
**POTENTIAL OF MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGE TIME SERIES
FOR THE CHARACTERISATION AND DYNAMIC MONITORING OF A CROP:
APPLICATION TO VINES ON A REGIONAL SCALE**

Thèse de Eva **LOPEZ FORNIELES** ¹

Analysée par Guy **WAKSMAN** ²

Directeur de thèse : Bruno **TISSEYRE**, Professeur, Institut Agro Montpellier, France

L'objectif de la thèse d'Eva Lopez Fornieles répond à un véritable besoin. On voit en effet que, depuis une vingtaine d'années, beaucoup d'agriculteurs utilisent le service Farmstar, conçu par l'Institut technique Arvalis et Airbus et valorisant les images issues des satellites Spot, tandis que l'utilisation de Sentinel 2 ⁱ se démocratise également. Sentinel 2 ⁱⁱ désigne des satellites d'observation de la Terre de l'Agence spatiale européenne. Chaque satellite, d'une masse d'environ 1 200 kg, emporte une charge utile constituée par l'imageur multi-spectral MSI qui fournit des vues dans 13 bandes spectrales en lumière visible et proche infrarouge avec une résolution comprise entre 10 et 60 mètres et une fauchée de 290 km. Les satellites circulent sur une orbite héliosynchrone de 10h30. En configuration opérationnelle, l'agence spatiale maintient deux satellites de manière à repasser au-dessus des mêmes zones tous les cinq jours.

La thèse fait appel aux méthodes de la chimiométrie ⁱⁱⁱ, un ensemble de méthodes statistiques permettant d'analyser des données multivariées, instrumentales ou non, et principalement de répondre à des problématiques multilinéaires, ou montrant une faible non-linéarité. La chimiométrie peut être considérée comme un sous-ensemble du domaine du Machine Learning, qui est lui-même inclus dans le domaine de l'Intelligence Artificielle.

Dès les premiers paragraphes de cette thèse, on voit la difficulté à traiter des données de réflectance (données « photos ») qui ont trois dimensions :- une dimension spectrale avec les treize couleurs analysées par le scanner de Sentinel 2, - une dimension spatiale avec le balayage effectué par le scanner lors de la « prise de vue », avec la difficulté supplémentaire que les utilisateurs, selon leurs besoins, voudront travailler à des échelles différentes, - une dimension temporelle, le satellite repassant au-dessus d'un point situé sous nos latitudes tous les cinq jours. D'où la collecte de quantités importantes de données, avec une régularité métronomique, ce qui finit par entraîner des coûts importants de traitement de ces données.

Le chapitre 1 expose clairement les questions posées :

- Les informations des séries temporelles issues de l'imagerie de télédétection multispectrale offrent-elles de nouvelles perspectives en agriculture par la proposition de descripteurs évaluant la performance des cultures ?

¹ Thèse de doctorat de "Génie des procédés", de l'école doctorale "GAIA - Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau", de l'Institut Agro de Montpellier, soutenue le 23 septembre 2022.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 9, « Agro-fouritures ».

- Comment intégrer/considérer pertinemment la dimension temporelle dans l'analyse des images multispectrales de séries temporelles pour le suivi des cultures en agriculture ?

La thèse vise à explorer des méthodes originales pour apporter des éléments de réponses à ces deux questions. L'objet d'étude sélectionné dans la cadre de la thèse est le suivi de la vigne à l'échelle régionale (Occitanie).

Le chapitre 2 amène à la prise de conscience des limites de l'utilisation exclusive de la dimension spectrale des séries chronologiques multispectrales pour le suivi des cultures, et met en évidence les limites associées à l'utilisation d'indices de végétation.

Le chapitre 3 montre le potentiel des méthodes multidimensionnelles non supervisées pour l'exploration régionale des données sur les cultures à partir de séries temporelles multispectrales. Ces méthodes permettent effectivement de prendre en compte les caractéristiques temporelles de l'ensemble de données. Eva Lopez Fornieles paraît préférer les méthodes supervisées où on ne laisse pas les algorithmes « se débrouiller tout seuls » et où on les « aide » en leur offrant l'appui d'observations de terrain. C'est l'objet du chapitre suivant.

Le chapitre 4 montre le potentiel des méthodes multidimensionnelles supervisées pour l'exploration régionale des données sur les cultures à partir de séries temporelles d'images multispectrales. On calibre un modèle sur un petit nombre de parcelles de vignes réparties sur une petite partie représentative de la région. Les tests réalisés sur plus de 5000 parcelles ont permis de démontrer la robustesse de la méthodologie et, par exemple, sa capacité à cartographier l'empreinte spatiale de la perte de rendement due à la canicule qui a touché le sud de la France en 2019.

Le chapitre 5 conclut sur l'intérêt de prendre en compte les données de télédétection multi-temporelles et multispectrales pour des applications à grande échelle, mais que ceci pose des problèmes pratiques. Dès lors que la dimension temporelle est ajoutée comme variable explicative de la variation spectrale à caractériser, on rentre dans le domaine de la gestion de gros volumes de données, un autre monde !

La thèse se conclut ainsi : « dans cette recherche, l'intégration de la dimension spatiale a été limitée à une intégration *a posteriori* par des approches géostatistiques. La dimension spatiale n'est pas intégrée dans l'analyse principale (spectro-temporelle), car la nature des données spatiales ne coïncide pas avec la nature des données spectrales ou temporelles, qui peuvent être représentées comme un 'spectre', adapté à l'analyse par des approches de modélisation multidimensionnelle issues de la chimiométrie. Ainsi, une prochaine étape consisterait à traiter simultanément les dimensions spectrale-temporelle-spatiale des données de télédétection ».

Cette piste « spatiale » - pourrait-on dire « cartographique » ou « topographique » - constitue certainement une piste d'avenir. Il n'en reste pas moins que la réussite de cette thèse est l'utilisation des méthodes d'analyse chimiométrique pour interpréter les données de séries chronologiques d'images multispectrales de télédétection, données dont on vérifie ici l'intérêt pour la surveillance au niveau régional de la baisse des rendements du vignoble du Languedoc-Roussillon dans le contexte de la canicule.

Ceci n'ira pas sans difficulté de méthode d'une part, et de calcul d'autre part. Les corrections géographiques devront éliminer « l'effet scanner » : En effet les scanners de Sentinel 2, comme ceux de Landsat ou ceux de Spot, effectuent un échantillonnage du signal reçu, et en fonction de l'angle du balayage par rapport au sol, la résolution spatiale du scanner varie

considérablement. Pour recalibrer les images, on devra interpoler les valeurs originelles, et donc perdre un peu de l'information originelle.

À noter que cette thèse a été jugée excellente par le jury, et a donné lieu à cinq articles en anglais, retenus par des journaux à comité de lecture, ce qui justifie pleinement que cette analyse figure sur le site de l'Académie d'agriculture de France, à titre de valorisation de ces travaux novateurs.

ⁱ Le traitement NDVI des images satellites Sentinel 2 au service des agriculteurs, par Mathieu Lecourtier, 24/04/2020
<https://www.cultivar.fr/technique/le-traitement-ndvi-des-images-satellites-sentinel-2-au-service-des-agriculteurs>

ⁱⁱ Sentinel 2
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2

ⁱⁱⁱ Qu'est-ce que la Chimométrie ? Qu'est-ce que le Machine Learning ?
<https://ondalys.fr/ressources-scientifiques/chimometrie-vs-machine-learning/>