



Télédétection des infrastructures agro-écologiques : retour sur le projet Tel-IAE

Christophe SAUSSE¹, David SHEEREN²

¹ Terres Inovia, avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval Grignon, France.

² INRAE, UMR Dynafor, chemin de Borde-Rouge, CS 52627 Auzeville, 31326 Castanet Tolosan Cedex, France.

Correspondance : Christophe SAUSSE, c.sausse@terresinovia.fr

Cartographier les infrastructures agroécologiques est une étape importante pour évaluer la qualité des paysages agricoles et prédire l'impact des aménagements. La télédétection spatiale présente d'importants atouts pour atteindre cet objectif à coût raisonnable et sur une surface importante. Terminé il y a six ans, le projet Tel-IAE « Télédétection des infrastructures agroécologiques » a permis d'évaluer des méthodes existantes dans des cas variés et d'en développer de nouvelles. Que s'est-il passé depuis ? Après un rapide retour d'expérience du projet, les auteurs nous livrent ici quelques pistes pour le futur tant du point de vue des usages de la télédétection que de celui des progrès techniques.

Introduction

Les infrastructures agroécologiques (IAE) impactent fortement la biodiversité de l'agroécosystème et les services écosystémiques associés. Pour les écologues, les IAE se prêtent à deux grilles de lecture. La première, issue de la biogéographie insulaire (Wilson et MacArthur, 1967), voit les surfaces cultivées comme une matrice « neutre » enserrant des espaces naturels riches en biodiversité connectés par des « corridors ». Ces corridors constituent une « trame » qui permet aux individus de se déplacer et d'échanger leurs gènes pour le plus grand profit des populations. Celles qui restent isolées péricliteront. Cette conception privilégie les IAE comme éléments semi-naturels linéaires, haies, couverts herbacés ou fossés. La seconde grille de lecture considère l'ensemble de l'espace agricole comme une mosaïque d'habitats complémentaires pour une faune et une flore variée. La biodiversité associée dépendra de la configuration spatiale et de la diversité de ces habitats (Fahrig *et al.*, 2011). Cette lecture, issue de l'écologie des paysages, laisse une plus large place à certaines surfaces cultivées qui pourront être favorables à certaines espèces (e.g. pour les pollinisateurs : cultures mellifères et jachères fleuries), ainsi qu'à des éléments ponctuels (e.g. arbres, murets).

Le passage de la biologie à la gestion impose de « durcir » les objets dans un cadre normatif. On ne sait gérer que ce que l'on sait compter et donc catégoriser. Les IAE voient ainsi leur définition normalisée, par exemple

dans le dispositif « haute valeur environnementale » (HVE) ainsi que dans la Politique agricole commune, ou elles sont renommées surfaces d'intérêt écologique (SIE). Ces nouveaux objets permettent d'évaluer la conformité à une norme ou bien de réaliser des études d'impact. Ces opérations requièrent des données faciles d'accès, à un coût raisonnable et si possible sur n'importe quelle entité géographique. Cela est possible par l'utilisation de produits prêts à l'emploi ou bien en les fabriquant soi-même. La télédétection permet de répondre à ces besoins. Des évolutions technologiques majeures et toujours en cours ainsi que des politiques publiques favorables ont fait naître de grands espoirs. Le projet CASDAR Tel-IAE a été mené entre 2012 et 2015 pour savoir comment ces espoirs pouvaient se concrétiser pour les acteurs du développement agricole.

Apport de Tel-IAE

Les travaux ont porté sur les ontologies (définition et sens des concepts mobilisés), la production de cartes à partir d'images satellitaires, le calcul d'indicateurs dérivés et sur la communication.

Nous avons tout d'abord élaboré un dictionnaire des IAE suffisamment étendu pour supporter différents usages, les IAE étant définies de manière générique comme éléments paysagers supports de processus écologiques jugés utiles pour la biodiversité et l'environnement des milieux agricoles. Ce dictionnaire a été élaboré de

manière hiérarchique sur au plus cinq niveaux de précision croissante (e.g. haies arborées plurispécifiques, haies arborées, haies, surfaces boisées, IAE).

Des nouvelles méthodes ont été développées pour améliorer l'extraction des éléments linéaires à partir de leur caractéristiques spectrales et géométriques. L'utilisation d'images Pléiades à 50 cm de résolution a permis d'obtenir des résultats satisfaisants d'extraction de haies par filtrage morphologique directionnel, mais l'application aux bandes enherbées a été moins probante (Fauvel *et al.*, 2014). L'ajout d'une information de hauteur obtenue à partir d'un modèle numérique de canopée Radar et LiDAR a amélioré l'extraction. Des méthodes existantes ont aussi été adaptées et testées en croisant trois zones d'études (Midi-Pyrénées, Bretagne et Picardie) avec l'utilisation d'images de résolution spatiale croissante (0,5 ; 2,5 ; 10 et 20 m). La figure 1 donne des résultats obtenus en Midi-Pyrénées incluant d'autres catégories d'occupation des sols. Les résultats ont montré que pour les arbres hors forêt, il était préférable d'envisager une extraction de l'ensemble de la couverture arborée dans l'image avant d'appliquer des techniques d'analyse spatiale pour les séparer plutôt que de chercher à distinguer directement ces objets dans les images selon leur signature spectrale. Le projet a également permis d'initier des travaux sur la caractérisation des prairies (productivité, conduite, temporaire/permanente) qui ont été poursuivis dans le cadre d'une thèse (Lopes, 2017).

Différents outils sont disponibles pour passer des cartes aux métriques paysagères permettant de les relier à des indicateurs de biodiversité (ex. : FRAGSTATS, McGarigal *et al.*, 2002). Le test de ces outils a confirmé la forte sensibilité des résultats à la résolution spatiale des images utilisées pour produire les cartes (Lechner et Rhodes, 2016). Ces méthodes restent toutefois peu accessibles pour du personnel non-géomaticien et n'ont d'utilité que dans un cadre de référence biologique qu'il est important d'explicitier. Un carabe, une alouette ou

un chevreuil, n'ont pas la même vision du paysage et donc pas la même sensibilité aux métriques paysagères ni à celle de l'étendue d'analyse. Enfin, le projet a permis de documenter et consolider le code du prototype HedgeTools, une boîte à outils sous ArcGIS qui permet une caractérisation fonctionnelle des haies (calculs de variables morphologiques, d'indices de connectivité et rôles fonctionnels : brise vent, anti érosif et protection des cours d'eau). Le développement de cet outil se poursuit dans le cadre du projet SCO EagleHedges (financement CNES et OFB) qui prévoit une mise à disposition sous forme de plug-in pour QGIS.

Ces travaux, ainsi que les échanges entre spécialistes de la télédétection et « thématiciens », ont abouti à la rédaction d'un guide interactif pour les utilisateurs explicitant les choix aux différentes étapes de la chaîne de traitement allant de l'acquisition à la production d'indicateurs. Le site web abritant ce guide a été fermé en 2019. Le rapport final et l'ensemble des livrables « papier » du projet sont néanmoins accessibles sur demande aux auteurs.

Quelques leçons hors du champ technique

Le projet a mis en lumière un dialogue parfois difficile mais fécond entre « télédéTECTEURS » et « thématiciens », les premiers n'étant pas toujours capables de faire état des possibilités de l'imagerie spatiale pour reconnaître les IAE sans « tester » la capacité à les extraire, et les seconds ne comprenant pas toujours les difficultés pour y répondre et la complexité potentielle de l'automatisation alors que les objets sont bien visibles dans les images de Google Earth. Cette tension n'est pas propre au projet : en 1994, Hoffer (1994) concevait déjà la définition des besoins en information spatialisée issue de la télédétection comme un processus en boucle requérant de la patience. Les distinctions entre « carte », « image satellite », « télédétection », « géomatique » et « SIG » (système d'information géographique) ne sont pas évidentes pour les utilisateurs, et les spécialistes seraient mal avisés de s'en offusquer. Il convient plutôt de vulgariser, d'évoquer les limites et de démystifier en clarifiant les étapes du traitement de l'information géographique et en distinguant ce qui relève des données, des outils et des compétences (figure 2).

Le projet a également permis de débattre du caractère discutabile ou pas des IAE. En effet, leur définition cristallise une tension entre désir de comprendre et approche normative pour la gestion qui peut appauvrir notre compréhension de la biodiversité. Par exemple, les modèles espèces-habitats peuvent être peu transférables d'une région à l'autre en raison d'une nomenclature thématique trop générique associée aux données qui peut masquer des éléments de distinction importants (deux « prairies » peuvent avoir des fonctions écologiques très différentes selon leur composition botanique et leur conduite ; Schaub *et al.*, 2011). La prise en compte de représentations continues et non catégorielles est une façon d'y remédier (Bonthoux *et al.*, 2018). Un autre problème est que le lien supposé universel entre biodiversité et IAE peut faire oublier les besoins particuliers de certains taxons excentriques. Le risque de prendre la carte pour le territoire peut être dommageable pour ses habitants, humains et autres espèces. La prise en compte

Figure 1 – Cartes à partir d'images à différentes résolutions en Midi Pyrénées.

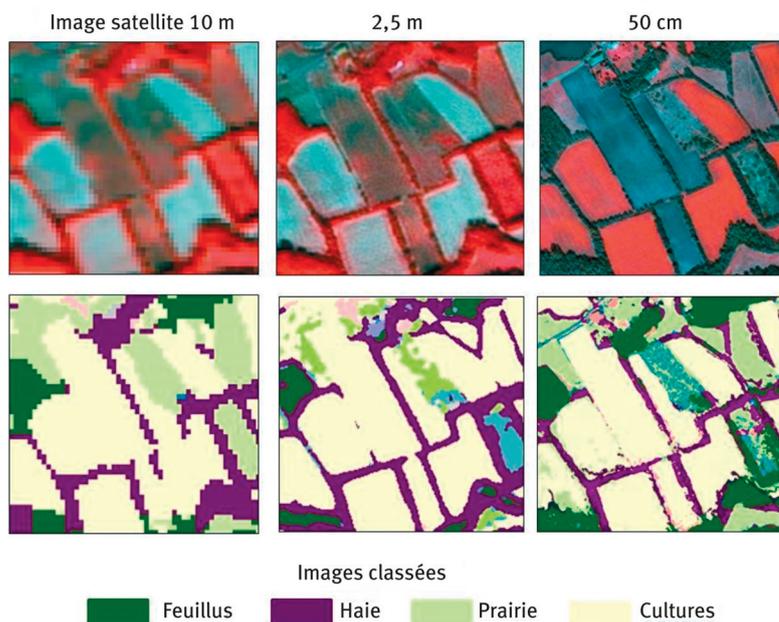
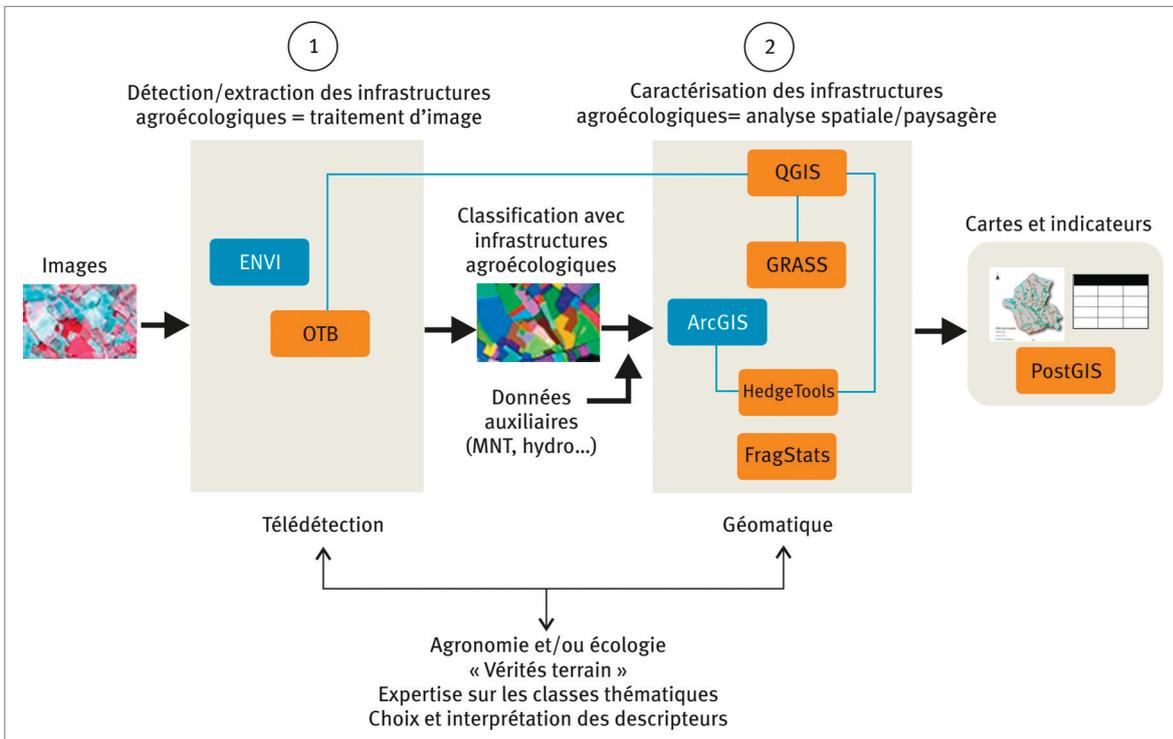




Figure 2 – La chaîne de traitement comprend une étape d'extraction des IAE à partir d'images satellites et une autre de caractérisation d'IAE et de production d'indicateurs. Elle requiert des compétences variées, y compris en ingénierie de la donnée. Les outils propriétaires (en bleu : logiciels ArcGIS et ENVI) et open source (en orange : SIG QGIS et GRASS, système de gestion de base de données PostGIS, logiciel d'analyse du paysage FragStats) sont indiqués à titre d'illustration. Des packages R et bibliothèques Python offrent également de nombreuses possibilités aux différentes étapes.



de l'information et de l'expertise locale, à grain fin peut contrebalancer les inconvénients d'une démarche de gestion « top-down » (Vimal et Mathevet, 2011).

Et maintenant ? Et demain ?

Le projet Tel-IAE s'est terminé il y a six ans. Que s'est-il passé depuis ? Nous livrons ici quelques réflexions issues de notre expérience qui ne sont en aucun cas le résultat d'un travail d'enquête.

Ce qui a changé

L'offre en données, issues ou pas de la télédétection, s'est fortement améliorée. Une étape importante est l'ouverture de l'ensemble des données publiques de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) depuis le 1^{er} janvier 2021. La couche végétation de la BDTopo enrichie par le Registre parcellaire graphique (RPG) offrent des données incomplètes mais déjà pertinentes pour cartographier certaines IAE ou évaluer la diversité des cultures et la proportion d'éléments semi-naturels dans les agroécosystèmes. Le RPG inclut d'ailleurs des SIE linéaires et surfaciques (haies, bandes tampons...). L'IGN a également produit une couche nationale de référence des haies pour le suivi des bocages (BD Haie). Le pôle THEIA participe aussi au développement de produits sur étagère, régulièrement mis à jour, comme le produit Occupation du sol (OSO) généré automatiquement à partir d'images satellitaires.

Le programme européen Copernicus constitue une rupture. Il offre une gamme d'images inédites (ex. :

Sentinel-1 et 2) permettant de dépasser la cartographie de la structure des écosystèmes et d'appréhender leur fonctionnement, grâce à des acquisitions très fréquentes (tous les cinq jours pour Sentinel-2). Il est possible d'en dériver de nombreux indicateurs pour le suivi de la biodiversité dont une partie sera mise à disposition par le CES Biodiversité du pôle THEIA. Les images Copernicus sont gratuites et en accès libre et facilement accessibles *via* des plateformes (PEPS/CNES, THEIA, Copernicus Open Access Hub, Sentinel Hub) ou directement par un package R (sen2R) ou des bibliothèques en Python. Des outils logiciels et chaînes de traitement sont également disponibles (OTB, SNAP, iota2).

Une autre rupture attendue est l'arrivée des données LiDAR HD de l'IGN qui seront diffusées gratuitement. Ces données permettront d'affiner la détection de certaines IAE comme les haies et arbres isolés avec des services de production opérationnels. Elles devraient aider à mieux caractériser la structure de la végétation et limiter les confusions avec les surfaces herbacées. Elles devraient enfin élargir la gamme des possibles avec la cartographie éventuelle des fossés et talus (Roelens *et al.*, 2018), l'identification d'arbres-habitats ou les formes d'agroforesterie.

Les produits aujourd'hui disponibles couvrent de nombreuses combinaisons de résolution spatiales, spectrales et temporelles, ainsi que l'illustre Anderson (2018) dans sa synthèse consacrée aux usages de la télédétection pour l'écologie. Les performances des outils pour traiter les données spatialisées ont augmenté, notamment avec l'apprentissage profond (Kattenborn *et al.*, 2021), ainsi



que la puissance de calcul. Les librairies comme Leaflet facilitent la mise à disposition des résultats sur le web, et des API simplifient et rationalisent l'accès aux données géographiques. Le traitement de l'information géographique devient plus accessible aux non-spécialistes, ce qui fait écho à l'émergence de la « néogéographie » entendue comme la production de données cartographiques par des géographes amateurs (Joliveau, 2012). Si la mise à disposition d'outils libres et simples d'utilisation facilite la valorisation de produits sur étagère, des connaissances sur les propriétés optiques et les caractéristiques du signal restent toutefois nécessaires pour produire cartes et indicateurs à partir d'images satellitaires. Concernant les usages, la volonté d'intégrer la biodiversité dans les signes de qualité et l'affichage environnemental pourrait impliquer le recours à des métriques d'occupation du sol incluant les IAE. Dans le domaine de la protection des cultures contre les insectes ou les vertébrés la caractérisation de paysages et des IAE est importante pour comprendre des processus de régulation biologique et interpréter des données d'épidémiologie (Delaune *et al.*, 2021). Plus généralement, le calcul d'indicateurs agri-environnementaux pour soutenir la transition agroécologique requiert sur

certaines sujets des approches territoriales. Pour cela, la collecte de données sur les IAE et au-delà est nécessaire. Un usage systématique de la télédétection, en complément d'autres sources, est pressenti (Bockstaller *et al.*, 2021).

Ce qui n'a pas changé

L'appropriation des avancées technologiques citées plus haut reste lente. Malgré une mise en accès libre, l'utilisation des produits Copernicus n'est pas devenue une routine dans la plupart des organisations de développement agricoles (instituts techniques, chambres, coopératives) qui dépendent de fournisseurs spécialisés. La « course d'obstacles pour les utilisateurs » soulignées dans les séminaires THEIA en 2015-2016 reste d'actualité. Faut-il y voir un effet de l'inertie propre aux grosses organisations, y compris sur l'évolution des métiers ? Ou un problème de transfert de la recherche vers le développement sous différents angles (formation, vulgarisation, simplicité et ergonomie des produits) ? Ces questions importantes dépassent le cadre de ce court compte rendu.

Le rapport technique final et les livrables du projet Tel-IAE sont disponibles sur requête adressée à c.sausse@terresinovia.fr

RÉFÉRENCES

- Anderson C. B., 2018. Biodiversity monitoring, earth observations and the ecology of scale. *Ecol Lett*, 21: 1572-1585, <https://doi.org/10.1111/ele.13106>.
- Bockstaller C., Sirami C., Sheeren D., Keichinger O., Arnaud L., Favreau A., Angevin F., Laurent D., Marchand G., De Laroche E., Ceschia E., 2021. Apports de la télédétection au calcul d'indicateurs agri-environnementaux au service de la PAC, des agriculteurs et porteurs d'enjeu. *Innovations Agronomiques*, n° 83, p. 43-59, <https://doi.org/10.15454/ns4w-a314>.
- Bonthoux S., Lefèvre S., Herrault P. A., Sheeren D., 2018. Spatial and Temporal Dependency of NDVI Satellite Imagery in Predicting Bird Diversity over France. *Remote Sensing*, 10(7), 1136, <https://doi.org/10.3390/rs10071136>.
- Delaune T., Ouattara M. S., Ballot R., Sausse C., Felix I., Maupas F., Barbu C., 2021. Landscape drivers of pests and pathogens abundance in arable crops. *Ecography*, 44(10), 1429-1442, <https://doi.org/10.1111/ecog.05433>.
- Fahrig L., Baudry J., Brotons L., Burel F. G., Crist T. O., Fuller R. J., Martin J. L., 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology letters*, 14(2), 101-112, <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x>.
- Fauvel M., Planque C., Sheeren D., Dalla Mura M., 2014. Télédétection des éléments semi-naturels : utilisation des données Pléiades pour la détection des haies, *Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection*, 208, p. 111-116, <https://doi.org/10.52638/rfpt.2014.101>.
- Hoffer R.M., 1994. Challenges in developing and applying remote sensing to ecosystem management. In: Sample, V.A., editors, *Remote sensing and GIS in ecosystem management*, Washington, DC: Island Press, 25-40.
- Joliveau T., 2012. La géographie et la géomatique au crible de la néogéographie, *Tracés*. *Revue de Sciences humaines*, <http://journals.openedition.org/traces/4847>.
- Kattenborn T., Leitloff J., Schiefer F., Hinz S., 2021. Review on Convolutional Neural Networks (CNN) in vegetation remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 173, p. 24-49, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.12.010>.
- Lechner A. M., Rhodes J. R., 2016. Recent Progress on Spatial and Thematic Resolution in Landscape Ecology. *Curr Landscape Ecol, Rep*, 1, 98-105, <https://doi.org/10.1007/s40823-016-0011-z>.
- Lopes M., 2017. Ecological monitoring of semi-natural grasslands: statistical analysis of dense satellite image time series with high spatial resolution. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, 200 p., <https://www.theses.fr/220009902>.
- McGarigal K., Cushman S. A., Neel M. C., Ene E., 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst, available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- Roelens J., Höfle B., Dondeyne S., Van Orshoven J., Diels J., 2018. Drainage ditch extraction from airborne LiDAR point clouds, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 146, p. 409-420, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.10.014>.
- Schaub M., Kéry M., Birrer S., Rudin M., Jenni L., 2011. Habitat-density associations are not geographically transferable in Swiss farmland birds. *Ecography*, 34(4), 693-704, <http://www.jstor.org/stable/41239432>.
- Vimal R., Mathevet R., 2011. La carte et le territoire : le réseau écologique à l'épreuve de l'assemblée cartographique. *Cybergeo: European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, document 572, <https://doi.org/10.4000/cybergeo.24841>.
- Wilson E. O., MacArthur R. H., 1967. *The theory of island biogeography* (Vol. 1). Princeton, NJ: Princeton University Press.