La télédétection des infrastructures agro-écologiques : de la promesse aux méthodes opérationnelles (Tél-IAE)

Christophe Sausse, Véronique Cheret, Rémy Coffion, Danielle Ducrot, Sylvie Duthoit, Hélène Gross, Aurélien Lepennetier, Vincent Manneville, R. Sculo, David Sheeren, et al.

▶ **To cite this version:**

Christophe Sausse, Véronique Cheret, Rémy Coffion, Danielle Ducrot, Sylvie Duthoit, et al.. La télédétection des infrastructures agro-écologiques : de la promesse aux méthodes opérationnelles (Tél-IAE). Innovations Agronomiques, 2018, 63, pp.267-278. 10.15454/1.519117475524328E12 . hal-01836002

HAL Id: hal-01836002
https://hal.science/hal-01836002

Submitted on 11 Jul 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

La télédétection des infrastructures agro-écologiques : de la promesse aux méthodes opérationnelles (Tél-IAE)

Sausse C.[1], Chéret V.[2], Coffion R.[3], Ducrot D.[4], Duthoit S.[2], Gross H.[5], Lepennetier A.[5], Manneville V.[6], Sculo R.[3], Sheeren D.[7], Tosser V.[8], Wartelle R.[9]

[1] Terres Inovia, Avenue Lucien Brétignières, F-78850 Thiverval Grignon

[2] Ecole d'Ingénieur de PURPAN/UMR Dynafor, 75 Voie du Toec, BP 57611, F-31076 Toulouse Cedex 3

[3] ACTA Informatique, 149 rue de Bercy, F-75595 Paris cedex 12

[4] CESBIO, UMR 5126, 18 avenue. Edouard Belin, bpi 2801, F-31401 Toulouse cedex 9

[5] ACTA, 1 avenue Bourgelat, F-69280 Marcy l'Etoile

[6] Institut de l'élevage, 9 allée Pierre de Fermat, F-63170 Aubière

[7] UMR 1201 DYNAFOR INRA / INP-ENSAT / INP-EI Purpan, Av. de l'Agrobiopôle, BP 32607, F-31326 Castanet-Tolosan

[8] Arvalis Institut du Végétal, F-91720 Boigneville

[9] Chambre Régionale d'Agriculture Hauts de France, 19 bis rue A. Dumas, F-80096 Amiens cedex 3

Correspondance : c.sausse@terresinovia.fr

Résumé

Les infrastructures agro-écologiques comme les haies et les bandes enherbées sont des éléments paysagers clé pour la biodiversité dans les territoires agricoles. Les cartographier est une étape importante pour évaluer la qualité des paysages et prédire l'impact d'aménagements. La télédétection spatiale présente un potentiel important pour atteindre cet objectif à coût raisonnable et sur une surface importante. Le projet « télédétection des infrastructures agroécologiques » regroupant spécialistes de la télédétection et utilisateurs s'est proposé d'évaluer des méthodes existantes dans des cas variés et d'en développer de nouvelles. Un site web présentant les résultats du projet guide l'utilisateur vers des grands types d'options techniques en fonction de son projet et lui donne accès à diverses ressources. La pleine appropriation des méthodes et outils implique toutefois un décloisonnement des métiers au-delà des considérations purement techniques.

Mots-clés : télédétection, biodiversité, agriculture, infrastructures agro-écologiques

Abstract: Remote sensing of agro-ecological landscape elements: from promise to operational methods

Agro-ecological areas like hedgerows and grass strips are key landscape elements for biodiversity in agricultural territories. Mapping them is an important step in assessing the quality of landscapes and predicting the impact of landscaping. Spatial remote sensing has a significant potential for that purpose at reasonable cost and over large areas. The project « télédétection des infrastructures agroécologiques » gathering remote sensing specialists and end-users proposed to evaluate existing methods in various cases and to develop new ones. A website presents the results of the project. It guides the user towards major types of technical options according to his goals and gives him access to various resources. The full appropriation of methods and tools implies, however, better communication between different professions beyond purely technical considerations.

Keywords: remote sensing, biodiversity, agriculture, landscape elements

Introduction

La biodiversité en milieu agricole est devenue un sujet important pour plusieurs raisons : la protection des espèces patrimoniales et ordinaires, la reconnaissance des services qu'elle rend (fonction de régulation) et enfin sa prise en compte par l'aval des filières (affichage environnemental et signes de qualité). La biodiversité est difficilement mesurable directement et le paysage donne une clé d'entrée pour l'évaluer indirectement ou bien agir sur elle. Nous définirons ici de manière générale les infrastructures agro-écologiques (IAE) comme des éléments paysagers d'intérêt pour la biodiversité en contexte agricole.

La télédétection à partir d'images satellite ou aériennes offre une alternative pratique et économique à la numérisation des IAE sur fonds de carte et permet de traiter de grandes surfaces. Son potentiel est important mais tarde à porter ses fruits. Les obstacles sont de trois ordres : le cloisonnement disciplinaire qui a pour conséquence une difficulté à faire coïncider offre et besoins (Figure 1); des difficultés d'accès aux diverses ressources (données, méthodes, compétences) et dans le cas des IAE, des difficultés méthodologiques pour caractériser certains éléments. Le projet Casdar Recherche Finalisée et Innovation « Télédétection des infrastructures agroécologiques » (TelIAE) s'est attaché à travailler sur ces trois obstacles en réunissant des spécialistes de la télédétection (CESBIO, UMR Dynafor, UMR TETIS), des utilisateurs (Chambre d'Agriculture Hauts de France, Arvalis Institut du Végétal, Terres Inovia, ACTA, IDELE, MNHN) et des spécialistes en informatique (ACTA Informatique). Le présent article synthétise les principaux acquis du projet dont l'ensemble des résultats sont consultables en ligne (www.teledetection-iae.fr).

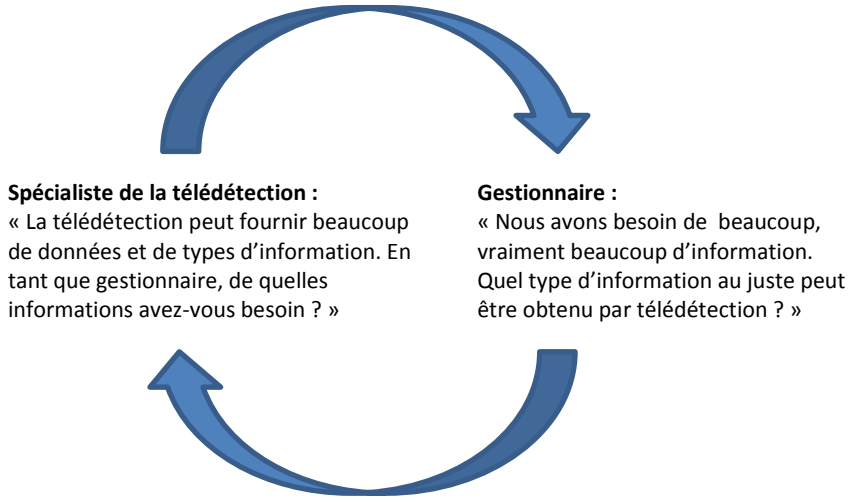

Figure 1 : Le cercle de la définition des besoins en information (traduit de Mc Dermid *et al*., 2005). Il en résulte très facilement des malentendus faute de compréhension des hypothèses implicites propres à chaque partie.

1. Du côté de la demande : des besoins variés

L'analyse de la demande a été menée par l'ACTA en tirant parti de la diversité des besoins exprimés par les partenaires du projet. Elle a articulé travaux de groupes (séminaires et ateliers) et études de cas.

1.1 Vous avez-dit IAE ?

Le séminaire de lancement du projet visait à définir le périmètre du projet en clarifiant le concept d'IAE. Cette première discussion en a souligné le caractère polysémique.

D'un point de vue de la théorie écologique, les IAE peuvent être vues comme des **corridors** entre des habitats, réservoirs de biodiversité au sein d'une matrice agricole perçue comme peu intéressante. La connexion des réservoirs grâce aux corridors permet des échanges qui évitent l'extinction de populations locales. C'est la vision qui sous-tend la politique de Trame Verte et Bleue (TVB). Les IAE peuvent aussi être vues comme habitats d'intérêt, remarquables par leurs capacités à offrir gîtes et couvert. Le paysage est considéré ici comme une **mosaïque** d'habitats ce qui laisse davantage de place à la prise en compte des espaces cultivés. Les caractéristiques de la mosaïque vont impacter la capacité d'accueil du paysage et la structure des communautés animales et végétales. Le verdissement de la PAC avec la promotion des surfaces d'intérêt écologiques et la diversification des assolements s'inscrit globalement dans cette logique. Ces deux cadres théoriques « corridor » et « mosaïque » sont tout à fait compatibles. Tout dépend des organismes et processus écologiques considérés.

À quoi reconnaît-on une IAE ? La première solution consiste à utiliser des grands critères de classification. Les critères inclusifs, par exemple « semi-naturels » ou « fixes », ou exclusifs, comme « non productifs », sont en pratique ambigus. Au bout de combien de temps un élément devient-il fixe ? Une luzerne est un espace cultivé, productif, mais son intérêt est reconnu pour certaines espèces. Comment la classer ? Etc. Une liste fixe présente le risque de ne pas répondre aux besoins de certains utilisateurs menant des recherches exploratoires sur l'ensemble des éléments paysagers favorables à certaines espèces ou groupes d'espèces, ou bien menant des actions de gestion spécifiques. Pour résoudre ce problème, TelIAE a fait le choix de travailler sur les éléments paysagers dont le plus petit dénominateur commun est le fait d'être **supports de processus écologiques jugés utiles pour la biodiversité et l'environnement des milieux agricoles** : 1) fonction d'habitat, 2) fonction de connectivité (lieu de déplacement et de flux de matière et d'énergie) et 3) fonction de protection de l'environnement et agronomique. En pratique, nous avons repris et enrichi une liste issue de travaux préalables, en la structurant de manière hiérarchique et en ajoutant les cultures (Tableau 1). Chaque élément a été défini plus précisément dans un catalogue consultable sur le site du projet. Cette liste élargie a servi de base pour identifier les besoins propres aux partenaires du projet. Chacun d'eux a proposé un ou plusieurs cas d'utilisation où la cartographie des IAE est requise (12 cas au total) et remplit une grille d'analyse (IAE souhaitées, étendue, résolution, mise à jour…). Ce recensement des besoins visait à réfléchir sur des cas concrets variés, sans prétendre à l'exhaustivité.

1.2 Des espaces à décrire variés

Les cas étudiés s'inscrivent plutôt dans le cadre « mosaïque ». Les besoins vont de la recherche sur les liens biodiversité-territoire, avec la prise en compte d'IAE à la carte, à l'évaluation de territoire ou d'exploitations basée sur des listes d'IAE définies a priori (surfaces d'intérêt écologique de la PAC par exemple). La prise en compte des cultures ou a minima de l'ensemble des grands types d'occupation du sol est un souhait récurrent, par exemple pour interpréter l'évolution des IAE sur un territoire conjointement à d'autres déterminants comme l'artificialisation ou bien pour évaluer l'impact de cultures particulières. Les utilisateurs ressentent le besoin d'une normalisation pour pouvoir établir des comparaisons et d'une actualisation fréquente des données. Les besoins cartographiques peuvent concerner des territoires d'un tenant comme une exploitation ou une petite région, mais l'appui aux réseaux et observatoires impliquent la production de plusieurs cartes sur une étendue nationale (Tableau 2).

Tableau 2 : Exemples de besoins cartographiques contrastés

Cas	Surface de carte (km²)	Nombre de cartes	Surface totale (km²)
Observatoire de l'avifaune	4	1000	4000
Essais systèmes de culture	7 (buffers de 1,5 km)	4	28
Caractérisation d'une petite région agricole	1300 (surface moyenne PRA)	1	1300

Tableau 1 : Eléments paysagers d'intérêt (adapté de Coulon *et al*., 2012). L'importance concerne le nombre de fois où l'IAE est cité pour l'ensemble des 12 cas présentés par les partenaires du projet (foncé : important ; clair : moyennement important)

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5	Importance
IAE					
	Surfaces boisées (sous entendu en zone agricole)				
		Arbres isolés			
			Petit (7.5-22cm)		
			Moyen (22.5-47.5 cm)		
			Gros (>47.5 cm)		
		Haies			
			Basses		
			Buissonnantes		
			Arborées		
				Monospécifiques	
				Plurispécifiques	
		Bosquets			
		Alignements d'arbres et agro-foresterie			
			Alignement d'arbres		
			Sylvopastoralisme		
			Agrosylviculture		
		Ripisylve			
	Pré-vergers, vergers haute tiges				
		50-100 arbres/ha			
		100-250 arbres/ha			
	Lisière				
	Surface en herbe				
		Bordure de champs			
			Limite de champs proprement dite		
			Bordure de voie de communication		
			Talus		
		Bandes enherbées			
		Surface toujours en herbe			
			Landes, parcours, alpages, estives		
			Prairies permanentes		
				En NATURA 2000	
	Couverts environnementaux				
		Jachère fixe			
		Jachère environnentale			
			Jachère florale		
			Jachère mellifère		
			Jachère faune sauvage		
		Bandes fleuries			
	Friche				
	Autres				
		Milieux humides			
			Fossés, cours d'eau, béalières		
			Mares, lavognes, trous d'eau		
			Tourbières		
		Murets, terrasses à murets, clapas, petit bâti rural traditionnel, affleurement de rochers			
		Levadons			
		Chemins non goudronnés			
		Autres : ruine, doline, rupture de pente…			
Cultures annuelles (niveaux 3 et 4 non présentés)					
	Céréales d'hiver				
	Céréales de printemps				
	Autres cultures d'hiver				
	Autres cultures de printemps				
	Fourrage pluriannuel				
Cultures pérennes					
	Viticulture				
	Fruitiers				
Non agricole					
	Territoires artificalisés				
	Forêts et milieux semi-naturel				
	Zones humides				

2. Du côté de l'offre : une chaîne de traitement modulaire

La chaîne de traitement depuis l'acquisition d'images jusqu'à la production de descripteurs paysagers se décompose en plusieurs étapes (Figure 2). Chacune d'elle nécessite des compétences spécifiques. TelIAE s'est attaché à développer de nouvelles méthodes d'extraction et de caractérisation de certaines IAE et à évaluer des méthodes existantes pour la production de cartes et le calcul de descripteurs dans des situations variées.

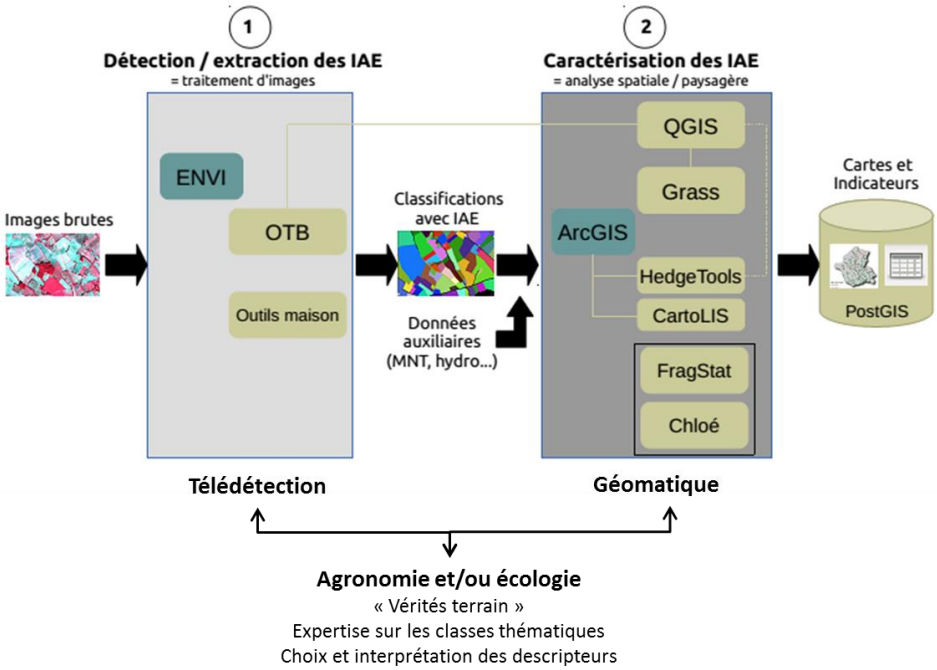

Figure 2 : Chaîne de traitement définie dans TelIAE incluant deux grandes étapes : (1) extraction automatique d'IAE à partir d'images satellites et (2) caractérisation d'IAE incluant la production d'indicateurs spatialisés. Pour chacune des étapes, des outils-logiciels sont mentionnés en distinguant les logiciels propriétaires (en bleu-vert) et les outils libres (en kaki).

2.1 Quelques rappels

La cartographie des IAE fait appel à des méthodes de « classification » permettant d'associer à chaque pixel de l'image un type d'occupation du sol. L'IAE est au final représentée par une surface et l'estimation de linéaires implique des traitements ultérieurs spécifiques (exemple plus bas avec l'outil HedgeTools). La cartographie ne peut être mise en œuvre sans « vérités » ou « échantillons » terrain autorisant le paramétrage des modèles d'apprentissage supervisés. Ces vérités terrain peuvent être obtenues par l'interprétation d'images existantes (par exemple GoogleEarth) ou par des relevés au sol. Les cartes étant des modèles de la réalité, elles contiennent systématiquement des simplifications ou des erreurs. Les performances de classification peuvent être estimées par différentes métriques de précision et de sensibilité. La télédétection permet de cartographier des éléments visibles en surplomb, suffisamment grands relativement aux résolutions spatiales des images et aptes à être catégorisés selon des critères visuels (spectres de réflectance des objets).

La figure 3 donne un aperçu des possibilités offertes par la télédétection, dans le cas des IAE, et de ses limites (d'après un examen de la littérature existante effectué au cours du projet). Les arbres hors forêts incluant les haies ou les fragments boisés sont relativement bien détectés à partir d'images à haut niveau de détail et ceci, de façon opérationnelle. Pour les parcelles en agroforesterie, très peu de travaux existent et leur détection doit être confirmée. Les surfaces en herbe et en particulier les prairies

sont également bien reconnues, sans pour autant qu'il soit possible de bien les différencier (artificielle / semi-naturelle ; monospécifique / plurispécifique). Les bordures de champs et bandes enherbées sont également difficiles à extraire de façon précise et exhaustive. Certaines d'entre elles présentent ainsi l'inconvénient d'être cachées par la canopée. Le cas des jachères est également difficile. Une jachère florale peut présenter un aspect similaire à une jachère mellifère ou faune sauvage. Un muret est trop petit pour être distinguable, etc.

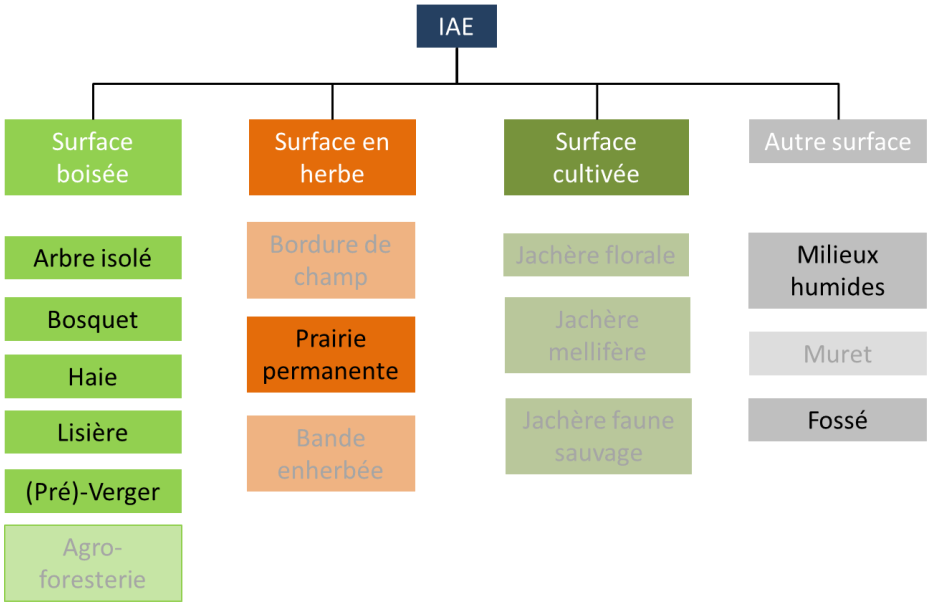

Figure 3 : IAE identifiables comme occupations du sol distinctes par télédétection ou non identifiables à courte échéance (grisé). La détection des lisières et bordures de champ est possible par post-traitement sous SIG au cas où l'on considère ces IAE comme limite entre deux types d'occupation du sol. La détection des fossés est possible avec des données d'altimétrie (LiDAR – télémétrie laser).

2.2 Développement de nouvelles méthodes

L'UMR DYNAFOR a travaillé sur l'amélioration de la détection des éléments linéaires et la qualification des prairies (Lang 2015). La qualification des types de jachère est un autre enjeu important mais pour lequel les perspectives d'applications pratiques de la télédétection sont pour le moment trop éloignées.

L'échelle de travail est dite locale, soit un territoire de faible étendue, quelques km², autour de parcelles d'observation. L'enjeu est ici d'évaluer le niveau de détail qu'il est possible d'atteindre, soit en exploitant des images « standard » à haute et très haute résolution spatiale (ex. SPOT-5, Pléiades), soit en faisant appel à des données plus difficilement accessibles ou coûteuses (ex : données LiDAR, couple d'images stéréo, image hyperspectrale).

2.2.1 Haies et bandes enherbées

Le principe de cartographie employé ici consiste d'abord à extraire une couche arborée (carte bois / non bois) pour ensuite extraire les haies. Ces dernières se distinguent donc au final par leurs propriétés spectrales et leur forme linéaire. Plusieurs jeux de données ont été testés sur les zones Sud-Ouest et Bretagne (images Pléiades à 50 cm de résolution) avec pour objectif d'estimer l'influence de différents paramètres sur la qualité des cartes de haies produites :

(1) utilisation d'une ou plusieurs images à différentes dates : décembre est préférable à octobre en mono-date. La combinaison de 2 dates n'apporte pas d'amélioration contrairement à la combinaison de de 2 classifications mono dates.

(2) utilisation de données supplémentaires de hauteur par LiDAR (télémétrie laser) ou radar : comme attendu, les performances sont fortement améliorées, supérieures avec le LiDAR.

(3) algorithmes de classification supervisée appliqués (dits « séparateurs à vastes marges », « forêt aléatoire », « mélange de modèles Gaussiens ») : la « forêt aléatoire » donne les meilleurs résultats.

(4) méthodes d'extraction des haies (dites « orientation locale », « chapeau haut-de-forme », « Dice ») : la méthode « Dice » donne les meilleurs résultats.

La figure 4 illustre les résultats obtenus avec la combinaison des meilleures méthodes sur haies (voir Fauvel *et al.*, 2014 pour plus de détails). Ces méthodes ont été appliquées au cas des bandes enherbées, mais avec des résultats moins probants.

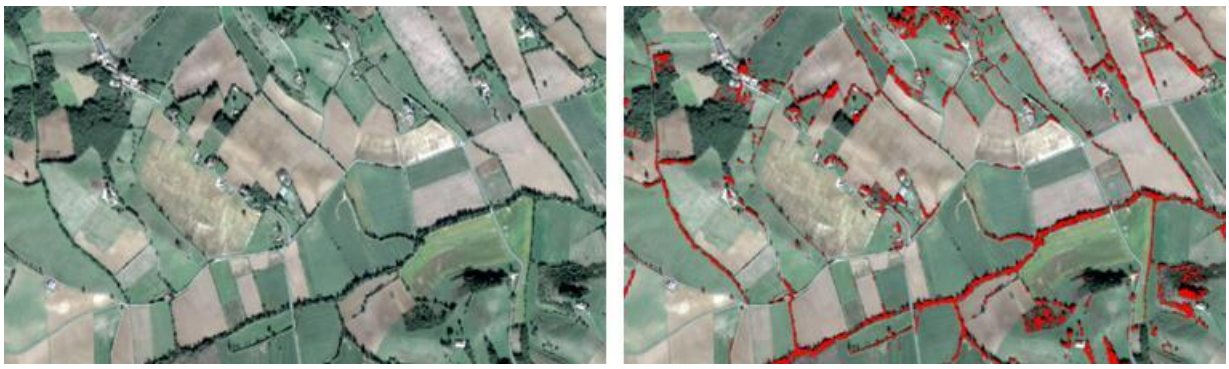

Figure 4 : Résultat d'extraction des haies, à droite en rouge, à partir d'images Pléiades et données LiDAR.

2.2.2 Prairies

Les surfaces en herbe sont facilement distinguables par télédétection spatiale. En revanche, leur caractérisation est plus difficile. Le projet s'est attaché à développer des méthodes sur 3 points : (1) reconnaissance des prairies permanentes et temporaires à partir d'images entre février et juin (2) distinction des modes de conduite des prairies (3) caractérisation du potentiel de productivité et de la précocité. Les travaux n'ont pas permis d'aboutir pour le moment à une caractérisation suffisamment fiable en contexte opérationnel. Ils se poursuivent dans le cadre d'une thèse (Lopes *et al.* 2017).

2.2.3 Vers l'extraction d'IAE « fonctionnelles » : HedgeTools

HedgeTools est un outil de caractérisation des haies développé depuis 2013 sous le logiciel ArcGIS par l'UMR DYNAFOR (Villierme, 2013 ; Sheeren et al., 2015). À partir d'une carte de haies, il permet de calculer des variables de plusieurs types : 1) variables morphologiques (longueur, largeur, forme, orientation de la haie) 2) indices de connectivité du réseau de haies, 3) estimation du rôle fonctionnel de la haie (brise vent, anti-érosif, protection de cours d'eau). Cette dernière fonctionnalité nécessite des informations complémentaires présentes sur la carte de départ (cultures, cours d'eau) ou externe (altimétrie, météorologie…). TelIAE a permis de documenter et consolider le code de l'outil. La version actuelle n'est toutefois pas suffisamment stable pour être diffusée hors cadre recherche.

2.3 Évaluation de méthodes opérationnelles pour la réalisation de cartes

Des méthodes existantes de classification d'images ont été adaptées par le CESBIO pour cartographier les éléments arborés et principales cultures. L'IAE se distingue ici par ses propriétés spectrales et non

ses caractéristiques géométriques. Les haies et bosquets sont, selon ce principe, des formations végétales spécifiques qui peuvent parfois être confondue avec les lisières de bois. Nous avons testé la robustesse de ces méthodes en faisant varier les images (résolution spatiale et temporelle) et les zones d'application (Sud-Ouest, Bretagne et Picardie). Les résultats montrent que :

- À 20 m de résolution spatiale, seules les haies les plus larges et les ripisylves sont apparentes.
- La résolution à 10m semble bien adaptée pour les applications agricoles et les IAE. La plupart des haies, des lisières de forêts et des bosquets sont détectés. Les classifications obtiennent une précision globale élevée, ce qui permet la caractérisation agro-paysagère. La principale limite est pour les haies trop étroites qui ne sont pas bien détectées, en particulier dans le contexte Picard avec des haies d'implantation récente.
- La classification à résolution inférieure (2.5 m et 50 cm) est plus précise et détaillée. Mais les traitements sont plus complexes. À cette échelle, la grande quantité d'information exige des vérités de terrain plus précises. En outre, l'ombre induite par les haies, les forêts, etc., doit être prise en compte à certaines dates et implique des opérations supplémentaires. À 50 cm, les haies deviennent alors des éléments fragmentés, ce qui peut rendre par exemple difficile le calcul ultérieur de linéaires (mais les outils de caractérisation peuvent adapter la représentation des objets).
- L'utilisation de données multi-temporelles accroît les performances. 3-4 dates sont recommandées pour des résultats satisfaisants quant à l'identification d'IAE, le minimum étant de 2 dates.
- La distinction des cultures principales est aisée. Les lisières sont distinguables du cœur des forêts sans post-traitement (i.e. leurs caractéristiques spectrales sont différentes).

La Figure 5 illustre les résultats pour différentes résolutions d'image, avec regroupement des cultures et sans classification des lisières de bois.

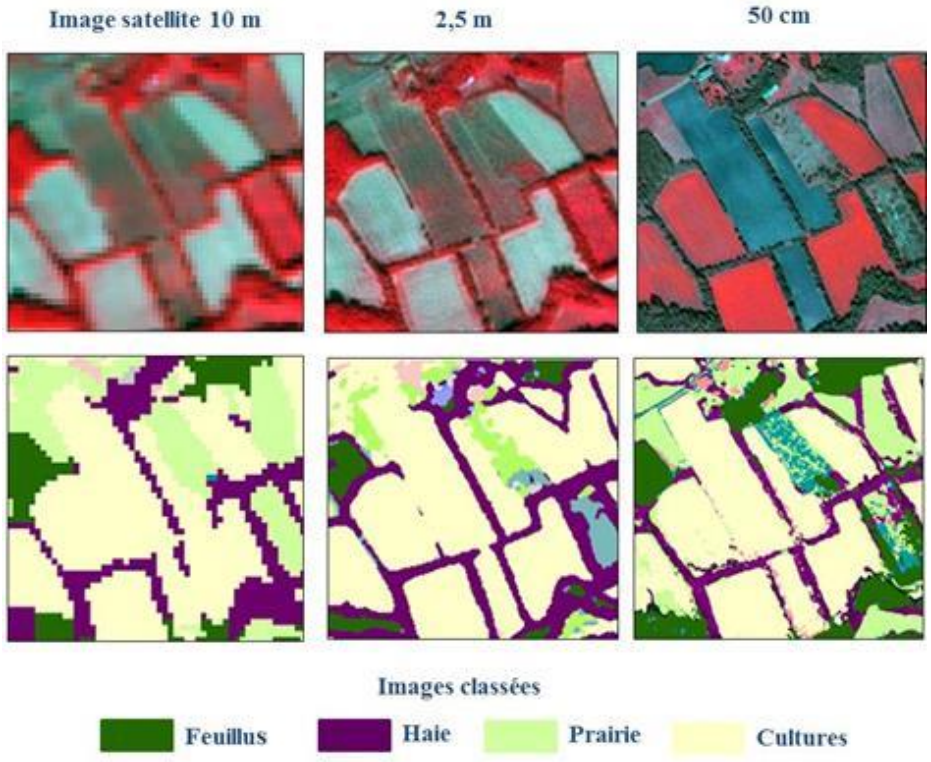

Figure 5 : Exemples de résultats obtenus à différentes résolutions sur la zone Midi-Pyrénées

2.4 Évaluation de méthodes opérationnelles pour le calcul de descripteurs paysagers

Les cartes peuvent être analysées visuellement (par exemple pour identifier des corridors) ou être décrites par des descripteurs ou métriques permettant des comparaisons spatiales et temporelles voire la prédiction d'effets sur la biodiversité.

Un recensement des descripteurs et principaux outils a été réalisé par DYNAFOR (composante EI Purpan) ainsi que des tests à partir des cartes produites par le CESBIO sur les 3 zones d'étude (Tableau 3). Les descripteurs peuvent être simples (e.g. pourcentage d'un élément d'intérêt) ou plus complexes (forme, diversité, connectivité des éléments).

Tableau 3 : Outils de calculs de descripteurs de paysage listés par TellAE

Nom des logiciels	Service	Référence
FRAGSTATS	Analyse générale du paysage (composition et configuration)	McGarigal et Marks, 1995
Statspays (module de TITE)		Ducrot, 2005
LecoS (extension QGIS)		Jung, 2013
Patch Analyst (extension ArcGis)		Rempel *et al*., 2012
CHLOE		Boussard et Baudry, 2014
Guidos	Analyse de la connectivité et Caractérisation des fragments forestiers (lisère, cœur, corridors…)	Soille et Vogt, 2008
Conefor	Analyse de la connectivité	Foltête *et al*., 2012
Graphab		Pascual Hortal et Saura, 2006
HedgeTools	Caractérisation des haies	Villierme, 2013
CARTOLIS	Cartographie et caractérisation des lisières	Alignier *et al*., 2010

Les tests confirment que les descripteurs sont sensibles à la résolution des images utilisées pour produire les cartes (Tableau 4). Cela peut porter à conséquence s'il s'agit d'établir des relations avec des indices de biodiversité, voire d'utiliser ces relations pour prédire le potentiel écologique des paysages. Il convient ici de rappeler que le point de départ de toute démarche d'évaluation est la biologie, c'est-à-dire le point de vue des organismes considérés sur le paysage : un carabe ne le voit pas comme un chevreuil !

Tableau 4 : Exemple de comparaison entre les descripteurs relatifs aux haies calculés à 10 m et 2,5 m de résolution à partir des cartes de la zone Midi-Pyrénées.

Descripteur	Résolution 2,5m	Résolution 10m
Proportion de haies dans le paysage (%)	6,76	7,07
Densité de patch	104,87	33,81
Aire moyenne des patchs (ha)	0,06	0,21
Indice de forme des patchs	511,59	360,67

Un test d'utilisation de ces outils par les partenaires utilisateurs dans un cadre opérationnel ont montré que le calcul des descripteurs reste assez peu accessible pour des raisons pratiques (une bonne maitrise des SIG est nécessaires) et plus théoriques. Il est en effet difficile de se repérer dans une offre pléthorique des descripteurs et il n'existe pour le moment pas de méthode d'évaluation véritablement opérationnelle hors cadre recherche.

3. Voies pour concilier offre et demande

Cette réflexion a été conduite au cours du projet au sein de son comité de pilotage puis lors du séminaire de restitution dont les résultats sont disponibles sur le site du projet.

3.1 Les réalisations du projet

L'idée d'un outil « clé en main » complétement intégré le long de la chaine de traitement et utilisable par un seul opérateur est en l'état utopique : les offres et besoins varient et le développement informatique nécessiterait des moyens très importants. Deux grandes stratégies s'offrent aujourd'hui aux utilisateurs.

La fabrication de cartes sur mesure. Pour des besoins spécifiques à très haute résolution, les images peuvent être coûteuses et disponibles sur une partie du territoire. Le choix des méthodes de classification doit être raisonné en fonction des objectifs et hypothèses sur la définition des IAE, de la fiabilité des méthodes, etc. Cette stratégie implique un dialogue approfondi de l'utilisateur avec un spécialiste du traitement d'image, puis la mise en œuvre par ce spécialiste à l'aide d'outils variés.

L'utilisation de cartes prêtes à l'emploi. Des produits récents comme « Occupation du Sol – OSO[1] » du pôle THEIA, la BDTopo ou produit OCS GE de l'IGN ou encore, le Registre Parcellaire Graphique peuvent être adaptés à certains besoins, à condition de ne pas être considérés comme des options par défaut (cas où ils ne répondent pas aux besoins, mais sont tout de même exploités faute de mieux). Ces produits sont promis à un fort développement mais peuvent poser des problèmes de coût pour ceux de l'IGN.

Dans ce contexte, TelIAE propose un accompagnement des utilisateurs via son site internet. Le site est abordable de deux manières. L'utilisateur peut en première approche indiquer à grands traits ses besoins en termes d'éléments paysagers, de descripteurs, d'étendue et de mise à jour. Le site retourne une évaluation de chaque méthode évaluée dans le cadre du projet, ainsi que des principaux produits disponibles au niveau national : la méthode/produit peut-elle répondre à la demande ? Si oui, à quelles conditions ? Des liens peuvent ensuite aiguiller l'utilisateur vers les livrables ou des ressources externes. Cette approche ne se veut pas une aide à la décision à proprement parlé, mais plus un outil pédagogique pour comprendre les intérêts et limites des principales approches, en préalable à la conception d'un projet plus élaboré. Une deuxième voie d'entrée est plus classique, avec une exploration par rubrique via un schéma introductif illustrant la chaine de traitement menant des images brutes aux descripteurs paysagers. Ce cheminement mène à diverses ressources : livrables, outils libres, organismes et sites…

3.2 Perspectives

Le projet n'a pas répondu à lui seul à l'ensemble des obstacles évoqués en introduction. Le chantier est vaste et de long terme en particulier pour le décloisonnement des métiers. Il faut considérer ici **l'appropriation des concepts de la télédétection par les utilisateurs**, au niveau des opérateurs mais aussi de l'encadrement. La distinction n'est en effet pas toujours très claire entre cartographie géomatique et télédétection ce qui ne facilite pas l'élaboration de projets et les recrutements. Un autre point à considérer, qui n'a pas été abordé par le projet, est **la traduction opérationnelle des principes et méthodes de l'écologie du paysage** pour réaliser diagnostic et prédiction. Les développements technologiques ont dans ce domaine tendance à anticiper la consolidation théorique. Le danger est d'utiliser à mauvais escient des indicateurs sophistiqués ou bien de simplifier à outrance en attendant de disposer de méthodes adaptées et compréhensibles. Augmenter la quantité totale d'IAE dans un paysage sans considérer leur nature, leur organisation spatiale et les enjeux de biodiversité locaux peut aboutir à des résultats très différents selon les modalités de mise en œuvre, et pas forcément positifs. Par exemple, l'implantation de haies peut être contre-productive pour la conservation d'espèces spécialistes des prairies (Besnard et Secondi, 2014). Rappelons-le : les communautés animales et

[1] Voir : https://www.theia-land.fr/fr/produits/carte-d-occupation-sols

végétales présentes sur les territoires sont des réalités sensibles dont une carte et des indicateurs peuvent donner une vision extrêmement sèche et appauvrie.

Ce constat d'un réel foisonnant et divers ne doit pas faire oublier le besoin exprimé par les utilisateurs de **normaliser les IAE** pour effectuer des comparaisons dans le temps ou l'espace, voire pour apparier des jeux de données. Ce chantier doit être envisagé avec pragmatisme avec comme préalable une bonne description de la variabilité des IAE sur le terrain. La méthode d'élaboration d'un dictionnaire de données (Pantazis *et al*., 2002) correspondant aux spécifications d'un produit pourrait être une base de travail. Elle sépare la description des objets réels, qui relève des disciplines scientifiques et de l'expertise locale, et leur représentation cartographique, qui dépend de contraintes techniques. Cette méthode pourrait être couplée avec une approche hiérarchique de la définition des IAE pour assurer suffisamment de flexibilité selon les cas.

Outre ces considérations générales, des progrès restent à accomplir sur des aspects plus précis. En particulier, la détection des parcelles en agro-foresterie n'a pas été abordée dans le cadre du projet, mais des pistes ont été discutées lors du séminaire de restitution. La cartographie des lisières ne doit pas se limiter aux limites des forêts mais aussi inclure leur largeur, leur structure et composition. Des améliorations sont possibles dans ce sens, notamment avec des données LiDAR. Des travaux sont par ailleurs en cours pour affiner la caractérisation des prairies (pratiques de gestion, diversité).

Le contexte est aujourd'hui favorable aux travaux sur la télédétection des IAE avec la démocratisation d'outils informatiques pour l'acquisition et le traitement de l'information géographique et le développement des politiques publiques en faveur de l'open data. En particulier, la mise à disposition gratuite des images Sentinel 2 via le pôle THEIA constitue un tournant en levant le verrou majeur de l'accès aux images. Ces images multispectrales à résolution spatiale de 10 m et avec revisite de 5 jours sont adaptées à la réalisation de cartes d'occupation du sol aussi bien dans une logique de sur-mesure que de produit prêt à l'emploi. Citons à ce propos le produit d'occupation du sol « OSO » disponible en licence open data ODC-BY 1.0 sur la France entière depuis 2016. Si le produit manque de précision pour les IAE linéaires, il peut néanmoins fournir des informations de contexte paysager pour des réseaux déployés sur la France entière.

Conclusion

Le projet TelIAE a pris le parti d'une approche plus ouverte que la seule extraction des IAE définies à partir d'une liste a priori comme les éléments topographiques PAC. Nous sommes partis d'une liste flexible et d'une représentation du paysage de type « mosaïque » prenant en compte l'ensemble des occupations du sol sans lesquels l'interprétation du rôle des IAE est difficile. Les résultats sont accessibles sur le site du projet. L'utilisateur néophyte y trouvera une introduction au sujet, de la définition des IAE aux descripteurs paysagers, l'utilisateur éclairé des ressources pour mettre en œuvre son projet. Ces apports restent toutefois partiels quand on considère l'ensemble des problèmes à résoudre pour rapprocher utilisateurs et spécialistes de la télédétection. L'appropriation des méthodes et outils par les acteurs du développement agricole implique des changements profonds en termes de formation et de recrutement. La mutation est en cours. Elle est favorisée par l'ouverture des données dont la mise à disposition des images Sentinel 2 donne un exemple concret.
Les résultats du projet sont accessibles sur le site : www.teledetection-iae.fr

Références bibliographiques

Alignier A., Espy P., Deconchat M., Ladet, S., 2010. Cartolis: vers un outil géomatique pour identifier et caractériser les segments de lisières forestières. In Conférence internationale de Géomatique et Analyse Spatiale SAGEO'10 (Spatial Analysis and GEOmatics 2010) Outils, Méthodes et Modèles en Géomatique pour la production de connaissances sur les territoires et le paysage. 2010-11-172010-11-19, Toulouse, FRA.

Besnard A.G., Secondi J., 2014. Hedgerows diminish the value of meadows for grassland birds: Potential conflicts for agri-environment schemes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 189, 21,27.

Boussard H., Baudry, J., 2014. Chloe212: a software for landscape pattern analysis http://www6.rennes.inra.fr/sad/Outils-Produits/Outils-informatiques/Chloe

Coulon F., Dollé J.B., Langevin B., Pointereau P., Rabourdin N., 2012. Affichage environnemental. Méthodologie de calcul de l'indicateur biodiversité CGDD – MEDDTL. Rapport Final de la phase 1. Méthodologie de calcul de l'indicateur biodiversité. 82 p.

Ducrot D., 2005. Méthodes d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multisources et extraction des caractéristiques du paysage. (Mémoire d'HDR). INP Toulouse, Toulouse

Fauvel M., Planque C., Sheeren D., Dalla Mura, 2014. Télédétection des éléments semi-naturels : utilisation des données Pléiades pour la détection des haies, Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection, 208, pp. 111-116.

Foltête J.C., Clauzel C., Girardet X., Tournant P., Vuidel G., 2012. La modélisation des réseaux écologiques par les graphes paysagers. *International Journal of Geomatics and Spatial Analysis/Revue Internationale de Géomatique*, *22*(4), 641-658.

Lang M., 2015. Classification des types de prairies et estimation de la diversité taxonomique à partir de séries temporelles d'images satellites, Mémoire de fin d'études d'Ingénieur Agronome - spécialité AgroGéomatique (INP-ENSAT).

Lopes M., Fauvel M., Girard S., Sheeren D., 2017. Object-based classification of grasslands from high resolution satellite image time series using Gaussian mean map kernels, *Remote Sensing*, 9(7), 688.

Jung M., 2013. LecoS–A QGIS plugin for automated landscape ecology analysis. PeerJ PrePrints 1:e116v2

McDermid G.J., Franklin S. E., LeDrew E.F., 2005. Remote sensing for large-area habitat mapping. *Progress in Physical Geography*, *29*(4), 449-474.

McGarigal K., Cushman S., Ene E., 2012. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. *University of Massachusetts*, Amherst.

Pantazis D., Cornélis B., Billen R., Sheeren D., 2002 Establishment of a geographic data dictionary: a case study of UrbIS 2 ©, the Brussels regional government GIS. Computers, Environment and Urban Systems 26, 3-17.

Pascual-Hortal L., Saura S., 2006. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the priorization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape ecology*, *21*(7), 959-967.

Rempel R.S., Kaukinen D., Carr A.P., 2012. Patch analyst and patch grid. *Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario*.

Sheeren D., Roué A., Villerme L., Monteil C., 2015. HedgeTools pour ArcGIS : un outil dédié à la modélisation et la caractérisation des haies dans le paysage, *Conférence francophone ESRI - SIG 2015*, 7-8 octobre 2015, Versailles (France).

Soille P., Vogt P., 2009. Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern recognition letters*, *30*(4), 456-459.

Villierme L., 2013. Caratérisation automatique du réseau linéaire de haies dans un paysage agri-forestier, Mémoire de fin d'études Master 2 SIGMA (INP-ENSAT / Université de Toulouse-Le Mirail).

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)