
**ÉVALUATION DES SÉRIES TEMPORELLES SENTINEL-1 & 2 POUR L'IDENTIFICATION
ET LA CARACTÉRISATION DES CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES,
DES PAYSAGES BOISÉS AUX PAYSAGES AGRICOLES**

Thèse d'Audrey **MERCIER**¹

Analysée par Françoise **BUREL**²

Directeur de thèse : Laurence **HUBERT-MOY**, Professeure, Université RENNES 2, LETG (Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique) - UMR CNRS 6554

Co-directeur de thèse : Jacques **BAUDRY**, Directeur de recherche, INRAE - UMR BAGAP (Biodiversité, AGroécologie et Aménagement du Paysage)

Audrey Mercier a réalisé une thèse utilisant les données et traitements liés à la télédétection pour évaluer la phénologie des cultures, la distribution des continuités écologiques et la biodiversité en milieu forestier et agricole.

Le mémoire est rédigé en anglais et présente cinq articles qui ont été publiés dans de bonnes revues internationales de télédétection et d'écologie. Une sixième publication dans une revue de gestion des données a aussi été acceptée. Cette thèse allie une partie méthodologique sur l'utilisation des données des satellites « Sentinel -1 & 2 », qui présentent l'avantage d'être accessibles gratuitement et de fournir des données temporelles, et une partie sur l'utilisation thématique de ces données en agriculture et en écologie.

La première partie de la thèse présente une analyse bibliographique très détaillée sur les continuités écologiques des paysages boisés et ceux dominés par l'agriculture, et sur l'utilisation de l'imagerie de télédétection pour l'identification et la caractérisation des continuités écologiques. Elle introduit les notions de continuités écologiques, notamment l'importance de l'hétérogénéité paysagère et de sa dynamique, les enjeux associés à leur cartographie, et le rôle de la télédétection optique et radar pour leur identification et caractérisation. Une seconde partie présente les sites d'étude qui sont nombreux, car cette thèse s'inscrit dans un projet européen « WOODNET » qui rassemblait deux équipes françaises à Rennes et à Amiens, une équipe belge à Louvain-la-Neuve et une équipe espagnole à Madrid. Elle a aussi pu comparer ses données satellitaires avec un terrain au Brésil. Cet important jeu de données lui a permis de traiter un nombre considérable de données et de nouer des liens scientifiques avec plusieurs équipes.

¹ Thèse de doctorat de l'Université Rennes 2, Ecole doctorale N° 604, Sociétés, Temps, Territoires, Spécialité Géomatique, Unité de recherche : LETG – UMR CNRS, soutenue le 21 janvier 2021.

² Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section 7, « Environnement et territoires ».

Le premier article présente une nouvelle méthodologie pour cartographier les paysages forestiers en Espagne et au Brésil. Il y est évalué le potentiel de S1 et S2 séparément, puis conjointement, pour la cartographie de l'occupation des sols (7 et 8 classes respectivement pour les sites espagnol et brésilien) sur de grandes surfaces (8 et 9 tuiles Sentinel, 110 x 110 km², respectivement). La méthode utilisée est Random Forest (RF) qui permet de classer les variables par ordre d'importance dans la classification, et ensuite de procéder à une classification incrémentale. L'analyse est faite par site et a donné lieu à une publication en 2019 dans la revue Remote Sensing.

Le deuxième article traite de la phénologie des cultures, qui est un paramètre important d'évaluation de la biodiversité, notamment pour l'analyse de la distribution spatiale des cultures d'hiver et des cultures de printemps. Audrey Mercier teste le potentiel et la complémentarité des séries temporelles d'images S1 et S2 sur le site de Picardie. Les travaux ont donné lieu à une publication en 2020 dans l'excellente revue ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (FI = 7.3). L'analyse thématique est très poussée avec l'identification de cinq principaux stades phénologiques, et sept stades secondaires, pour des parcelles de blé et de colza. Les résultats sont très bons pour l'identification des stades principaux et montrent que la combinaison de variables issues de S1 et S2 ont une légère plus-value par rapport à l'utilisation seule de variables issues de S2 ; ces résultats mettent en avant l'intérêt des indices polarimétriques et des bandes du red-edge.

Pour compléter les études existantes, Audrey Mercier propose dans l'article suivant d'utiliser une méthode d'apprentissage automatique, la GPR (Gaussian Process Regression) pour étudier l'apport respectif des capteurs S1 et S2, et notamment l'apport des indices polarimétriques, dans l'estimation des principales variables biophysiques des cultures. Pour cela trois parcelles de blé et trois de colza sont échantillonnées sur le site « zone atelier Armorique » pendant la campagne agricole de 2017 (quatre et cinq dates respectivement), et le LAI, la biomasse fraîche, sèche et le contenu en eau sont mesurés. Les résultats obtenus ont été publiés dans Journal of Applied Remote Sensing (FI = 1.36). Elle a comparé le pouvoir prédictif de vingt-deux variables optiques S-2 (dix bandes spectrales et douze indices de végétation) et sept variables RSO S-1 (deux coefficients de rétrodiffusion, un ratio et quatre indicateurs polarimétriques) en utilisant des régressions par processus gaussien. Cette étude, appliquée au site breton, a montré le potentiel des données S-1 et S-2 pour estimer ces quatre paramètres de cultures pour le blé et le colza. Les performances des variables S-2 sont équivalentes ou supérieures à celles des variables S-1.

L'article suivant est le plus important de la thèse, car il fait le lien entre les variables estimées par télédétection listées en introduction, et estimées dans les chapitres précédents, et un indicateur de biodiversité. Plus précisément, il traite de l'étude de l'influence de l'hétérogénéité spatio-temporelle de paysages agricoles sur la phénologie du blé et sur la distribution des carabes sur six sites d'étude : Bretagne, Picardie (2) et Belgique (3). Ce chapitre a également fait l'objet d'une publication dans la revue Landscape Ecology (FI = 4.3).

Dans cet article, l'hétérogénéité spatio-temporelle des conditions de surface est appréhendée *via* trois indicateurs : la mosaïque des cultures (composition et distribution), le grain du

paysage (distance aux haies) et son hétérogénéité « biophysique ». Basé sur les résultats précédents, Audrey Mercier utilise judicieusement l'écart-type du WDV (une combinaison linéaire des bandes R et PIR de S2) comme indicateur de cette hétérogénéité biophysique. L'indicateur est calculé à trois périodes distinctes, avant montaison, au pic de végétation et après maturation. La fonction écologique des paysages, *via* son hétérogénéité, est ensuite mise en relation avec la distribution spatiale des carabes. Les résultats montrent qu'une forte hétérogénéité paysagère est bénéfique à la croissance du blé en milieu bocager, et est défavorable dans les paysages en plein champs. La distribution des carabes est correctement estimée à partir de cette métrique et montre une relation inversée entre hétérogénéité paysagère et présence de *Poecilus cupreus* entre les périodes de montaison et de maturation du blé.

De manière générale, cette thèse a permis d'évaluer le potentiel des séries temporelles des données optiques S-2 et RSO S-1 pour identifier et caractériser les éléments constitutifs des continuités écologiques dans les paysages boisés et agricoles. Plus spécifiquement, elle a mis en évidence que, bien que les données S-2 soient plus adaptées que les données S-1 à la discrimination des types d'occupation et d'utilisation du sol et des stades phénologiques du blé et du colza, l'usage combiné des données S-2 et S-1 améliore la précision des classifications. Elle a aussi montré l'intérêt des indicateurs polarimétriques dérivés des données S-1 pour caractériser les cultures de blé et de colza dans des paysages agricoles. Enfin, elle a souligné l'intérêt de la métrique d'hétérogénéité biophysique dérivée des données S-2 conduisant à estimer précisément la distribution des espèces de carabes. L'usage de cette métrique, calculée avec des images gratuites et disponibles partout sur la Terre, continue et cohérente d'un site à l'autre et d'un type de culture à l'autre, devrait contribuer à l'étude de l'impact des continuités écologiques sur la biodiversité.

Cette thèse est originale dans la mesure où elle associe plusieurs disciplines pour appréhender les relations entre occupation du sol et biodiversité sur de grands espaces. Elle apporte des résultats qui seront très utiles à l'évaluation de la biodiversité et des continuités écologiques dans les paysages agricoles. Elle entre donc parfaitement dans les thématiques de l'Académie d'agriculture.

L'importance et la qualité de ces travaux justifient que cette analyse figure sur le site de l'Académie d'agriculture de France, à titre de valorisation de ces résultats.