



Colloque régional
Œnologie & Viticulture

CENTRE VAL DE LOIRE

Les innovations
technologiques
au service du vignoble



VENDREDI 23 JUILLET 2021

Salle des fêtes, 13 rue de Contres • OISLY



AGRICULTURES
& TERRITOIRES
CHAMBRE D'AGRICULTURE
LOIR-ET-CHER

Détection des maladies de la vigne par analyse d'images aériennes de drone

INTRODUCTION

Dans le domaine de l'agriculture, les principales causes de perte de qualité et de rendement des récoltes sont les virus, les bactéries, les champignons et les ravageurs [Oerke, 2006]. Contre ces agents pathogènes nocifs, les agriculteurs traitent généralement toute la culture pour prévenir l'apparition des différentes maladies. Cependant, l'utilisation de grandes quantités de produits phytosanitaires a un impact négatif sur la santé humaine et les écosystèmes. Ceci constitue un problème important à résoudre, problème pour lequel l'agriculture de précision propose des alternatives intéressantes.

Au cours des dernières décennies, l'agriculture de précision a introduit de nombreuses nouvelles méthodes pour améliorer et optimiser les rendements des cultures : elle constitue un domaine de recherche en constante évolution [Patricio et Rieder, 2018, Mogili et Deepak, 2018]. De nouvelles technologies et algorithmes de détection ont permis le développement de plusieurs applications telles que la détection du stress hydrique [Bellvert et al., 2014], l'évaluation de la vigueur [Mathews, 2014], l'estimation de l'évaporation-transpiration et du coefficient de récolte [Vanino et al., 2015], la localisation des adventices [Bah et al., 2018, Bah et al., 2020], la détection des maladies [Tichkule et Gawali, 2017, Pinto et al., 2017].

Ainsi la détection des maladies de la vigne est un sujet important en agriculture de précision [MacDonald et al., 2016, Di Gennaro et al., 2016, Albetis et al., 2017, Al-Saddik et al., 2017a, Junges et al., 2018, Al-Saddik et al., 2018, Kerkech et al., 2018, Al-saddik, 2018, Albetis et al., 2019, Rancon et al., 2019, Kerkech et al., 2019, Kerkech et al., 2020]. L'objectif est de détecter et traiter la zone infectée au bon endroit, au bon moment et avec la bonne dose de produits phytosanitaires. À un stade précoce, il est plus facile de contrôler les maladies avec de petites quantités de produits de traitement ou des techniques parallèles. En effet, l'intervention avant la propagation de l'infection offre de nombreux avantages tels que la préservation de la vigne, de la production de raisin, de l'environnement et la réduction des pertes économiques.

Pour atteindre cet objectif, un suivi fréquent de la parcelle est nécessaire. Les méthodes de télédétection basées sur l'imagerie sont parmi les plus largement utilisées à cette fin et sont devenues essentielles dans l'agriculture de précision. Les images de télédétection peuvent être obtenues à l'échelle de la feuille ou de la parcelle. Depuis ces dernières années, les drones ont gagné en popularité en raison de leurs faibles coûts, des images haute résolution fournies par les caméras qui les équipent, de leur flexibilité, de leur personnalisation et de leur accès facile aux données [Mukherjee et al., 2019]. De plus, contrairement à l'imagerie par satellite, les drones n'ont pas le problème des nuages qui masquent les parcelles viticoles, ce qui a contribué à résoudre de nombreux problèmes de télédétection.

Cet article présente la thématique de **recherche de la détection des maladies de la vigne par imagerie aérienne multispectrale** ; il est divisé en cinq chapitres.

PROJET VINODRONE

VINODRONE (2017-2021) est un projet pluridisciplinaire, financé par la région Centre-Val de Loire. Il regroupe plusieurs acteurs comme le montre la figure 1. Ce projet consiste en la conception d'un outil de diagnostic à travers plusieurs paramètres afin d'optimiser les intrants et de contribuer au développement de nouveaux moyens de lutte contre les maladies.

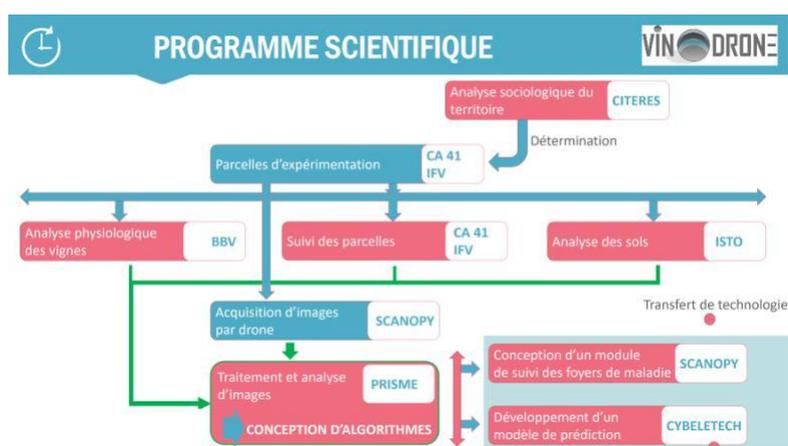


Figure 1 Rôles des différents acteurs du projet VINODRONE

Dans une optique d'agriculture de précision, VINODRONE repose principalement sur le développement de **solutions technologiques en traitement d'images et analyse de données**. Des outils technologiques modernes sont utilisés, associés aux techniques d'imagerie aérienne à haute résolution spatiale : les drones dont les avantages mis en avant sont leur faible coût, leur flexibilité et leur rapidité, leur capacité à embarquer des caméras permettant de fournir des données multispectrales voire hyperspectrales. Cependant, l'utilisation de ces engins présente encore des limitations liées au potentiel du traitement des images et des données de terrain associées, étant donné que la recherche scientifique fondamentale autour de ce domaine est encore exploratoire.

Dans ce contexte, VINODRONE s'articule autour de trois thèmes principaux :

- Le suivi des foyers maladies, ceci dans le but d'optimiser les traitements et, éventuellement, de tester des produits phytosanitaires respectueux de l'environnement grâce à l'élaboration d'une cartographie des zones pertinentes présentant des signes particuliers liés à des maladies ou anomalies de développement.
- La mise en place des listes de variables de type pédoclimatique et physiologique sur les parcelles étudiées grâce aux analyses de terrain. Des biomarqueurs d'état de stress physiologique de la vigne sont effectués grâce à des analyses métabolomiques pour l'étude d'état de stress physiologique de la plante. La spatialisation des variables de terrain sera établie par l'analyse de données de type géostatistique.
- La corrélation de données multi-sources sera étudiée grâce à l'intégration de données de capteurs au sol et météorologiques, une analyse biologique, une analyse des terroirs, avec l'information d'imagerie aérienne pour étudier la possibilité d'établir un modèle de traitement optimal des maladies.

Ce projet transdisciplinaire fait intervenir des chercheurs spécialisés dans différents domaines, le but étant d'apporter des solutions à la fois scientifiques et technologiques, mais aussi sociologiquement et économiquement acceptables.

En outre, les techniques d'imagerie développées s'étendront à d'autres phénomènes, tels que le stress hydrique, l'abondance en eau ou encore l'activité chlorophyllienne.

MALADIES DE LA VIGNE

En raison de sa valeur économique et en matière de superficies cultivées, la vigne (*Vitis vinifera* L.) est considérée comme l'une des principales cultures fruitières au monde. Le raisin est utilisé dans différents domaines, notamment pour la production de fruits frais ou sec et du jus; cependant, le vin reste le principal produit du raisin. Il est admis, dans la littérature, que les cépages commerciaux sont sujets à de nombreux micro-organismes pathogènes pouvant être des bactéries, des champignons, des virus, des phytoplasmes ou même des nématodes, chacun ayant des caractéristiques d'affection propres. Ces agents pathogènes affectent la qualité de la vigne pendant les périodes pré et/ou post-récolte, impactant ainsi la production, la transformation et l'exportation.

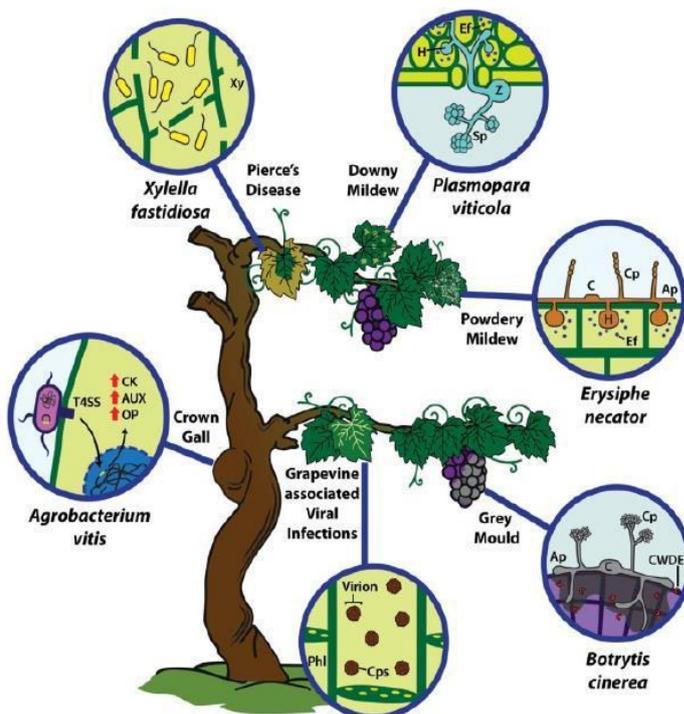


Figure 2 Différentes menaces microbiologiques de la vigne [Armijo et al., 2016]

La plante possède des mécanismes de défense régulés par les voies de signalisation à médiation hormonales dont on peut citer les principales: l'acide jasmonique et l'acide salicylique [Pieterse et al., 2009].

Les maladies de la vigne se caractérisent notamment par une décoloration, un changement de texture et une déformation de la forme du feuillage. Il existe trois principaux types de maladies : bactériennes, virales et fongiques. Parmi les maladies les plus connus de la vigne on a : l'esca, la flavescence dorée, l'oïdium, le mildiou, le black-rot et l'érirose (Figure 2).

PLATEFORMES DE DRONES

Les plateformes de drones sont une alternative intéressante aux satellites et aux avions car flexibles, notamment en matière de vol et changement des capteurs, opération sous les nuages, haute résolution spatiale, ... Une certaine gamme de plateformes de drones est utilisée pour suivre concrètement la santé des cultures à distance. Par exemple, le DJI/Phantom-2 est généralement utilisé pour les terres agricoles intermédiaires en raison de son faible coût et de sa facilité d'utilisation. Un autre avantage notable est le fait que cette plateforme prend en charge le montage de plusieurs caméras, permettant ainsi une surveillance des récoltes dans plusieurs bandes spectrales. Contrairement à d'autres drones tels que l'Aerospace/RS-16, lequel n'a pas d'utilisation courante à cause de son coût élevé, il semble être une bonne option au vu de son temps de vol et de sa grande couverture.

Il faut noter que les images capturées par les plateformes drones sont de très haute résolution, procurant ainsi davantage d'informations à extraire par rapport aux images satellites. Néanmoins, l'utilisation de telles plateformes est fortement contrainte par les points suivants :

- Les conditions météorologiques (nécessitant par exemple une faible vitesse du vent et peu de précipitations) ;
- La réglementation en vigueur ;
- La couverture spatiale qui peut être réduite à cause de l'autonomie des batteries ou à la charge utile maximale qui limite l'utilisation simultanée de différents capteurs.

De plus, si la procédure d'étalonnage en vol est bien caractérisée pour les plateformes satellitaires [Dingirard et Slater, 1999, Barsi et al., 2014], aucune procédure standard n'est disponible pour l'étalonnage en vol des capteurs embarqués sur des drones. En effet, ces derniers acquièrent des images sur des cibles d'étalonnage à des moments précis du vol [Herrero-Huerta et al., 2014], alors que les conditions environnementales clés (exemples : illumination dans le domaine optique, température dans le domaine thermique infrarouge) peuvent varier considérablement tout au long du vol en raison de facteurs environnementaux (ombres des nuages, régime du vent, parcours solaire). Cela peut faire échouer l'étalonnage et induire un manque de quantification précise du signal [Weiss et al., 2017, Wang et al., 2019]. Enfin, la détection proximale permet généralement une bonne précision des données, mais elle est limitée par le coût ou la main-d'œuvre et est donc réservée pour une faible couverture spatiale et temporelle.



Figure 3 La plateforme de drone utilisée dans VINODRONE en coopération avec l'entreprise SCANOPY

METHODOLOGIE



Figure 4 La logique utilisée pour la détection des zones saines et maladies

Depuis ces dernières années, la technologie a fait d'énormes progrès sur le plan du matériel d'acquisition, des capteurs, de traitement de données et des calculs. Ces avancées technologiques ont permis de faire avancer la recherche et le développement dans le domaine de l'agriculture et en particulier la viticulture de précision, lequel est directement lié aux domaines du traitement d'image et de la vision par ordinateur. Ces derniers ont d'ailleurs vu une évolution spectaculaire suite à l'apparition des méthodes d'apprentissage profond (mettant en œuvre les réseaux de neurones convolutifs), ce qui a permis de résoudre de nombreuses problématiques jusque-là sans solution.

Les drones sont de plus en plus utilisés dans de nombreux domaines, tels que la télédétection urbaine, mais aussi dans un large champ d'applications agricoles

[Barbedo, 2019]. Le drone utilisé dans le processus d'acquisition des données est un drone Quadcopter (Figure 5a) fabriqué par l'entreprise Scanopy. Ce drone embarque deux caméras MAPIR Survey2 (Figure 5b). La première intègre un capteur d'images visible (RGB) réglé sur l'éclairage automatique et la seconde incorpore un capteur d'images proche infrarouge (Rouge, Vert et proche infrarouge) noté (R-G-NIR). Pour ce dernier, la longueur d'onde du proche infrarouge est de 850 nm. Les deux capteurs d'images ont une haute résolution de 16 mégapixels (acquisition d'images d'une taille de 4608x3456 pixels). Les caméras sont de la technologie "rolling shutter" (c'est à dire que les images sont lues en mode ligne par ligne à partir du capteur).

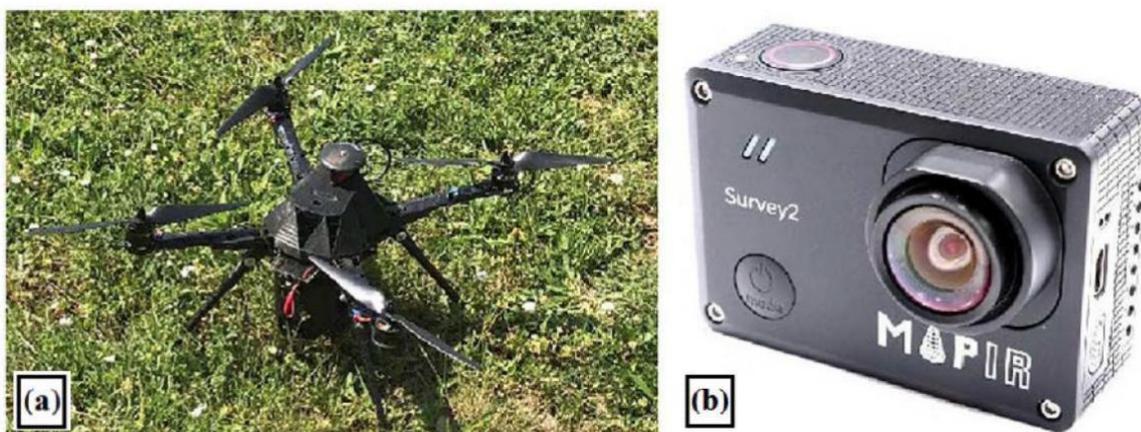


Figure 5 L'équipement d'acquisition utilisé dans cette étude.
Le drone quadricoptère dans la Figure (a) et le capteur haute résolution Survey2 dans la Figure (b).

L'acquisition des données a été effectuée grâce au drone qui a survolé les parcelles à une altitude de 25 mètres et une vitesse moyenne de 10 km/h (la figure 6 montre la trajectoire effectuée par le drone). A cette altitude, la résolution au sol est de 1 cm²/pixel. Une image a été acquise toutes les 2 secondes. Chaque image acquise chevauche l'image précédente de plus de 70 %. Le drone a une autonomie énergétique moyenne de 20 minutes. Les conditions climatiques de l'acquisition étaient modérées, c'est-à-dire des vents faibles et un éclairage optimal (les heures d'acquisition s'étaient étalées entre 11h30 et 13h30 pour éviter l'ombre des lignes de vignes). L'acquisition a été réalisée durant l'été 2018, 2019 et 2020 par l'entreprise Scanopy partenaire du projet VINODRONE.

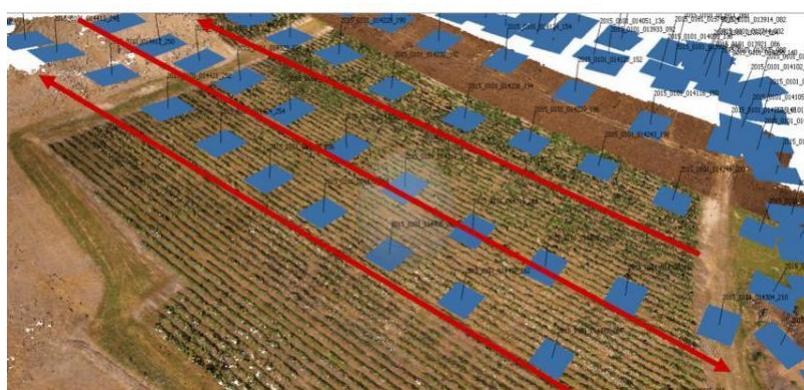
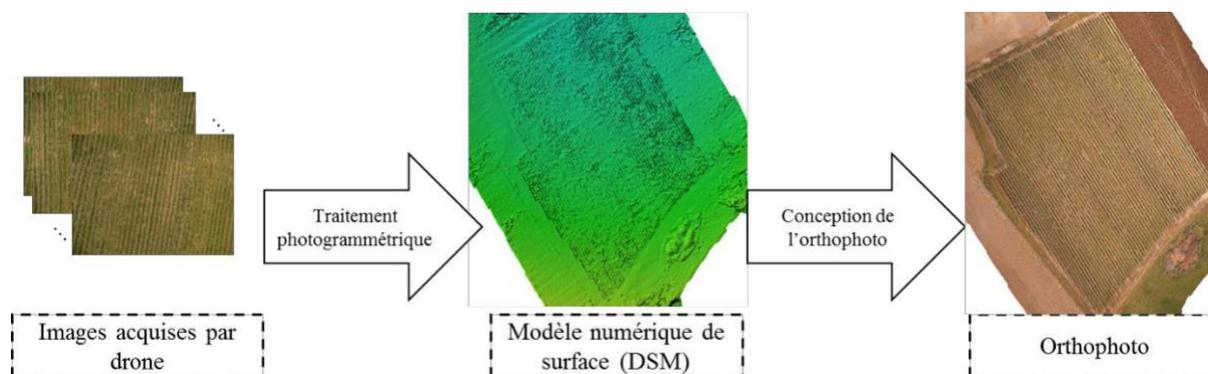


Figure 6 Trajectoire du drone pour l'acquisition des images.

QUELQUES DEFINITIONS

- **DSM** : modèle numérique de surface.
- **Orthophoto** : c'est une grande image aérienne de toute la parcelle qui est conçue par un traitement photogrammétrique à partir d'images de petites zones de la parcelle, acquises par drone d'une manière successive et avec un recouvrement systématique. Elle est généralement géoréférencée en coordonnées GPS.



- **Recalage** : c'est une correction géométrique entre deux images (acquises par deux capteurs), de sorte que chaque pixel de la 1ère image (visible) doit être superposé à son équivalent dans la 2^{ème} image (proche infrarouge).

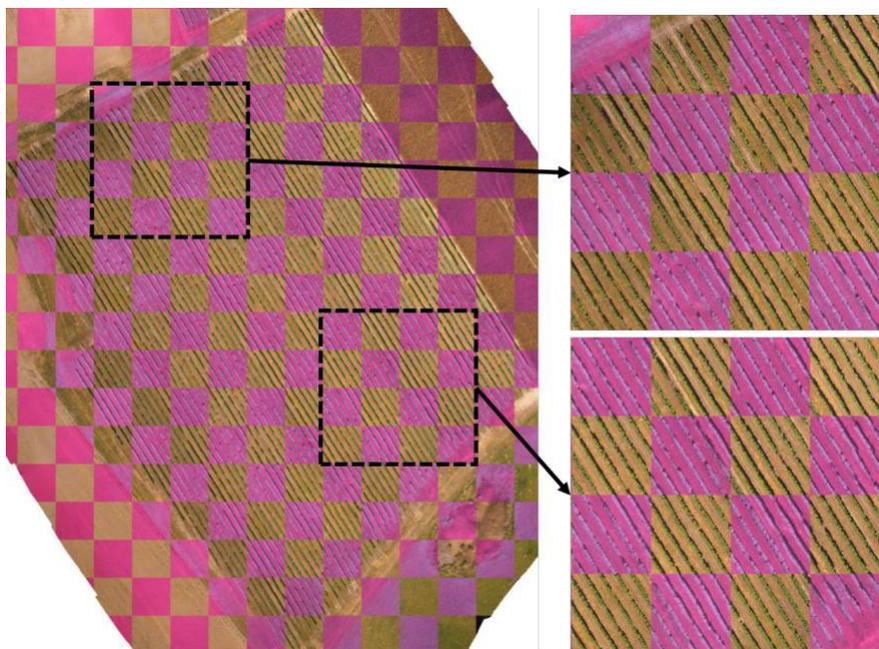


Figure 7 Le résultat de recalage d'une orthophoto visible avec une orthophoto proche infrarouge

SYSTEME DE DETECTION DES MALADIES

Nous présentons ici un nouveau système de détection de maladies de la vigne (montré dans la Figure 7). Le système prend en entrée des images multispectrales acquises depuis un drone, et fournit en sortie une carte de présence de maladies sur toute la parcelle, sous la forme d'une orthophoto (image de toute la parcelle). Ce dernier peut se décomposer en trois parties principales. La première consiste en le recalage automatique des orthophotos à partir d'images multispectrales acquises par un drone. La seconde est la conception de la carte de profondeur de la parcelle. Enfin, la troisième est la segmentation de l'orthophoto par une architecture d'apprentissage profond (intelligence artificielle) dédiée à la détection de maladies de la vigne. L'architecture d'apprentissage profond a été entraînée sur des données multispectrales combinées à l'information de profondeur de la parcelle.

Base de données

Après avoir labellisé les données, la dernière étape est la génération d'un ensemble de données d'entraînement à partir des données étiquetées. Afin d'enrichir la base de données d'apprentissage et d'éviter un surapprentissage des réseaux, des méthodes d'augmentation de données [Dellana et Roy, 2016] ont été utilisées. Un ensemble de données d'images de 256x256 pixels a été généré à partir des données labellisées. Quatre méthodes d'augmentation des données sont utilisées : translation, rotation, sous et suréchantillonnage et variation de luminosité. La translation a été réalisée avec un recouvrement de 50 % à l'aide d'une fenêtre glissante dans les déplacements horizontaux et verticaux. L'angle de rotation a été fixé à 30, 60 et 90. Le sous-échantillonnage et le suréchantillonnage ont été paramétrés pour obtenir 80 % et 120 % de la taille des données d'origine. La variation de luminosité est appliquée aux valeurs de pixel, lesquelles sont multipliées par des coefficients entre 0.95 et 1.05, qui introduisent une variation de luminosité de +/- 5 %. Chaque méthode apporte un effet sur les données (translation, rotation, etc.), permettant aux réseaux d'apprendre, respectivement, la transition, les orientations des lignes de vigne, la variation d'échelle d'acquisition et les conditions météorologiques. Enfin, l'augmentation des données a généré 35,820 images de 256x256 pixels pour l'apprentissage. La Figure 8 donne des informations spatiales sur les zones d'apprentissage et de test de la base de données utilisée.

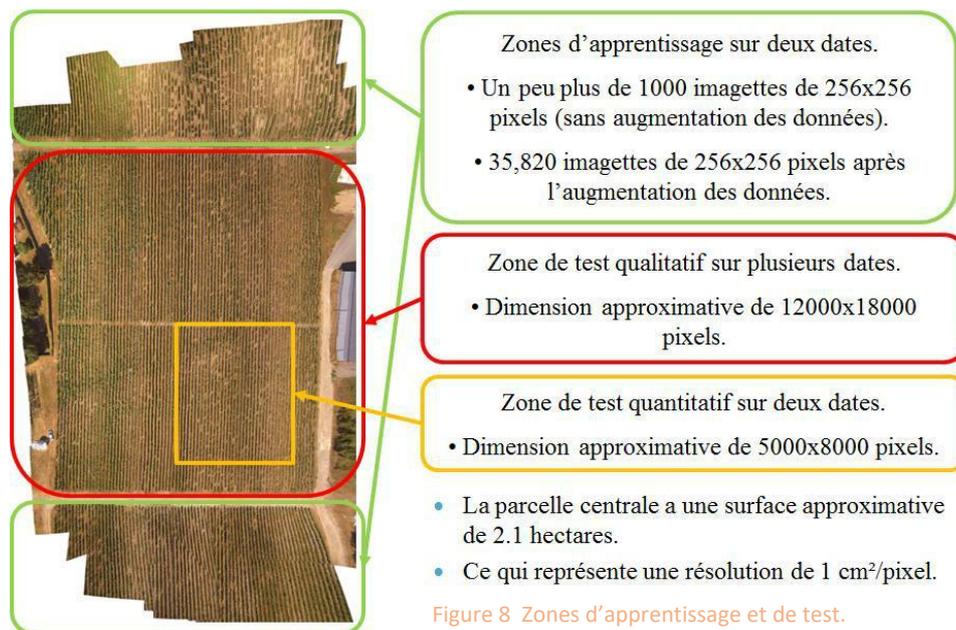


Figure 8 Zones d'apprentissage et de test.

Le système proposé (Figure 9) intègre trois méthodes principales : le recalage des orthophotos, la conception de la carte de profondeur et la segmentation des données par une architecture profonde basée sur les méthodes d'intelligence artificielle. Les images aériennes de drone dans le spectre visible et proche infrarouge sont les données d'entrée du système de détection pour générer une carte de maladies en sortie. Les images d'entrée sont alignées à l'aide d'un algorithme de recalage multispectral optimisé. Les images recalées sont ensuite utilisées dans le processus de construction d'orthophotos alignées. Au cours de ce processus, un modèle numérique de surface de la parcelle est généré pour construire une carte de profondeur. À la fin, l'algorithme de l'intelligence artificielle génère une carte des symptômes à partir des données du visible, du proche infrarouge et de l'information de profondeur.

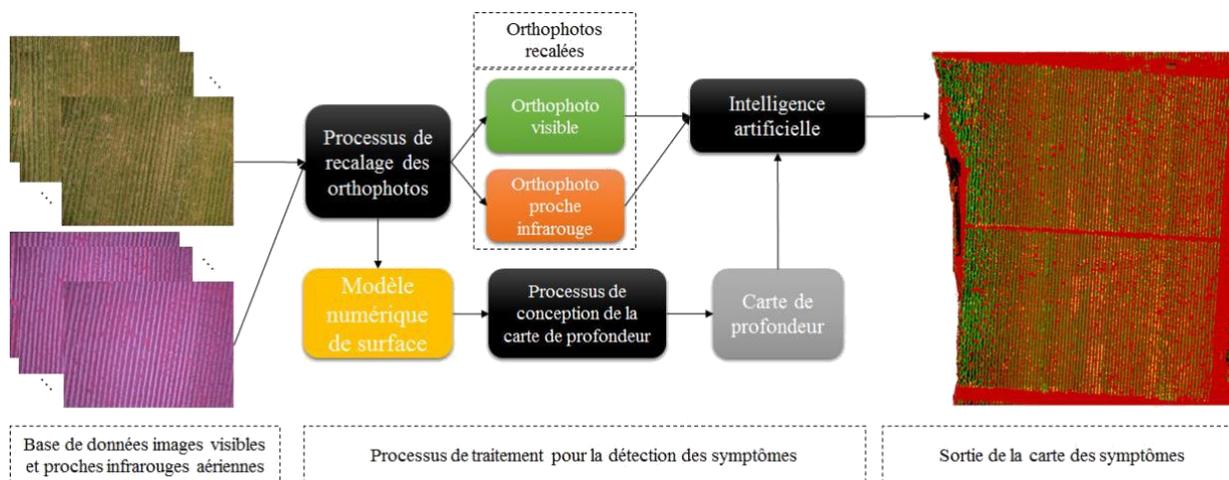


Figure 9 Représentation des étapes utilisées pour la détection des maladies de la vigne.

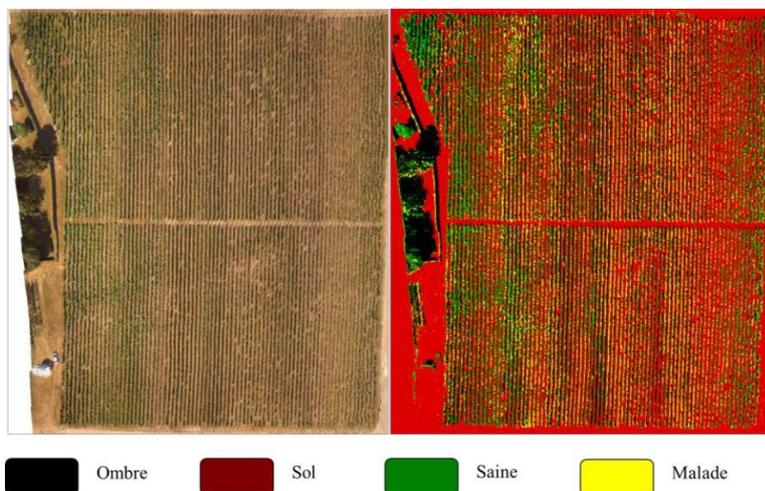


Figure 10 Exemple de résultat de la parcelle du lycée d'Amboise atteinte par le mildiou à la date du 02 août 2018.

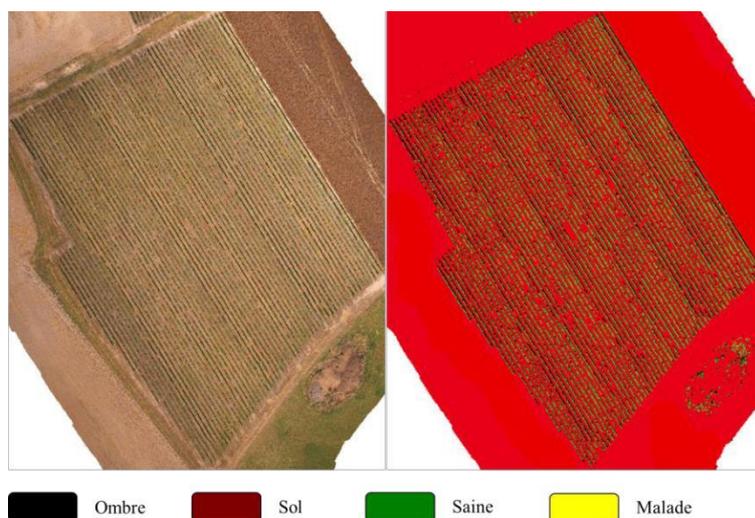


Figure 11 Exemple de résultat d'une parcelle saine située à Oisly à la date du 02 août 2018.

CONCLUSION

Les maladies de la vigne sont les principales responsables de la plupart des pertes de rendement viticole. Pour faire face à cette menace, les viticulteurs ont recours à la vaporisation de produits phytosanitaires sur l'ensemble de leurs cultures. Cette méthode nécessite non seulement d'énormes quantités de pesticides mais elle a aussi des répercussions non négligeables sur l'environnement et la santé humaine. Une façon de réduire les coûts et l'impact sur l'environnement est alors de diminuer les quantités de pesticides utilisées en allouant les bonnes doses de produits chimiques au bon endroit et au bon moment. Ces derniers temps, le drone est devenu un système intéressant pour la localisation et la gestion des maladies de par sa capacité à acquérir des images de l'ensemble de la parcelle avec une très haute résolution spatiale et un faible coût. Malgré les progrès importants réalisés dans les systèmes d'acquisition par drone, la détection automatique des maladies de la vigne dans les images demeure un problème difficile à résoudre en raison de la mauvaise visibilité des symptômes des maladies

à partir d'imagerie aérienne. L'objectif est de proposer des méthodes de traitement d'images et d'intelligence artificielle pour la localisation des symptômes à l'échelle des vignobles. Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet VINODRONE (2017-2021) financé par la région Centre-Val de Loire.

**Mohamed Kerkech
Adel Hafiane**



Pierre-Christophe Mesnil



Laura Eymar



Raphaël Canals



Guillaume Delanoue

