



Analyse du bocage par imagerie de télédétection : Comparaison à l'analyse manuelle

Dr Ludovic Journaux

En collaboration avec **David Michelin**

Novembre 2014

Sommaire

Sommaire	1
Tables des illustrations	3
Introduction générale et demande du commanditaire	4
Méthodologie	5
1.1. Site d'étude	5
1.2. Choix des images de télédétection.....	6
1.2.1. Rappel des concepts clefs en traitement d'images de télédétection	6
1.2.2. Choix des images	6
1.2.3. Analyse et interprétation d'images	8
Analyse comparative des résultats	12
1.3. Analyse des linéaires	12
1.4. Analyse des connexions de type 0.....	13
1.5. Analyse des connexions de type L	13
1.6. Analyse des connexions de type T	14
1.7. Analyse des connexions de type X.....	15
Discussion et conclusion	15
Bibliographie	19

Tables des illustrations

Figure 1 : Localisation des 47 sites d'études.....	5
Figure 2 : Système complet de télédétection [2]	6
Figure 3 : De l'image satellite à la signature spectrale du pixel du paysage [2].....	7
Figure 4 : Exemple d'image BD Ortho IRC de l'IGN	8
Figure 5 : Opération de binarisation de l'image.....	9
Figure 6 : Extraction du bocage à partir de l'image binarisée.....	10
Figure 7 : Exemple de squelettisation	10
Figure 8 : Détection des fins de sections de l'image squelettisée	11
Figure 9 : Détection des points d'intersections et des changements de direction	11
Figure 10 : Corrélation entre les mesures de linéaires (terrain Vs automatique).....	12
Figure 11 : Corrélation entre connexions de type 0 (terrain Vs automatique)	13
Figure 12 : Corrélation entre connexions de type L (terrain Vs automatique)	14
Figure 13 : Corrélation entre connexions de type T (terrain Vs automatique)	14
Figure 14 : Corrélation entre connexions de type X (terrain Vs automatique)	15
Figure 15 : Exemple d'images BD ORTHO IRC difficile à traiter	16
Figure 16 : Bandes spectrales et résolutions spatiales associées des futures images Sentinel.	17
Figure 17 : Bandes spectrales et résolutions spatiales des images du programme Landsat-8 LDCM	17
Figure 18 : Déploiement de l'imagerie Pléiades en France métropolitaine début 2014.....	18

Introduction générale et demande du commanditaire

Dans le cadre d'une étude écologique de grande ampleur telle que celle du réseau Bocages de Bourgogne, animée par l'agence Alterre Bourgogne, la description du terrain ou l'extraction d'information pertinente et ciblée représente un coût très important et dépasse parfois les compétences du biologiste ou du gestionnaire.

L'extraction des variables environnementales par l'analyse de l'occupation des sols pose de nombreuses difficultés dont les trois principales sont :

- **La subjectivité de l'expert lors de l'analyse.** L'expert est influencé par ses connaissances a priori sur le sujet; les conditions climatiques peuvent éventuellement biaiser l'extraction des variables environnementales et dégrader les analyses ultérieures. De plus, dans le cas d'une étude à large échelle, il est souvent inévitable de multiplier le nombre d'experts d'où, malgré une mise au point de techniques standards, des variations d'un expert à l'autre dans la prise de données.
- **La mauvaise reproductibilité du protocole d'extraction.** Dans le cas où la méthode doit être répétée sur un autre lieu d'étude, les conditions n'étant pas standards dans l'espace et dans le temps, l'interprétation manuelle s'avère peu adaptée.
- **Le coût financier, temporel et humain.** Lorsque l'étude se fait à l'échelle d'un grand territoire comme celui de la Bourgogne, le coût est souvent un facteur limitant.

Pour toutes ces raisons, recueillir l'ensemble des données environnementales nécessite un effort non négligeable. Pour éviter ce lourd travail manuel et les problèmes qui en découlent, l'analyse d'images de télédétection constitue un outil des plus intéressants

Le travail ici présent s'inscrit dans un projet commun entre AgroSup Dijon et l'agence Alterre-Bourgogne, destiné à comparer le travail effectué manuellement à l'extraction automatique d'information à partir d'images de télédétection.

En effet, dans le cadre de l'animation du réseau Bocages de Bourgogne, Alterre-Bourgogne souhaite mener un travail d'amélioration des connaissances sur le potentiel de gisement en bois issu du bocage bourguignon et sur sa fonctionnalité écologique. Ainsi, l'agence souhaite en particulier mener des travaux qui permettent de déterminer les valeurs de différents paramètres quantitatifs exprimant la structure du bocage. Sur cette base, des travaux antérieurs [1] sur la caractérisation de bocages Bourguignon a permis grâce notamment aux outils SIG d'extraire manuellement des paramètres descriptifs du réseau bocager. Issue de ces travaux, l'objectif principal de la présente étude est de deux ordres :

- D'une part, mettre au point un protocole méthodologique adapté à l'analyse du bocage en utilisant de nouveaux outils de traitements d'images de télédétection. Dans cette optique, il est nécessaire d'adopter une stratégie d'analyse cohérente depuis l'acquisition ou le choix des images jusqu'à l'extraction de variables pertinentes. Ces variables sont des paramètres quantitatifs correspondant à la mesure :
 - ✓ des linéaires bocagers (en mètre),
 - ✓ du nombre des différents types de connexions des bocages (connexions de type 0 ou L ou T ou X ou plus).

- D'autre part, comparer les résultats relatifs aux paramètres quantitatifs mesurés via l'analyse des images, par rapport aux données issues du terrain dont dispose Alterre Bourgogne ; ces données de terrain étant issues des prospections organisées dans le cadre de la typologie des bocages de Bourgogne.

Au final, cette comparaison de résultats devra permettre de déterminer la robustesse des résultats obtenus par imagerie de télédétection, et d'évaluer la faisabilité de mener une étude d'analyse similaire à l'échelle du territoire régional.

Ce rapport s'articule autour des points suivants :

- ✓ Une présentation des sites d'études.
- ✓ La méthodologie de traitement d'images mise en place pour extraire les réseaux bocagers ainsi que les paramètres associés.
- ✓ L'analyse comparative des résultats

Méthodologie

1.1. Site d'étude

Afin de répondre à cette double problématique, l'analyse porte sur 47 sites échantillonnés (Figure 1). Ils sont répartis sur l'ensemble de la Bourgogne et sont considérés comme représentatifs du réseau bocager régional. Ces sites sont par ailleurs étudiés dans le cadre d'un dispositif de suivi des évolutions spatiales, quantitatives et qualitatives des bocages en Bourgogne.

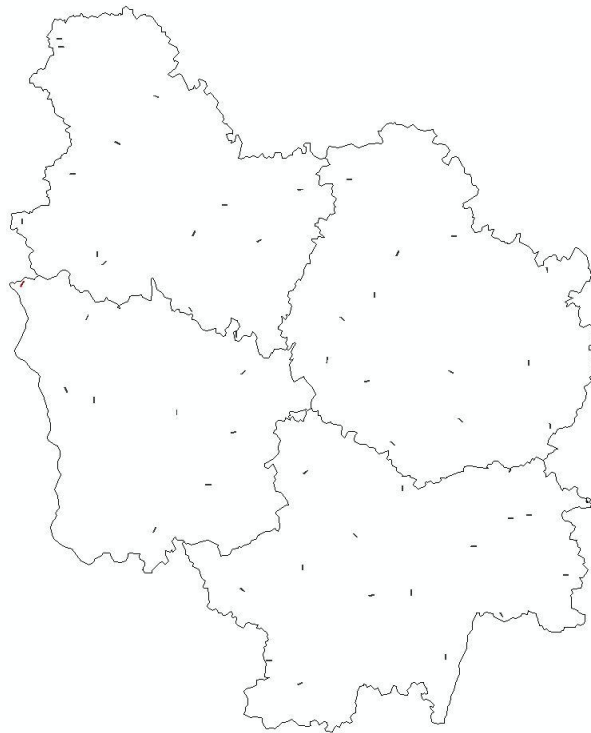


Figure 1 : Localisation des 47 sites d'études

1.2. Choix des images de télédétection

1.2.1. Rappel des concepts clefs en traitement d'images de 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. La télédétection englobe tout le processus qui consiste 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.

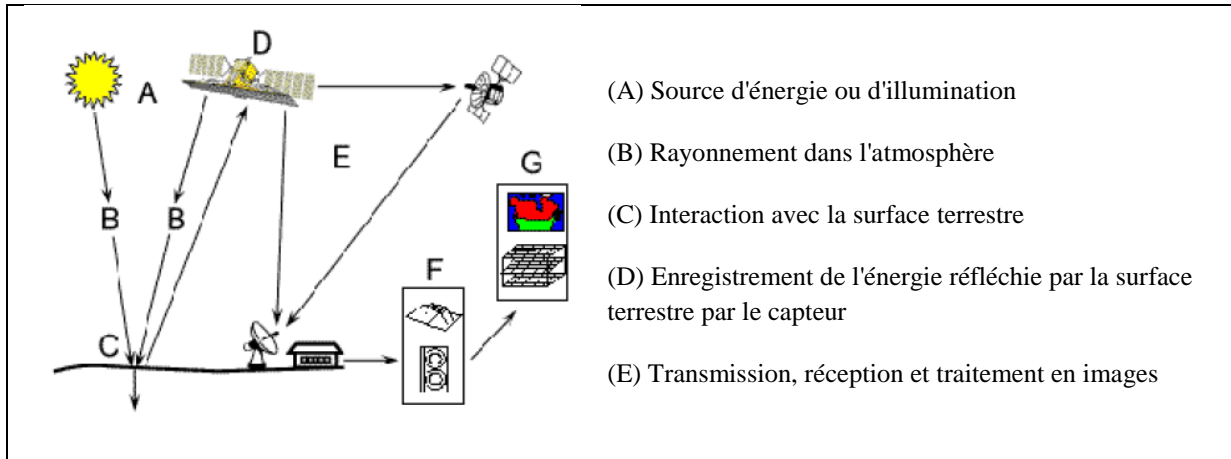


Figure 2 : Système complet de télédétection [2]

1.2.2. Choix des images

Le choix des images est ici essentiel. En effet, l'objectif applicatif ici présent est, dans un premier temps, de pouvoir détecter et extraire les pixels représentatifs du bocage sur les images. Il est donc important de considérer deux paramètres intrinsèques aux images de télédétection pour y parvenir. Ces paramètres sont :

- **La résolution spectrale de l'image**

Les capteurs aéroportés ou satellitaires permettent d'enregistrer des images multispectrales contenant l'énergie réfléchie par la surface dans plusieurs bandes spectrales (4 à 200 bandes) (Figure 3). Chaque pixel de l'image se voit associé un spectre utilisable pour l'étude des caractéristiques des matériaux de surface.

Dans le cas du réseau bocager, la résolution spectrale des images doivent prendre compte la présence de nombreuses espèces végétales. L'étude doit donc se baser sur l'analyse d'images dont le spectre doit se situer dans le proche infrarouge à une longueur d'onde comprise entre 750 et 900 nm.

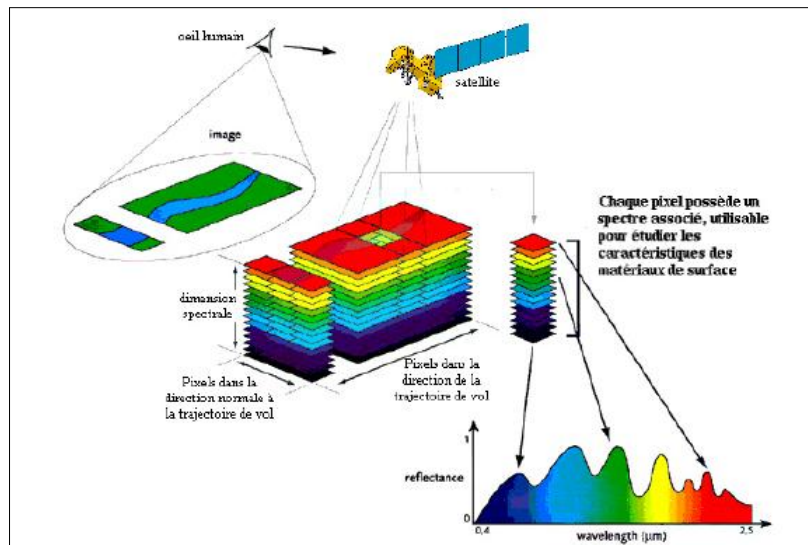


Figure 3 : De l'image satellite à la signature spectrale du pixel du paysage [2]

- **La résolution spatiale de l'image**

La distance entre la cible observée et la plateforme joue un rôle important puisqu'elle détermine la grandeur de la région observée et le détail qu'il sera possible d'obtenir. Un capteur placé sur une plate-forme éloignée de la cible pourra observer une plus grande région, mais ne sera pas en mesure de fournir beaucoup de détails. La résolution spatiale du capteur est fonction de la dimension du plus petit élément qu'il est possible de détecter. Moins fine sera la résolution spatiale d'une image, plus la valeur radiométrique du pixel constituera un mélange des spectres des éléments au sol.

En résumé, le territoire d'étude est un espace dominé par la végétation, partagé entre des espaces forestiers et bocagers et des milieux ouverts herbacés. En analyse d'image, la réponse spectrale de la végétation se distingue particulièrement de celle des autres composants de l'occupation du sol dans les longueurs d'onde du domaine avancé du proche infrarouge, et dans une moindre mesure, dans le domaine du rouge. Les données de télédétection utilisées doivent donc être choisies en fonction de leur capacité à décrire finement ces domaines du spectre électromagnétique. De plus, la résolution spatiale des images doit être suffisamment fine pour être à l'échelle de description du bocage. Au final le choix c'est porté sur les images aéroportées de la BD ORTHO IRC de l'IGN présentant une résolution spatiale de 50 cm et une résolution spectrale dans le proche infra-rouge. Il est important de noter que chaque image couvre une surface carrée correspondant à 1km² et que cela représente près de 200 images à traiter pour l'ensemble des sites.

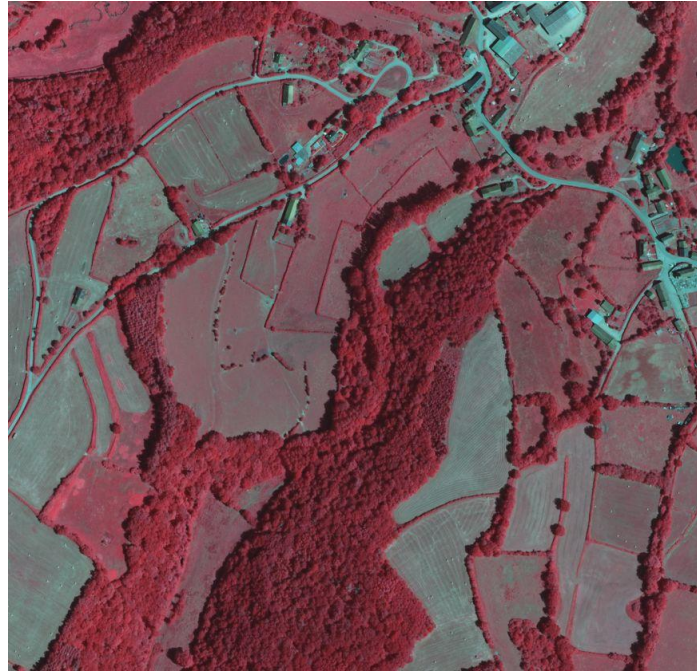


Figure 4 : Exemple d'image BD Ortho IRC de l'IGN

1.2.3. Analyse et interprétation d'images

Le traitement d'une image de télédétection a pour but d'identifier et de mesurer différents objets dans une image pour pouvoir en extraire l'information utile (dans notre cas le réseau bocager). Naturellement, l'observation des différences entre les objets et leurs arrière-plans implique la comparaison entre différents objets en se basant sur une combinaison des caractéristiques suivantes : ton, forme, taille, patron, texture, ombre et association. Afin d'extraire ces objets, divers procédés de traitements numériques existent comme les opérations de prétraitement des données, les transformations d'images ou même la classification automatique des cibles et des structures. Dans le cadre du réseau bocager, différentes étapes de traitements sont effectuées.

Prétraitement des images de télédétection

Une étape de correction des images est préalable avant d'extraire le bocage. En effet, les images n'étant pas toutes acquises au même instant il est important de standardiser ces dernières en ramenant chaque pixel de chaque image à des valeurs radiométriques équivalentes. Différentes étapes de corrections sont réalisées tel que :

- Une correction radiométrique des pixels de l'image, afin d'atténuer les effets atmosphériques, topographiques et d'inclinaison solaire,
- Une correction de la projection géographique de l'image,
- Le calcul des indices spectraux appropriés à la discrimination du bocage par rapport aux autres milieux.

Extraction du bocage

L'extraction du réseau bocager à partir de la BD ORTHO IRC nécessite deux opérations principales.

- Un traitement initial permet de séparer les pixels de l'image en deux classes : les milieux arborés et les milieux ouverts. Pour cela, une opération de binarisation de l'image est suivie d'un post-traitement de « morphologie mathématique » servant à nettoyer les pixels isolés parasites (Figure 5).

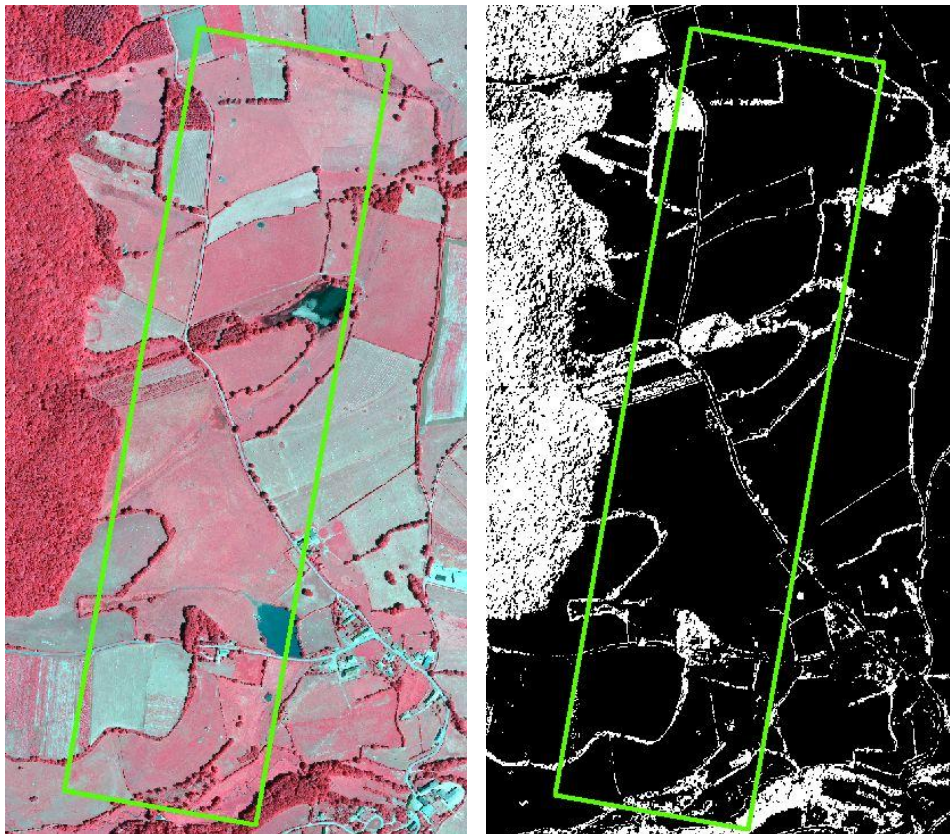


Figure 5 : Opération de binarisation de l'image

- La seconde étape est un enchaînement d'opérations sous SIG¹, permettant de mosaïquer les dalles d'images géoréférencées et d'extraire l'information bocage par élimination des informations arborées des couches SIG exogènes (données forestières). Ensuite, la couche "bocages" subit une dernière opération. Elle consiste à retirer de cette couche l'information relative aux lisières forestières. Pour cela, une zone tampon (Analysis Tools/Proximity/Buffer) de quelques mètres est réalisée sur la couche forestière, avant d'implémenter cette dernière sur la couche "bocages" grâce à un outil d'effacement (Analysis Tools/Overlay/Erase).

¹ Système d'information géographique

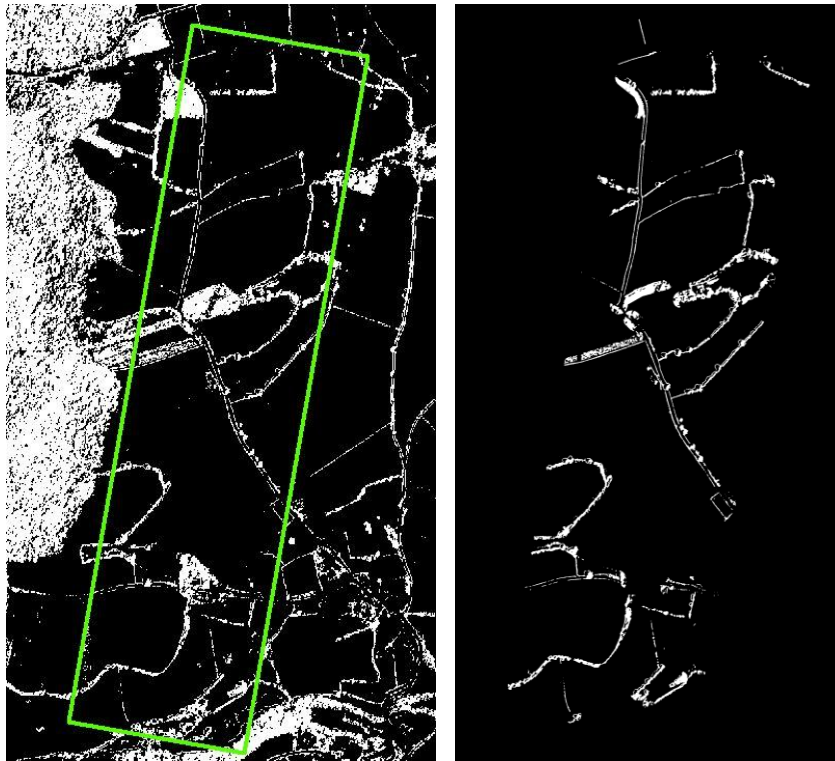


Figure 6 : Extraction du bocage à partir de l'image binarisée

Extraction des paramètres

L'extraction des paramètres du réseau bocager à partir des images binarisées nécessite deux opérations.

- Un traitement initial d'image permet d'extraire les linéaires bocagers. Cette opération de morphologie mathématique réside en un algorithme de squelettisation [3, 4]. Cette opération permet en outre de quantifier directement les linéaires de bocage.

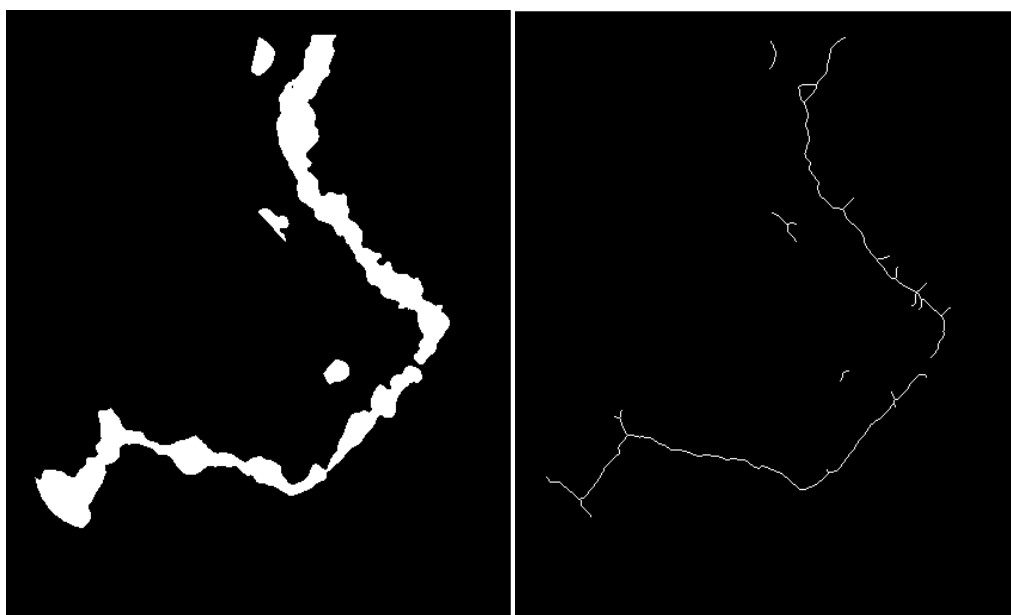


Figure 7 : Exemple de squelettisation

- A partir de l'image squelettisée, d'autres opérations de morphologie mathématique permettent, d'une part, de récupérer les coordonnées de chaque point de fin de section du squelette (Figure 8) et, d'autre part, les points d'intersections et les changements de direction importants du bocage (Figure 9).

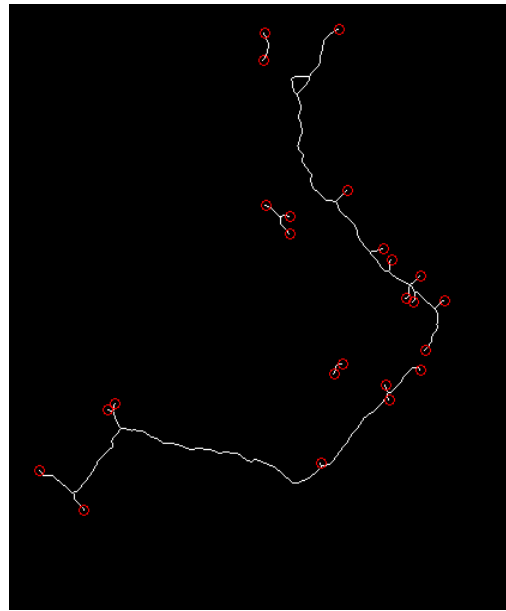


Figure 8 : Détection des fins de sections de l'image squelettisée

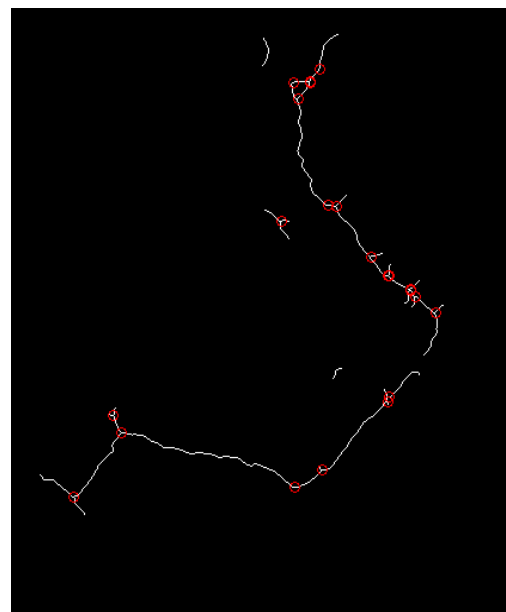


Figure 9 : Détection des points d'intersections et des changements de direction

- Enfin, à partir des coordonnées de chaque point d'embranchement, un cercle de rayon 10 pixels permet d'estimer quantitativement les différents types de connexions des

haies (connexions en L, T, X ou plus), tandis que les points de fin de section permettent d'estimer les connexions de type 0.

Analyse comparative des résultats

Afin de valider les résultats obtenus automatiquement par traitement d'image, nous avons comparé les résultats relatifs aux paramètres quantitatifs mesurés via l'analyse des images, par rapport aux données issues du terrain dont dispose Alterre Bourgogne ; ces données de terrain étant issues des prospections organisées dans le cadre de la typologie des bocages de Bourgogne [1].

Pour chaque site d'étude, les paramètres quantitatifs relatifs aux linéaires et aux types de connexions sont analysés par mise en corrélation des valeurs acquises sur le terrain avec les valeurs extraites automatiquement. Afin de vérifier la robustesse de cette analyse, un test t de Student [5] est effectué pour évaluer s'il existe une différence significative entre les paramètres extraient automatiquement et ceux acquis sur le terrain.

1.3. Analyse des linéaires

Les analyses ont été réalisées sur la base des 47 sites représentatifs de l'étude. Les résultats obtenus sur les linéaires montrent qu'il existe une forte corrélation entre les valeurs métriques issues du terrain et ceux provenant du traitement d'image (Figure 10). En effet, le coefficient de corrélation R^2 est d'environ 91%. Par ailleurs, le résultat du test t de Student ($p= 0,79$) montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les résultats obtenus manuellement et ceux obtenus par le traitement d'image. Ce premier résultat montre au final que l'algorithme d'extraction des linéaires bocager par analyse d'image est robuste.

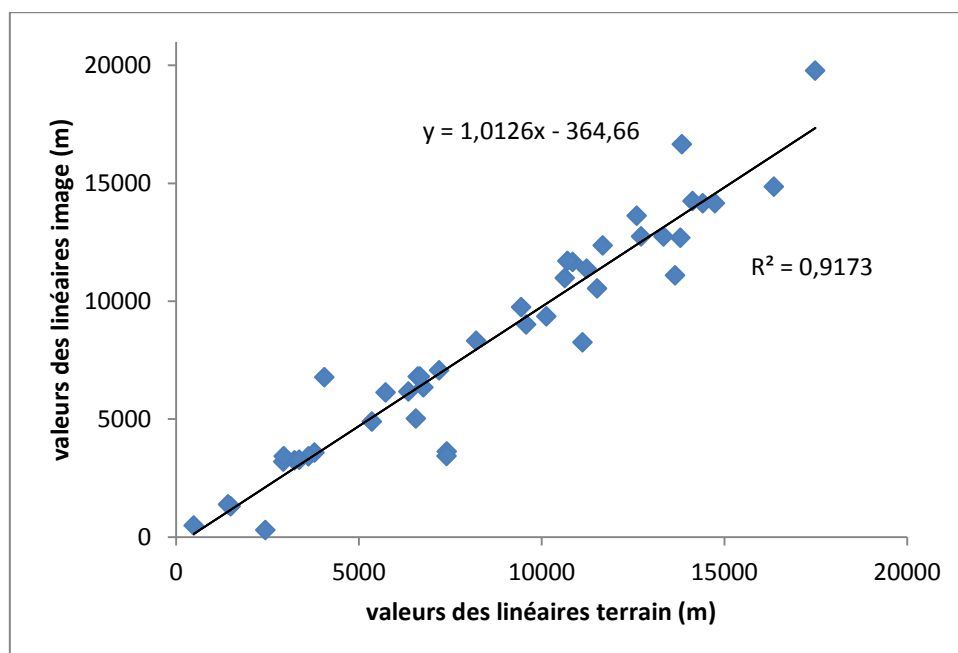


Figure 10 : Corrélation entre les mesures de linéaires (terrain Vs automatique)

1.4. Analyse des connexions de type 0

Les analyses ont été réalisées sur la base des 47 sites représentatifs de l'étude. Les résultats obtenus (Figure 11) sur les connexions de type 0 (extrémités) montrent qu'il existe un coefficient de corrélation R^2 de 40,9 %. Par ailleurs, le résultat du test t de Student ($p = 0,003$) montre qu'il existe une différence significative entre les résultats obtenus manuellement et ceux obtenus par le traitement d'image. Ces résultats s'expliquent essentiellement par la fragmentation des linéaires obtenus par traitement d'image. En effet, lors de la binarisation, les linéaires sont parfois fortement fragmentés passant d'un linéaire continu à un linéaire fragmenté, ce qui contribue à surestimer le nombre de connexions de type 0 dans le cadre du traitement d'image.

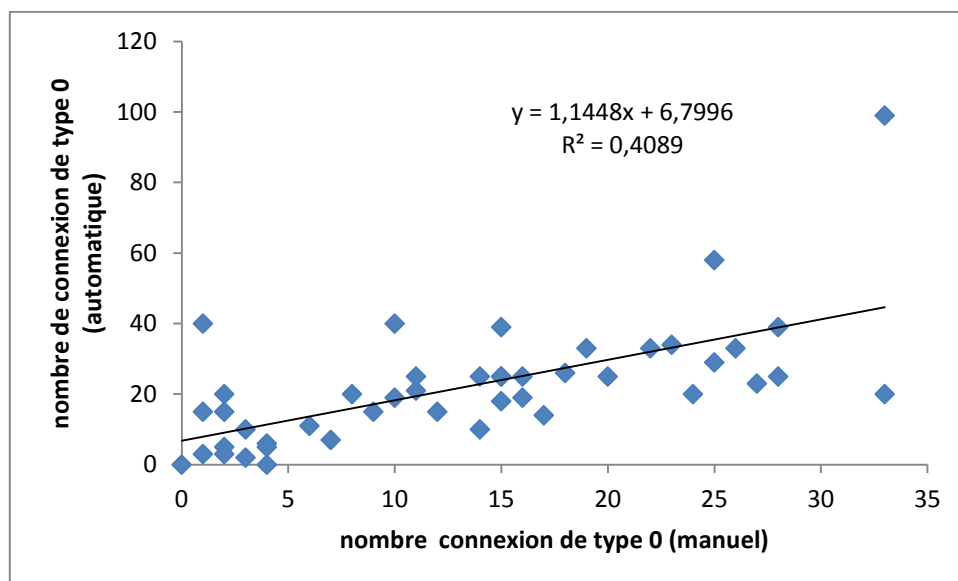


Figure 11 : Corrélation entre connexions de type 0 (terrain Vs automatique)

1.5. Analyse des connexions de type L

Les analyses ont été réalisées sur la base des 47 sites représentatifs de l'étude. Les résultats obtenus sur les connexions de type L (haies en L) montrent qu'il existe un coefficient de corrélation R^2 de 67 % (Figure 12). Par ailleurs, le résultat du test t de Student ($p = 0,43$) montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les résultats obtenus manuellement et ceux obtenus par le traitement d'image. Cependant, il est important de noter qu'il existe un plus faible écart à la droite pour les images avec peu de connexions en L (à gauche sur le graphique) par rapport celle en contenant beaucoup plus (à droite sur le graphique).

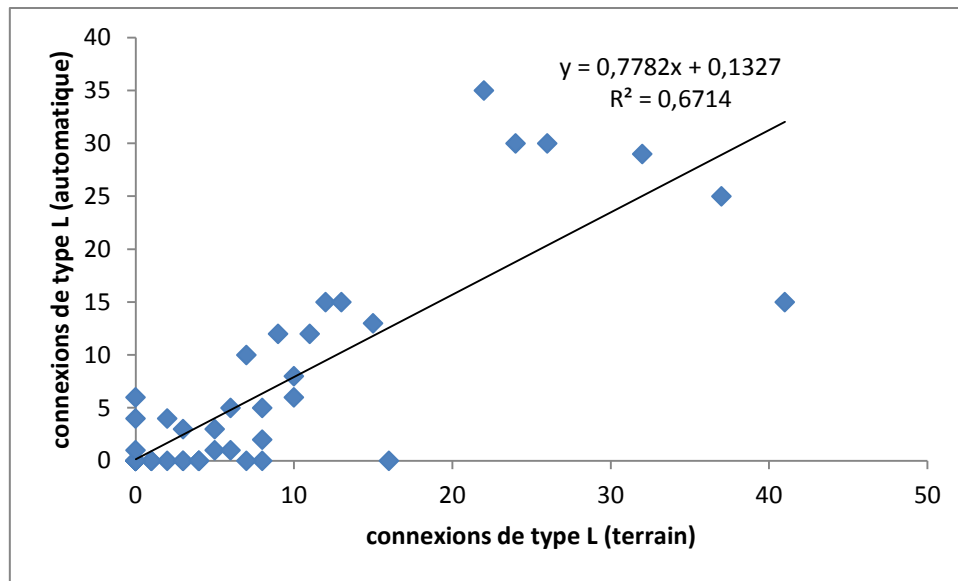


Figure 12 : Corrélation entre connexions de type L (terrain Vs automatique)

1.6. Analyse des connexions de type T

Les analyses ont été réalisées sur la base des 47 sites représentatifs de l'étude. Les résultats obtenus sur les linéaires montrent qu'il existe une forte corrélation entre les valeurs métriques issues du terrain et ceux provenant du traitement d'image (Figure 13). En effet, le coefficient de corrélation R^2 est d'environ 86%. Par ailleurs, le résultat du test t de Student ($p = 0,8$) montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les résultats obtenus manuellement et ceux obtenus par le traitement d'image. Ce résultat montre que l'algorithme d'extraction des connexions en T par analyse d'image est robuste.

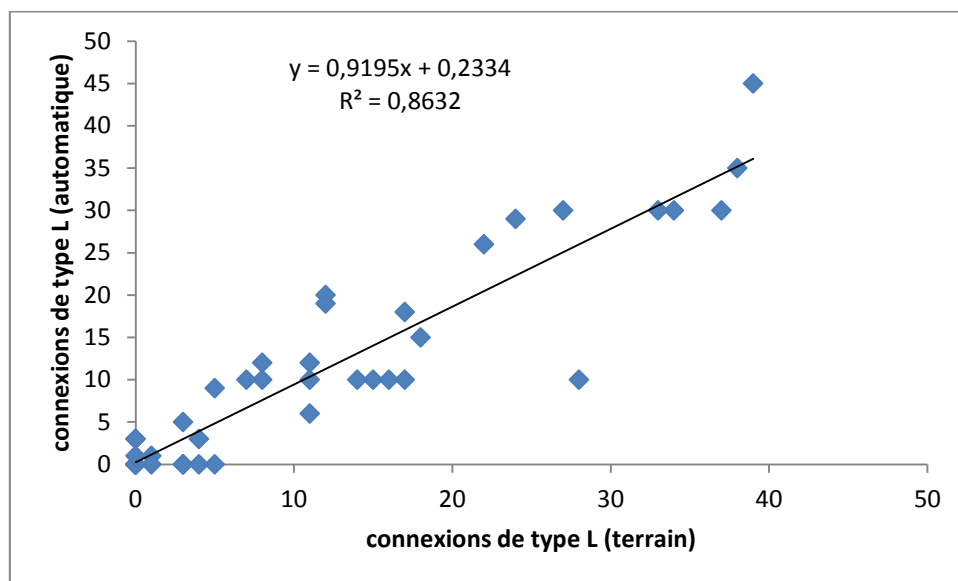


Figure 13 : Corrélation entre connexions de type T (terrain Vs automatique)

1.7. Analyse des connexions de type X

Les analyses ont été réalisées sur la base des 47 sites représentatifs de l'étude. Les résultats obtenus (Figure 14) sur les connexions de type 0 (extrémités) montrent qu'il existe un coefficient de corrélation R^2 de 33.5 %. Malgré cette faible valeur, le résultat du test t de Student ($p= 0,3$) montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les résultats obtenus manuellement et ceux obtenus par le traitement d'image. Ces résultats s'expliquent essentiellement par le faible effectif mesuré de connexions de type X. En effet, seule une dizaine de sites présente des connexions en X avec un maximum de 4 à 5 connexions.

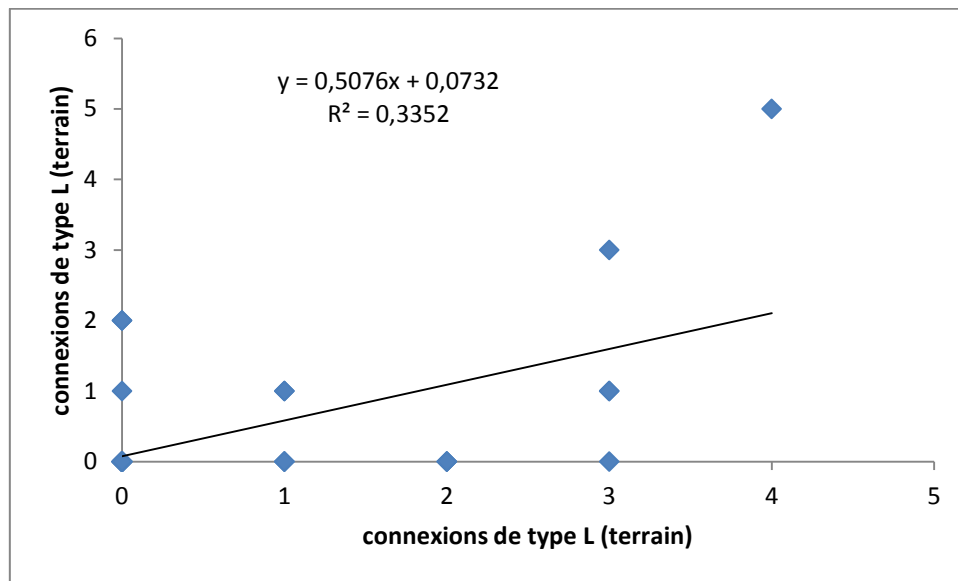


Figure 14 : Corrélation entre connexions de type X (terrain Vs automatique)

Discussion et conclusion

Rappelons d'abord que le bocage représente "un paysage ayant pour caractéristique la présence de réseaux de structures linéaires de végétaux ligneux, que ce soit des haies "traditionnelles", des rideaux brise-vent récents ou des haies spontanées issues de l'absence d'entretien des clôtures" [6]. L'objectif était ici de démontrer la capacité des outils de traitement d'image à extraire « efficacement » un ensemble de paramètres représentatif des réseaux bocager. Les résultats obtenus montrent que ces outils offrent de bons résultats pour la majorité des paramètres et en particulier celui exprimant les linéaires bocager. Cependant, il est important de noter que dans certains cas, les résultats sont non satisfaisants pour certains paramètres tels que les connexions de type 0. Si ce dernier s'explique essentiellement par la fragmentation des linéaires obtenus par traitement d'image, il est essentiel de comprendre que cette fragmentation est plus particulièrement due à la qualité intrinsèque des images utilisées pour extraire le bocage. Dans ce sens deux éléments ont été identifiés :

- D'une part les images aériennes de la BD ORTHO IRC (Figure 15) ont été prises durant des périodes où l'activité chlorophyllienne est au maximum et rend plus difficile la séparabilité entre les zones de type forêt, bocage et les zones de cultures, prairies. La

séparabilité n'étant basé que sur la seule valeur pixellaire du proche infrarouge, le seuillage de binarisation est alors délicat à déterminer.

- D'autre part, il est important de noter que pour certaines images, la présence d'ombres portées joue un rôle perturbateur dans la bande du proche infra rouge et affecte le résultat final de détection du bocage (Figure 15).

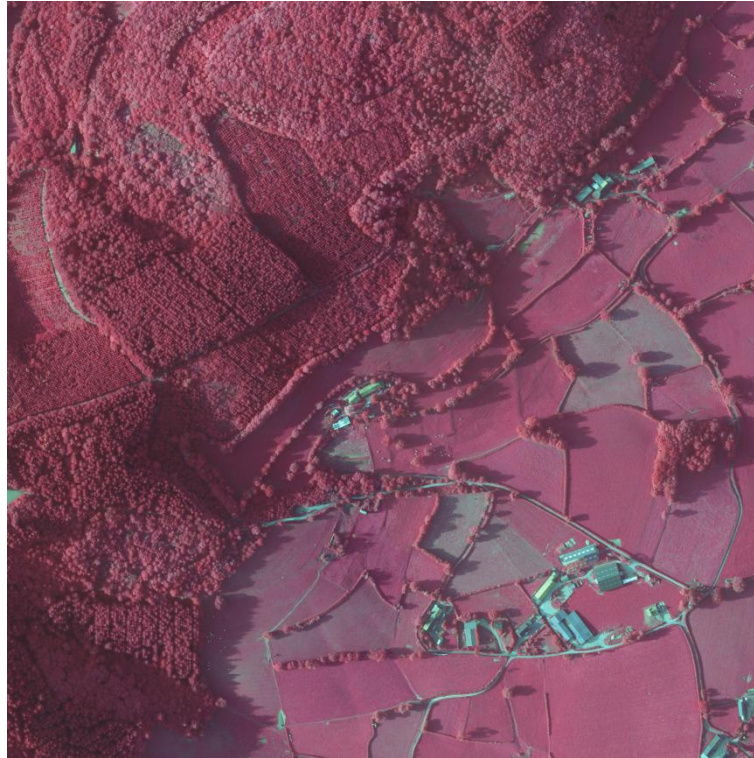


Figure 15 : Exemple d'images BD ORTHO IRC difficile à traiter

Pour améliorer ces résultats il sera donc essentiel à l'avenir de baser l'extraction des bocages sur des images de meilleures qualités. En effet, si les images de l'IGN nous permettent de démontrer la faisabilité de l'automatisation, il conviendra d'une part d'employer des images acquises à différentes dates (approche multidates) mais aussi de prendre en compte d'autres bandes spectrales (approche multispectrale).

Au final, la principale amélioration de cet réside dans la qualité des données de travail. Pour répondre a cela, sachant la réponse spectrale de la végétation, il aurait fallu disposer d'une donnée image dans le proche infrarouge avancé (900 à 1000 nm). Pour toutes ces raisons, de nombreuses attentes accompagnent le lancement des satellites Sentinel-2A et 2B de l'Agence Spatiale Européenne. A l'horizon 2015, les données images de ces capteurs devraient être mises à disposition gratuitement avec une répétitivité tous les 5 jours. Les caractéristiques techniques de ces images sont présentées dans la figure suivante (Figure 16).

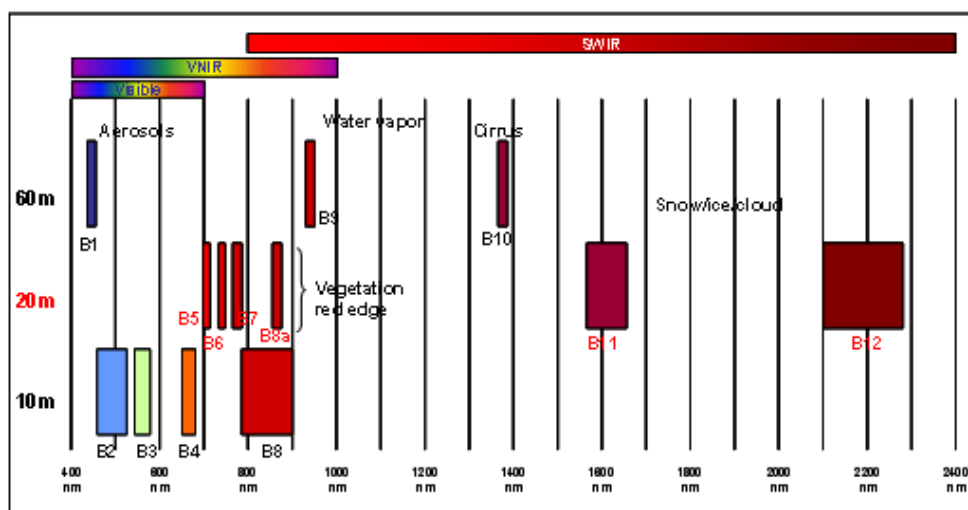


Figure 16 : Bandes spectrales et résolutions spatiales associées des futures images Sentinel

D'ici 2015, d'autres clichés à bas coût pourront être acquis comme les images issues du programme de l'Agence Spatiale Américaine Landsat-8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission) - gratuit, répétitivité tous les 16 jours, 9 bandes spectrales (Figure 17).

Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 1 - Aérosols	0,433 - 0,453 μm	30 m
Bande 2 - Bleu	0,450 - 0,515 μm	30 m
Bande 3 - Vert	0,525 - 0,600 μm	30 m
Bande 4 - Rouge	0,630 - 0,680 μm	30 m
Bande 5 - Infrarouge proche	0,845 - 0,885 μm	30 m
Bande 6 - Infrarouge moyen 1	1,560 - 1,660 μm	30 m
Bande 7 - Infrarouge moyen 2	2,100 - 2,300 μm	30 m
Bande 8 - Panchromatique	0,500 - 0,680 μm	15 m
Bande 9 - Cirrus	1,360 - 1,390 μm	30 m

Figure 17 : Bandes spectrales et résolutions spatiales des images du programme Landsat-8 LDCM

L'imagerie Pléiades du Centre National d'Etudes Spatiale (CNES) est également en cours de déploiement, la carte de disponibilité nationale des clichés étant présentée en figure Les utilisateurs institutionnels autorisés français bénéficient d'un accès privilégié aux images Pléiades par l'intermédiaire d'une délégation de service public confiée par le CNES à l'opérateur commercial des satellites Pléiades Airbus Defence and Space (ex SPOT-Image). Cette délégation de service public permet aux utilisateurs institutionnels autorisés d'acquérir

des données Pléiades à des conditions tarifaires préférentielles. L'IGN joue le rôle de point focal pour le recueil de leurs besoins sur le territoire national, et assure l'interface avec le fournisseur des données.

Ces données gratuites se rapprochent de la qualité des images actuelles, mais il faut néanmoins préciser que leur résolution spatiale (2 mètres) est meilleure.

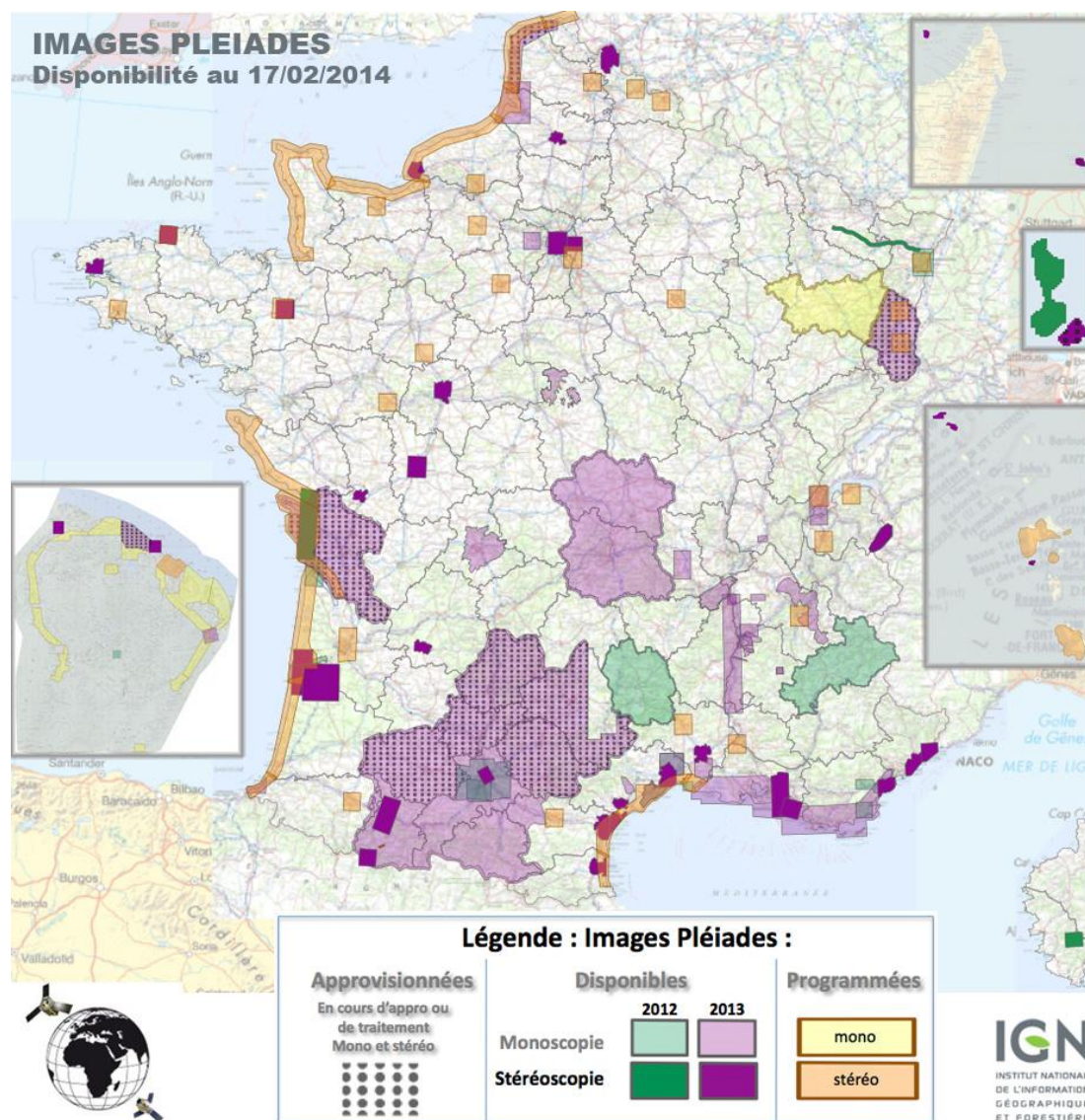


Figure 18 : Déploiement de l'imagerie Pléiades en France métropolitaine début 2014

En conclusion, les résultats obtenus permettent de répondre positivement à la question « peut-on extraire automatiquement l'information et les paramètres représentatif du bocage à partir d'images de télédétection ». Si pour certains paramètres, les résultats peuvent être améliorés selon les pistes évoquées, il est important de noter que les résultats finaux sont scientifiquement robustes.

Bibliographie

[1] A. Leca, « Caractérisation des bocages de Bourgogne au regard des enjeux de biomasse et de biodiversité », Agrosup Dijon, 2013.

[2] L. Journaux, « Analyse multispectrale d'images satellitaires et analyse multitableaux : application à la répartition des populations d'oiseaux et à la structure du paysage », Université de Bourgogne, 2006.

[3] T. Y. Kong et A. Rosenfeld, *Topological algorithms for digital image processing*. Elsevier, 1996.

[4] P. Soille, *Morphological image analysis: principles and applications*. Springer-Verlag New York, Inc., 2003.

[5] P. Dagnelie, *Inférence statistique à une et à deux dimensions*, vol. 2. De Boeck Supérieur, 1998.

[6] J. Baudry et A. Jouin, *De la haie aux bocages: organisation, dynamique et gestion*. Editions Quae, 2003.