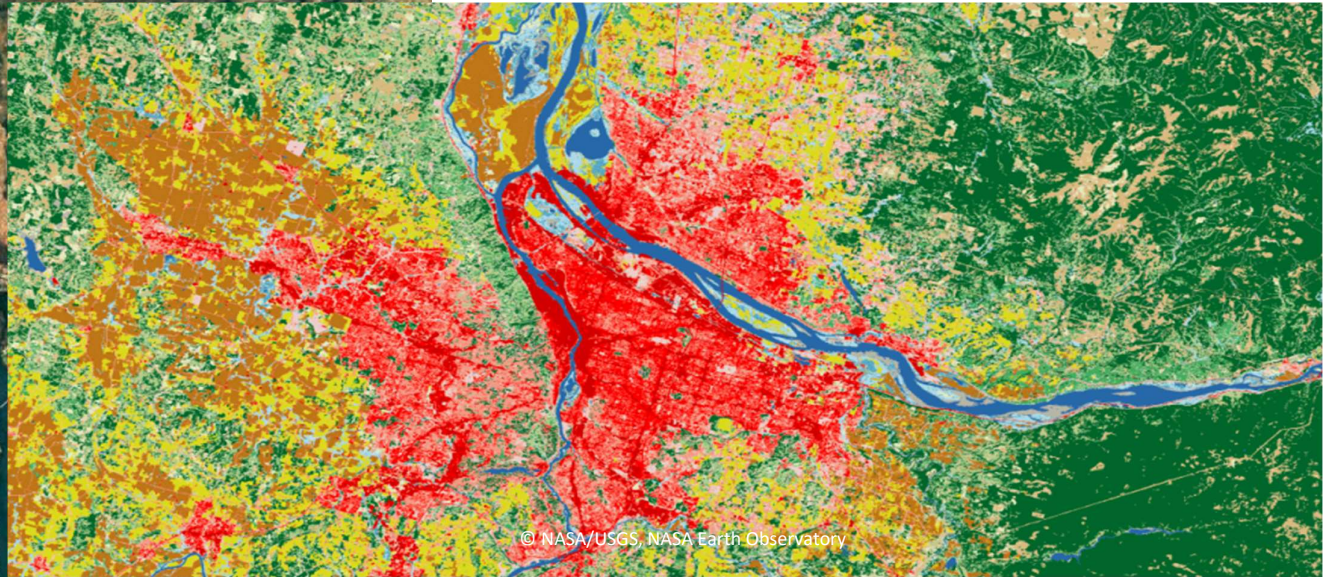


Septembre 2018



Apport des données en télédétection  
pour la caractérisation  
des milieux naturels, semi-naturels et  
anthropiques  
dans une démarche d'identification de  
Trame verte et bleue

Sami MARZOUK, Jennifer AMSALLEM

Rapport produit dans le cadre du Centre de ressources Trame verte et bleue piloté et financé par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.

#### Auteurs

Sami Marzouk

Jennifer Amsallem

#### Coordination

Jennifer Amsallem

Samuel Alleaume

#### Remerciements

Nous tenons vivement à remercier l'ensemble des personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de cette étude, aussi bien lors des entretiens que pour l'envoi de documents. Nous avons eu à cœur de retranscrire le plus fidèlement possible les éléments d'informations qui nous ont été fournis.

Contact : [jennifer.amsallem@irstea.fr](mailto:jennifer.amsallem@irstea.fr)

Référence conseillée : Marzouk S., Amsallem J., (2018), « **Apport des données en télédétection pour la caractérisation des milieux naturels, semi-naturels et anthropiques dans une démarche d'identification de Trame verte et bleue** », Irstea – UMR TETIS, Centre de ressources Trame verte et bleue.

# Table des matières

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Principes de la télédétection et utilité de ces données dans une démarche de TVB.....</b>	<b>1</b>
1.1. Résolution spatiale.....	3
1.2. Résolution spectrale.....	3
1.3. Résolution temporelle.....	3
<b>2. Données les plus favorables à l'identification de chaque sous-trame et leur caractéristique.....</b>	<b>3</b>
1.1. Le couvert végétal .....	3
1.1.1. <i>Milieux forestiers</i> .....	3
1.1.2. <i>La sous-trame bocagère</i> .....	7
1.1.3. Milieux ouverts herbacés .....	10
1.2. Les zones anthropiques.....	12
1.2.1. <i>Les espaces cultivés</i> .....	12
1.2.2. <i>Milieux urbains</i> .....	16
1.3. Les espaces en eau.....	18
1.3.1. <i>Milieux aquatiques</i> .....	18
1.3.2. <i>Zones humides</i> .....	21
1.4. <i>Trame noire</i> .....	24
<b>2. Tableau synthétique et représentation par échelles .....</b>	<b>25</b>
<b>3. Démarche de téléchargement des produits.....</b>	<b>1</b>
3.1. Actuellement.....	28
3.2. Transfert vers DINAMIS à partir de 2019 .....	1
<b>Références .....</b>	<b>30</b>

## Introduction

L'écologie du paysage a démontré, depuis de nombreuses années le rôle fondamental de l'agencement des éléments du paysage et de leur structure dans le déplacement des espèces animales et végétales (Clergeau et al., 2016, Fahrig et al., 2011). Aujourd'hui, les études environnementales sur ce sujet ne cessent d'augmenter avec une volonté de préserver les habitats naturels. Cependant, dans le contexte économique croissant où se place la France, l'urbanisation et les changements d'occupation et d'usage des sols favorisent la dégradation de ces milieux à enjeu.

C'est ainsi que la nécessité de comprendre les modes de déplacements des espèces, de les intégrer dans les plans d'aménagement locaux et de minimiser la fragmentation de ces espaces - qui conduirait à un isolement des métapopulations et à une perte de l'information génétique - a conduit à initier de nouvelles techniques pour le suivi de la biodiversité (Liénard et Clergeau, 2011). De ce fait, l'apport de données numériques, et notamment de la télédétection, dans la caractérisation de ces milieux est largement étudié (Fauvel et al., 2013 ; Mercier, 2017).

Ce rapport vise à identifier les données issues de la télédétection qui peuvent répondre à une démarche d'identification des milieux naturels ou fragmentant ceux-ci, pour s'inscrire dans une démarche de Trame verte et bleue (TVB). Il présentera : des notions de compréhension en télédétection, les données les plus appropriées pour identifier chacune des sous-trames, une synthèse des données les plus utilisées et les plus adaptées à l'identification de ces milieux, des informations concernant l'échelle d'utilisation de ces données et la démarche d'accès à cette information.

### 1. Principes de la télédétection et utilité de ces données dans une démarche de TVB

Qu'elle soit entreprise à l'échelle nationale, régionale ou communale, l'étude des continuités écologiques nécessite d'identifier spatialement les milieux composant le territoire pour pouvoir proposer des plans d'action de valorisation ou de conservation de ces espaces.

Différentes méthodes de cartographie existent ainsi pour caractériser au mieux les éléments de continuité écologique. Ces méthodes variées se basent sur différents types de données qui peuvent aussi bien représenter l'occupation ou l'usage du sol. La photo interprétation, par exemple, utilise les imageries aériennes ou satellitaires pour identifier par interprétation visuelle les milieux correspondants. Cependant, la plupart de ces méthodes n'intègrent pas la variabilité temporelle interannuelle ou pluriannuelle. Les espaces évoluent selon les saisons et des boisements reconnaissables sur des images acquises en été peuvent ne plus être identifiables pendant la saison hivernale par exemple.

C'est à partir de ce constat que des recherches sur les apports de différents domaines du monde scientifique environnemental ont été lancées, dont la télédétection. La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. Elle englobe tous les processus qui consistent à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information.

Les applications se sont multipliées, dans de nombreux domaines tels que la météorologie, la climatologie, l'océanographie, la cartographie ou la géographie. Quel que soit le domaine d'applications considéré, une bonne interprétation des documents de télédétection ou une bonne utilisation des données numériques nécessite la compréhension des principes physiques sur lesquels est fondée la technique de télédétection employée.

La télédétection utilise les propriétés physiques des objets observés pour acquérir de l'information sur leur nature. Celle-ci est transmise vers le système d'observation à l'aide du rayonnement électromagnétique, comme la lumière qui est une manifestation visible de ce rayonnement. Les ondes électromagnétiques que l'on peut rencontrer dans la nature sont le résultat de la superposition d'ondes sinusoïdales simples caractérisées par une amplitude et une fréquence différente et donc par des longueurs d'ondes propres (Bonn et Rochon, 1992). L'ensemble de ces longueurs d'ondes appartient au spectre électromagnétique. De ce fait, les différentes données qui existent aujourd'hui utilisent différentes longueurs d'ondes pour acquérir l'information souhaitée.

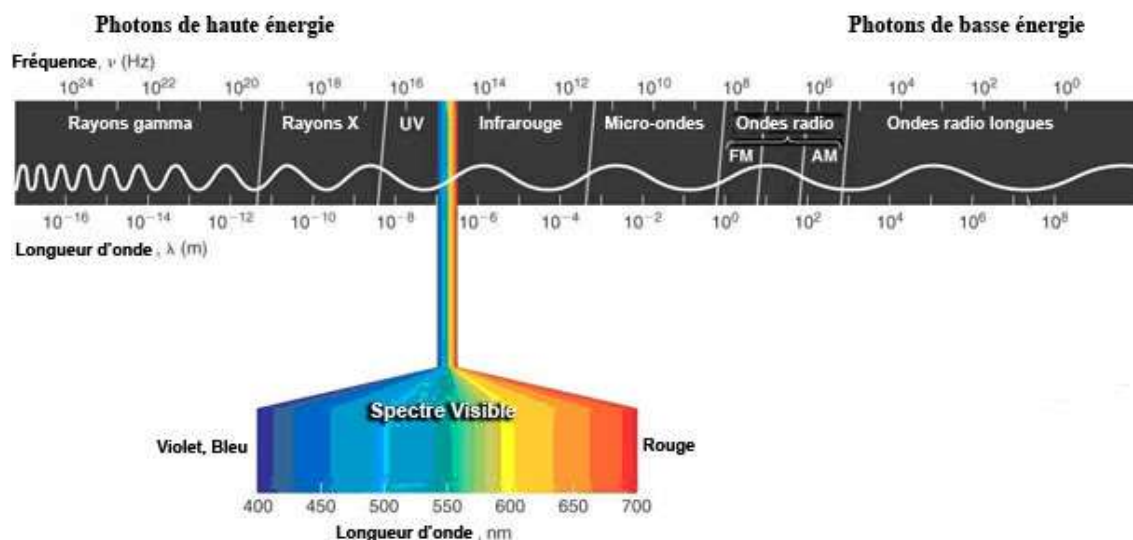


Figure 1 : Le spectre électromagnétique

Les données de télédétection optiques sont couramment utilisées pour identifier et caractériser les écosystèmes (Kerr and Ostrovsky, 2003) car elles fournissent des informations intéressantes sur l'occupation et l'utilisation des terres (Rodriguez-Galiano et al., 2012). Elles permettent aussi d'identifier et de caractériser différents éléments du paysage et habitats naturels à différentes échelles, telles que les bandes enherbées le long des cours d'eau, les CIPAN (Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates), les inter-rangs enherbés dans les vignes, les bosquets ou les haies constitutifs de continuités écologiques (Betbeder, 2015) dans les espaces agricoles ou des éléments ponctuels comme les arbres isolés.

Il est nécessaire, dans toutes les études cartographiques utilisant la télédétection, d'adapter son choix de données en fonction de différents critères comme la résolution spatiale, la résolution temporelle, la résolution spectrale, les types d'éléments recherchés, etc. C'est à partir de la prise en compte de tous ces paramètres qu'il sera possible d'effectuer une étude cartographique complète pour identifier les milieux à enjeux sur le territoire.

### 1.1. Résolution spatiale

En télédétection, on exprime la résolution des images par la taille de la zone couverte par un pixel. Chaque pixel de l'image correspond à une partie de la surface de la terre. On parle alors de "résolution-sol".

### 1.2. Résolution spectrale

En fonction de leurs caractéristiques techniques, les capteurs à bord des satellites enregistrent le rayonnement réfléchi ou émis par les objets au sol dans des gammes ou intervalles de longueur d'onde donnés.

La résolution spectrale est l'aptitude du capteur à distinguer des rayonnements électromagnétiques de fréquences différentes. Plus le capteur est sensible à des différences spectrales fines (intervalles de longueur d'onde étroits), plus la résolution spectrale du capteur est élevée. La résolution spectrale dépend du dispositif de filtrage optique qui décompose l'énergie captée en bandes spectrales, parfois même de plusieurs dizaines voire centaines de bandes. On parle alors de télédétection hyperspectrale.

### 1.3. Résolution temporelle

La résolution temporelle d'un système de télédétection, et plus particulièrement d'un satellite, est le temps que prend le satellite pour observer de nouveau la même scène. Cette résolution temporelle va dépendre du temps que prend le satellite pour effectuer un cycle orbital complet, et éventuellement de sa capacité à modifier son angle de prise de vue de la Terre, avec une prise de vue latérale au lieu de verticale, à partir du même point dans l'espace.

Cette capacité à recueillir périodiquement de l'information d'une même région de la terre est un des grands avantages de la télédétection satellitaire, et peut servir dans diverses situations. Certains satellites sont programmables, ce qui permet d'accroître leur capacité nominale de revisite d'un même point.

## 2. Données les plus favorables à l'identification de chaque sous-trame et leur caractéristique

Cette partie regroupe les données pouvant être exploitées pour l'analyse des sous-trames. Elle s'attachera à : définir l'élément que l'on cherche à caractériser, comprendre comment est représenté le milieu sur les images de télédétection, montrer quelles données sont les plus favorables à l'identification de cet espace tout en illustrant le sujet par des exemples.

### 1.1. Le couvert végétal

#### 1.1.1. Milieux forestiers

**Définition de l'élément du paysage :** D'après *Maire et al. (2016)*, cette sous-trame correspond aux éléments ligneux, arborés et arbustifs et comprend les bosquets, les haies, les arbres en et hors forêts de taille pouvant aller des arbres de futaie jusqu'aux petits arbustes.

Dans ce rapport, et pour pouvoir différencier au mieux les données les plus favorables, nous définissons la sous-trame forestière comme étant représentée par des éléments ligneux et arborés groupés mais non arbustifs. Ainsi, ce milieu est composé de grands ensembles d'arbres comme les bois ou les forêts, les parcs denses et les groupements d'arbres au niveau des prairies.

**Représentation du milieu sur une donnée de télédétection :** Le milieu forestier défini comme tel peut être divers et représenté sur différentes zones qu'elles soient naturelles ou anthropisées. Identifier cette sous-trame par photo-interprétation est ainsi relativement simple. En effet, des critères d'interprétation du milieu qui intègre des notions de couleur, texture, forme... et qui sont spécifiques à chaque milieu permettent d'identifier de manière plus ou moins précise l'élément du paysage étudié. Pour la sous-trame arborée, les critères d'identification diffèrent selon le type d'image analysée et sont les suivants<sup>1</sup>.

Pour les images aériennes comme pour les images satellites optiques :

- **La couleur :** Les images issues de ces données montrent la strate arborée avec les couleurs du visible (Rouge, Vert, Bleu - RVB). Ainsi, on identifiera ce milieu grâce à sa couleur verte composée de tonalités plus ou moins grises ou foncées. Concernant les images en Infra Rouge Couleur (IRC)<sup>2</sup>, les arbres seront rouges ou roses et varieront selon sa teneur en chlorophylle.
- **La texture :** Comme les images aériennes et satellites récupèrent l'information spectrale vue du ciel, les ensembles arborés ont une texture que l'on peut qualifier de floconneuse ou grumeleuse.
- **La forme :** Elle dépend de la qualité de l'image photo interprétée mais peut se comparer à des tâches aux contours plus ou moins irréguliers ou linéaires.
- **La surface et la hauteur :** Quand la hauteur de la strate arborée ne peut pas être identifiée sur une image aérienne ou satellite plane (hors image en stéréoscopie), la taille ou la surface du milieu arboré peut être caractérisée.
- **Environnement – Contexte :** Le voisinage est un critère extrêmement important dans l'identification des milieux. De fait, le milieu arboré peut être entouré de surfaces minérales (ex : parc en ville ou vers un espace agricole) ou organiques (ex : grandes forêts).

---

<sup>1</sup> Ces critères d'identification sont indiqués à titre d'exemple et dépendent de plusieurs paramètres (biophysiques, biologiques, sociaux ...). Les informations apportées ne constituent pas une vérité absolue généralisable sur n'importe quel territoire, mais doivent être considérées comme des potentialités d'indicateurs pour identifier les sous-trames présentées dans ce rapport.

<sup>2</sup> On appellera images IRC, les compositions colorées en fausses couleurs qui utilisent la bande du proche infrarouge (Rouge → Proche Infra Rouge / Vert → Rouge / Bleu → Vert).

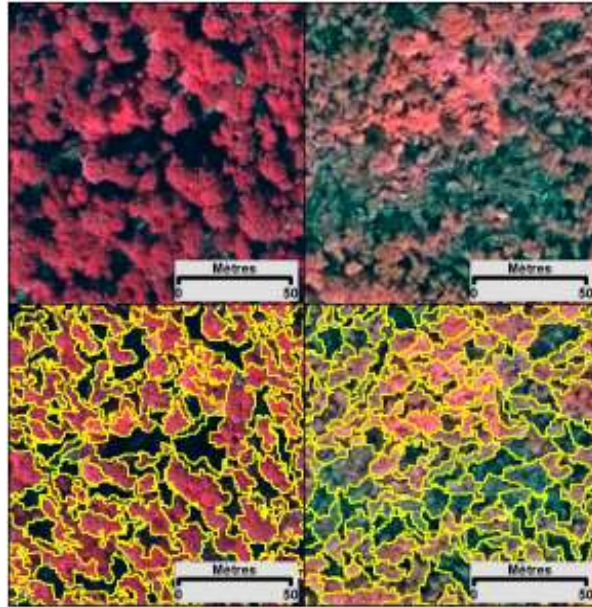


Figure 2 : Exemple de visualisation du couvert arboré dans l'étude de Jolly et al., (2015) sur des images de la BD Ortho 2009 en IRC (à gauche) et du satellite Pléiades 2012 (à droite) avant et après segmentation automatique.

**Les données pour caractériser ce milieu :** Le milieu forestier est l'un des habitats les plus faciles à identifier par télédétection. En effet, l'apport des images aériennes, IRC ou satellites optiques pour caractériser les végétations présentes sur un territoire sont les données les plus fiables pour ce genre d'étude. De ce fait, la détection de la végétation arborée peut être effectuée de différentes façons à partir de plusieurs sources de données.

Les images aériennes issues de la BD Ortho sont des ressources très utilisées pour l'identification par photo interprétation des milieux. En raison de la richesse de leur contenu et de la finesse du grain, ces données constituent une bonne source d'information et de référence pour identifier le milieu arboré. Les images en composition fausses couleurs, avec présence d'un canal PIR, sont très adaptées pour l'observation des espèces végétales puisqu'elles permettent de montrer le degré d'activité chlorophyllienne des plantes. Elles permettent aussi de distinguer les feuillus des résineux, grâce à une différence dans la structure de leurs feuilles, avec un parenchyme lacuneux beaucoup plus développé chez les feuillus, et donc une réflectance dans le PIR plus importante (*Inventaire Forestier National, 2010*).

Aussi, l'étude des séries temporelles en télédétection est d'une très grande utilité pour observer l'évolution des habitats sur un territoire. Ainsi, l'analyse des séries temporelles permet par exemple de distinguer les résineux et les feuillus (*Boureau et Maire, 2010*) par l'observation de présence ou absence de feuilles en hiver ou au début du printemps. Des itérations sur l'état de santé des espèces peuvent notamment être envisagées en identifiant, lors des périodes de croissance sur une zone où il a préalablement été montré que ces arbres étaient présents, l'intensité de couleur (ex : si au cœur d'une forêt, on observe un trou dans la canopée, on peut supposer que la cause de l'absence de la végétation peut être due à différents facteurs comme des feux de forêts, des coupes rases ou la prolifération d'un parasite qui détruit ces espèces).



L'apport des images satellites pour qualifier ce type de milieu peut varier selon la résolution de l'image choisie. Par exemple, une résolution de 0,50 m (Pléiades) pourra cartographier des patches d'arbres qui ne seront peut-être pas entièrement visibles sur une image d'une résolution à 30 m (Landsat 8). Cependant, de nombreuses études ont été conduites avec l'utilisation d'images à Moyenne Résolution Spatiale (MRS) ou Haute Résolution Spatiale (HRS) et ont identifié ces espaces avec ce type de données. De ce fait, le choix de la donnée satellite dépend grandement du contexte de l'étude, des conditions physiques et biologiques du territoire et de l'échelle de restitution.

Globalement les images satellites à Très Haute Résolution Spatiale (THRS) sont appropriées pour ce genre d'étude de par leur résolution fine (ex : Pléiades et SPOT6/7). Les satellites Worldview 2 et 3 produisent également des données à THRS qui en plus de leur résolution spatiale fine (0,46 à 0,31 m) ont une résolution spectrale très intéressante (8 bandes spectrales). Le traitement de ces images peut ainsi permettre de pouvoir identifier un maximum d'éléments paysagers de manière précise.

Plus précisément, la richesse spectrale d'autres satellites apporte de nouvelles informations pour l'étude de la végétation arborée. En effet, la combinaison de plusieurs données peut permettre d'identifier jusqu'au genre de l'espèce végétale. Sentinel-2 par exemple incorpore trois nouvelles bandes spectrales spécialement conçues pour l'étude de la végétation. Elles sont importantes pour la récupération et la surveillance de paramètres biophysiques importants (ex : santé de la végétation, structure et fonctionnement du couvert végétal ou l'estimation de la biomasse souterraine ou de l'évapotranspiration - ETP). De plus, ce satellite peut couvrir un territoire d'une grande envergure avec une prise de vue de 290 km tous les 5 à 15 jours.

Les données Lidar permettent d'identifier les formations végétales par l'extraction des hauteurs et de la structure de la végétation. Cette donnée permet également de décrire de manière approfondie la topographie terrestre. Ainsi, son utilisation est très appréciée dans les études du couvert végétal notamment dans le domaine de la foresterie. Cette donnée permet d'obtenir des résultats en 3D à l'échelle de la forêt ou de l'arbre (*Othmani, 2014*).

Beaucoup de produits existent aujourd'hui représentant les milieux forestiers tels que la BD forêt et la couche d'occupation du sol à grande échelle OCS-GE de l'IGN ou la couche OSO produite par le CESBio.



*Figure 3 : Cartographie de la végétation arborée faites par l'eurométropole de Strasbourg pour 2017 à partir de données Pléiades (à gauche) dans une démarche d'identification des continuités écologiques*

### 1.1.2. La sous-trame bocagère

**Définition de l'élément du paysage :** Les bocages et les haies sont des éléments du paysage importants pour la conservation des espèces et notamment sources de biodiversité, de par leur fonction de voie de déplacement ou de réserve de richesse pour les écosystèmes. Leur définition varie avec les auteurs et ces milieux peuvent être caractérisés de différentes manières : espaces linéaires constitués d'arbres alignés, éléments du paysage gérés par la main de l'Homme, se trouvant au niveau d'espaces agricoles ...

Nous définissons ici les milieux bocagers comme des espaces favorisant la dispersion des espèces qui peuvent être composés d'arbres ou d'arbustes alignés ou isolés, de haies, de ripisylves, d'éléments plus ou moins linéaires continus et discontinus, naturels ou gérés par l'Homme.

**Représentation du milieu sur une donnée de télédétection :** Un peu plus délicat à identifier que les milieux arborés et surtout à caractériser en termes de structure, morphologie ou rôle dans le milieu, les espaces de bocage sont des éléments du paysage indispensables pour identifier des parcours de continuité écologique pour la biodiversité.

- **La couleur :** Les éléments bocagers étant composés d'espèces ligneuses, la représentation de ces milieux s'apparente à celle du milieu forestier. Les images issues de télédétection sur la BD ortho ou les images satellites optiques montrent ces milieux en vert ou vert foncé avec une ombre présente dans la continuité de l'habitat (RVB). Au niveau des images IRC, les bocages seront rouges ou roses et varieront selon sa teneur en chlorophylle.
- **La texture :** Comme pour le couvert arboré, la texture est floconneuse ou grumeleuse et se distingue de la strate arborée par sa linéarité sur le territoire.
- **La forme :** Le milieu bocager est représenté de manière plus ou moins irrégulière sur des espaces linéaires.
- **La surface et la hauteur :** La hauteur est difficilement identifiable à l'œil nu pour les mêmes raisons qu'au niveau de la strate arborée. L'ombre projetée peut donner une idée de la

hauteur de la haie. La surface est cependant observable et les images de télédétection montrent des espaces linéaires peu étendus.

- **Environnement – Contexte** : Les bocages peuvent se trouver sur différents espaces et peuvent généralement être identifiés au niveau des prairies agricoles (haies), le long des cours d'eau (ripisylves) ou le long de certaines routes (arbres d'alignement).



Figure 4 : Exemple de visualisation d'extraction des haies selon l'étude de Sausse et al., (2018) sur des données Pléiades.

**Les données pour caractériser ce milieu** : Bien que ces milieux soient compliqués à identifier plusieurs méthodes ont été développées pour extraire les éléments linéaires bocagers. Plusieurs données peuvent être utilisées comme pour l'identification de la strate arborée :

Les images aériennes (BD Ortho), sont couramment utilisées dans le monde de la recherche pour cartographier les haies sur un territoire donné (Vannier, 2012). La résolution spatiale de ces données montre un grand intérêt dans l'identification des bocages puisque ces éléments du paysage sont de petite taille.

Les images satellites optiques sont à ce jour de plus en plus envisagées dans la caractérisation des haies en milieu naturel ou urbain. En effet, l'apport des nouvelles données, tel que les images à THRS comme Pléiades, SPOT 6/7 ou Worldview qui associent très grande résolution spatiale et capacité stéréoscopique, peuvent permettre d'utiliser des applications variées telles que la restitution en 3D, le calcul de modèles numériques de surface (MNS), etc... très utiles pour l'identification des continuités linéaires.

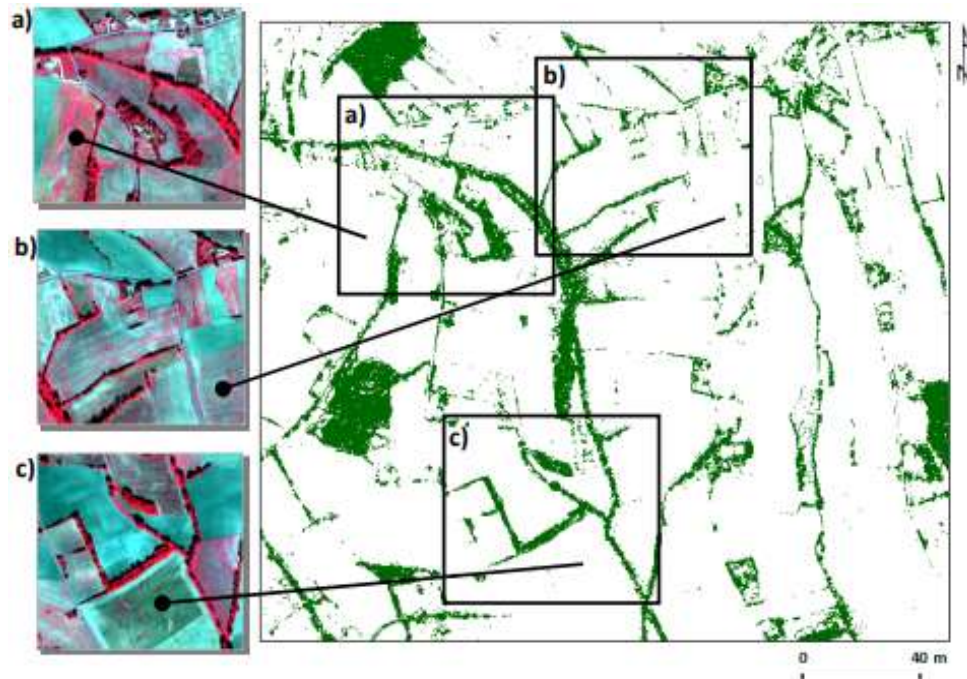
L'apport de données THRS comme les images SPOT peuvent être exploitées via une analyse texturale (Sheeren et al., 2009) ou l'utilisation de données auxiliaires comme des Modèles Numériques (Modèles Numériques de Terrain - MNT, Modèles Numériques de Surface – MNS, Modèles Numériques de Canopées - MNC) sont également de bons produits pour tenter d'extraire les haies. Il a été montré par différents auteurs (Vannier and Hubert-Moy, 2014) que plus la résolution spatiale est précise, meilleure sera la détection des réseaux de haies.

Cependant, il a également été démontré que la résolution spectrale a son importance dans la caractérisation des bocages. En effet, il sera plus avantageux d'utiliser des images SPOT 6/7 avec de

larges bandes spectrales et une bonne résolution spatiale plutôt qu'une image aérienne en noir et blanc qui ne possède qu'une très bonne résolution spatiale mais une faible résolution spectrale.

La BD Topo est notamment adaptée pour évaluer ces milieux puisqu'elle comporte une classe des zones arborées de plus de 80 m<sup>2</sup> où les haies, les bosquets, les surfaces boisées, et d'autres éléments du paysage présents dans les milieux bocagers, y sont présentés. Un second niveau de cette base de données est disponible pour identifier plus précisément la classe « haies denses » sur certains territoires français (Betbeder, 2015). L'outil HedgeTools développé sur ArcGIS par l'UMR DYNAFOR (Sausse et al., 2018) permet de caractériser différentes variables (morphologique, indice de connectivité du réseau, rôle fonctionnel) pour décrire le milieu bocager.

Les Lidars sont également très utiles dans la détermination de ces réseaux grâce à leur capacité d'acquisition de données tridimensionnelles. Ces produits sont envisagés dans l'estimation de différents paramètres biologiques de structure comme la compacité, la hauteur, le volume, la densité ou la biomasse des arbres. Cependant au regard de leur coût d'acquisition, leur utilisation est encore limitée à certaines thématiques et territoires précis.



*Figure 5 : Exemple de représentation des réseaux bocagers dans l'étude de Sheeren et al. (2012) par la méthode ICM avec des données multi anquaires Worldview 2*

## Le radar, où en est-on ?

En ce qui concerne les données radars, peu d'études ont été menées pour évaluer leur potentiel dans l'identification des bocages en France. Cependant, il est montré que l'acquisition des données radars peut être plus simple car elles ne sont pas sensibles aux conditions météorologiques ou de jour/nuit. En revanche leur traitement est soumis à des conditions de connaissance complexe pour arriver à extraire une information fiable. Au niveau de ces données pour l'évaluation des bocages, l'intensité du signal de rétrodiffusion n'est pas le meilleur paramètre à considérer (Ducrot et al., 2012). En effet, l'apport des indicateurs polarimétriques, qui intègrent la nature et le nombre des procédés de rétrodiffusion, sont intéressants pour caractériser les haies.

### 1.1.3. Milieux ouverts herbacés

**Définition de l'élément du paysage :** Un milieu ouvert est un milieu à dominante herbacée défini par un taux de recouvrement au sol de la végétation ligneuse inférieur à 25 %. Il se distingue des espaces arborés et fermés de par son intérêt communautaire et sa diversité d'espèces végétales.

Ces milieux peuvent être dissociés en deux catégories : les milieux ouverts naturels tels que les garrigues, les prairies permanentes, les pelouses et les landes et les milieux agropastoraux (présentés dans la partie suivante).

**Représentation du milieu sur une donnée de télédétection :** Au niveau des espaces enherbés, leur visualisation sur une image de télédétection peut parfois être compliquée. Sur de grandes surfaces libres (ex : prairies ou pelouses), la prise en compte de ces milieux est souvent aisée. Cependant, il peut être compliqué d'identifier les bandes enherbées sous la canopée ou les haies.

- **La couleur :** Ces espaces ouverts ont la même signature spectrale que les autres sous-trames végétales. De fait, selon leur taux de chlorophylle au moment de la prise de vue, ils apparaîtront en vert sur une image du visible et en rouge ou rose sur une image IRC.
- **La texture :** Elle peut être sillonnée, lisse, homogène ou non selon les milieux.
- **La forme :** Elle est variable selon la zone considérée. Ces milieux herbacés sont généralement linéaires mais peuvent se présenter sous forme géométrique (rectangulaire).
- **La surface :** Les prairies naturelles, pelouses sont d'assez grande surface tandis que les bandes en herbe sont de petite taille.
- **Structure :** Parfois structurés en blocs ou libres.
- **Environnement – Contexte :** On peut retrouver cette sous trame en bord de cours d'eau, le long des routes ou au niveau d'espaces péri-urbains.



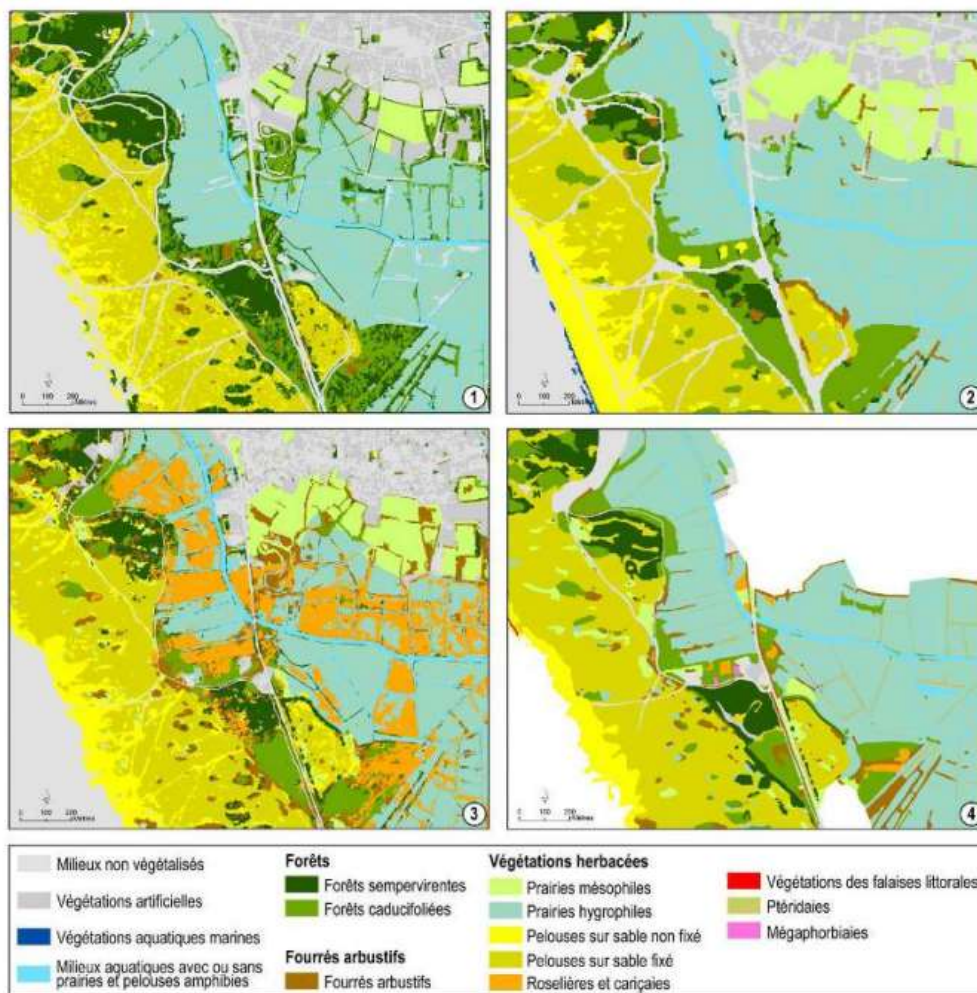
*Figure 6 : Exemple de visualisation des milieux ouverts à partir d'image Sentinel-2 sur le site de Pleine-Fougères (Source : [bretagne.kalideos.fr](http://bretagne.kalideos.fr))*

**Les données pour caractériser ce milieu :** Les milieux ouverts naturels sont des éléments du paysage essentiels à la dispersion de la biodiversité. Plusieurs études montrent la capacité de différentes données pour extraire une information sur la couverture de ce type de milieu (Sausse et al., 2018 ; Sellin et al., 2015 ; Lang, 2015).

Les images de la BD Ortho présentent un intérêt de par leur résolution assez fine pour identifier, par photo interprétation ou par traitement numérique, les différents milieux ouverts herbacés. Aussi, l'apport des IRC est une bonne donnée pour estimer la croissance de la végétation. Il est possible de distinguer grâce à cette donnée les prairies permanentes des prairies temporaires par l'étude des séries temporelles.

Au niveau des images satellites optiques, l'apport des données THRS s'est révélé être un bon moyen pour l'identification de ces milieux. L'utilisation des images Pléiades, Worldview ou SPOT 5 ou 6/7 par exemple permet de différencier au mieux, grâce à leur résolution spatiale assez fine, les types de formations végétales.

L'utilisation de données multi temporelles permet également d'accroître les performances de détection de ces espaces. Différentes études (Sausse et al., 2018) ont recommandé d'utiliser un minimum de 2 dates (3-4 étant le plus approprié) pour obtenir des résultats satisfaisants de détection des milieux ouverts herbacés. Sentinel 2 paraît intéressant au vue de sa forte répétitivité temporelle et de la disponibilité des images pour pouvoir réaliser ce genre d'étude. Dans ce cadre, l'étude des séries temporelles pourra montrer la composition botanique des formations herbacées présentes en fonction des périodes de floraison lors de l'analyse.



*Figure 7 : Exemple de comparaison des formations végétales dans l'étude de Sellin et al. (2015) sur le site des dunes de la Sauzaie et marais du Jaunay (1 : BD Ortho IRC ; 2 : SPOT5 ; 3 : Worldview-2 ; 4 : Carte de terrain simplifiée élaborée en 2009)*

## 1.2. Les zones anthropiques

### 1.2.1. Les espaces cultivés

**Définition de l'élément du paysage :** La télédétection permet de détecter tous les espaces pouvant favoriser la dispersion des espèces ou la bloquant. Les espaces agricoles peuvent être d'excellents espaces de continuités écologiques dès lors que ceux-ci sont gérés naturellement. A défaut, les cultures intensives seront des éléments limitant le déplacement des espèces. Ces milieux présentent donc de nombreux services pour les écosystèmes mais dépendent grandement du niveau d'anthropisation exercé (usage des sols). C'est pourquoi il est important de pouvoir cartographier au mieux les types de cultures présents sur un territoire.

On peut distinguer les éléments agricoles présentant un intérêt (prairies hautes non fauchées régulièrement cf partie précédente) et ceux qui peuvent présenter des obstacles pour le déplacement

de la biodiversité (cultures intensives de maïs, blé ...). Dans cette partie nous nous intéresserons à montrer les données favorables à l'identification des espaces cultivés fragmentants.

**Représentation du milieu sur une donnée de télédétection :** Les espaces agricoles sont représentés de manière très distinctive par rapport aux autres milieux précédemment énoncés.

- **La couleur :** De couleur vert pâle ou olive sur une image dans le visible, ces milieux changent de couleur sur une image en composition fausse couleur, en période de fauchage ou de croissance du fait de la variation du taux de chlorophylle. Pendant les périodes de croissance, ils seront de couleur rouge, rosé tandis qu'en période de récolte ou de fauche ils apparaîtront en gris bleuté comme des sols nus.
- **La texture :** La texture est spécifique à ces espaces. Elle est généralement sillonnée ou striée par moment.
- **La forme :** La forme des parcelles est linéaire et peut être arrondie.
- **La hauteur :** Variable selon les cultures, la hauteur de celles-ci ne peut être représentée sur une image plane.
- **Environnement – Contexte :** Ces milieux peuvent être retrouvés dans différents contextes environnementaux : en dehors du milieu urbain en zone périurbaine, bordés par des haies, non loin des surfaces en eau, en bordure d'autoroutes... Dans de nombreux cas, les espaces agricoles sont à la suite les uns des autres (plusieurs parcelles regroupées sur un même territoire).



*Figure 8 : Comparaison d'images Pléiades de 2018 (à gauche), de photo aérienne (au milieu) et d'image en IRC (à droite) prises sur le Géoportail à différentes dates au niveau de Brouy au sud-ouest de Paris*



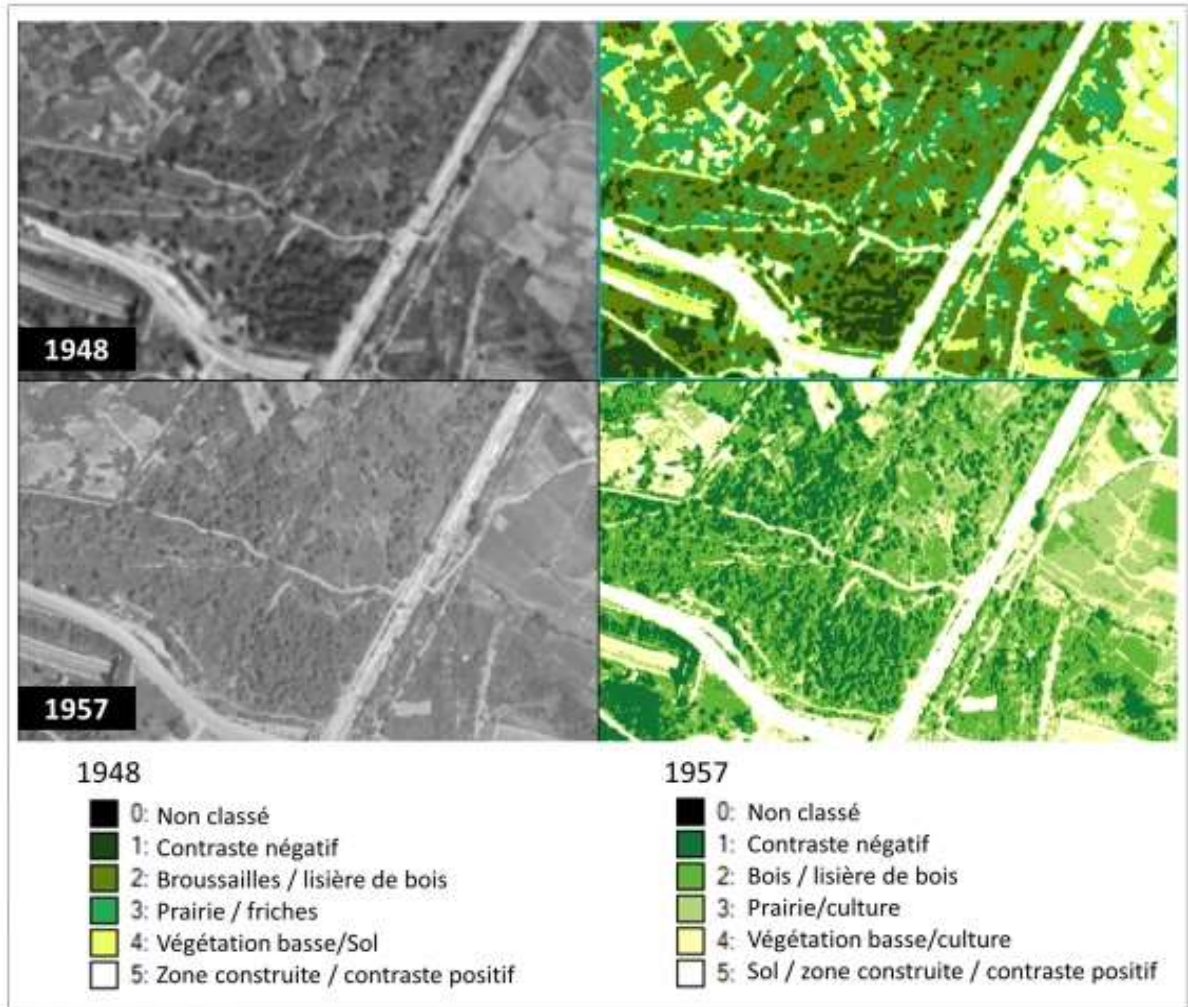
**Les données pour caractériser ce milieu :** Comme ces espaces sont identifiés à des échelles variées, la télédétection apporte de nombreux avantages en termes de détection des types de cultures. Plusieurs données existantes peuvent compléter les informations apportées par les informations satellites comme le RPG ou d'autres bases de données régionales.

La BD Ortho peut apporter une source d'information utile au vu de la richesse de sa résolution spatiale pour délimiter les parcelles agricoles ou voir l'évolution de ces espaces sur des pas de temps assez grands. On peut par exemple étudier avec cette donnée l'effet de l'urbanisation sur le déclin des zones agricoles. L'image en IRC reste une source d'information bien plus importante qu'une photo aérienne. En effet, grâce à l'apport de cette donnée, on peut potentiellement différencier les cultures en croissance végétale pendant l'année, des parcelles qui ne sont pas cultivées à cette même période.

En ce qui concerne les images satellites optiques, l'utilisation de données HRS ou THRS sont les plus étudiées pour l'identification à l'échelle parcellaire. Du fait de la variété phénologique des cultures présentes sur une même commune, il peut être difficile de discriminer au mieux deux productions ayant des signatures spectrales assez proches. C'est pourquoi l'utilisation de séries temporelles pendant l'année est la méthode la plus recommandée. En effet, l'association de plusieurs images prises à différentes dates de l'année peut permettre de différencier deux types de cultures très proches d'un point de vue spectral mais différentes d'un point de vue phénologique.

Ainsi, les séries temporelles d'images SPOT sont bien adaptées à l'analyse de l'évolution des milieux agricoles et à la caractérisation de ces espaces. Les images Sentinel 2, qui offrent une répétitivité plus importante mais une résolution un peu plus grossière, peuvent également être envisagées dans ce genre d'étude.

L'utilisation d'indices de végétation comme le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) issus des images optiques est courante pour étudier la végétation. Le NDVI est un indice permettant d'estimer la biomasse relative en affichant la couverture végétale. Les cartographies qui résultent de l'analyse de cet indice représentent un gradient de valeur qui peut aller de 0 à 1, avec 0 représentant les milieux en eau ou minéraux, et 1 la végétation avec le taux de chlorophylle le plus important. Les valeurs proches de 0 peuvent permettre d'identifier les sols nus ou les terres artificielles. Il existe également des variables biophysiques comme le LAI (*Leaf Area Index*), dérivé des indices de végétation, qui calcule la surface foliaire de la végétation et qui peut être ainsi approprié pour décrire et identifier les différents types de cultures. C'est également en utilisant les profils temporels à partir de ces variables qu'il pourra être possible de classer la végétation sur plusieurs parcelles.



*Figure 9 : Exemple de représentation d'une classification par pixel des images de 1948 et 1957 par pixel non supervisée avec la méthode des centres mobiles (k-mean) dans l'étude de Hugerot et al. (2017)*

### Le radar, où en est-on ?

Pour les milieux agricoles, la bande C du satellite Sentinel 1 a montré une capacité à évaluer le dynamisme des cultures de colza, maïs, tournesol et soja (Talab Ou Ali et al., 2017). Elle est notamment utilisée pour l'estimation de l'indice de végétation LAI dans les champs de maïs et de soja. L'angle d'incidence, le coefficient de rétrodiffusion, la fréquence du signal, les variables polarimétriques sont autant de paramètres à prendre en compte pour étudier les cultures grâce à des données radars. Par exemple, le coefficient de rétrodiffusion dans la caractérisation des espaces agricoles s'est révélé d'un grand intérêt notamment pour suivre l'évolution des cultures de blé ou d'orge (polarisation VV) et pour celles de maïs (polarisation HV) (Betbeder, 2015).

### 1.2.2. Milieux urbains

**Définition de l'élément du paysage :** Les milieux urbanisés sont caractérisés comme des espaces qui fragmentent le paysage et qui peuvent limiter la dispersion des espèces. De ce fait, il est important de pouvoir les identifier au mieux.

On retrouve dans ces espaces bâtiments et maisons, routes, voies rapides, voies ferroviaires, zones et friches industrielles et d'autres aménagements anthropiques qui exercent une forte pression sur la biodiversité. La présence de la végétation native dans la ville est un paramètre clé de l'amélioration de la qualité de vie qu'il convient de prendre en compte mais également un vecteur de biodiversité floristique et faunistique.

**Représentation du milieu sur une donnée de télédétection :** L'étude du milieu urbain est très utile pour observer l'étalement urbain et la concurrence au niveau des milieux agricoles et naturels. Les informations apportées par la télédétection permettent d'avoir une perception diachronique de l'évolution de son occupation (croissance de la tâche urbaine au fil du temps, identification des zones à changement, histoire de l'occupation du sol ...).

Pour les images aériennes comme pour les images satellites optiques :

- **La couleur :** Elle varie avec les types d'aménagement identifiés. Sur les images du visible, les maisons dans les espaces pavillonnaires seront représentées en rouge (toits en tuiles) ou en marron beige (généralement entourées par des jardins en vert ou en rouge sur les images en fausses couleurs avec la bande du proche infrarouge, et des piscines en bleu). Les bâtiments industriels ou collectifs seront en gris blanc ou marron rouillé. Au niveau des routes, ces espaces sont représentés en gris et blanc.
- **La texture :** La texture des habitations pavillonnaires est plus ou moins lisse vue du ciel même si le changement de couleur au niveau des toits montre une forme en V. Celles des habitations collectives, industrielles et des routes sont lisses et homogènes.
- **La forme :** La forme de ces espaces est très géométrique (rectangulaire pour les habitations, linéaire/droite pour les routes).
- **La surface :** La taille des routes est variable et la taille des habitations est assez petite pour les maisons pavillonnaires et plus ou moins de grande taille pour les bâtiments collectifs ou industriels dans l'ensemble.
- **Structure :** Ces logements sont structurés en bloc.
- **Environnement – Contexte :** Le milieu urbain est distinctif des autres espaces. On peut observer différents degrés d'urbanisation dans ce même milieu (ex : urbain dense, urbain moins dense et périurbain).



Figure 10 : Exemple de représentation des habitats pavillonnaires du milieu urbain sur une Orthoimage RVB (à gauche) et sur une image satellite optique THRS (à droite) dans l'étude de Chehata (2017)

**Les données pour caractériser ce milieu :** La cartographie de l'occupation et de l'usage du sol en milieu urbain est indispensable dans les projets d'aménagement du territoire en urbanisme. La volonté croissante des communes d'améliorer le cadre de vie pour l'Homme en ville a notamment permis d'explorer de nouvelles méthodes numériques. En outre, d'importantes sources de données existent déjà pour identifier le milieu urbain et notamment pour étudier son évolution. L'apport de la télédétection dans ces études permet d'apporter des réponses par rapport à de nouvelles problématiques environnementales.

A l'échelle d'une commune, il existe de nombreuses données comme les BD de l'IGN, pour observer l'évolution de l'extension urbaine. La BD Ortho permet de cartographier la fragmentation présente sur les territoires d'étude, grâce à la localisation rapide des grandes coupures paysagères dues aux Infrastructures Linéaires de Transport (ILT). La BD Topo, peut permettre quant à elle, de décrire spatialement le territoire par modélisation 3D.

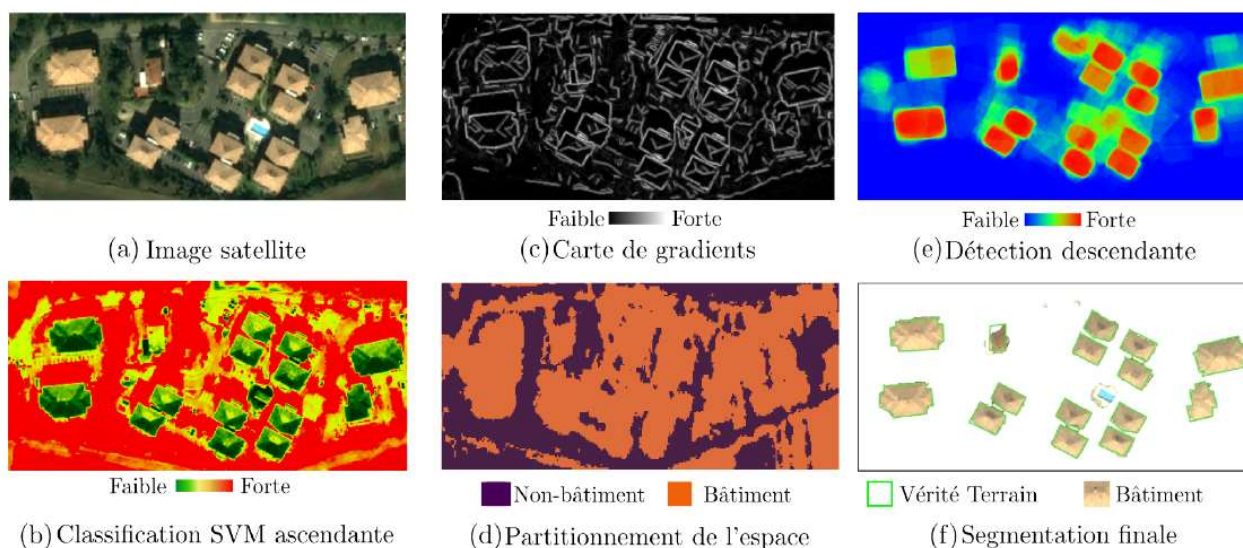
De plus en plus utilisée aux échelles locales, et plus particulièrement en milieu urbain, l'imagerie satellite de THRS apporte des informations intéressantes pour l'étude du milieu urbain. La répétitivité de ces images est un atout dans le suivi de l'évolution du territoire de son impact sur le couvert naturel ou agricole. Les données Pléiades permettent par exemple de détecter la densité urbaine et d'identifier les espaces verts en ville. La couverture annuelle Rapideye permet de discriminer la tâche urbaine et de cartographier l'hétérogénéité de la matrice urbaine. De plus, il est possible d'avoir un suivi de la TVB en ville via une classification par agrégation avec des données complémentaires (les couches végétation et réseau routier de la BD Topo par exemple).

Au niveau des données HRS, l'imagerie Landsat 8 permet de mettre en évidence les phénomènes d'étalement urbain et de pollution en ville grâce à l'Infra Rouge Thermique (IRT). En effet, la bande 10 du capteur multispectral embarqué sur ce satellite vise à évaluer les températures de surfaces en milieu urbain et peut donc permettre de modéliser les îlots de chaleur, dues à une forte pollution dans ces espaces.

Des cartographies de l'occupation du sol dérivées de données de télédétection sont aujourd'hui disponibles à l'échelle de France entière à des résolutions fines. C'est par exemple le cas de la couche OSO, produite par le CESBio, qui comporte 15 à 20 classes d'occupation du sol avec une distinction de

5 sous-classes pour le milieu urbain (urbain dense, urbain diffus, zones industrielles et commerciales, surfaces routes et surfaces minérales). L'OCS GE est également une base de données de référence pour la description de l'occupation du sol de l'ensemble du territoire métropolitain et des départements et régions d'outre-mer (DROM). Cette carte de l'occupation du sol produite par l'IGN, propose une nomenclature qui s'appuie sur la nomenclature nationale définie par le « Groupe national sur l'occupation du sol » de 14 classes pour la couverture du sol et de 17 classes pour l'usage du sol.

Les données Lidar offrent également la possibilité d'établir un diagnostic de l'éclairage par luminographie aérienne, pouvant ainsi contribuer à apporter des éléments nouveaux pour la Trame noire.



*Figure 11 : Démarche de détection de bâtiments à partir d'imagerie optique THR dans l'étude de Chehata (2017)*

### 1.3. Les espaces en eau

#### 1.3.1. Milieux aquatiques

**Définition de l'élément du paysage :** Les surfaces en eau possèdent de nombreux enjeux importants dans les domaines de l'aménagement et de l'écologie. La Loi sur l'eau (LEMA - 2006) définit les objectifs de restauration de ces cours d'eau. Intégrée dans les Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE), la cartographie de ces habitats est assez bien connue. Cependant, de nombreuses limites ont été montrées au niveau de la connaissance de ces milieux : un manque d'informations au niveau des caractéristiques des processus physiques, une prise en compte trop faible de la variabilité temporelle des paramètres hydro morphologiques, une vision pas assez globale dans un contexte de bassin versant et un manque au niveau des outils à différentes échelles (Grivel, Melun et Breton; 2016).

On considère dans ce rapport les milieux aquatiques comme tous les plans d'eau (ex: lac, étangs, retenues ...) et tous écoulements d'eau provenant d'une source avec un débit plus ou moins fort qui constitue un lieu de passage pour la biodiversité (ex: fleuves, rivières, ruisseaux ...)

**Représentation du milieu sur une donnée de télédétection :** La cartographie des surfaces en eau peut être réalisée à l'aide de différents produits de télédétection. On distingue ainsi l'eau de différentes manières selon le type de donnée étudié.

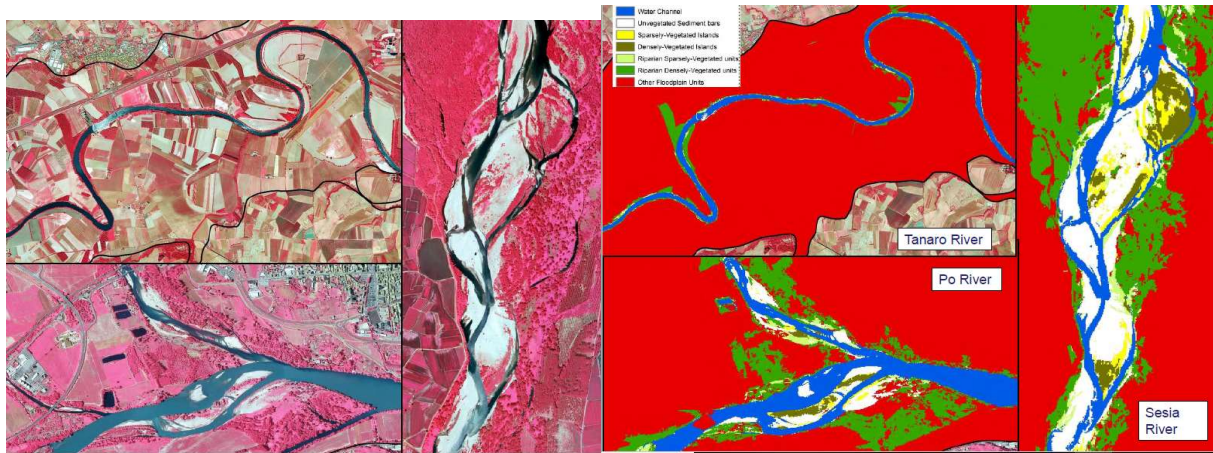
- **La couleur :** Sur les images du visible, les cours d'eau varient selon plusieurs paramètres (la turbidité, la profondeur, la végétation, le taux de matière en suspension ...). Ils apparaissent en bleu plus ou moins foncé (en fonction de la profondeur) ou en vert plus ou moins sombre (en fonction de la turbidité, de la matière en suspension et du taux de recouvrement de la végétation). Sur les images satellites, la représentation colorée est assez semblable (bleu foncé/verdâtre) mais on peut également identifier les cours d'eau grâce à l'image panchromatique (noir et blanc). Les cours d'eau sont ainsi en noir car les ondes sont réfléchies directement dans une autre direction que celui du capteur. Pour les images en composition fausses couleurs, l'eau se distingue des autres types de surface par une réponse spectrale très faible dans le PIR. Les cours d'eau sont de couleur bleu marine ou noirs.
- **La texture :** Vus du ciel ou de l'espace, ces milieux ont une texture lisse et uniforme. Une texture différente peut cependant apparaître si la prise de vue a été faite par un jour de vent créant des vaguelettes par exemple.
- **La forme :** Elle varie selon les conditions biologiques du cours d'eau et en fonction de l'action anthropique qui peut être exercée dessus. Elle peut être arrondie, linéaire, aux contours réguliers ...
- **La surface :** La surface est très variable. On peut estimer la largeur d'une rivière à l'œil nu par photo interprétation mais la profondeur est relativement difficile à analyser.
- **Structure :** La structure de ces milieux est complexe. On peut distinguer des méandres, des bras secondaires ou des bras morts dans la continuité du cours d'eau principal par exemple.
- **Environnement – Contexte :** Les cours d'eau peuvent se situer dans divers milieux. En contexte agricole, ils peuvent être utilisés pour l'irrigation des cultures. En milieu urbain, ils peuvent avoir une vocation récréative. En milieu naturel, ces espaces sont la plupart du temps bordés par des arbres, arbustes ou des haies et servent d'habitats ou corridors pour les espèces.



*Figure 12 : Visualisation des inondations le long de la rivière Richelieu le 8 mai 2011 en couleur naturel (en haut) et dans le court IR (en bas) à partir du satellite Earth Observing-1 (EO-1) ©NASA Earth Observatory*

**Les données pour caractériser ce milieu :** Les produits pour identifier et étudier les cours d’eaux par télédétection sont multiples. Toutes les images disponibles aujourd’hui avec une résolution correcte peuvent permettre d’effectuer ce type d’étude à différentes échelles.

A l’échelle régionale, les données de la BD Ortho et du Lidar sont appréciées pour identifier ces milieux. A l’échelle locale, le suivi dans le temps est un enjeu important qui peut être satisfait grâce à la répétitivité des données Sentinel 2. Des indices d’évaluation de ces milieux peuvent être dérivés de l’analyse de ces données comme le NDWI (*Normalized Difference Water Index*). La plupart des produits de télédétection peuvent ainsi répondre aux besoins d’identification des cours d’eau ou de suivi de l’évolution de ces derniers dans le temps (niveau de marnage, crues ...).



*Figure 13 : Exemple de représentation des surfaces en eau d'une image IRC traité par télédétection dans l'étude de Demarchi et al., (2016)*

### 1.3.2. Zones humides

**Définition de l'élément du paysage :** C'est la Convention de Ramsar en 1971 qui définit les zones humides (ZH) comme étant des « étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres ». Ainsi une ZH est un milieu riche en eau, laquelle peut être stockée (tourbières) ou libre (marais) avec une végétation riche qui caractérise cette sous trame et des sols hydrophiles.

En réalité, la présence d'une zone humide est caractérisée par plusieurs paramètres qui sont la géomorphologie et la géologie. De fait, ces milieux vont évoluer et se dessiner en fonction du cours hydrographique de l'eau. Cette sous trame est donc assez riche d'un point de vue écologique puisque les formations végétales varient avec la teneur en eau et offrent ainsi des indications sur l'humidité ou la fertilité des sols.

**Représentation du milieu sur une donnée de télédétection :** Les zones humides répondent à des enjeux forts au niveau de la régulation du milieu de par leurs diverses fonctions hydrologiques, biogéochimiques ou écologiques (régulation stockage et qualité de l'eau, intérêt pour les inondations, habitats pour les écosystèmes ...). De fait, leur identification est importante pour la TVB.

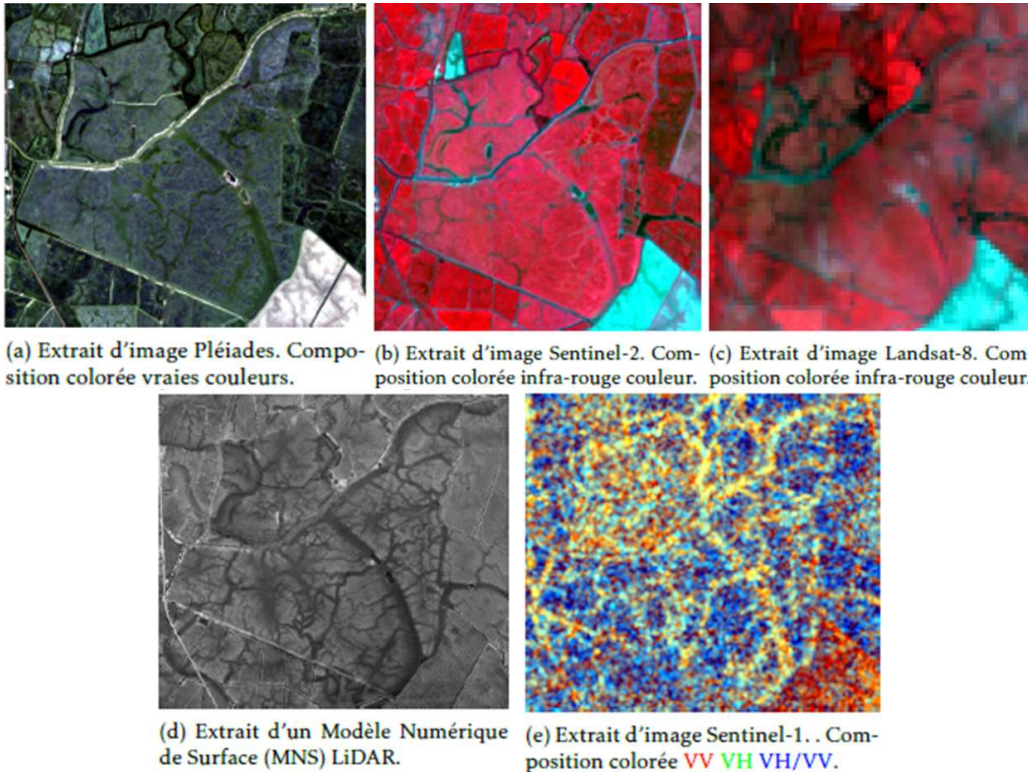
Pour les images aériennes comme pour les images satellites optiques :

- **La couleur :** L'eau de surface sur les ZH est, sur des images aériennes ou satellites, plus ou moins vert sombre et sont assez noire sur une image IRC avec des nuances en fonction de la turbidité ou de la profondeur. La végétation qui peut recouvrir la surface en eau est quant à elle verte sur les images du visible et rouge/rosé sur une composition en fausse couleur avec la bande du proche infrarouge.
- **La texture :** Ces milieux en eau peuvent avoir une texture assez complexe puisqu'elle varie avec l'étendue de la surface en eau et le taux de recouvrement par la végétation. Ces espaces peuvent être lisses, sur une image de télédétection, bordés par des arbres ou parfois cachés



par la ripisylve, mais ils peuvent également avoir une texture granuleuse à cause de la végétation.

- **La forme** : La ZH peut être de forme arrondie, linéaire, irrégulière ou régulière.
- **La surface** : La surface varie selon la ZH étudiée mais est le plus souvent assez grande (de l'ordre de quelques hectares) (Gramond et al., 2005).
- **Environnement – Contexte** : Généralement dans la continuité des cours d'eau si la ZH est naturelle, les ZH peuvent également se trouver au niveau de prairies libres.



*Figure 14 : Exemple de représentation d'une prairie humide sur la commune des Mangils (85) dans l'étude de Cazals (2017) vue par différents capteurs*

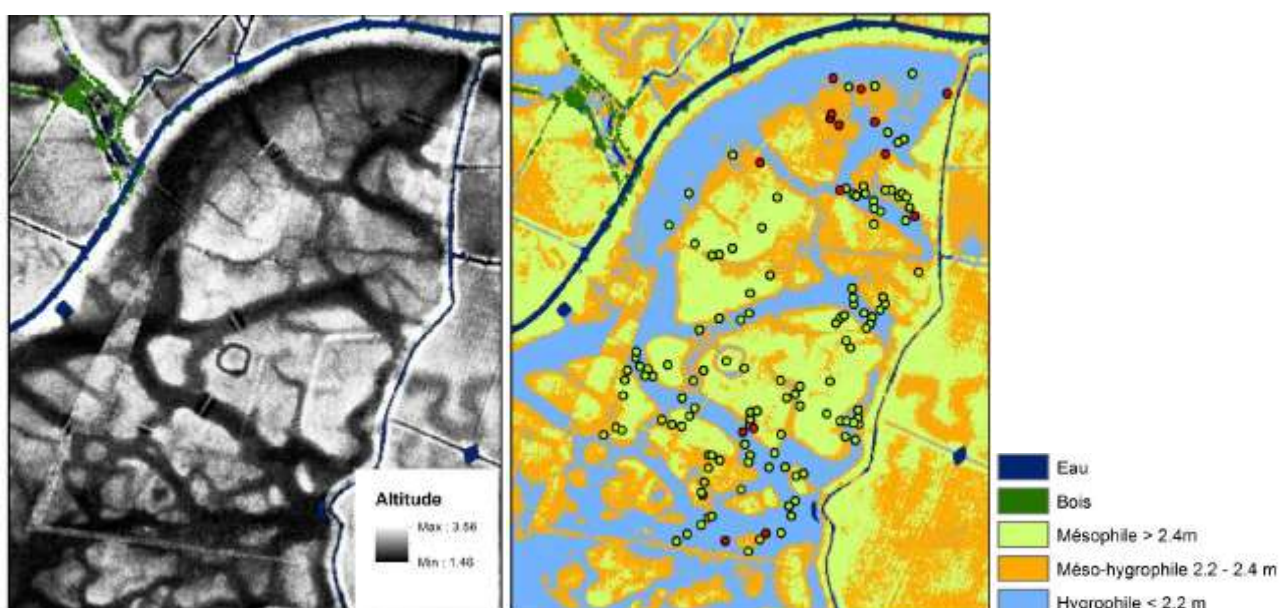
**Les données pour caractériser ce milieu** : Les produits pour identifier ces milieux écologiques peuvent permettre de cartographier les ZH mais aussi d'évaluer leurs fonctions (Rapinel, 2012).

Les images aériennes, avec leur grande résolution spatiale, sont d'une grande utilité dans l'identification des ZH puisque la BD Ortho est disponible sur plusieurs dates depuis 1945 et plusieurs images peuvent ainsi être comparées pour voir l'évolution des milieux (recouvrement de surface en eau par la ripisylve entre plusieurs années, assèchement de la ZH ...). Les images IRC quant à elles peuvent être utiles dans la visualisation colorée du milieu qui se démarque par sa couleur foncée, si l'eau est libre.

L'intérêt des images satellites pour l'identification des zones humides repose sur la possibilité d'avoir plusieurs dates pendant l'année et de pouvoir étudier l'évolution du milieu, comme avec les images Sentinel 2 qui sont produites régulièrement. L'étude de ces zones humides peut aussi être envisagée avec les images Worldview 2 ou 3 par exemple, qui possèdent des capteurs à large bande spectrale et qui sont propices pour identifier les types de végétations présentes dans ces milieux.

Rapinel (2012) a montré que l'on pouvait délimiter les ZH par le biais de trois approches : Une première approche descriptive permet d'identifier et de caractériser grossièrement au 1/50 000<sup>e</sup> ces milieux. Le deuxième niveau propose une approche fonctionnelle pour les caractériser plus finement au 1/10 000<sup>e</sup>. Cette approche permet de caractériser et d'évaluer les fonctions des ZH dans des démarches de planification et d'aménagement du territoire (SCOT, SAGE, PLU ...). La dernière approche terrain pour la gestion opérationnelle vise à expertiser à l'échelle cadastrale ces espaces à enjeux pour mener des actions de réhabilitation, conservation ou restauration. Pour ces trois approches, différentes données peuvent être utilisées comme Sentinel 2, SPOT 6/7 ou le lidar.

Le Lidar offre des perspectives intéressantes grâce à ses applications altimétriques dérivées. Le MNT qui peut être extrait des données Lidar peut rendre possible l'identification des ZH en identifiant la présence de zones de dépression. Ainsi, la topographie a été utilisée dans de nombreuses études pour identifier les zones humides potentielles.



*Figure 15 : Exemple de représentation des communautés herbacées au niveau d'une zone humide dans l'étude de Rapinel et al. (2015) produite à partir d'un MNT dérivé des données LIDAR*

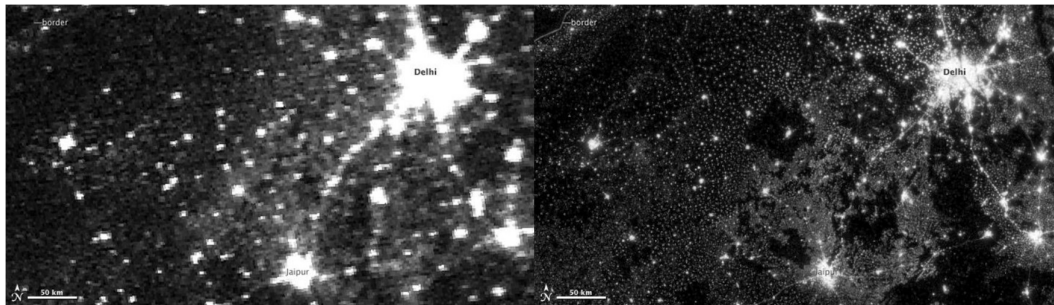
#### Le radar, où en est-on ?

Au niveau des données pour les ZH, ce sont ces images qui sont le plus utilisées dans l'identification de ces milieux. Grâce à sa répétitivité d'acquisition des données, Sentinel 1 est propice à ce genre d'étude et permet d'évaluer la dynamique des surfaces en eau et d'en déduire les périodes de recouvrement en eau des différents habitats aux alentours. De plus, l'apport de la double polarisation du capteur embarqué sur Sentinel-1 couplé à la forte répétitivité temporelle des images optiques Sentinel-2 offre des perspectives intéressantes pour le suivi des zones humides et d'identification de la végétation présente.

#### 1.4. Trame noire

La lumière est considérée comme une barrière artificielle nocturne fragmentant les espaces de continuités écologiques en créant des « ruptures du noir » problématiques pour le déplacement de certaines espèces (Sordello, 2017). Ainsi, dans un contexte où la protection de l'environnement est un enjeu majeur, l'étude des produits permettant d'identifier ces barrières est une priorité pour une définition claire de la Trame Noire dans le monde.

À ce jour, les données satellites restent les plus appropriées pour se rapprocher d'une cartographie exploitable à l'échelle nationale. Le satellite DMSP-OLS, en orbite de 1992 à 2013, permet ce genre d'acquisition de données en utilisant les bandes du proche et du moyen IR intensifiées pour détecter les rayonnements lumineux avec une résolution de 5 km par pixel (Huang et al., 2014). Le capteur VIIRS embarqué sur les satellites SUOMI NPP et JPSS1 depuis 2011 et 2017, a également été utilisé à la suite de DMSP-OLS pour caractériser les milieux fragmentant pour la biodiversité, avec une résolution de 742 m par pixel (Elvidge et al., 2013). L'utilisation de ces produits peut servir à identifier les milieux anthropiques au niveau national et permettre d'apporter des mesures de compensation sur les milieux naturels touchés. D'autres satellites peuvent faire l'objet d'une utilisation ponctuelle de leurs données pour le développement de la trame noire comme EROS-B, satellite à vocation militaire qui produit des images payantes (40 \$/km) d'une résolution très fine de 0,7 m/pxl. En d'autres termes, l'utilisation de la télédétection reste encore une piste à explorer, bien qu'elle soit peu renseignée pour l'étude de la trame noire.



*Figure 16 : Représentation de la pollution lumineuse au niveau de la ville de Delhi à partir d'images DMSP-OLS (à gauche) et VIIRS (à droite)*

## 2. Tableau synthétique et représentation par échelles

Cette partie présente une synthèse des résultats obtenus lors de l'étude par milieu pour chaque donnée identifiée comme étant la plus propice pour l'identification des continuités. Elle vise également à montrer les produits utilisables à différentes échelles pour leur analyse dans une démarche cartographique.

	Forêt	Bocage	Milieu ouvert	Culture	Urbain	Cours d'eau	Zone Humide
<b>BD ortho visible</b>	Grande richesse spatiale pour l'identification du milieu			Résolution spatiale fine pour délimiter les parcelles et voir l'évolution sur le long terme	Résolution spatiale et disponibilité fréquente pour discriminer la tâche urbaine et voir son évolution	Résolution spatiale fine pour cartographie les espaces en eau à une échelle précise	Résolution fine pour identification des ZH disponibilité des images depuis 1945 pour voir son évolution
<b>Pléiades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Résolution spatiale fine pour pouvoir aller jusqu'au genre de l'espèce végétale.</li> <li>Apport des données en stéréoscopie pour permettre des restitutions en 3D ou la création de modèles numériques</li> </ul>		Résolution spatiale fine pour détection des formations végétales				Très bonne résolution spatiale
<b>Worldview</b>			Résolution spectrale pour différencier les types de végétation				Très bonne résolution spectrale
<b>Spot 6/7</b>				• Étude des séries temporelles pour tenter de différencier les types de cultures			Très bonne résolution spatiale
<b>Sentinel 2</b>	Apport des bandes spectrales pour la surveillance des paramètres biophysiques importants	Possibilité de distinction résineux des feuillus par comparaison pluri dates	/	Étude des séries temporelles pour tenter de discriminer les types de végétation (prairies permanentes et temporaires)		/	Suivi de l'évolution de ce milieu avec des images pluri dates
<b>BD ortho composition fausse couleur</b>	Richesse spatiale et composition coloré qui montre l'intensité de l'activité chlorophyllienne			estimer la biomasse relative	Identifier les éléments naturels grâce à la composition colorée (végétation et cours d'eau)	/	Analyse de la composition en fausse couleur pour l'identification du milieu

**Landsat 8**

/

/

La bande IRT peut permettre de mettre en évidence les phénomènes de pollution urbaine en créant des cartes de températures de surface pour modéliser les îlots de chaleur  
Possibilité d'établir un diagnostic de la pollution lumineuse par luminographie aérienne

/

/

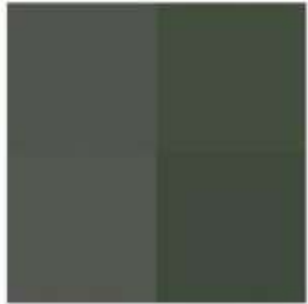
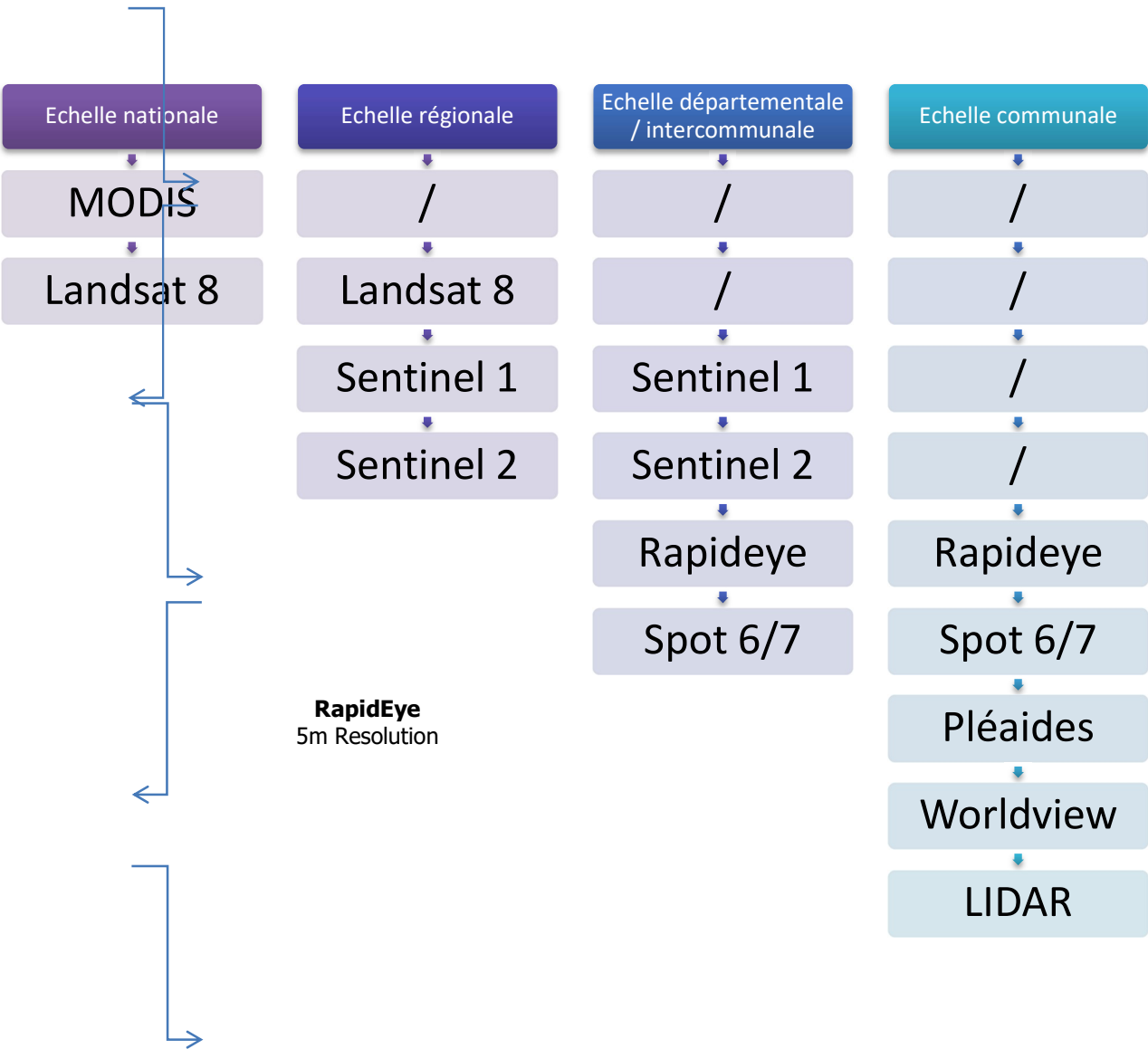
**Lidar**

- Extraction des hauteurs de la canopée.
- Description de la topographie terrestre
- Possibilité de restitution 3D

- Estimation de paramètres biologiques (structure, hauteur, densité...)

Cartographie fine pour l'identification de l'espace en eau

Extraction MNT pour l'identification des zones de dépression des zones potentiellement humides



**Aqua (MODIS)**  
250m Resolution



**Landsat-8**  
30m Resolution



**Sentinel-2**  
10m Resolution



**PlanetScope (Dove)**  
3m Resolution



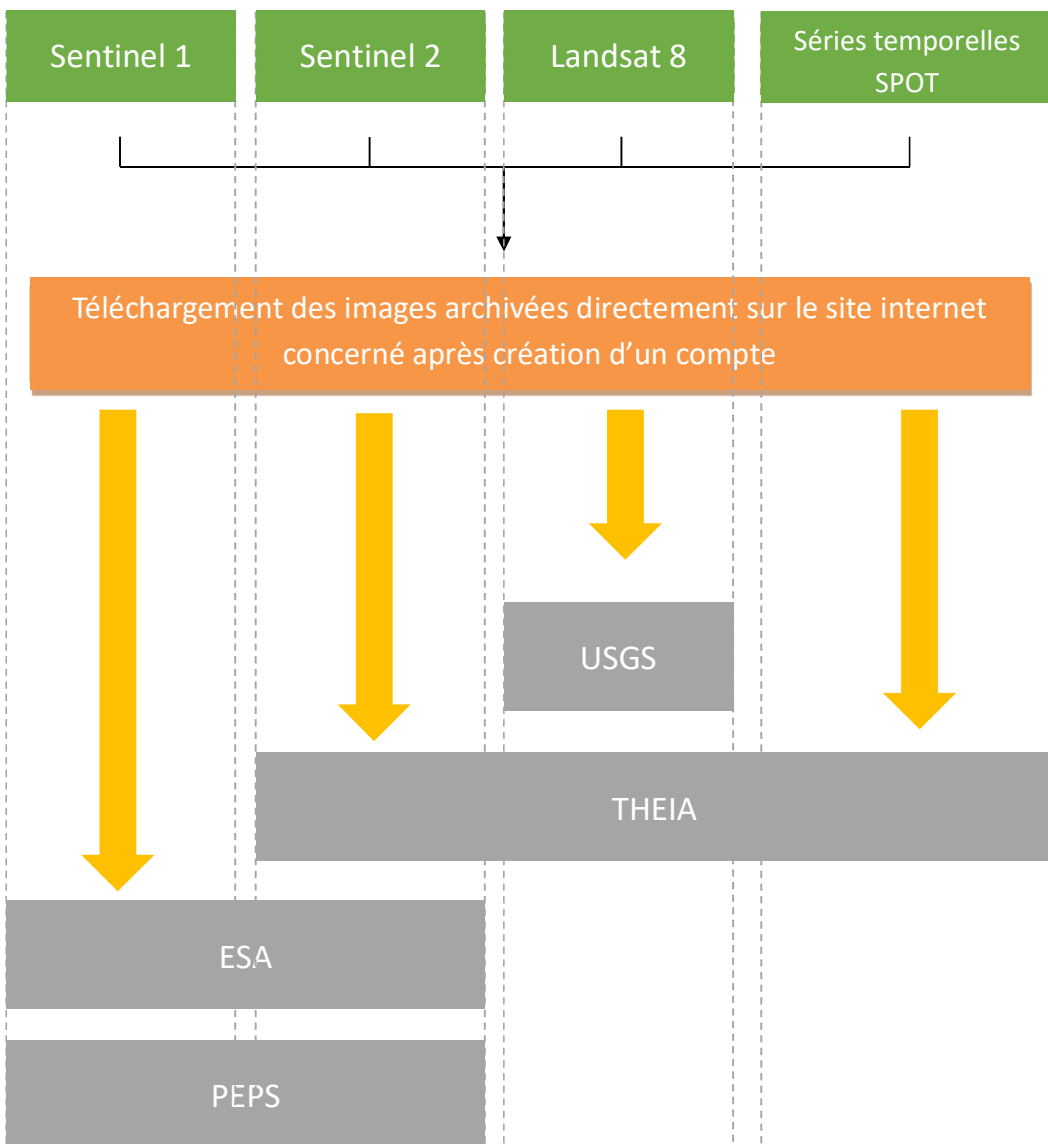
**Pleiades**  
0.5m Resolution



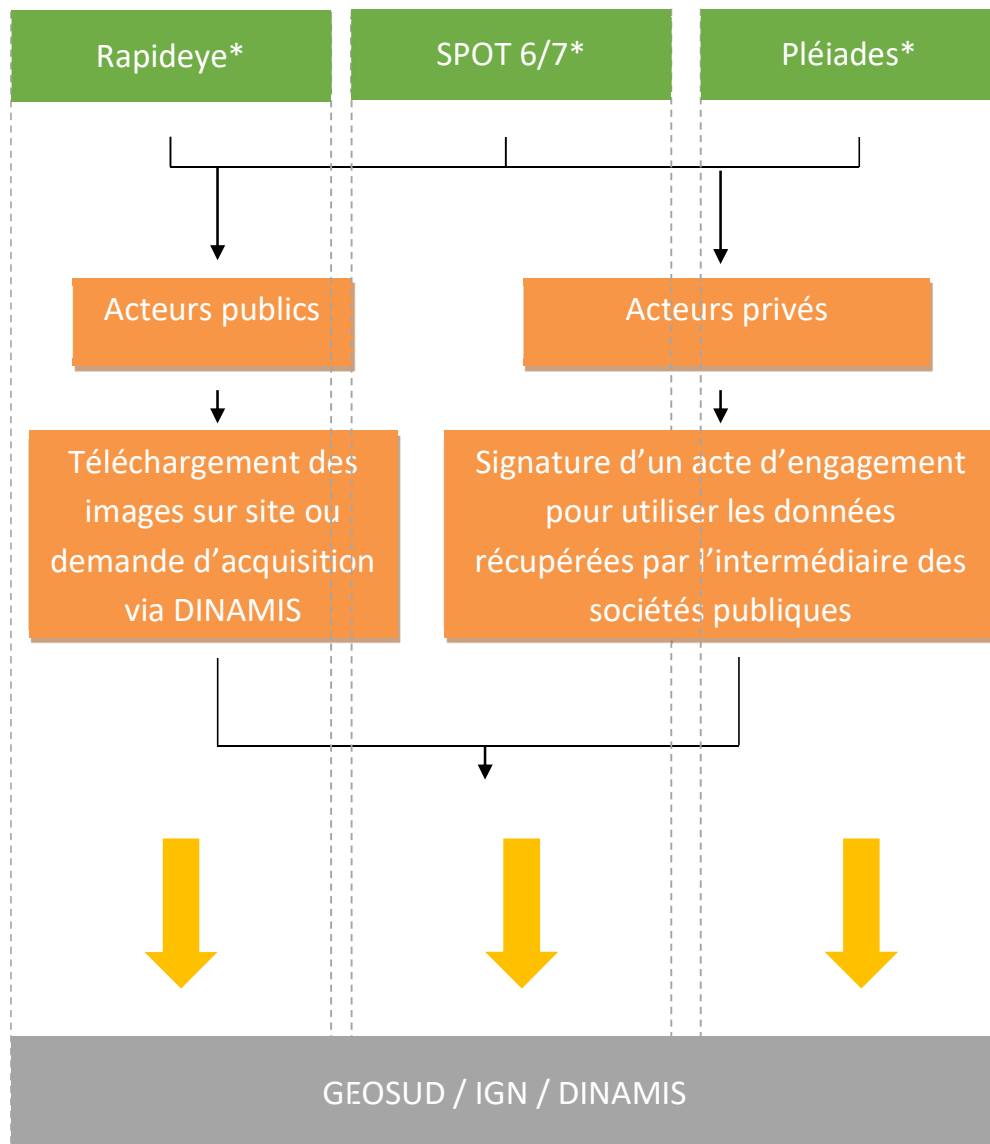
**Worldview-4**  
0.3m Resolution

### 3. Démarche de téléchargement des produits

#### 3.1. Actuellement



\* Flux WMS et WMST disponibles : permet d'obtenir des données géoréférencées à partir de différents serveurs sans téléchargement



### 3.2. Transfert vers DINAMIS à partir de 2019

Création d'un compte THEIA pour se connecter à la plateforme DINAMIS

DINAMIS

Images multi temporelles

Recherche des images archivées disponibles directement sur la plateforme DINAMIS

Sentinel 1

Sentinel 2

Landsat 8

Séries temporelles  
SPOT

Nécessité d'être adhérent à GEOSUD

Images à THRS

Archives disponibles sur les sites concernés

Demande de programmation sur le site avec renseignements sur le projet conduit

Rapideye\*

SPOT 6/7\*

Pléiades\*



## Références

- J. Betbeder, (2015), « **Évaluation des données de télédétection pour l'identification et la caractérisation des continuités écologiques** », Géographie, Université Rennes 2, Français, <NNT : 2015REN20006>, <tel-01122322>.
- F.R.G Bonn,G. Rochon (1992),**“Précis Télédétection Vol.1 Principes et Méthodes”**, Edicef/Aupelf.
- J-G. Boureau, L. Maire, (2010). « **L'image proche infrarouge : une information essentielle** », l'Inventaire Forestier n°25.
- C. Cazals, (2017), « **Apport des données Sentinel-1 pour la cartographie des milieux humides** », Géographie, Université Paris-Est, Français, <NNT : 2017PESC1226>. <tel-01757083>.
- N. Chehata, (2017), « **Contributions méthodologiques pour la caractérisation des milieux par imagerie optique et LiDAR** », Apprentissage [cs.LG], Université Paris-Est, <tel-01494206>.
- P. Clergeau, M. Linglart, S. Morin, M. Paris, M. Dangeon, (2016). « **La Trame verte et bleue à l'épreuve de la ville** », traits urbains n° 83S.
- L. Demarchi, S. Bizzi, H. Piégay, (2016), **“Hierarchical object-based mapping of riverscape units and instream mesohabitats using LiDAR and VHR imagery”**, Remote Sensing 8:97.
- D. Ducrot, A. Masse, A. Ncibi, (2012), « **Hedgerow Detection in HRS and VHRS Images from Different Sources (Optical, Radar)** », In *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 6348-51, Munich, Germany: IEEE, <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6352712>.
- C. D. Elvidge, K. Baugh, M. Zhizhin, F-C. Hsu, (2013), « **Why VIIRS Data Are Superior to DMSP for Mapping Nighttime Lights** », *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network* 35, n° 0 (10 juin 2013): 62. <https://doi.org/10.7125/APAN.35.7>.
- L. Fahrig, J. Baudry, L. Brotons, F. G. Burel, T. O. Crist, R. J. Fuller, C. Sirami, G. M. Siriwardena, J-L. Martin, (2011), « **Functional Landscape Heterogeneity and Animal Biodiversity in Agricultural Landscapes: Heterogeneity and Biodiversity** ». *Ecology Letters* 14, n° 2 (février 2011): 101-12. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x>.
- M. Fauvel, B. Arbelot, J. A. Benediktsson, D. Sheeren, J. Chanussot, (2013), « **Detection of Hedges in a Rural Landscape Using a Local Orientation Feature: From Linear Opening to Path Opening** », *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 6, n° 1 (février 2013): 15-26. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2012.2227464>.
- D. Gramond, B. Savy, M. Graffouillère, P. Bartout, (2005), « **Méthodologies de délimitation des zones humides : de l'image satellitale à l'analyse terrain (Methodology of wetlands delimitation : from sensed data to field works)** ». *Bulletin de l'Association de géographes français* 82, n° 2 (2005): 246-55. <https://doi.org/10.3406/bagf.2005.2459>.
- S. Grivel, G. Melun, L. Breton, (2016), « **Introduction - Enjeux et objectifs** », Journée technique « Avancées, apports et perspectives de la télédétection pour la caractérisation physique des corridors fluviaux », 10 juin 2016.

- Q. Huang, X. Yang, B. Gao, Y. Yang, Y. Zhao, (2014), « **Application of DMSP/OLS Nighttime Light Images: A Meta-Analysis and a Systematic Literature Review** ». *Remote Sensing* 6, n° 8 (25 juillet 2014): 6844-66. <https://doi.org/10.3390/rs6086844>.
- T. Hugerot, L. Astrade, E. Ployon et C. Gauchon, « **Reconstituer les trajectoires paysagères par photo-interprétation semi-automatisée et télédétection : géohistoire d'un cône de déjection torrentiel en vallée de Maurienne (Savoie)** », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 17 Numéro 2 | septembre 2017, mis en ligne le 28 septembre 2017, consulté le 13 octobre 2018. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/18620> ; DOI : 10.4000/vertigo.18620
- A. Jolly, E. Dapoigny, J-P. Renaud, M. Ladjal, (2015), « **Evaluation de dégâts de tempête a l'échelle infra-parcellaire à partir d'une image pléiades à très haute résolution sur un massif forestier feuillu en France** », *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection* n°209 (janvier 2015).
- J.T. Kerr and M. Ostrovsky, (2003). "From space to species: ecological applications for remote sensing". *Trends Ecol. Evol.* 18, 299–305.
- M. Lang, (2015), « **Classification des types de prairies et estimation de la diversité taxonomique à partir de séries temporelles d'images satellites** », rapport de projet de fin d'études, université de toulouse.
- S. Liénard et P. Clergeau, (2011), « **Trame Verte et Bleue : Utilisation des cartes d'occupation du sol pour une première approche qualitative de la biodiversité** », *Cybergeo : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, document 519, mis en ligne le 01 mars 2011, consulté le 04 septembre 2018. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/23494> ; DOI : 10.4000/cybergeo.23494.
- E. Maire, P. Béringuier, G. Briane, B. Desailly, S. Guillaume, (2016), « **La trame arborée : un élément pertinent pour articuler paysage et biodiversité dans la politique de la trame verte et bleue aux échelles infrarégionales ?** ». *Projets de paysage : revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace*, École nationale supérieure du paysage de Versailles, pp.1-25. <hal-01496381>.
- A. Mercier, (2017), « **Mapping of landscape connectivity using Sentinel time-series : Application to brown bear in Spain** », mémoire de fin d'études, université rennes 2.
- A. Othmani, (2014), « **Identification automatisée des espèces d'arbres dans des scans laser 3D réalisés en forêt** ». *Traitement du signal et de l'image*. Université de Bourgogne, 2014. Français. <NNT : 2014DIJOS012>. <tel-01136693>.
- S. Rapinel, (2012), « **Contribution de la télédétection à l'évaluation des fonctions des zones humides : de l'observation à la modélisation prospective** ». *Histoire*. Université Rennes 2, 2012. Français. <NNT : 2012REN20029>. <tel-00731169>.
- S. Rapinel, A. Bonis, J. Oszwald, F. Taureau, J. Mansons, J-B. Bouzillé ; (2015), « **Cartographie des végétations herbacées des marais littoraux à partir de données topographiques lidar** », *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection* n°210 (avril 2015).

- V.F Rodriguez-Galiano, B. Ghimire, J. Rogan, M. Chica-Olmo, and J.P. Rigol-Sanchez, (2012). **“An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification”**. ISPRS J. Photogrammetry. Remote Sens. 67, 93–104.
- C. Sausse, V. Chéret, R. Coffion, D. Ducrot, S. Duthoit, H. Gross, A. Lepennetier, V. Manneville, R. Sculo, D. Sheeren, V. Tosser, R. Wartelle, (2018), **« La télédétection des infrastructures agro-écologiques : de la promesse aux méthodes opérationnelles (Tél-IAE) »**, Innovations Agronomiques n°63 , 267-278.
- V. Sellin, S. Magnanon, F. Gourmelon, F. Debaine, J. Nabucet, (2015), **« Etude expérimentale en cartographie de la végétation par télédétection »**, Cybergeo : European Journal of Geography, Cartographie, Imagerie, SIG, document 730, mis en ligne le 13 juin 2015, consulté le 30 août 2018. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/27067> ; DOI : 10.4000/cybergeo.27067.
- D. Sheeren, N. Bastin, A. Ouin, S. Ladet, G. Balent, J.-P. Lacombe, (2009), **« Discriminating Small Wooded Elements in Rural Landscape from Aerial Photography: A Hybrid Pixel/Object-Based Analysis Approach »**. *International Journal of Remote Sensing* 30, n° 19 (22 septembre 2009): 4979-90. <https://doi.org/10.1080/01431160903022928>.
- D. Sheeren, A. Masse, D. Ducrot, M. Fauvel, F. Collard, S. May, (2012), **« La télédétection pour la cartographie de la trame verte en milieu agricole. Evaluation des potentialités d’images multi-angulaires à très haute résolution spatiale »**. *Revue internationale de géomatique* 22, n° 4 (30 décembre 2012): 539-63. <https://doi.org/10.3166/riig.22.539-563>.
- R. Sordello, (2017), **« Pollution lumineuse et trame verte et bleue : vers une trame noire en France ? »**, Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement, 35 | 2017, mis en ligne le 29 novembre 2017, consulté le 04 septembre 2018. URL : <http://journals.openedition.org/tem/4381> ; DOI : 10.4000/tem.4381.
- H. Talab Ou Ali, S. Niculescu, V. Sellin, C. Bougault, (2017), **« Contribution de la nouvelle série d’images Sentinel-1 pour le suivi de la végétation côtière dans le Pays de Brest »**, Spatial Analysis and GEOmatics, <hal-01650671>.
- C. Vannier, (2012), **« Analyse spatiale de structures paysagères en contexte agricole bocager »**, Cybergeo : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage, document 607, mis en ligne le 17 mai 2012, consulté le 04 septembre 2018. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/25354> ; DOI : 10.4000/cybergeo.25354.
- C. Vannier and L. Hubert-Moy, (2014), **« Multiscale Comparison of Remote-Sensing Data for Linear Woody Vegetation Mapping »**. *International Journal of Remote Sensing* 35, n° 21 (2 novembre 2014): 7376-99. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.968683>.