes existent, mais nécessitent un matériel plus lourd et complexe à utiliser, mais permettant par exemple de comparer des prises de vues faites à différentes dates.

3.3.2.2. Paramètres d’assemblage

La version d’essai du logiciel Photoscan permet d’essayer différent réglages d’assemblage d’un orthophotoplan. A partir d’une série d’images obtenues lors d’un des vols, des tests ont été réalisés avec différents paramètres, notamment en ce qui concerne la correction de l’orthophotoplan par rapport à la 3D. Il semblerait ainsi que les meilleurs résultats soient obtenues en utilisant un modèle numérique de surface le plus proche possible d’un modèle numérique de terrain. Les résultats ont été diffusés sur le blog du projet.

Résumé

Les images prises par drone permettent d'observer une bonne partie des caractéristiques d'un vignoble. L'utilité de ces observations porte surtout sur la rapidité avec laquelle il est possible de les obtenir, ainsi que leur géolocalisation. Le projet a aussi permis de déterminer un cahier des charges pour les paramètres de prise de vue permettant l'obtention d'orthophotoplans à très haute résolution en viticulture. Il a également permis d'obtenir une base de données sur différentes caractéristiques d'un vignoble et leur évolution au cours du cycle végétatif.

4. Discussion

4.1. Discussion des résultats :

4.1.1. Dates optimales de prises de vues

Les motifs spatiaux d'expression végétative tendent à être stables dans le temps (Kazmierski *et al.*, 2010). On remarque sur la frise que deux dates permettraient alors de réaliser des images sur lesquelles un maximum d’observations sera possible (figure 10).

- Stade « boutons floraux séparés » : A ce stade, l’appareil végétatif de la vigne est peu développé et permet de réaliser de nombreuses observations sur le sol et l’environnement.
- Stade « nouaison » : il correspond à la phase de croissance végétatif de la vigne. C’est le stade optimal pour les observations de toutes les caractéristiques de l’appareil végétatif.

Cependant, cette variabilité spatiale dans le temps n'a été étudiée que pour le vignoble méditerranéen, et ne permet pas de conclure une généralité sur l'ensemble des vignobles, les parcelles d'études étant également situées en zone méditerranéenne.

4.1.2. Spatialisation et vue d'ensemble

Lors des discussions avec les techniciens, il a été remarqué que tout ce qui était visible par drone était visible à pied et à l'œil nu. En revanche, l'évaluation des surfaces et de l'ampleur de certains phénomènes est généralement assez fausse en restant au niveau du sol. Il y a également un gain de temps important dans le zonage d'une parcelle. Ainsi, la réalisation d'une carte de la porosité du feuillage par méthode traditionnelle a pris une journée pour réaliser 230 points de mesures sur la parcelle de la Conque (voir annexe 2). Le traitement des images et la réalisation de la carte a également occupé une journée. En utilisant un orthophotoplan pris au stade nouaison et présentant des ombres portées, il a été possible en une heure de définir des zones de vigueur correspondant en grande partie aux zones de porosité mesurées sur le terrain (figure 14).

La spatialisation des paramètres de la parcelle est la principale valeur ajoutée du drone en matière de viticulture.

4.1.3. Complémentarité des angles de prise de vue

Les deux types d'images (orthophotoplans et images à 45°) se sont révélés complémentaires.

Les images à 45° permettent d'obtenir des informations sur les côtés des rangs, comme la présence de pampres, alors que les orthophotoplans permettent d'appréhender plus facilement les effets de zone.

Cependant, les images à 45° ne permettent pas de rendre compte de l'ensemble de la parcelle. Passé le premier plan la résolution n'est pas suffisante pour en tirer des informations. Ces images sont cependant très rapides et faciles à réaliser, et sont disponibles immédiatement après prise de vue.

En revanche, les orthophotoplans couvrent l'ensemble de la parcelle avec la même résolution, mais requièrent l'utilisation d'un traitement informatique lourd. Dans l'état actuel de la technologie, il n'est pas possible d'obtenir un orthophotoplan haute résolution sur le terrain juste après la prise de vue, l'assemblage prenant plusieurs heures par hectares sur un ordinateur portable. Il est à noter cependant que le développement de service de cloud-computing comme celui proposé par Drone Deploy permet de réaliser des orthophotoplans rapidement en envoyant directement les photos sur un serveur en passant par internet. Sous réserve de disposer d'une connexion haut débit sur site (3G ou 4G par exemple), ce scénario deviendrait envisageable.

4.1.4. Utilité des images obtenues par drone :

4.1.4.1. Observabilité et exploitabilité

Il est aisé de voir l'ensemble des pieds manquants sur un orthophotoplan au stade boutons floraux séparés. Cependant, repérer chacun d'entre eux sur l'image relève du travail de fourmis. S'il est possible de repérer des zones de pieds manquants au premier regard, il est plus difficile d'en connaitre le nombre et de repérer des motifs précis. Un relevé au d-GPS des pieds manquants a été effectué sur les 3 parcelles d'études. Elles ont révélé des motifs probablement liés à l'utilisation de porte-greffe différents sur la parcelle et à la nature du sol, alors que l'observation seule de l'orthophotoplan ne semblait impliquer que la nature du sol.

Les orthophotoplans présentent des observations exhaustives sur certains paramètres (par exemple la largeur du feuillage témoignant de la vigueur), mais s'il est facile de déterminer à peu-près les grandes tendances, il est plus difficile de déterminer de manière exhaustive ces paramètres pour chacun des pieds manuellement.

De plus, en terme de conduite de vignoble, il n'existe encore aucun protocole permettant d'utiliser ces images. Il revient à l'exploitant de déterminer les mesures complémentaires à effectuer pour utiliser ces images comme outils d'aide à la décision.

4.1.4.2. Potentialité des modèles 3D

Comme expliqué précédemment, il est possible à partir de la différence entre un modèle numérique de terrain et un modèle numérique de surface obtenus par drone, de faire apparaître des traces de ravinement. La précision quasi centimétrique de ces modèles pourrait ainsi permettre de suivre l'évolution du ravinement. Les modèles obtenus par avion ne permettent pas d'obtenir une résolution inférieure à la dizaine de centimètre, et ce pour un coût élevé. En embarquant un capteur au plus proche des vignes, les drones permettent de dépasser ces limitations et rendent possible ces observations (figure 18).

Figure 18: Mise en évidence de zones de ravinements par soustraction d'un modèle numérique de surface à un modèle numérique de terrain

A partir de ces modèles, et en utilisant les observations des orthophotoplans, il est alors envisageable de paramétrer de manière très fine des modèles d'écoulement des eaux, qui jusqu'alors restaient peu précis en raison du temps nécessaire pour obtenir autant d'informations uniquement en effectuant des relevés de terrains. Il devient également abordable de faire des calculs d'exposition précis.

Il est également en théorie possible, à partir de ces modèles, de calculer le volume de végétation. Un essai réalisé via le service d'assemblage Drone Deploy a permis d'obtenir une représentation en 3 dimension de certains rangs. Bien que la finesse des détails soit perfectible, ces derniers avaient une largeur et une hauteur correspondant aux mesures sur le terrain. Calculer des surfaces foliaires

exposées sur l'ensemble d'une parcelle, indépendamment du mode de taille et en tenant compte du relief serait alors en théorie possible.

4.2.Biais du recueil d'expertise

4.2.1. Difficulté de présentation des images

Lors des séances d'expertises, tous les experts n'étaient pas habitués à manipuler un logiciel de système d'information géographique tel que QGis. Dans ce cas-là, l'animateur effectuait les opérations de zoom, de déplacement et changement d'images, à la demande des participants. Il y a donc une interaction entre l'animateur et les participants, et entre les participants, tous devant se focaliser sur une zone choisi par un autre à un moment donné. Il peut ainsi exister un biais lors de l'analyse, tout le monde se focalisant sur un point particulier et délaissant d'autre zones, qui auraient peut-être été analysées si chacun avait effectué les observations de son côté.

De même, le temps de chargement de l'image entre chaque zoom, dezoom ou déplacement (de l'ordre de 5 à 10 secondes) rend pénible ces opérations. Il est donc possible que ces temps de chargement aient représenté un frein à l'observation détaillée des images par les experts.

4.2.2. Effet individu

Le nombre d'experts consultés a été relativement limité. Il est donc possible que d'autres observations soient possibles, et que d'autres utilisations puissent être déterminées. Pour obtenir des résultats plus exhaustifs, on peut envisager de passer des méthodes de focus-group, destinées à défricher un sujet, à des méthodes d'enquêtes plus classiques à large échelle, par exemple en s'appuyant sur les observations proposées par les experts et en demandant d'imaginer les utilisations possibles.

4.2.3. Peu de maîtrise des paramètres de prise de vue

La résolution centimétrique est un avantage majeur en terme de visualisation, mais nécessite une puissance de calcul informatique importante pour la réalisation des orthophotoplans. Afin de simuler une vue aérienne d'un seul tenant, les logiciels créent un modèle numérique de surface sur lequel ils plaquent les images, puis simulent une vue aérienne corrigeant ainsi les déformations liées aux changements de points de vues, rétablissant ainsi les angles, comme si tous les points de l'image avait été photographié à la vertical de celui-ci. Si cette opération ne pose pas de problèmes sur des formes simples, elle est plus compliquées sur des rangs de vignes. Avec une résolution centimétrique, chaque feuille est potentiellement modélisable en 3 dimensions, représentant autant de calculs. Ne parvenant pas à effectuer les calculs de manière aussi précis que l'image 2D qu'il faut orthoréctifier, les logiciels utilisés par les sociétés de drones ont tendance à flouter et étirer les zones représentant les rangs de vignes (figure 19). Il devient alors difficile d'observer certains phénomènes comme la couleur du feuillage, et la largeur des rangs peut se retrouver faussée.

	Extrait d'une photo brute
	Extrait de l'orthophotoplan créé à partir de la même série de photo que ci-dessus

Figure 19: Dégradation de la qualité de représentation de la vigne lors de l'assemblage de l'orthophotoplan. Alors que les détails du sol sont sensiblement similaires, le feuillage apparaît flou et déformé. La couleur se retrouve moyennée avec celle du feuillage des pieds voisins.

Il est possible que dans les années à venir, des algorithmes spécialement adaptés aux images à haute résolution voient le jour. Celui utilisé par Drone Deploy en est un bon exemple. Encore en version de développement, il a cependant permis d'obtenir un orthophotoplan de haute qualité, avec une résolution centimétrique, et exempt de déformations sur les rangs.

4.3. Paramètres de prise de vue

4.3.1. Influence de l'heure de prise de vue

L'heure de prise de vue déterminera la présence ou l'absence, ainsi que la taille des ombres portées des rangs sur l'inter-rang. Si ces ombres représentent à première vue une gêne pour l'observation du sol, et rendent plus difficile la perception de la largeur des rangs, elles permettent plus facilement d'en évaluer la hauteur et la porosité. On peut ainsi plus facilement déterminer des zones de vigueur (figure 20).

	Extrait d'orthomosaïque du 23 juin. Heure de prise de vue : 10h Les ombres portées mettent en évidence la porosité et la hauteur du feuillage.
	Extrait d'orthomosaïque du 30 juin. Heure de prise de vue : 13h Les ombres portées sont peu présente, et il est possible de distinguer des adventices et la couleur du sol.

Figure 20: Comparaison de deux images prises à des heures différentes

Sur l'image du 30 juin, il est facile de déterminer des zones de nature de sol superficiel, mais difficile de voir des zones de vigueur. En revanche, sur l'image du 23 juin, on voir facilement le contraste entre zone faible et zone forte, mais il est plus difficile de voir les différences de natures du sol et la présence d'adventices.

Il faut cependant noter que la longueur des ombres évolue rapidement, et que le relief peut également modifier leurs longueurs relatives. Afin d'éviter les difficultés d'interprétations, il est ainsi préférable de limiter la durée d'un vol sur une parcelle à moins de 10 minutes. Il est ainsi préférable de réaliser plusieurs blocs de prise de vues permettant d'obtenir des ensembles homogènes qu'une unique séquence sur une grande surface avec des paramètres évoluant au cours du vol.

4.3.2. Maîtrise des paramètres de prise de vue

En raison du mode de fonctionnement du projet basé sur le volontariat, il n'a pas toujours été possible d'utiliser les paramètres optimaux de prise de vue. Certains orthophotoplans présentent donc des perturbations qui ont limité l'interprétation par les experts. Les résultats très différents d'une image à l'autre ont rendu compliqué l'analyse d'une quelconque évolution d'une image à l'autre.

Pour une utilisation en viticulture d'images à très haute résolution, il semble donc primordiale de maîtriser la prise de vue.

4.4. Utilité des images : l'analyse automatique comme solution ?

L'étude n'a été réalisée que sur une surface relativement petite d'une dizaine d'hectares. A cette échelle, il est possible d'identifier différentes zones et phénomènes. Nous avons déjà vu par exemple que bien que possible, il était pénible de compter et de localiser exactement l'ensemble des pieds manquants. Lors des discussions avec les experts, il a été soulevé qu'une aide à l'analyse, sous la forme d'analyse d'image automatique par ordinateur, faciliterait l'utilisation des images. Cela permettrait par exemple de mettre en évidence des ceps malades isolés, par exemple touchés par la flavescence dorée, sans avoir à regarder chaque cep de l'image à fort grossissement, ou d'élaborer un programme de complantation en localisant et comptabilisant l'ensemble des pieds manquants d'une parcelle en un temps record par rapport aux méthodes actuelles.

Résumé

Il est possible d'optimiser l'utilisation des drones en positionnant les vols sur des dates clefs, notamment à la nouaison. L'utilité des images à très haute résolution est cependant fortement conditionnée par la maitrise des paramètres de prise de vue. De plus, si l'observation générale ne nécessite pas de connaissances particulières, leur utilisation pratique reste soumise à minima à une bonne maitrise des outils de SIG. A l'avenir, la création d'outils d'analyse automatique d'images permettrait de rendre plus attractives ce type d'images.

En marge des images en 2D, les données 3D récoltées ont montré un potentiel très élevé et nécessiteraient une étude approfondie.

5. Conclusion

Le drone présente un intérêt certain pour l'observation du vignoble. Il est adapté aux petites parcelles, et les deux types de drones (ailes et multicoptères) peuvent décoller et atterrir sur des surfaces très réduites comme les tournières, même si le sol n'est pas préparé. La plateforme est suffisamment stable pour obtenir des images nettes, avec un angle compatible avec la réalisation d'orthophotoplans, et ce même par vent fort (40km/h lors d'un des vol). La possibilité d'adapter la hauteur de vol permet d'utiliser pratiquement tous les capteurs du commerce, de la camera sportive type GoPro aux appareils hybrides type Sony alpha 6000.

La résolution centimétrique ne semble présenter un intérêt que pour un nombre limité d'applications, essentiellement identifier la nature de la couverture du sol (sol labouré, sec, granuleux etc). En l'absence d'analyse automatique par ordinateur pouvant mettre en évidence les détails apportés par la résolution centimétrique, une résolution de l'ordre de 2,5 à 5 centimètres semble suffisante. Cela faciliterait la manipulation des images et leur visualisation.

Concernant les observations, presque tous les paramètres habituellement utilisés pour la conduite du vignoble sont visualisables. Seule l'identification de problèmes sanitaires comme le mildiou n'est pas possible en utilisant cette résolution et un capteur lumière visible. Cependant, certains détails ne sont pas exploitables sans l'aide d'une analyse d'image par ordinateur.

Il est à noter qu'en l'absence de modèle économique, il est difficile de conclure sur les utilisations possibles de ce type d'images. A 10 euros l'ha, il est possible de faire du suivi au cours de l'année d'une pratique cultural comme la fertilisation par zone. A 100 euros par ha, le coût devient prohibitif, de la même manière que ce qui est proposé par avion ou satellite.

Les observations faites à partir des images hautes résolutions, que ce soient des orthophotoplans ou des images à 45°, apportent un complément d'information qu'il n'est pas possible d'obtenir en restant au sol (par exemple pour la définition de zones), et un gain de temps important pour l'évaluation des paramètres principaux d'une parcelle. En l'absence de traitements informatiques automatisés et de méthode d'emploi, ces images restent cependant difficiles à utiliser pour la conduite quotidienne de la vigne. En revanche, elles peuvent s'avérer précieuse pour effectuer des diagnostiques parcellaires. Concernant le milieu de la recherche, l'étude a surtout permis de montrer les capacités du drone à emporter des capteurs et à les mettre en œuvre, mais en l'absence de calibrage des couleurs, les orthophotoplans RGB n'ont qu'une utilité indicative et ne remplacent pas les mesures sur le terrain.

Il faut également souligner la facilité d'emploi de la plateforme, et l'évolution de la technologie aidant, il est envisageable de voir arriver dans quelques années des drones autonomes, qui quotidiennement pourraient survoler une parcelle, effectuer les mesures nécessaires à l'aide de différents capteurs, et d'envoyer le résultat au chef de culture pour fournir une aide à la décision, par exemple en matière d'irrigation. Les technologies pour ce type d'application sont déjà au point, et il ne manque que la méthode pour voir arriver cet outil dans les parcelles.

Bibliographie

Légifrance*, Arrêté du 11 avril 2012 relatif à la conception des aéronefs civils qui circulent sans aucune personne à bord, aux conditions de leur emploi et sur les capacités requises des personnes qui les utilisent*, JORF n°0109 du 10 mai 2012 page 8643 texte n° 8

C.J. Tucker, 1979, *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation,* Remote Sensing of the Environment, 8, 127–150.

JP. Butault, N. Delame, F. Jacquet, G. Zardet, 2011, *L'utilisation des pesticides en France : état des lieux et perspectives de réduction*, NESE n° 35, octobre 2011, pp. 7-26

Proffitt, T., R. Bramley, D. Lamb, and E. Winter, 2006, *Viticulture: A New Era in Vineyard Management and Wine Production,* WineTitles 2006

Observatoire des exploitations viticoles – Viniflhor, 2006, *Résultats 2006*, http://www.franceagrimer.fr

A. Matese, P. Toscano, S. Filippo Di Gennaro, L. Genesio, F. Primo Vaccari, J. Primicerio, C. Belli, A. Zaldei, R. Bianconi, and B. Gioli, 2015, *Intercomparison of UAV, Aircraft and Satellite Remote Sensing Platforms for Precision Viticulture,* Remote Sens. 2015, 7, 2971-2990

S. Debuisson, C. Germain, O. Garcia, L. Panigai and D. Moncomble, 2010, *Using Multiplex and Greenseeker to manage spatial variation of vine vigor in Champagne*, ICPA 2010, Denver Co USA

Thibaut Scholasch, 2010, *Suivre la transpiration de la vigne en temps réel : Une nouvelle technique pour piloter l'irrigation au vignoble,* http://www.fruitionsciences.com

E. Vaudour, *Les Terroirs viticoles.Définitions, caractérisation et protection,* 2003, Dunod, Paris

G. Barbeau, A. Blin, 2006, *Influence du porte-greffe sur le comportement agronomique de la vigne (var. Cabernet franc) en moyenne vallée de la Loire*, 15p.

D. Roche, 2009, *Réaliser une étude de marché avec succès*, Groupe Eyrolles 2009

N. Slocum, 2006, *Méthodes participatives. Un guide pour l'utilisateur : Focus Groupe,* Fondation Roi Baudoin, mars 2006

B. Tisseyre, 2012, *Peut-on appliquer le concept d'agriculture de précision à la viticulture ? ,* Mémoire d'habilitation à diriger des Recherches, www.agrotic.org

Annexes

Annexe 1: Exemple de document support pour le recueil d'expertise

Recueil d'expertise, document d'accompagnement

Pour chaque image qui vous seront présentées, décrivez les informations utiles que vous pouvez observer. Si rien ne vous semble pertinent, vous pouvez ne rien noter.

Vous noterez également l'intérêt que peuvent présenter ces informations pour la conduite de vos parcelles.

Orthophoto RGB Airinov 08/04/15 :

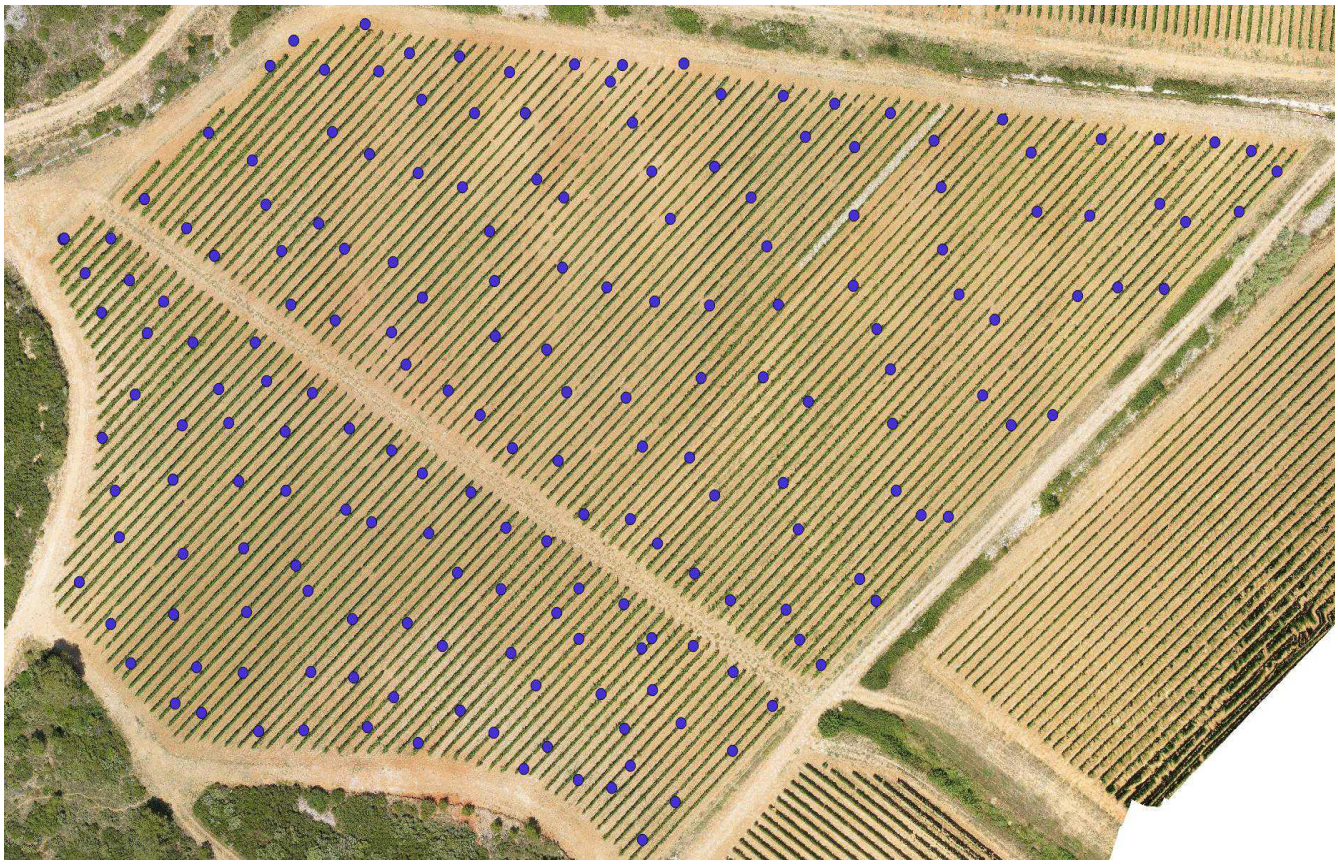
Qu'observez-vous sur le sol (ex : couleur, mauvaises herbes, reliefs, pierres…) :
……
……..
……

Qu'observez-vous sur la plante (ex : chlorose, vigueur, volume…) :
……..
……..
……
……

Qu'observez-vous sur l'ensemble de la parcelle (manquants, zones faibles/fortes…) :
……..
……..
……
……

En quoi les observations effectuées pourraient modifier vos opérations/décisions sur le vignoble :
……..
……..
……
……
……

Observations sur l'ensemble de la série :

…… …… …… ……
……..
…… …… ……
……..

Annexe 2: Répartition des points de mesure de porosité du feuillage. Chaque point représente une photo qui donnera une mesure de porosité.