

➤ Détection des symptômes de maladies du bois par proxi et télédétection

Résumé

La surveillance de l'Esca, maladie du bois de la vigne, peut s'avérer chronophage pour le viticulteur. Dans le cadre du projet « ADVANTAGE » deux stratégies ont été élaborées afin d'automatiser la détection et la cartographie des symptômes d'Esca dès que ceux-ci sont visibles. L'une est fondée sur la proxidétection, grâce à une caméra installée sur un engin viticole et procède à l'échelle de la plante, l'autre opérant par télédétection (images prises par drone) à l'échelle de la parcelle.

A l'échelle de la plante, la forme et la couleur des symptômes sont exploitées. Dans un premier cas, les imagerie de feuilles saines, atteintes de l'Esca ou d'autres pathologies sont traitées. Le second cas concerne les symptômes sur la plante entière. Les algorithmes utilisés reposent sur l'intelligence artificielle et sont entraînés sur des images sur lesquelles les symptômes sont déjà identifiés (apprentissage). Une fois entraînés, ils sont appliqués sur les images à traiter. Sur les feuilles isolées, la méthode atteint une précision de 90% en blanc et de 87% en rouge. Sur les ceps entiers, les zones affectées par l'Esca et les symptômes confondants sont efficacement identifiés, mêmes si quelques difficultés subsistent dans certaines situations.

A l'échelle de la parcelle, les symptômes recherchés correspondent à un changement de couleur des pixels, caractéristique d'une décoloration foliaire (jaunissement, rougissement ou dessèchement de la végétation). Pour y parvenir, l'algorithme proposé procède par photogrammétrie, fournissant une image géoréférencée de la parcelle ainsi qu'un nuage de points permettant un rendu 3D de la vigne. La détection des anomalies foliaires s'appuie sur une classification supervisée combinant l'information spectrale de chaque pixel et des indices de végétation. Le modèle est entraîné sur un jeu de données établi par photo-interprétation. Les précisions obtenues sont de 89% pour les cépages rouges et de 75% pour les cépages blancs.

Introduction

Le suivi pluriannuel des pieds de vigne affectés par l'Esca nécessite une prospection coûteuse en main d'œuvre et complexe à mettre en place. Un dispositif de détection automatique des symptômes d'Esca, installé sur l'engin viticole (proxidétection) ou opérant en télédétection (drone ou satellite), permettrait de rendre cette prospection à la fois automatique et systématique, à l'occasion des différents passages du satellite, du drone ou des engins dans les parcelles. C'est dans cet objectif que des méthodes d'acquisition et d'analyse d'images spécifiques ont été mises au point puis expérimentées par les chercheurs de Bordeaux Sciences Agro (laboratoire IMS) et la société Telespazio, dans le cadre du projet « ADVANTAGE ». Deux échelles ont été abordées : la parcelle pour la télédétection et la plante pour la proxidétection. Une détection précoce (c'est-à-dire avant que les symptômes ne soient visibles à l'œil nu), s'est avérée peu réaliste compte-tenu des caractéristiques spectrales non discriminantes des pieds atteints mais non symptomatiques. Aussi, les travaux se sont concentrés sur la détection des symptômes visibles, à divers degrés d'avancement.



Auteurs :

Florian Rançon, Lionel Bombrun, Christian Germain, Bordeaux Sciences Agro, Elodie Pagot, Telespazio.

Christian GERMAIN

Bordeaux Sciences Agro - GRADIGNAN

Tél : 05 57 35 07 73

Email : christian.germain@agro-bordeaux.fr

D'où viennent les images utilisées pour la détection des symptômes ?

A l'échelle de la feuille (proxidtection), un système de prise de vue automatique a été utilisé. Il comporte une caméra industrielle couleur, un flash et un GPS, le tout commandé par un micro calculateur embarqué et alimenté par une batterie. Ces éléments sont réunis dans un boîtier pouvant être fixé sur un tracteur, un quad, voire une simple brouette. Le système est complètement autonome (Fig. 1). Les prises de vue sont déclenchées manuellement ou automatiquement dès l'entrée dans la parcelle grâce au GPS. Chaque cep est photographié à une vitesse maximum de l'ordre de 6 km/h. Les images obtenues couvrent environ une surface d'un mètre carré, dans le plan de palissage, avec une résolution de 5 mégapixels (pixels millimétriques). Un exemple d'image est donné (Fig. 2). Le choix d'une caméra couleur (RGB) est justifié par une étude préalable qui ne montre pas d'avantage décisif à utiliser des canaux infra-rouge.

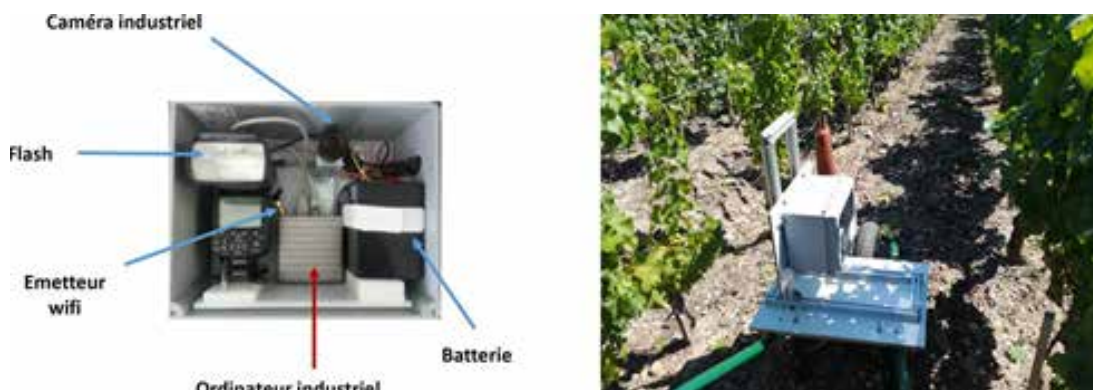


Figure 1 : Détails du système d'acquisition monté dans le boîtier et passage du dispositif dans une parcelle de vigne.



Figure 2 : Exemple de photographies de 5 pieds consécutifs obtenus avec le dispositif d'acquisition.

A l'échelle de la parcelle, des prises de vue à la verticale ont été réalisées avec deux types de vecteurs : le drone Falcon 8 (Intel) et le quadcopter X6. Les images ont été acquises de façon automatique à la fois dans le domaine du visible avec l'appareil photo numérique SONY ILCE-7R et dans le domaine multispectral à l'aide de la caméra RedEdge de Micasense.

La définition du SONY ILCE-7R, de 36 mégapixels, couplée à une focale de 35 mm a permis d'obtenir des images d'une résolution spatiale de 0.8 cm à 50 m d'altitude.

Le capteur multispectral RedEdge de Micasense composé de 5 caméras à bandes fines acquiert simultanément dans le Bleu, Vert, Rouge, Red Edge et Proche Infrarouge. Celui-ci a permis d'étudier si le domaine du Proche Infrarouge et du Red Edge (région de changement rapide de la réflectance de la chlorophylle), présentait un intérêt dans la caractérisation des décolorations foliaires. De petite taille (1.2 mégapixels, focale de 5.5 mm), ce capteur a une emprise au sol beaucoup plus réduite et nécessite de voler plus bas pour obtenir des résolutions spatiales centimétriques. Il a été utilisé à 20 m d'altitude et produit des images à une résolution de pixels de 2.7 cm.

Dans les deux cas, les acquisitions ont été réalisées avec un fort taux de recouvrement longitudinal et latéral de 80%-80%, pour permettre de reconstituer la géométrie tridimensionnelle de la vigne et de générer une orthomosaïque, recréant une seule image continue et une vue verticale complète de la parcelle (Fig. 3).



Figure 3 : Nuage de points (3D) colorisé reconstruit à partir des images drone. Résolution du pixel : 0.8 cm.

Sur quels types de vignobles les expériences ont-elles été conduites ?

Les données de proxidtection ont été collectées durant l'été 2017, à la mi-août. Deux parcelles ont été utilisées pour acquérir les images de proxidtection : une parcelle de cépage rouge Cabernet-Sauvignon à Pauillac et l'autre de cépage Sauvignon blanc à Castres-Gironde. Dans les deux cas, les 50 premiers plants ont été échantillonnés sur des rangées paires. Étant donné que les plants atteints par l'Esca représentent environ 5% des ceps, les échantillons d'Esca sont plus clairsemés que les échantillons sains, des plants supplémentaires présentant des symptômes d'Esca ont été sélectionnés manuellement afin de compléter la base de données. Une cartographie des symptômes d'Esca observés lors des 5 dernières années a permis de savoir à l'avance quels plants étaient plus susceptibles d'exprimer les symptômes.

Les campagnes d'acquisitions drone se sont déroulées à la mi-août sur quatre années de 2015 à 2018 (pour la calibration et validation des algorithmes). Elles ont concerné 8 parcelles de cépages rouges et blancs (Cabernet Sauvignon, Cabernet Franc, Chardonnay, Sauvignon-Blanc) situées dans les départements de la Bourgogne, de la Gironde et du Val de Loire. Les parcelles sélectionnées présentaient toutes des symptômes de la maladie du bois en nombre variable. Parallèlement, des notations sanitaires des parcelles suivies par les partenaires IFV, Agrauxine et Bayer ont été réalisées dans un intervalle d'un à quinze jours par rapport au passage du drone.

Comment les symptômes sont-ils détectés sur les images ?

Pour la proxidtection, les symptômes recherchés sont variés et assez caractéristiques de la pathologie, d'un point de vue de leur forme et de leur couleur. Des symptômes potentiellement confondants ont été pris en considération (Fig. 4). La piste retenue pour analyser les données repose sur une approche d'Intelligence Artificielle nommée apprentissage profond (ou Deep Learning en anglais).



Figure 4 : Symptômes d'Esca (en haut) et symptômes confondants (en bas : Black Rot, jaunisse, Flav. Dorée, carences).

Reconnaitre des images de feuilles malades : la première méthode [Rançon & al 2019] a été appliquée sur une base d'images de feuilles saines, présentant des symptômes d'Esca d'intensité variée, ou présentant des symptômes confondants, le but étant de reconnaître la classe de la feuille (saine, Esca ou confondant). La méthode procède en deux temps :

1/ Apprentissage : un jeu d'images permet à l'algorithme d'apprendre à reconnaître la forme des symptômes (comment les pixels sont agencés ? Avec quelle couleur ?). L'apprentissage s'appuie sur une base de données de plus de 6 000 images de feuilles.

2/ Classification : une fois l'apprentissage terminé, on présente de nouvelles images à traiter. Le modèle construit précédemment prédit alors leur classe d'appartenance.

Trouver les feuilles malades sur une plante entière : Il s'agit cette fois d'utiliser l'Intelligence Artificielle pour à la fois détecter des zones de feuillage anormales dans l'image et décider s'il s'agit d'Esca ou d'une autre anomalie. C'est une tâche plus ardue que la précédente puisque les feuilles à examiner ne sont pas prédécoupées avant d'être classées. La méthode utilisée [Rançon & al. 2019] s'appuie sur la même architecture que précédemment, et procède aussi par apprentissage (sur plus de 1 000 images de ceps) avant de traiter les images d'intérêt.

Pour la télédétection, la résolution centimétrique ne permet pas de distinguer les marbrures des feuilles et autres motifs caractérisant les maladies du bois. Ici, les symptômes recherchés dans les images correspondent à des pixels dont la couleur est caractéristique d'une décoloration foliaire.

La première étape est la photogrammétrie qui permet de générer une orthomosaïque (image géoréférencée de la parcelle) ainsi qu'un nuage de points (rendu 3D de la vigne).

La détection des anomalies foliaires peut à la fois s'appliquer à l'orthomosaïque et au nuage de points. L'algorithme est basé sur une classification supervisée combinant l'information spectrale de chaque couleur et des indices de végétation. Le modèle qu'il utilise a été entraîné à l'aide d'un jeu de données établi sur la base de photo-interprétation. Cette base de données représente une centaine de milliers de pixels et regroupe à la fois des pixels de l'image assimilés à une décoloration foliaire : jaunissement / rougissement ou dessèchement de la végétation et des pixels ne correspondant pas à la classe « anomalie foliaire » : végétation saine, sol, ombre, enherbement, etc.

Quels sont les résultats obtenus ?

Dans le cas de la proxidtection, à l'échelle des feuilles, les résultats obtenus peuvent s'exprimer par une précision globale de classification qui dépasse 90% en cépage blanc et 87% en cépage rouge. C'est assez naturellement la classe des symptômes confondants qui est la moins bien classée avec 86% de précision globale pour le cépage blanc (78% pour le cépage rouge). A l'échelle de la plante entière, des résultats sont présentés Fig. 5. Les résultats se présentent sous la forme de rectangles (rouges) disposés sur les « zones Esca » d'un cep, ou de rectangles oranges sur les zones de symptômes supposés confondants. Les résultats sont globalement très encourageants mais des difficultés subsistent dans des cas particuliers.



Figure 5 : Exemples de bonnes détections (ligne du haut) et de fausses détections (ligne du bas).

Dans le cas de la télédétection, en vue de s'orienter vers une solution opérationnelle, les efforts ont été portés sur les algorithmes 2D basés sur l'exploitation de l'orthomosaïque. Aux vues des différents indices de végétation étudiés sur les cépages rouges et blancs, les résultats (Fig.6) indiquent de meilleures performances de l'imagerie dans le visible pour les cépages rouges (89% de précision globale). L'apport du multispectral par rapport au visible n'est toutefois pas probant.

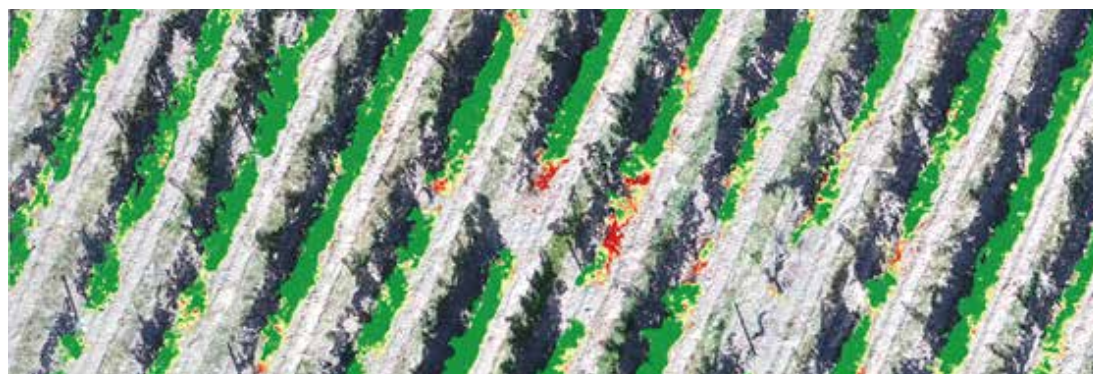


Figure 6 : Extrait d'une cartographie des anomalies foliaires sur une parcelle (vert : végétation asymptotique, jaune et rouge : intensité croissante des décolorations foliaires).

Les bandes dans le proche infrarouge semblent être plus sensibles que le visible, et pourraient de ce fait introduire davantage de faux positifs. En revanche pour les cépages blancs, les bandes spectrales dans le Red Edge et le proche infrarouge permettent d'améliorer les résultats de classification. Ceux-ci sont néanmoins moins performants que dans le cas des cépages rouges (avec 75% de précision globale). L'analyse des faux positifs montre qu'ils proviennent en majorité de carences et autres symptômes, mais également de la présence de pieds manquants ou morts couverts par le palissage.

Conclusion

La proxidtection a montré une bonne capacité d'identification des symptômes d'Esca en s'affranchissant souvent des problèmes de symptômes confondants. Toutefois, ces résultats demandent à être confirmés sur des surfaces beaucoup plus conséquentes et sur des cépages et des modes de conduites plus variés, afin de vérifier la robustesse à la variabilité des conditions de terrain réelles. Si cette vérification s'avère positive, l'outil pourrait être profitablement développé et proposé aux viticulteurs.

L'imagerie embarquée sur drone permet une surveillance opérationnelle de l'état sanitaire d'un domaine. Même si elle manque de spécificité aux maladies du bois à l'échelle centimétrique, les résultats de cette étude, réalisée sur seulement 8 parcelles ont montré de bonnes corrélations. L'augmentation du jeu de données couvrant un éventail bien plus large de cépages, de terroirs et de conditions d'acquisition est néanmoins nécessaire à la validation de ces résultats et pourraient notamment permettre d'améliorer les modèles de détection.

Ce qu'il faut retenir

- La proxidtection est une technique qui collecte des images très précises lors du passage du tracteur dans les vignes.
- Les méthodes basées sur l'Intelligence Artificielle (apprentissage profond) permettent de détecter la forme et la couleur des symptômes de l'Esca, et de les différencier d'autres symptômes de même couleur.
- L'imagerie embarquée sur drone permet d'avoir une vision à plus large échelle de la présence d'anomalies foliaires sur la parcelle, toutes causes confondues, à une résolution centimétrique. Elle présente l'avantage opérationnel de fournir une cartographie exhaustive des symptômes sur un domaine dans un délai de 3 jours après le passage du drone.
- Les résultats obtenus sont très encourageants mais doivent être confirmés à plus large échelle et sur une plus grande variété de cépages et de terroirs.

Et après ?

- Ces méthodes peuvent être appliquées à d'autres pathologies de la vigne. Des travaux sont en cours sur le Mildiou, la Flavescence Dorée, etc.
- Les avancées de l'Intelligence Artificielle et le couplage avec d'autres approches (modélisation) pourraient rendre ces approches encore plus performantes.

Remerciements

Ces travaux, issus du projet ADVANTAGE, piloté par Vegepolys / Agri Sud-Ouest Innovation, ont été financés par le Fonds Unique Interministériel (FUI), avec le soutien de Région Nouvelle Aquitaine / Bpifrance. Advantage implique 9 partenaires (entreprises privées, instituts de technologie et instituts de recherche du secteur public) : Agrauxine Lesaffre Plant Care, Bayer, Bordeaux Sciences Agro, Cybeletech, IFV, INRA-UMR SAVE, Mercier, Telespazio et Université de Reims Champagne-Ardenne.

References bibliographiques

Rançon F., Bombrun L., Keresztes B., Germain Ch.; "Comparison of SIFT encoded and Deep Learning features for the classification and detection of esca disease in Bordeaux vineyards", Remote sensing journal, vol.11(1), pp. 1-26, Janv. 2019.