



HAL
open science

Etude expérimentale en cartographie de la végétation par télédétection

Vanessa Sellin, Sylvie Magnanon, Françoise Gourmelon, Françoise Debaine,
Jean Nabucet

► **To cite this version:**

Vanessa Sellin, Sylvie Magnanon, Françoise Gourmelon, Françoise Debaine, Jean Nabucet. Etude expérimentale en cartographie de la végétation par télédétection. *Cybergeog: Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 2015, pp.730. 10.4000/cybergeog.27067. hal-01165523

HAL Id: hal-01165523

<https://hal.science/hal-01165523v1>

Submitted on 31 Oct 2022

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



Etude expérimentale en cartographie de la végétation par télédétection

Experimental vegetation mapping study using remote sensing

Vanessa Sellin, Sylvie Magnanon, Françoise Gourmelon, Françoise Debaine et Jean Nabucet



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/cybergeog/27067>

DOI : [10.4000/cybergeog.27067](https://doi.org/10.4000/cybergeog.27067)

ISSN : 1278-3366

Éditeur

UMR 8504 Géographie-cités

Ce document vous est offert par Nantes Université



Référence électronique

Vanessa Sellin, Sylvie Magnanon, Françoise Gourmelon, Françoise Debaine et Jean Nabucet, « Etude expérimentale en cartographie de la végétation par télédétection », *Cybergeog: European Journal of Geography* [En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 730, mis en ligne le 13 juin 2015, consulté le 31 octobre 2022. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeog/27067> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeog.27067>

Ce document a été généré automatiquement le 29 septembre 2020.



Creative Commons - Attribution 4.0 International - CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Etude expérimentale en cartographie de la végétation par télédétection

Experimental vegetation mapping study using remote sensing

Vanessa Sellin, Sylvie Magnanon, Françoise Gourmelon, Françoise Debaine et Jean Nabucet

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une convention CNRS LETG-CBNB, en partenariat avec plusieurs membres du CBNB, des UMR LETG et ECOBIO. Elle a bénéficié de financements européens (FEDER) et régionaux (Agence de l'eau Seine-Normandie, Régions et DREAL de Basse-Normandie, Bretagne et Pays de la Loire) ainsi que d'un soutien ISIS pour l'acquisition d'images SPOT. Nous remercions l'ensemble de l'équipe associée au projet ainsi que les deux relecteurs pour la qualité de leurs remarques.

Introduction

- 1 En France, le peu de connaissances disponibles sur la répartition et l'état des végétations a conduit les politiques publiques à favoriser les études dans ce domaine. En effet, il n'existe aujourd'hui aucune carte de végétation au 1/25 000 de l'ensemble du territoire et il est impossible d'envisager une telle cartographie avec les seules techniques classiques de terrain. La télédétection, étant donnés les progrès réalisés tant sur le plan de la qualité des images que des performances des procédures de classification, est considérée comme une alternative de plus en plus fiable pour y parvenir. C'est dans ce contexte que s'est mise en place cette étude dont l'objectif est d'établir une méthode de cartographie des grands types de végétations de l'ouest de la France au 1/25 000. Cette méthode doit être reproductible et permettre à la fois de répondre à un besoin de couverture de grands territoires et en même temps d'aider à l'identification et à la gestion des végétations sur le terrain.

- 2 La majorité des études de cartographie des grands types de végétation utilisent les typologies EUNIS (Bock *et al.*, 2005, Gourmelon *et al.*, 2005), Corine Biotopes (SIRS, 2009) ou Natura 2000 (Gianetti *et al.*, 2010) ou des typologies propres à l'étude. Or ces classifications sont parfois incomplètes, imprécises et peu adaptées à la réalisation de cartes et d'inventaires à l'échelle régionale. Le CBN de Brest a récemment établi une classification emboîtée des végétations de l'ouest de la France (Delassus *et al.*, 2014), qui articule les typologies de structure de la végétation et les typologies utilisées sur le terrain. Cette approche paraît particulièrement adaptée à l'étude des végétations par traitement automatique d'images, et à la recherche d'une articulation entre les techniques de cartographie basées sur une approche « terrain » et celles faisant appel à des traitements d'images et de données numériques.
- 3 Si la photo-interprétation d'images aériennes et satellitaires est une technique encore utilisée aujourd'hui pour cartographier les zones humides (AESN, 2006), les habitats forestiers (IFN, 2008) et plus généralement, les grands types de végétation (Gourmelon *et al.*, 2005 ; SIRS, 2009 ; GIP Loire estuaire, 2012), un nombre croissant d'études produisent des cartes de la végétation par classification automatique d'images aériennes et satellitaires (Augello et Capogrossi, 2007 ; Lucas *et al.*, 2011), qui offre une économie et une reproductibilité des procédures de traitement (Medcalf *et al.*, 2011 ; Vanden-Borre *et al.*, 2011). L'approche fondée sur le pixel repose sur le principe d'attribution de chaque pixel de l'image à une classe en fonction de ses valeurs spectrales. Apparue dans les années 1970, elle est encore utilisée pour cartographier les grands types de milieux (More *et al.*, 2005 ; Ouyang *et al.*, 2011), les habitats forestiers (Roche *et al.*, 2010) ou l'occupation du sol (Sanchez-Hernandez *et al.*, 2007 ; Schuster *et al.*, 2012). L'approche orientée-objet, apparue dans les années 2000, est de plus en plus utilisée pour traiter les images à haute et très haute résolution spatiale. En effet, ces images se caractérisent par une variance locale élevée, rendant peu efficaces les classificateurs conventionnels (Caloz et Pointet, 2003). Le principe de l'approche orientée-objet est de segmenter l'image en objets selon un seuil d'homogénéité que l'on détermine, puis de classer ces objets non seulement sur la base de critères spectraux (comme dans la méthode basée sur le pixel), mais aussi texturaux, de forme et de voisinage, ce qui augmente la fiabilité de la classification (Bock *et al.*, 2005 ; Gao et Mas, 2008).
- 4 L'intérêt de l'analyse d'images orientée-objet pour la cartographie de la végétation a été démontré dans un certain nombre d'études. Ainsi par exemple, SIRS (2009) utilise cette méthode sur des ortho-images infrarouge, des images RapidEye et SPOT5 pour mettre à jour la cartographie des grands types de milieux au 1/10 000. Allenbach *et al.* (2010) travaillent sur des images SPOT5 et des données SIG pour caractériser les habitats au 1/10 000 avec un coefficient Kappa de 0.9. Enfin Lucas *et al.* (2011) caractérisent avec une précision supérieure à 80 %, 103 habitats à partir d'une combinaison d'images SPOT5, IRS LISS3, Landsat et ASTER. D'autres études utilisent l'approche orientée-objet pour la caractérisation fine d'un type de milieu particulier, celle des forêts par exemple, à partir d'images Landsat (Triepke *et al.*, 2008), Ikonos (Eisfelder *et al.*, 2009), SPOT (Renaud *et al.*, 2010), Worldview-2 (Immitzer *et al.*, 2012) ou des ortho-images infrarouge (IFN, 2008). Hantson *et al.*, (2012) ont montré par ailleurs que c'est avec l'approche orientée-objet appliquée à des images aériennes couplées avec des données LiDAR que les espèces arbustives invasives sont les mieux identifiées sur les dunes grises. Les zones humides enfin, dont la disparition rapide est une préoccupation majeure à travers le monde ont également fait l'objet de nombreuses études aboutissant à une cartographie. On citera

notamment Tuxen *et al.* (2008), Midwood et Chow-Fraser (2011) et Ouyang *et al.* (2011) pour la cartographie des zones humides littorales. Les premiers caractérisent 9 habitats de prés salés à partir d'ortho-images infrarouge, les seconds distinguent 6 classes d'occupation du sol à partir d'images Ikonos avec une précision supérieure à 87 % et les derniers caractérisent 3 classes à partir d'images Quickbird. D'autres études portent plus spécifiquement sur les zones humides intérieures et utilisent des images SPOT (Hubert-Moy *et al.*, 2006), Landsat (Frohn *et al.*, 2009), des ortho-images infrarouge (Gao *et al.*, 2012) et des images Quickbird pour la détection des changements (Johansen *et al.*, 2008). Plus récemment, rapinel *et al.* (2014b) ont montré l'intérêt de coupler le Lidar aux images satellitaires (SPOT, Quickbird, Kompsat) en approche orientée-objet pour caractériser avec succès 10 grands types de milieux au sein d'une vaste zone humide de 532 hectares. Enfin Dribault *et al.* (2012) utilisent 10 images à très haute résolution Geo-Eye-1 pour cartographier d'une part les enveloppes des tourbières avec une précision de 93 % et d'autre part leur structure interne avec une précision de 82 %.

- 5 Pour la réalisation de cartes au 1/25 000 et l'identification des grands types de végétation, l'exploitation des images SPOT, associées à d'autres sources de données, semble justifiée en termes de résolution et de coût (Allenbach *et al.*, 2010 ; Lucas *et al.*, 2011). L'adéquation des ortho-images en infrarouge couleur pour la cartographie automatique de la végétation est en revanche beaucoup moins étudiée, ce, malgré un coût de mise à disposition bien inférieur à celui de l'imagerie satellitaire. Elles sont généralement utilisées pour la photo-interprétation et, le plus souvent, pour la caractérisation d'un type de milieu particulier. L'IFN (2008) les utilise en créant dans un premier temps un fond vert en approche orientée-objet, qui est enrichi, dans un second temps, par photo-interprétation, pour distinguer 31 habitats forestiers. Le GIP Loire estuaire (2012) obtient une cartographie par photo-interprétation des grandes formations végétales de l'estuaire de la Loire avec une précision de 74 %. SIRS (2009) a testé la cartographie par photo-interprétation au 1/5 000 de 64 habitats naturels regroupés en 8 grands types de milieu sur une vaste zone de 13 700 km² à partir d'ortho-images infrarouge. A notre connaissance, seul Tuxen *et al.* (2008) couplent ces images avec du LiDAR pour caractériser 9 classes de prés salés avec une précision de 85 % en approche orientée-objet. Le peu d'études fondées sur une classification automatique menées à ce jour à partir de ces images et les résultats obtenus par photo-interprétation justifient une expérimentation exhaustive sur de vastes territoires. Les images Worldview-2 sont un autre type d'image encore très peu utilisé. Disponibles depuis 2009, elles semblent prometteuses pour caractériser finement la végétation grâce à une résolution spatiale élevée et 8 bandes spectrales. Quelques études ont déjà montré le potentiel de ces images pour classer et inventorier les végétations de zones humides (Lane *et al.* 2014), les délimiter (Hassan *et al.*, 2014), cartographier les différents habitats de forêts rivulaires (Strasser *et al.* 2014) et les différentes espèces d'arbres et leur mortalité (Waser *et al.* 2014). Mais aucune étude n'a encore expérimenté la cartographie de grands types de végétation sur de vastes territoires à partir de ces images. Les résultats obtenus au cours de cette étude à partir de l'image Worldview-2 ont fait l'objet d'une publication dans la revue *Journal of Environmental Management* (Rapinel *et al.*, 2014a).
- 6 Nous présentons ici les résultats de la recherche d'une méthodologie pour la cartographie des grands types de végétation de l'Ouest de la France au 1/25 000 selon une typologie adaptée. Nous proposons un protocole méthodologique fondé sur l'analyse d'image orientée-objet et comparons les performances des images Spot, des ortho-images en

infrarouge couleur et des images Worldview-2 sur des sites tests (Sellin *et al.*, 2013). Cette étude est le résultat d'un partenariat¹ entre le Conservatoire botanique national de Brest (CBN de Brest), l'UMR6554 LETG CNRS avec l'appui de l'UMR6554 ECOBIO.

Sites d'étude et données mobilisées

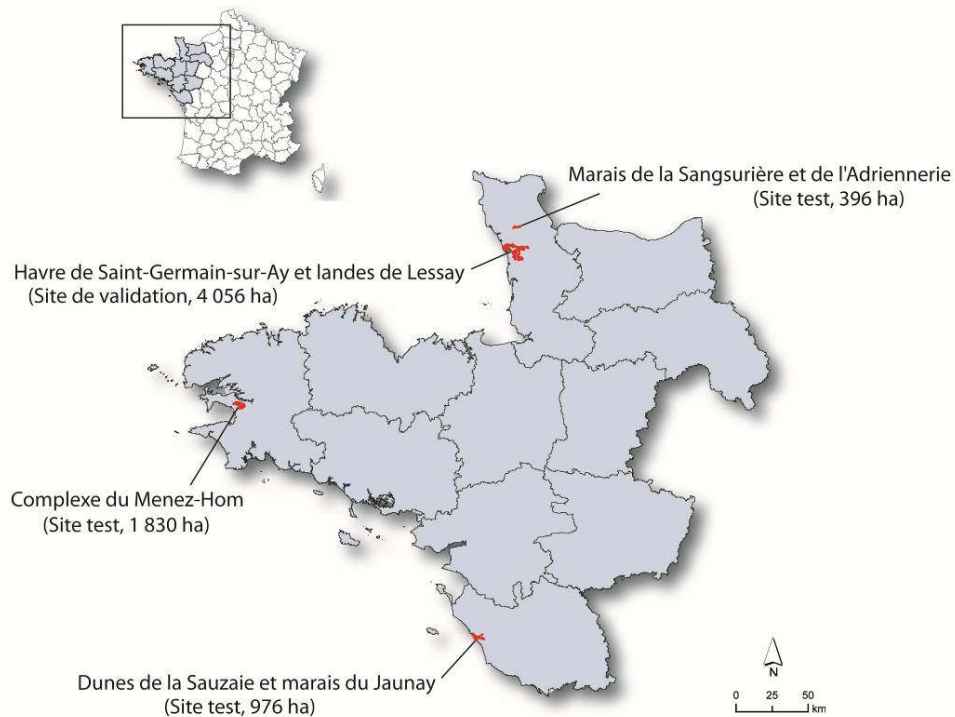
Sites d'étude

- 7 Quatre sites ont été expérimentés (Figure 1). Répartis sur l'ensemble des trois régions étudiées, Bretagne, Basse-Normandie et Pays de la Loire, ils ont été choisis pour leur diversité en types de milieux (Tableau 1) et la disponibilité de cartes de la végétation récentes et à grande échelle (1/5 000). Trois d'entre eux (complexe du Menez-Hom, marais de la Sangsurière et de l'Adriennerie, dunes de la Sauzaie et marais du Jaunay) ont servi de sites tests pour élaborer les procédures de traitement des images, alors que le quatrième (havre de Saint-Germain-sur-Ay et landes de Lessay), le plus vaste et le plus riche en types de végétation, a servi à valider leur reproductibilité.

Tableau 1 : Description des sites d'étude

Site	Description
Complexe du Menez-Hom	Végétations de landes, de tourbières et de forêts de l'ouest armoricain.
Marais de la Sangsurière et de l'Adriennerie	Végétations de prairies et de marais et boisements humides de l'ouest du Cotentin.
Dunes de la Sauzaie et marais du Jaunay	Végétations thermophiles et littorales du domaine atlantique : végétations de dunes, de forêts littorales et de marais saumâtres.
Havre de Saint-Germain-sur-Ay et landes de Lessay	Site représentatif des végétations du Massif armoricain composé de végétations littorales et d'une grande partie des végétations intérieures : forêts, landes, tourbières et prairies.

Figure 1 : Localisation des sites d'étude



Images et informations géographiques

Images aériennes et satellitaires

- 8 Deux types d'images ont été testés, satellitaires (SPOT5 et Worldview-2) et aériennes (BDORTHO® IRC). Elles ont été sélectionnées en fonction de leurs résolutions spatiale et spectrale et de leur coût (Tableau 2 et Figure 2).

Tableau 2 : Caractéristiques des images satellitaires et aériennes utilisées

	SPOT5	Worldview-2	BDORTHO® IRC
Résolution spatiale (multispectrale)	10m	2m	0,50m
Résolution spatiale (panchromatique)	5m	0,5m	/

Bandes spectrales	V (0,50 - 0,59 μm) R (0,61 - 0,68 μm) PIR (0,78 - 0,89 μm) MIR (1,58 - 1,75 μm)	Coastal (0,40 - 0,45 μm) B (0,45 - 0,51 μm) V (0,51 - 0,58 μm) J (0,58 - 0,62 μm) R (0,63 - 0,69 μm) RedEdge (0,70 - 0,74 μm) PIR1 (0,77 - 0,89 μm) PIR2 (0,86 - 1,04 μm)	V (0,5 - 0,6 μm) R (0,6 - 0,7 μm) PIR (0,7 - 0,9 μm)
Emprise au sol	60x60km	16x14km	Départementale Livrée sous la forme de dalles de 1km x 1km
Echelle de cartographie préconisée	1/25 000	1/5 000	1/5 000
Date des prises de vue	Menez-Hom : 25/04/2011 Sangsurière : 31/07/2011 Sauzaie-Jaunay : 25/06/2011 Lessay : 31/07/2011	Sauzaie-Jaunay : 25/05/2011	Fin mai pour tous les sites
Tarif	2700 € la scène (MS + Pan) en archive. 3500 € la scène (MS + Pan) en programmation. (Tarif public)	26 \$/km ² (Standard Bundle 50cm Pan + 8-band 2m MS) (archive). 32 \$/km ² (Standard Bundle 50cm Pan + 8-band 2m MS) (Tarif public programmation)	Environ 1800 € par département (Tarif public)
Tarif (contexte de l'étude)	260 € (archive : MS + Pan) 380 € (programmation : MS + Pan) (Tarif programme ISIS)	26 \$/km ² (Standard Bundle 50cm Pan + 8-band 2m MS) (archive). 32 \$/km ² (Standard Bundle 50cm Pan + 8-band 2m MS) (Tarif public programmation)	480 € pour 3 départements (Tarif licence recherche/enseignement)

Figure 2 : Extrait des images du site des dunes de la Sauzaie et des marais du Jaunay en Vendée (de gauche à droite : BDORTHO® IRC, SPOT5, Worldview-2) (R : PIR / V : R / B : V)



Informations géographiques

- 9 Des couches thématiques issues de plusieurs bases d'information géographique ont été utilisées au cours des traitements, afin de discriminer des végétations dont les signatures spectrales sont proches (Allenbach *et al.*, 2010) (Tableau 3). A ces niveaux de traitement, le nombre d'objets à identifier et leur hétérogénéité sont très élevés, ce qui complique les procédures d'extraction (Baatz *et al.*, 2008 ; Sparfel *et al.*, 2011). Le recours à des informations auxiliaires provenant de différentes sources s'impose donc (Bock *et al.*, 2005 ; Renaud *et al.*, 2010 ; Bradter *et al.*, 2011). Une couche des zones à dominante humide est par exemple utilisée au niveau le plus fin de la nomenclature pour discriminer les végétations hygrophiles des végétations mésophiles. Elles sont aussi utilisées sous la forme de masques afin de ne conserver que les zones végétalisés dans les premières étapes de la classification.

Tableau 3 : Informations géographiques vectorielles utilisées

Informations géographiques vectorielles	Producteur	Echelle d'exploitation	Commentaires
Sables dunaires	BRGM - BD Scan-Géol-50	1/50 000	Compte tenu de l'échelle visée pour la cartographie des végétations (1/25 000), quelques modifications ont été apportées aux polygones de cette couche, exploitable au 1/50 000.
Zones dominante humide (ZDH)	à Agrotansfert Bretagne	1/100 000	

Zones dominantes humides (ZDH)	à CBN de Brest	1/50 000	Information produite selon le protocole d' I-MAGE Consult (I-MAGE CONSULT, 2006) quand elle n'était pas déjà disponible par ailleurs.
Parcellaire	IGN - BDPARCELLAIRE®	1/25 000	Information provenant de la couche « parcelle », ou de la numérisation de la BDPARCELLAIRE® en format raster pour les sites ou le format vecteur n'est pas encore disponible.
Bâti	IGN - BDTOPO®	1/25 000	Information provenant de la fusion de huit couches issues de la BDTOPO®.
Routes	IGN - BDTOPO®	1/25 000	Information provenant de la fusion des couches « chemins », « routes primaires » et « routes secondaires » (avec buffer de 3 à 10 m) de la BDTOPO®.
Surfaces en eau	IGN - BDTOPO®	1/25 000	Information provenant de la fusion des couches « tronçons cours d'eau » et « surface eau » de la BDTOPO®.
Zone intertidale	IGN - BDTOPO®	1/25 000	Information déduite de la couche « tronçon laisse » de la BDTOPO®.
Forêts	IFN/IGN - BDTOPO®	1/25 000	Information provenant de la couche « zone végétation » de la BDTOPO®.
Haies	IFN/IGN - BDTOPO®	1/25 000	
Fourrés nains	IFN/IGN - BDTOPO®	1/25 000	
Plantations	IFN/IGN - BDTOPO®	1/25 000	

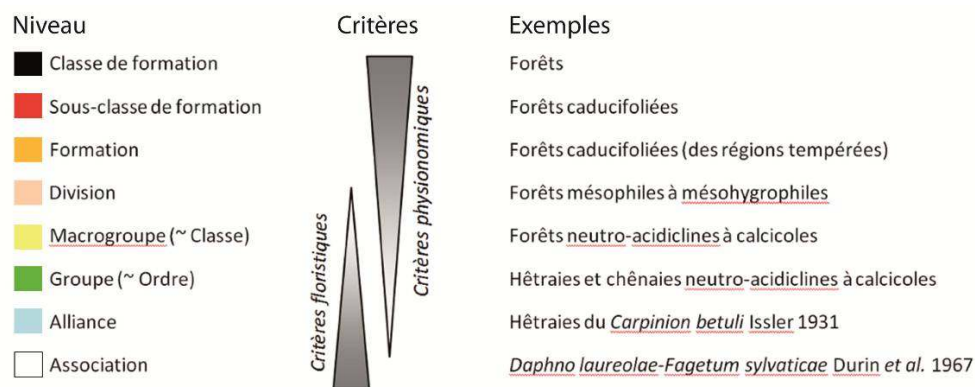
10 D'autres couches d'informations ont été utilisées pour la validation des classifications. Ces données de validation proviennent de deux sources :

- Relevés de végétation au GPS (relevés d'observation directe et relevés phytosociologiques) réalisés, selon les sites, d'avril à septembre, entre 2009 et 2012.
- Points créés sur les images, par analyse croisée des images et des cartes de terrain pour les classes « milieux non végétalisés », « milieux aquatiques avec ou sans prairies et pelouses amphibies associées », « végétations artificielles » (classes pour lesquelles nous ne disposons pas de relevés de terrain).

Typologie de la végétation

- 11 Plusieurs classifications de la végétation et des habitats sont disponibles dont Corine Biotopes, EUNIS et Natura 2000 (EUR 27), très utilisées en France. Néanmoins, ces classifications sont parfois incomplètes, imprécises et peu adaptées pour la réalisation de cartes et d'inventaires à l'échelle régionale. Afin de pallier les difficultés d'utilisation de ces typologies, le CBN de Brest a créé, en 2000, un « référentiel typologique des habitats de Basse-Normandie, de Bretagne et des Pays de la Loire » (CBN de Brest, 2007). Fondé sur la classification phytosociologique, il rassemble la liste des syntaxons recensés dans ces régions. Partant de cette liste de référence, et s'inspirant de la méthode américaine de classification des végétations (FGDC, 2008), le CBN de Brest a récemment établi une classification « emboîtée » des végétations du territoire d'étude, organisée en 8 niveaux hiérarchiques (Delassus *et al.*, 2014) (Figure 3).

Figure 3 : Principe d'emboîtement des végétations dans la typologie du CBN de Brest. Chaque niveau est identifié par un code couleur (Delassus *et al.*, 2014)



- 12 Cette typologie permet d'articuler la typologie phytosociologique utilisée sur le terrain avec des typologies de structure de la végétation. Les niveaux supérieurs (classe de formation et sous-classe de formation) sont fondés sur des critères physiologiques, ce qui est particulièrement adapté pour une caractérisation des végétations par des méthodes de traitement d'images ; les niveaux inférieurs reposant quant à eux sur des critères floristiques (alliances et associations). Le lien entre les niveaux morphologiques et floristiques s'établit aux niveaux intermédiaires (formation, division, macro-groupe, groupe).
- 13 Les premières classifications des images sélectionnées ont justifié quelques ajustements concernant les niveaux supérieurs de la typologie. Un premier niveau « Occupation du sol » a été créé afin de discriminer les milieux non végétalisés des milieux végétalisés ; ces derniers comprenant les végétations artificielles d'une part et les végétations naturelles et semi-naturelles d'autre part. Les classes du niveau « Formation » de la typologie du CBN de Brest ont été reprises pour la plupart dans un deuxième niveau typologique (niveau « Grands types de végétation ») à l'exception de la classe des végétations aquatiques (continentales) dont l'identification est impossible à partir des images utilisées car elles sont souvent imbriquées avec des végétations amphibies. Une classe « Milieux aquatiques avec ou sans végétations amphibies associées » a donc été créée. Enfin, un troisième niveau typologique a été défini. Il correspond, pour une majorité des

classes, au niveau « Division » de la typologie de Delassus *et al.* (2014). Le tableau 4 synthétise les classes identifiées par traitement d'image dans cette étude.

Tableau 4 : Classes identifiées par l'étude

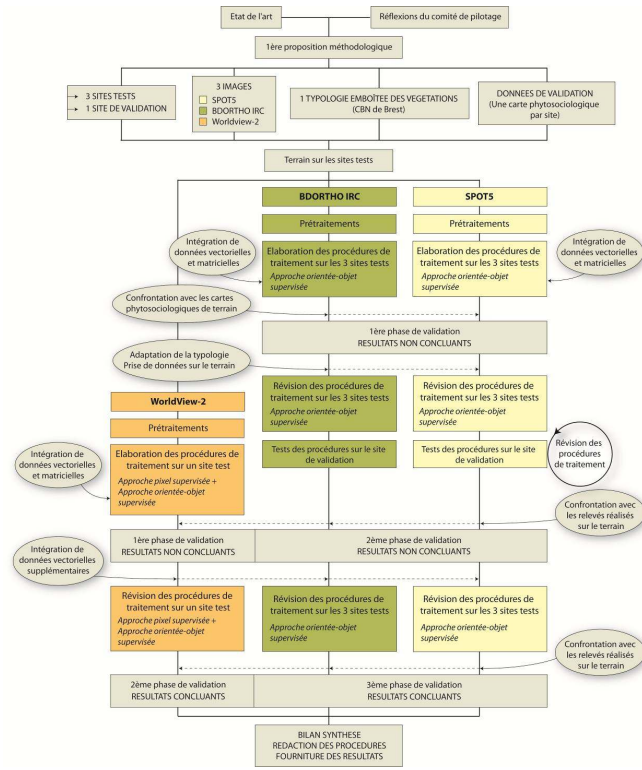
Niveau 1 (Occupation du sol)	Niveau 2 (Grands types de végétation)	Niveau 3 (Types de formations végétales)
Milieus non végétalisés		
Végétations artificielles	Cultures	
	Plantations	
	Parcs et jardins	
Végétations naturelles et semi-naturelles	Forêts	Forêts mésophiles (caducifoliées)
		Forêts hygrophiles (caducifoliées)
		Forêts de conifères
		Forêts de sclérophylles
		Forêts mixtes
	Fourrés arbustifs	Fourrés mésophiles
		Fourrés hygrophiles
	Fourrés nains	Landes et garrigues
		Tourbières à chaméphytes
		Fourrés crassulescents
	Végétations aquatiques marines	Herbiers marins
	Végétations herbacées	Prairies mésophiles
		Prairies hygrophiles
		Pelouses sur sable non fixé
		Pelouses sur sable fixé
		Roselières et cariçaies
		Franges et lisières
Prés salés		

Milieux aquatiques avec ou sans végétations amphibies associées	
---	--

Méthode

14 Les procédures de classification des trois images ont été développées en parallèle. Leur élaboration a été menée selon une démarche itérative qui a consisté à tester différentes méthodes de segmentation, de classification, et de validation puis à revenir sur ces méthodes en modifiant différents paramètres jusqu'à aboutir à un résultat satisfaisant. Le diagramme méthodologique présentant les différentes étapes de l'élaboration des procédures pour chaque image est présenté en figure 4.

Figure 4 : Diagramme méthodologique



Prétraitement des images

- 15 Chaque image a subi une série de prétraitements afin de pouvoir effectuer des comparaisons entre les données ayant été acquises par des capteurs différents, à des dates et dans des conditions différentes (Figure 4).
- 16 Pour la BDORTHO® IRC, ces prétraitements ont consisté en la création de mosaïques de dalles sur chaque site.
- 17 Pour les images satellitaires, chaque image ayant été acquise en modes multispectral et panchromatique, la première étape a consisté à fusionner ces deux images afin d'en améliorer la résolution spatiale. Notre choix s'est porté sur l'algorithme de Gram-Schmidt

(ré-échantillonnage avec la méthode de convolution cubique) (Laben et Brower 2000), plusieurs auteurs ont en effet montré que cet algorithme respecte la cohérence des comptes numériques et limite les distorsions par rapport à d'autres algorithmes de fusion d'image (Santurri *et al.*, 2010 ; Yuhendra *et al.*, 2011). Après fusion, la résolution de l'image SPOT5 est de 5 m et celle de l'image Worldview-2 de 50 cm. Ces images font également l'objet d'une correction radiométrique et atmosphérique fondée sur le modèle 5S (Kergomard 2000) pour les images SPOT et le modèle MODTRAN (Berk *et al.*, 1999) pour les images Worldview-2. Enfin, les images initialement projetées en UTM WGS 84 ont été re-projetées dans le système français RGF Lambert 93.

Méthode de classification retenue

- 18 Les images à très haute résolution se caractérisent par une variance locale élevée, rendant peu efficace les classificateurs conventionnels. Les classificateurs dits contextuels paraissant mieux adaptés au traitement de ce type d'images (Caloz et Pointet 2003 ; Flanders *et al.*, 2003 ; Puissant et Weber 2004), une approche orientée-objet a été privilégiée dans cette étude (Figure 4). Le protocole méthodologique intègre une procédure de classification supervisée par arbre hiérarchique utilisant des fonctions d'appartenance. La littérature nous a permis de cibler les critères les plus favorables à la discrimination des différents types de végétation (Figures 5, 6, 7). De nombreux tests ont ensuite permis de ne retenir que les critères les plus discriminants pour chaque classe, mais aussi d'assurer une reproductibilité des traitements. Le seuillage des fonctions d'appartenance est réalisé de manière empirique. Pour la mise en œuvre des procédures de traitements, une démarche déductive a été appliquée. Elle consiste à effectuer une succession de masques, en classant les objets les plus facilement identifiables jusqu'aux objets les plus complexes (Puissant et Weber 2004).
- 19 Il est apparu intéressant pour la classification de l'image Worldview-2 de combiner les deux approches, basée-pixel et orientée-objet (Figure 4) (Rapinel *et al.* 2014a). L'approche basée sur le pixel permet en effet d'exploiter au maximum l'information spectrale de l'image. Immitzer *et al.* (2012) ont bien mis en évidence l'intérêt d'utiliser les 8 bandes spectrales de Worldview-2 pour discriminer les végétations arborées tout comme Schuster *et al.* (2012) qui ont démontré que l'utilisation de la bande Red-Edge augmentait significativement la discrimination des milieux ouverts et des végétations arbustives. Nous avons choisi, après avoir testé plusieurs algorithmes, un mode de classification supervisé par maximum de vraisemblance, qui est fréquemment utilisé en télédétection (Otakei et Blaschke 2010). 282 échantillons d'entraînement homogènes ont été sélectionnés dans une partie des relevés de terrain et par photo-interprétation. L'avantage d'effectuer une première classification basée-pixel de l'image Worldview-2 puis d'intégrer ce résultat à une classification orientée-objet est de s'affranchir du résultat « poivre et sel » de la classification basée-pixel et de bénéficier de tous les critères de classification de l'approche orientée-objet.
- 20 Les étapes de l'analyse d'image orientée-objet, segmentation, sélection des critères discriminants et classification par fonction d'appartenance ont été menées sur les trois types d'images comme cela est présenté dans les figures 5, 6, 7. L'étape de segmentation, est déterminante quant aux résultats de la classification. Différentes méthodes ont été testées sur les trois images. Suite à ces tests et au regard de la littérature (Blaschke et Strobl 2001), c'est la segmentation dite multirésolution (proposée par le logiciel

eCognition) qui a été retenue. Elle présente l'avantage d'une meilleure transférabilité des procédures de classification par rapport aux classifications basées sur le pixel (Hofmann *et al.* 2011). L'algorithme génère des niveaux d'objets-image en fusionnant les pixels adjacents qui ont une homogénéité de forme et de couleur, pour un facteur d'échelle donné. Les différents paramètres de segmentation (facteur d'échelle, part de la couleur et de la forme dans le critère d'homogénéité notamment) sont formalisés de manière empirique, après de nombreux tests. L'objectif à atteindre est de faire correspondre au mieux les objets caractérisant chaque niveau de la typologie aux objets-image générés par les différents niveaux de segmentation de l'image (Figures 5, 6, 7). L'évaluation de la segmentation est une question récurrente depuis l'émergence de la classification orientée-objet. Räsänen *et al.* (2013) concluent qu'une bonne segmentation est une segmentation qui permet de réaliser une bonne classification mais qu'il est impossible d'évaluer une segmentation sans évaluer la classification qui en résulte. Dans cette étude nous avons procédé de manière empirique à la validation des segmentations en faisant de nombreux tests jusqu'à ce que le résultat nous semble optimal visuellement et reproductible sur l'ensemble des zones test.

- 21 Pour la classification en approche orientée-objet des trois images, les données auxiliaires vectorielles disponibles sur l'ensemble des sites ont été mobilisées (totalement ou partiellement selon la résolution de l'image) (Tableau 3) comme indiqué au § Informations géographiques. Des données auxiliaires matricielles ont également été utilisées (Tableau 5). Dans les procédures de classification des végétations par télédétection, la texture est un paramètre fortement discriminant notamment pour les végétations arborées (Mallinis *et al.*, 2008 ; Ota *et al.*, 2010). Les algorithmes d'Haralick intégrés au logiciel eCognition sont très longs à mettre en œuvre dans les procédures de classification. Pour contourner ce problème, des images de texture ont été créées sous le logiciel de traitement d'images ENVI (Tableau 5) à partir de l'image Worldview-2 et de la BDORTHO® IRC. Ces images ont été intégrées soit au moment de la segmentation pour la BDORTHO® IRC (Ryherd et Woodcock 1996) soit comme critère de classification par fonction d'appartenance au moment de la classification de l'image Worldview-2 et de la BDORTHO® IRC.

Tableau 5 : Images de texture utilisées pour les classifications de chaque type d'image

Images de texture	Producteur de la donnée	Echelle d'exploitation	Commentaires
Energie (Second moment)	CBN de Brest	1/5 000	Cette image est dérivée de la BDORTHO IRC® sous ENVI sur la bande du PIR.
Homogénéité (Homogeneity)	CBN de Brest	1/5 000	Cette image est dérivée de la BDORTHO IRC® sous ENVI sur la bande du PIR.
Dissimilarité (Dissimilarity)	CBN de Brest	1/5 000	Cette image est dérivée de l'image Worldview-2 sous ENVI sur la bande du PIR et du panchromatique.

- 22 Des cartes récentes de terrain, réalisées par des phytosociologues ont par ailleurs été mobilisées en tant qu'aide à l'interprétation des objets issus de la segmentation.

Reproductibilité de la méthode

- 23 La reproductibilité des procédures a été testée sur le site de validation (havre de Saint-Germain-sur-Ay et landes de Lessay) pour les images SPOT5 et la BDORTHO® IRC (Figure 4). Lorsque les paramètres de classification des végétations identifiés sur les sites tests n'étaient pas reproductibles sur le site de validation, de nouveaux critères ont été sélectionnés jusqu'à ce que la reproductibilité soit avérée sur l'ensemble des sites. N'ayant été acquise que sur le site des dunes de la Sauzaie et des marais du Jaunay en raison de son coût, la reproductibilité des traitements effectués à partir de l'image Worldview-2 n'a pu être testée.

Validation des classifications

- 24 L'évaluation des classifications est fondée sur l'élaboration de matrices de confusion qui comparent les objets obtenus par classification automatique avec des points de référence dont les caractéristiques sont connues (Girard et Girard, 2010) (Figure 4). 240 points ont été récoltés pour la validation des sites tests et 470 pour le site de validation dont la superficie et la diversité en végétation est beaucoup plus importante. Les évaluations ont été produites aux trois niveaux typologiques : occupation du sol, grands types de végétation, types de formations végétales. La performance globale de la classification a été évaluée par le coefficient Kappa dont la valeur est comprise entre 0 et 1 (Congalton *et al.*, 1991).

Résultats

Protocole pour la cartographie de la végétation

- 25 Pour chaque image, l'étude a conduit à 3 types de productions (Sellin *et al.*, 2013) :
- 26 Un protocole reproductible d'analyse des différents types d'image, permettant d'identifier un certain nombre de classes de végétation, à des niveaux plus ou moins fins de la typologie utilisée, comme présenté sur les figures 5, 6, et 7. Les paramètres de segmentation sont rappelés dans la partie gauche de chaque figure. Pour chaque classe sont indiqués les critères d'appartenance les plus discriminants ayant été retenus. Les couleurs rappellent les différents niveaux de la typologie emboîtée des végétations (Figure 3) ;

Figure 5 : Procédure préconisée pour le traitement de la BDORTHO® IRC

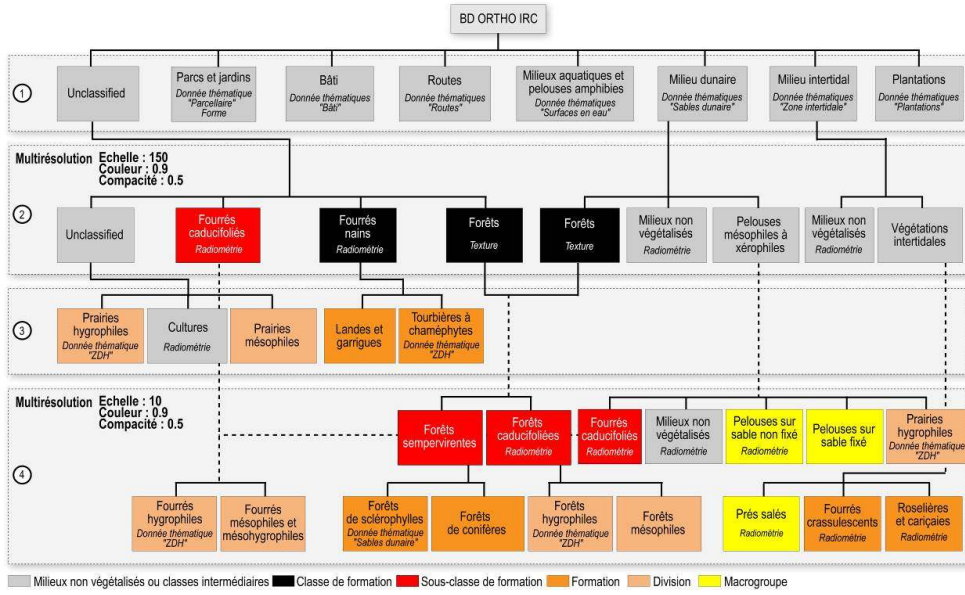


Figure 6 : Procédure préconisée pour le traitement des images SPOT5

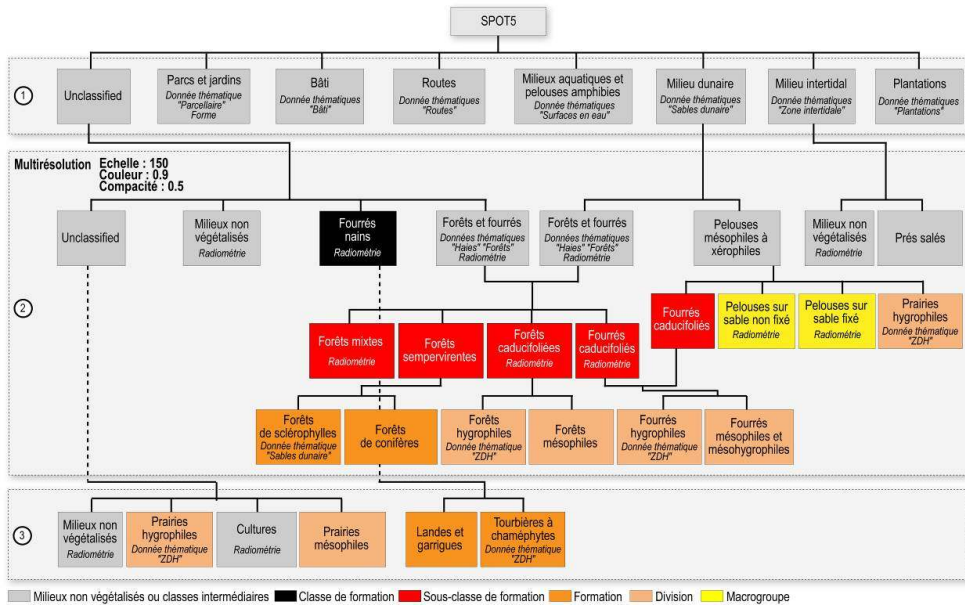
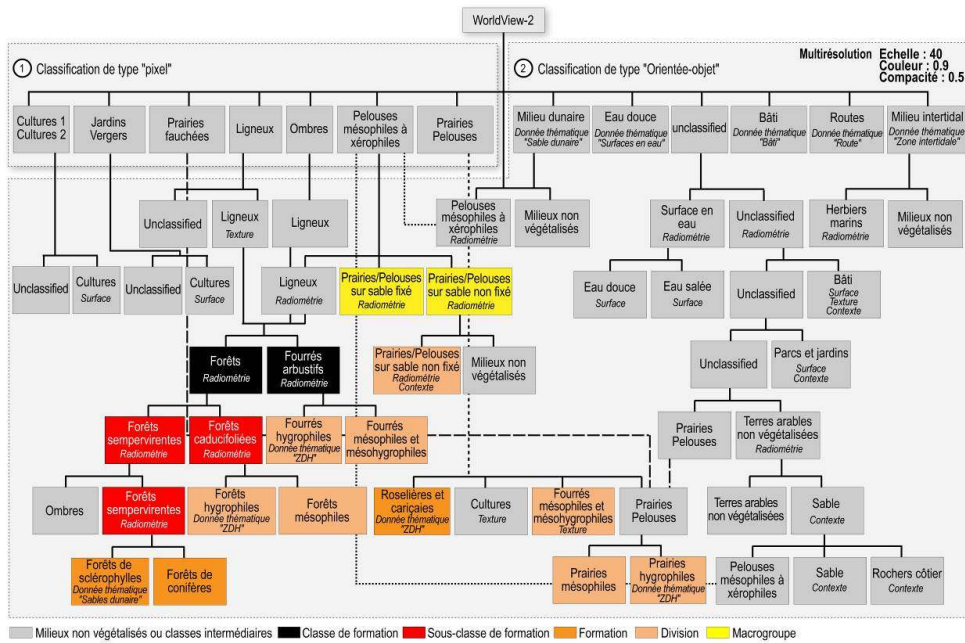


Figure 7 : Procédure préconisée pour le traitement de l'image Worldview-2



- 27 Une carte par niveau typologique (occupation du sol, grands types de végétations, types de formations végétales), documentée par une matrice de confusion qui permet d’apprécier la qualité de la carte ;
- 28 Un catalogue présentant les traitements effectués pour chaque végétation, accompagné de l’ensemble des procédures de classification.

Performances fines comparées

- 29 Les résultats présentés ci-après correspondent à la comparaison des images sur le site des dunes de la Sauzaie et des marais du Jaunay, seul site où toutes les images ont été acquises (Figure 8). Pour les végétations non présentes sur ce site, ce sont les résultats obtenus sur le site de validation (havre de Saint-Germain-sur-Ay et landes de Lessay) qui sont exposés.

Niveau « Occupation du sol »

Tableau 6 : Bilan des résultats obtenus par image, au niveau « Occupation du sol » sur le site des dunes de la Sauzaie et des marais du Jaunay : les chiffres correspondent aux taux d’identification, les couleurs, aux pourcentages d’identification (Vert : 0-30 % ; Orange : 31-50 % ; Rouge : 51-100 %).

Niveau « Occupation du sol »	SPOT5		BDORTHO IRC		WorldView-2	
Kappa	0,63		0,81		0,88	
	Sous-détection	Sur-détection	Sous-détection	Sur-détection	Sous-détection	Sur-détection
Milieux non végétalisés	42	12	9	13	4	4
Végétations artificielles	43	38	22	19	27	13
Végétations naturelles et semi-naturelles	4	12	7	4	2	5

- 30 A ce niveau et quelle que soit l’image, on obtient des classifications très satisfaisantes pour les végétations naturelles et semi-naturelles (entre 2 et 12% de sous et sur-

détection). Elles sont également satisfaisantes pour les milieux non végétalisés (entre 4 et 13 % de sous et sur-détection) et les végétations artificielles (22 et 27 % de sous-détection ; 13 et 19 % de sur-détection), à partir de la BDORTHO® IRC et de l'image Worldview-2. En revanche les résultats issus des traitements des images SPOT5 sont médiocres (42 % de sous-détection pour les milieux non végétalisés ; 43 % de sous-détection pour les végétations artificielles).

Niveau « Grands types de végétations »

Tableau 7 : Bilan des résultats obtenus par image, au niveau « Grands types de végétations » sur le site des dunes de la Sauzaie et des marais du Jaunay : les chiffres correspondent aux taux d'identification, les couleurs, aux pourcentages d'identification (Vert : 0-30 % ; Orange : 31-50 % ; Rouge : 51-100 %).

Niveau « Grands types de végétations »	SPOT5		BDORTHO IRC		WorldView-2	
Kappa	0,64		0,77		0,82	
	Sous-détection	Sur-détection	Sous-détection	Sur-détection	Sous-détection	Sur-détection
Milieux non végétalisés	42	12	9	13	4	4
Cultures	67	61	24	36	24	6
Plantations	33	0	33	0	30	22
Parcs et jardins	0	17	10	10	33	20
Forêts	2	39	12	33	25	17
Fourrés arbustifs	96	50	64	31	40	35
Végétations aquatiques marines	50	0	0	0	/	/
Végétations herbacées	7	22	13	9	4	15
Milieux aquatiques avec ou sans prairies et pelouses amphibies	11	0	11	11	0	10

- 31 C'est avec l'image Worldview-2 et dans une moindre mesure avec la BDORTHO® IRC que les cultures sont les mieux identifiées. En revanche les résultats des traitements des images SPOT5 ne sont pas satisfaisants (67 % de sous-détection ; 61 % de sur-détection). Les cultures se confondent majoritairement avec les prairies. La période d'acquisition de l'image joue un rôle très important sur le taux d'identification de la végétation. C'est avec les images acquises en juillet que les cultures semblent les mieux identifiées.
- 32 Les résultats concernant les plantations sont similaires d'une classification à l'autre. Seules les petites plantations de moins de 0,5 hectares (non inventoriées par l'IFN) font baisser le taux d'identification, les autres étant correctement identifiées.
- 33 Les parcs et jardins sont bien identifiés à partir des images SPOT5 et de la BDORTHO® IRC (entre 0 et 17 % de sous et sur-détection). Ce taux est moins bon pour l'image Worldview-2 (33 % de sous-détection ; 20 % de sur-détection).
- 34 Les forêts sont très bien identifiées avec les trois images, mais sont cependant largement surreprésentées sur les classifications obtenues à partir des images SPOT5 et de la BDORTHO® IRC, au détriment des fourrés arbustifs.
- 35 Ce constat se confirme avec des taux de sous-détection de 96 et 64 % à partir des images SPOT5 et de la BDORTHO® IRC pour les fourrés arbustifs. Les résultats obtenus pour les forêts et les fourrés arbustifs à partir de l'image Worldview-2 sont meilleurs. Avec cette image, les forêts sont en effet sous-détectées à 25 % et sur-détectées à 17 % mais les fourrés sont bien mieux classés qu'avec les deux autres images (40 % néanmoins de sous-détection et 35 % de sur-détection).

- 36 Les fourrés nains n'étant pas présents sur tous les sites, ne sont comparés ici que les résultats issus des images SPOT5 et de la BDORTHO® IRC. Les résultats issus du traitement de ces deux images sont très bons (respectivement 21 et 15 % de sous-détection ; 3 et 21 % de sur-détection).
- 37 Les résultats obtenus pour les végétations aquatiques marines (herbiers marins algaux sur placages rocheux), n'ont été validés que sur le site des dunes de la Sauzaie et des marais du Jaunay à partir des images acquises à marée basse. Ces végétations sont très bien identifiées à partir de la BDORTHO® IRC (0 % de sous et sur-détection) et moyennement à partir des images SPOT5 (50 % de sous-détection ; 0 % de sur-détection). La reproductibilité des traitements réalisés pour identifier cette classe demanderait à être testée sur un autre site.
- 38 Les végétations herbacées, sont très bien identifiées (4 à 22 % de sous et sur-détection) quelle que soit l'image utilisée.
- 39 Le même constat est établi pour les milieux aquatiques avec ou sans prairies et pelouses amphibies (0 à 11 % de sous et sur-détection).

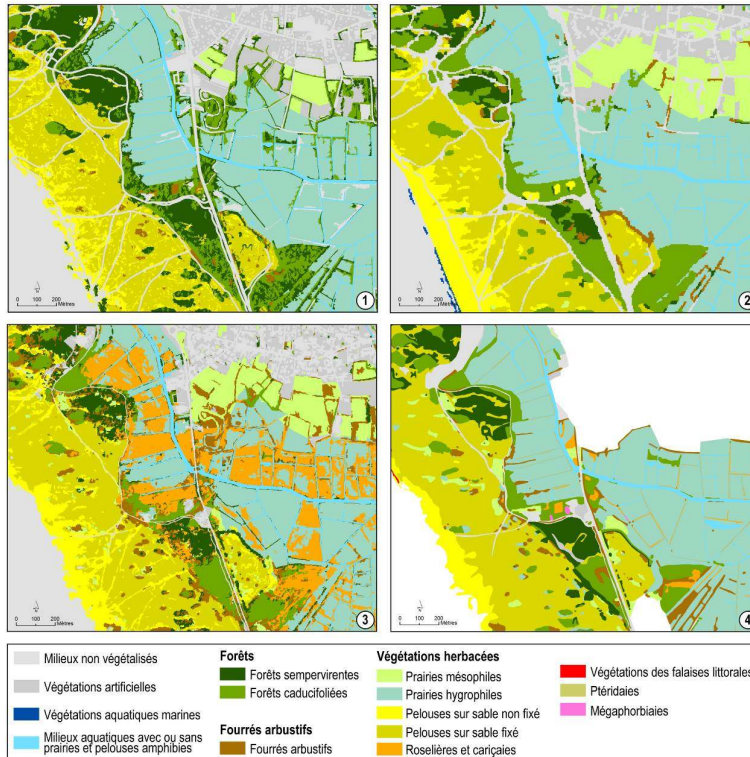
Niveau « Types de formations végétales »

Tableau 8 : Bilan des résultats obtenus par image, au niveau « Grands types de végétations » sur le site des dunes de la Sauzaie et des marais du Jaunay : les chiffres correspondent aux taux d'identification, les couleurs, aux pourcentages d'identification (Vert : 0-30 % ; Orange : 31-50 % ; Rouge : 51-100 %).

Niveau « Types de formations végétales »	SPOT5		BDORTHO IRC		WorldView-2	
Kappa	0,60		0,71		0,73	
	Sous-détection	Sur-détection	Sous-détection	Sur-détection	Sous-détection	Sur-détection
Milieux non végétalisés	42	12	9	13	4	4
Cultures	67	61	24	36	24	6
Plantations	33	0	33	0	30	22
Parcs et jardins	0	17	10	10	33	20
Forêts mésophiles (caducifoliées)	38	70	46	56	62	17
Forêts hygrophiles (caducifoliées)	33	75	33	40	33	50
Forêts de conifères	14	14	14	33	0	13
Forêts de sclérophylles	45	0	9	41	36	30
Fourrés mésophiles	95	50	75	29	35	28
Fourrés hygrophiles	100	100	80	83	60	60
Herbiers marins	50	0	0	0	/	/
Prairies mésophiles	52	62	68	36	43	48
Prairies hygrophiles	0	38	0	28	39	30
Pelouses sur sable non fixé	6	0	12	7	6	0
Pelouses sur sable fixé	0	4	5	12	5	5
Roselières et cariçaies	100	100	100	100	66	94
Milieux aquatiques avec ou sans prairies et pelouses amphibies	11	0	11	11	0	10

- 40 La figure 8 permet de comparer les cartes des types de formations végétales obtenues à partir du traitement des trois types d'images. Pour information, la carte produite en 2009 par le bureau d'étude TBM à partir d'inventaires de terrain est ajoutée.

Figure 8 : Extrait au 1/10 000 des cartes issues du traitement des trois types d'images sur le site des dunes de la Sauzaie et marais du Jaunay au niveau « Types de formations végétales » (1 : BDORTHO IRC ; 2 : SPOT5 ; 3 : Worldview-2 ; 4 : Carte de terrain simplifiée élaborée en 2009).



Forêts

- 41 Quelle que soit l'image, les forêts caducifoliées mésophiles sont difficiles à séparer des forêts caducifoliées hygrophiles (38 à 62 % de sous-détection ; 17 à 70 % de sur-détection pour les premières et 33 % de sous-détection ; 40 à 75 % de sur-détection pour les secondes). Il serait opportun pour ces classes de rester au niveau supérieur « Forêts caducifoliées ».
- 42 Les forêts de conifères sont très bien classées à partir de l'image Worldview-2 avec un taux de sous-détection de 0 % et de sur-détection de 13 %. Les résultats sont bons avec l'image SPOT5 et la BDORTHO® IRC avec des taux de sous-détection de 14 % et de sur-détection de 14 et 33 %.
- 43 Les forêts de sclérophylles sont moyennement classées à partir des trois images. Avec les images SPOT5 et Worldview-2, elles sont sous-détectées (36 et 45 % de sous-détection) tandis qu'avec la BDORTHO® IRC elles sont sur-détectées (41 % de sur-détection).

Fourrés

- 44 La classification des fourrés arbustifs en fonction de leur degré d'hygrométrie n'est pas concluante et ce quelle que soit l'image.
- 45 Les landes et garrigues ainsi que les tourbières à chaméphytes n'étant pas présentes sur le site des dunes de la Sauzaie et des marais du Jaunay, leur identification à partir de l'image Worldview-2 n'a pu être testée. Les résultats issus des traitements de la BDORTHO® IRC et

des images SPOT5 sont insatisfaisants. Les confusions entre ces deux classes étant très importantes, il serait opportun de se limiter au niveau supérieur « Fourrés nains sempervirents ».

- 46 Les fourrés crassulescents (à Obione en particulier) n'étant présents que sur le site du havre de Saint-Germain-sur-Ay, il est difficile de conclure sur ces résultats dont la reproductibilité n'a pu être vérifiée. Les résultats sont mitigés pour la BDORTHO® IRC (22 % de sous-détection ; 50 % de sur-détection), ces végétations se confondant principalement avec les prés salés. Les fourrés crassulescents n'ont pu être identifiés à partir des images SPOT5.

Végétations herbacées

- 47 Au sein des végétations herbacées, les prairies mésophiles sont très mal identifiées quelle que soit l'image. Les résultats issus de l'image Worldview-2 sont légèrement meilleurs, mais ne sont cependant pas acceptables.
- 48 Les prairies hygrophiles semblent être bien identifiées à partir de la BDORTHO® IRC et des images SPOT5 (0 % de sous-détection), mais les taux de sur-détection respectivement de 28 % et 38 %, indiquent de nombreuses confusions avec d'autres végétations. Le même constat peut être fait à partir de l'image Worldview-2 dont les taux de sous et de sur-détection sont respectivement de 39 % et 30 %. On observe avec cette image de nombreuses confusions entre les prairies hygrophiles et les roselières et cariçaies (Figure 8) qui peuvent résulter de la grande diversité des modes de gestion des prairies humides, se traduisant au moment de la prise de vue par des biomasses variées selon les parcelles.
- 49 Les résultats concernant la classification automatique des pelouses sur sable fixé et sur sable non fixé sont très bons, quelle que soit l'image.
- 50 Les roselières et cariçaies ainsi que les franges et lisières, sont très mal délimitées quelle que soit l'image. Leur extraction par traitement automatique d'images selon la procédure mise en œuvre est donc impossible.
- 51 Les prés salés n'étant pas présents sur le site des dunes de la Sauzaie, leur identification à partir de l'image Worldview-2 n'a pu être testée. Les résultats obtenus à partir de la BDORTHO® IRC sont concluants (seulement 19 % de sous-détection). En revanche les résultats sont plus mitigés à partir de l'image SPOT5 (35 % de sur-détection) ; le taux élevé de sur-détection indiquant de nombreuses confusions avec d'autres végétations.

Performances globales comparées des 3 types d'image

- 52 La comparaison des coefficients Kappa sur le site des dunes de la Sauzaie et des marais du Jaunay (seul site où toutes les images ont été testées), aux trois niveaux et pour les trois images, montre que c'est avec l'image Worldview-2 que les résultats sont les plus concluants, puis avec la BDORTHO® IRC et enfin avec les images SPOT5 (Tableau 9). La délimitation des objets est aussi plus précise à partir de l'image Worldview-2 et de la BDORTHO® IRC, ce qui s'explique par leur résolution spatiale centimétrique. D'après ces résultats, on peut donc estimer que tant le nombre de bandes spectrales que la résolution spatiale des images influencent la qualité du résultat, puisque quel que soit le niveau de validation, les meilleurs résultats sont obtenus à partir de l'image Worldview-2 qui possède un nombre de bandes spectrales supérieur aux deux autres images et une très bonne résolution spatiale (similaire à celle de la BDORTHO® IRC). On obtient cependant de

bons résultats avec la BDORTHO® IRC, grâce au canal dans le proche infrarouge et la très bonne résolution spatiale. Malgré ses 4 bandes spectrales, les résultats obtenus avec l'image SPOT5 ne sont pas satisfaisants aux 3 niveaux typologiques.

Tableau 9 : Coefficients Kappa aux trois niveaux et pour les trois images du site des dunes de la Sauzaie et des marais du Jaunay. Plus le coefficient Kappa se rapproche de 1 et meilleure est la classification. Les résultats sont jugés corrects lorsque le coefficient Kappa est supérieur à 0,80

	SPOT	BDORTHO IRC	Worldview-2
Occupation du sol	0,63	0,81	0,88
Grands types de végétations	0,64	0,77	0,82
Types de formations végétales	0,60	0,71	0,73

Discussion

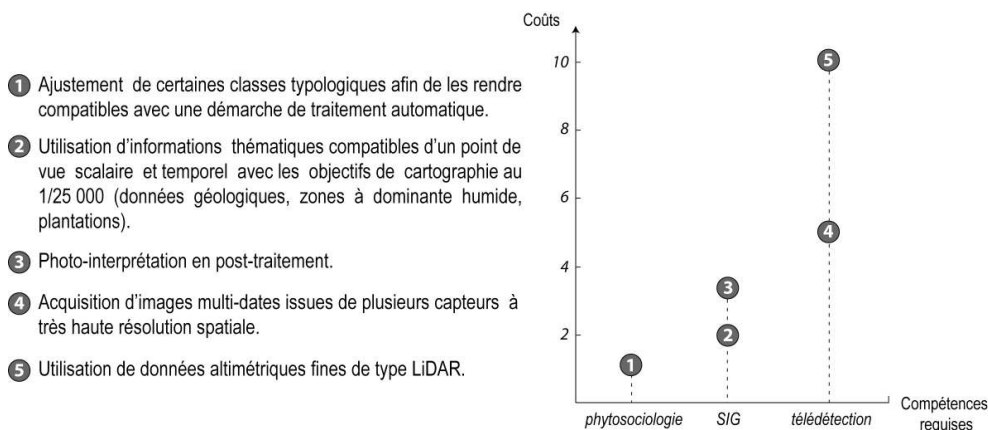
- 53 Cette étude a permis de produire un protocole de traitement par type d'image (BDORTHO® IRC, SPOT5 et Worldview), reproductible, permettant d'identifier la végétation à 3 niveaux typologiques. De manière générale, les résultats issus du traitement des images Worldview-2 sont prometteurs (coefficient Kappa entre 0,73 et 0,88 suivant le niveau de validation) de même que ceux issus de la BDORTHO® IRC (coefficient Kappa entre 0,71 et 0,81 suivant le niveau de validation). Cette dernière a l'avantage d'être peu coûteuse par rapport à l'imagerie satellitaire mais présente de fortes contraintes en termes d'utilisation, le choix de la date d'acquisition, crucial en matière de végétation, n'étant pas permis. Les procédures de classification de l'image Worldview-2 demanderaient quant à elles à être testées sur un autre site plus vaste et présentant une plus grande diversité de végétation afin de vérifier leur reproductibilité.
- 54 Les résultats montrent que pour cartographier les végétations au 1/25 000, la résolution de l'image SPOT5 aux niveaux « Grands types de végétation » et « Types de formations végétales » n'est pas suffisante. Les objets à discriminer à ces niveaux sont trop petits pour être identifiés à partir de cette image. Ces résultats montrent aussi que pour une résolution spatiale similaire, plus le nombre de bandes spectrales est important, meilleurs sont les résultats puisque quel que soit le niveau de restitution ceux obtenus à partir de l'image Worldview-2 sont les plus satisfaisants (Feilhauer *et al.*, 2013). Ils confirment également l'intérêt de combiner l'approche basée-pixel et l'approche orientée-objet pour utiliser au mieux les huit bandes spectrales de Worldview-2 et bénéficier ainsi des avantages de chacune des deux approches (Castillejo-Gonzales *et al.*, 2009 ; Rapinel *et al.*, 2014a).
- 55 L'ajout d'un canal dans le proche infra-rouge à la BDORTHO® RVB augmente considérablement les potentialités de cette image, comme le prouvent les résultats prometteurs de cette étude. Il est entré dans le calcul du NDVI qui a été utilisé comme critère pour discriminer plusieurs végétations entre elles.
- 56 L'approche orientée-objet se révèle particulièrement adaptée pour cartographier les végétations à l'échelle du 1/25 000 sur un vaste territoire (Lucas *et al.*, 2011). En effet, à

cette échelle les objets à identifier sont complexes et présentent des signatures spectrales proches ou similaires (Johansen *et al.*, 2008). L'insertion de données auxiliaires telles que la couche des zones à dominante humide, celle des sables dunaires et de la zone intertidale apporte une aide précieuse pour distinguer des grands types de milieux et permet d'élaborer des procédures de classification beaucoup plus robustes et reproductibles (Hofmann *et al.*, 2011 ; Bradter *et al.*, 2011). La prise en compte d'une image de texture au cours de la segmentation de la BDORTHO® IRC a amélioré significativement la distinction des contours des forêts ainsi que leur classification à partir de la BDORTHO® IRC et de l'image Worldview-2 (Ryherd et Woodcock, 1996 ; Ozdemir et Karnieli, 2011).

- 57 Les résultats obtenus s'expliquent aussi par la typologie qui a été employée qui permet l'articulation entre la télédétection, qui met en évidence la structure des végétations, et la cartographie de terrain fondée sur la composition floristique des habitats. Les cartes résultant de ce travail sont utiles aussi bien pour mettre en place des plans de prospection que pour mettre en évidence les secteurs à enjeux pour la biodiversité au niveau régional.
- 58 Si au niveau « Occupation du sol », les résultats des classifications des végétations naturelles et semi-naturelles sont concluants quelle que soit la végétation, à partir de l'image Worldview-2 et de la BDORTHO® IRC, il n'en est pas de même pour l'identification des « types de formations végétales ». En effet, à ce niveau, quelle que soit l'image, les résultats montrent trop de confusions entre les végétations pour que les procédures soient utilisées telles quelles. Seules les pelouses sur sable non fixé et les pelouses sur sable fixé sont bien identifiées de manière automatique. Pour la plupart des autres végétations, la méthode ne peut être considérée comme fiable que pour le niveau « Grands types de végétations ».
- 59 Cependant, plusieurs solutions existent pour améliorer les résultats (Figure 9). L'ajustement de certaines classes typologiques afin de les rendre davantage compatibles avec une démarche de traitement automatique d'images pourrait être envisagé. Le recours à des données vectorielles définies à une plus grande échelle est une autre voie à explorer. En effet, cette étude a montré que l'insertion de ce type de données dans le protocole d'analyse améliorerait de façon significative la qualité des classifications de la végétation par l'apport d'information contextuelle (Lucas *et al.*, 2007 ; Förster and Kleinschmit, 2008). Ainsi, au niveau « Type de formation végétale », la hiérarchisation d'une partie des végétations est fondée sur des critères écologiques, difficilement identifiables à partir des seules images, justifiant l'utilisation de données vectorielles comme l'humidité des sols ou la géologie. Ces données permettent aussi de distinguer des végétations qui possèdent des signatures spectrales similaires comme les différents types de prairies (Bock *et al.*, 2005). Cependant, certaines d'entre elles, comme les plantations et les zones à dominante humide par exemple, sont trop imprécises du point de vue géométrique (1/100 000 à 1/50 000) par rapport à l'objectif de cartographie (1/25 000), ce qui conduit à de nombreuses confusions dans la distinction d'une part des plantations et d'autre part des végétations humides et non humides (forêts hygrophiles/forêts mésophiles ; fourrés hygrophiles/fourrés mésophiles ; landes/tourbières ; prairies hygrophiles/prairies mésophiles). Disposer d'une donnée exploitable au 1/25 000 permettrait d'obtenir de bien meilleurs résultats au niveau « Types de formations végétales ».
- 60 Nous avons fait le choix d'un protocole méthodologique semi-automatisé mais l'amélioration des résultats obtenus passe également sans aucun doute par une phase de

photo-interprétation en post-traitement, qui permettrait de corriger un grand nombre de confusions comme l'ont montré plusieurs auteurs (Eisfelder *et al.*, 2009 ; Schwarzer *et al.*, 2009). Enfin, une autre piste à explorer concerne l'acquisition d'images multi-dates issues de plusieurs capteurs à très haute résolution spatiale. Les roselières et cariçaies par exemple ainsi que les fourrés crassulescents se différencient en effet beaucoup mieux sur des images acquises en hiver (Davranche *et al.*, 2009 ; Poulin *et al.*, 2010 ; Rapinel, 2012), ces végétations ne disparaissant pas à cette période contrairement aux végétations avec lesquelles elles se confondent. La distinction entre cultures/prairies temporaires et prairies permanentes est complexe car ces végétations présentent des similarités spectrales et de texture. Des images acquises sur sept années consécutives sont nécessaires pour les distinguer, les cultures et prairies étant considérées comme temporaires lorsqu'elles sont retournées au moins une fois sur cette période (Lecerf, 2008 ; Corgne *et al.*, 2009). Plus généralement, Bradter *et al.*, (2011) et Lucas *et al.*, (2011) ont montré que la précision de la classification augmente quand les procédures de classification sont appliquées à une combinaison d'images prises à différentes saisons. Enfin, de nombreux auteurs ont mis en évidence l'intérêt d'utiliser des données altimétriques fines de type LiDAR pour distinguer les végétations arborées et arbustives d'une part (Rapinel, 2012 ; Simonson *et al.*, 2013 ; Wilson, 2014) et les différents types de végétations des prés salés d'autre part (Collin *et al.*, 2010 ; Klemas, 2013). Cependant, l'ensemble de ces préconisations ont un coût et exigent, dans certains cas des compétences techniques importantes qu'il est nécessaire d'estimer en amont de la mise en œuvre et en fonction des objectifs recherchés (Figure 9).

Figure 9 : Estimation du coût (acquisition de la donnée + temps de traitement) et des compétences techniques nécessaires à la mise en œuvre des différentes préconisations. Les chiffres correspondent aux préconisations citées ci-dessus.



Conclusion

- 61 Les méthodes utilisées et notamment l'approche orientée-objet a montré un réel intérêt pour la caractérisation des grands types de végétation et pour la délimitation précise de plusieurs types de formations végétales à partir de l'image Worldview-2 et de la BDORTHO® IRC. Les procédures de classification produites à partir des trois images sont reproductibles ce qui permet leur mise en œuvre sur de vastes territoires. Les cartes produites au 1/25 000 présentent d'ores et déjà un intérêt certain pour mettre en évidence la continuité écologique entre des secteurs à enjeux pour la biodiversité. En

outre, les classifications permettent de délimiter des objets, qui, même si leur qualification n'est pas toujours exacte au niveau des types de formations végétales, représentent en soi une aide significative lors de l'étape de terrain. Quelques préconisations ont été avancées pour améliorer les résultats au niveau « Types de formations végétales » :

- Ajustement de certaines classes typologiques afin de les rendre compatibles avec une démarche de traitement automatique ;
 - Photo-interprétation en post-traitement ;
 - Utilisation d'informations thématiques compatibles d'un point de vue scalaire et temporel avec les objectifs de cartographie au 1/25 000 ;
 - Acquisition d'images multi-dates et multi-saisons issues de plusieurs capteurs à très haute résolution spatiale ;
 - Utilisation de données altimétriques fines de type LiDAR.
- 62 Les procédures de classification de la BDORTHO® IRC sont d'ores et déjà utilisées pour cartographier la commune d'Hanvec sur le territoire du parc naturel régional d'Armorique dans le Finistère. A l'horizon 2015, l'ensemble du parc sera cartographié avec cette méthode.
- 63 Ce travail a fait l'objet de plusieurs publications :
- L'ensemble de l'étude et les résultats sont présentés dans un rapport disponible en ligne (<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00826807>).
 - Les classifications sont visibles sur le portail de l'UMR LETG de la plateforme INDIGEO (<http://letg.indigeo.fr/geocms/contexts>).
 - Les résultats issus de l'interprétation de l'image Worldview-2 ont fait l'objet d'une publication dans la revue « Journal of Environmental Management » (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479714002692>).
 - La classification emboîtée des végétations est en téléchargement sur le site du CBN de Brest : http://www.cbnbrest.fr/site/pdf/Cahier01_CBNB_Classification_bd.zip

BIBLIOGRAPHIE

AESN, 2006, « Cartographie des zones à dominante humide du bassin Seine-Normandie », Rapport final, 47 p.

Allenbach K., Burnier J., Lehmann A., Martin P., Ray N., Wyler N., 2010, « Cartographie des milieux naturels dans le périmètre Vuache-Sion-Laire : Rapport technique », DGAT-Projet d'Agglo, 98 p., 4 annexes.

Augello R., Capogrossi R., 2007, « Il sistema informativo geografico : Carta della Natura », 1-6, in Atti 11a Conferenza Nazionale ASITA, Torino.

Baatz M., Hoffmann C., Wilhauck G., 2008, « Progressing from object-based to object-oriented image analysis », in Blaschke Th., Lang S., Hay G.J., 2008, Object-Based Image Analysis, Springer, 275-290.

Berk A., Anderson G.P., Bernstein L.S., Acharya P.K., Dothe H., Matthew M.W., Adler-Golden S.M., Chetwynd Jr. J.H., Richtsmeier S.C., Pukall B., others, 1999, « MODTRAN4 radiative transfer modeling for atmospheric correction », In: SPIE's International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation, 348-353.

Blaschke, T. et Strobl, J., 2001, « What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS », *GeoBIT/GIS*, vol. 6, pp. 12-17.

Bock M., Xofis P., Mitchley J., Rossner G., Wissen M., 2005, « Object-oriented methods for habitat mapping at multiple scales - Case studies from Northern Germany and Wye Downs », UK, *Journal for Nature Conservation*, vol. 13, 75-89.

Bradter U., Thom T.J., Altringham J.D., Kunin W.E., Benton T.G., 2011, « Prediction of national vegetation classification communities in the British uplands using environmental data at multiple spatial scales, aerial images and the classifier random forest », *Journal of applied ecology*, vol. 48, 1057-1065.

Caloz R., Pointet A., 2003, « Analyse comparative de la classification contextuelle et du maximum de vraisemblance : synthèse et cas d'étude », *Télédétection*, vol. 3, No. 2-3-4, 311-322.

Castillejo-Gonzales I.L., Lopez-Granados F., Garcia-Ferrer A., Pena-Barragan J.M., Jurado-Exposito M., dela Orden M.S., Gonzales-Audicana M., 2009, « Object- and pixel-based analysis for mapping crops and their agro-environmental associated measures using Quickbird imagery », *Comput. Electron. Agric.*, vol. 68, 207-215.

CBN DE BREST, 2007, « Référentiel taxonomique des habitats naturels et semi-naturels bas-normands, Bretons et des Pays-de-la-Loire », http://www.cbnbrest.fr/site/Refer_typo/habit0.php.

Collin A., Long B., Archambault P., 2010, « Salt-marsh characterization, zonation assessment and mapping through a dual-wavelength LiDAR », *Remote Sensing of Environment*, vol. 114, 520-530.

Congalton R., 1991, « A review of assessing the accuracy of classifications of Remotely Sensed Data », *Remote Sensing Environment*, vol. 37, 35-46.

Corgne S., Nabucet J., Bah F., 2009, « Détermination de l'occupation du sol sur le bassin de la vie et du Jaunay par télédétection ». LETG Rennes COSTEL, 33 p.

Davranche A., Lefebvre G., Poulin B., 2009, « Wetland monitoring using classification trees and SPOT-5 seasonal time series », *Remote Sensing Environment*, vol. 114, 552-562.

Delassus L., Magnanon S., 2013, « Une classification emboîtée de la végétation de Basse-Normandie, Bretagne et des Pays de la Loire », Brest, *J. Bot. Soc. Bot France*, vol. 62, 7-14.

Delassus L., Magnanon S., Colasse V., Glemarec E., Guitton H., Laurent E., Thomassin G., Bioret F., Catteau E., Clément B., Diquelou S., Felzines J.-C., Foucault B. (de), Gauberville C., Gaudillat V., Guillevic Y., Haury J., Royer J.-M., Vallet J., Geslin J., Goret M., Hardegen M., Lacroix P., Reimringer K., Waymel J., Zambettakis C., 2014, « Classification physiologique et phytosociologique des végétations de Basse-Normandie, Bretagne et Pays de la Loire ». Brest : Conservatoire botanique national de Brest, 260 p. (Cahiers scientifiques et techniques du CBN de Brest ; 1).

Dribault Y., Chokmani K., Bernier M., 2012, « Monitoring seasonal hydrological dynamics of minerotrophic peatlands using multi-date GeoEye-1 very high resolution imagery and object-based classification », *Remote Sensing*, vol. 4, 1887-1912.

- Eisfelder C., Kraus T., Bock M., Werner M., Buchroithner M. F., Strunz G., 2009, « Towards automated forest-type mapping - a service within GSE Forest Monitoring based on SPOT5 and IKONOS data », *International Journal of Remote Sensing*, vol. 30, No. 19, 5015-5038.
- Feilhauer H., Thonfeld F., Faude U., HE K.S., Rocchini D., Schmidlein S., 2013, « Assessing floristic composition with multispectral sensors – a comparison based on monotemporal and multiseasonal field spectra », *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 21, 218-229.
- FGDC, 2008, « National vegetation classification standard, version 2 », FGDC-STD-005-2008, Vegetation subcommittee, Federal Geographical Data, FGDC secretariat, U.S. Geological Survey, Reston, VA, 119 p.
- Flanders D., Hall-Beyer M., Pereverzoff J., 2003, « Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction », *Can. J. Remote Sensing*, vol. 29, No. 4, 441-452.
- Frohn R. C., Reif M., Lane C., Autrey B., 2009, « Satellite remote sensing of isolated wetlands using object-oriented classification of LANDSAT-7 data », *WETLANDS*, vol. 29, No. 3, 931-941.
- Gao Y., Mas J. F., 2008, « A comparison of the performance of pixel-based and object-based classifications over images with various spatial resolutions », *Online Journal of Earth Sciences*, vol. 2, 27-35.
- Gao P., Trettin C.C., Ghoshal S., 2012 « Object-oriented segmentation and classification of wetlands within Khalong-la-Lithunya a catchment, Lesotho, Africa », *Geoinformatics, 2012 20th International Conference on*, 15-17.
- Gianetti F., Pia S., Guasco V., 2010, « Habitat mapping through remote sensing in Piemonte region: a methodological approach. In *Second habitat workshop, 2010*, Brussels. Monitoring Europe's biodiversity in a post 2010 era: the role of remote sensing for Natura 2000 reporting and ecosystem assessment.
- GIP Loire Estuaire, 2012, « Apports de l'Ortho-image Infrarouge Couleur pour la cartographie des habitats naturels dans la vallée de la Loire des Ponts-de-Cé à Saint Nazaire », 71 p., + Annexes.
- Gourmelon F., Bioret F., Sauve L., 2005, « Potentialité de l'imagerie satellitaire SPOT5 pour la cartographie de la végétation terrestre. Application à l'île d'Ouessant », *Cybergeo : Revue européenne de géographie, Cartographie, Imagerie, SIG*, article 325, mis en ligne le 09 novembre 2005, modifié le 29 juin 2007, <http://cybergeo.revues.org/3027>.
- Hantson W., Kooistra L., Slim P.A., 2012, « Mapping invasive woody species in coastal dunes in the Netherlands: a remote sensing approach using LiDAR and high-resolution aerial photographs », *Applied Vegetation Science*, vol. 15, 536-547.
- Hassan N., Hamid J.R.A., Adnan N.A., Jaafar M., 2014 « Delineation of wetland areas from high resolution Worldview-2 data by object-based methods », In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 18, No. 1, 12-17.
- Hofmann P., Blaschke T., Strobl J., 2011, « Quantifying the robustness of fuzzy rule sets in object-based image analysis », *International Journal of Remote Sensing*, vol. 32, No. 22, 7359-7381.
- Hubert-Moy L., Michel K., Corpetti T., 2006, « Object-oriented mapping and analysis of wetlands using SPOT5 data », in *IGARSS, 2006, États-Unis d'Amérique. Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE International Conference*, 3447-3450.
- Immitzer M., Atzberger C., Koukal T., 2012, « Tree species classification with random forest using very high spatial resolution 8-band Worldview-2 satellite data », *Remote Sensing*, vol. 4, 2661-2693.

- Johansen K., Arroyo L.A., Phinn S., Witte C., 2008, « Object-oriented change detection of riparian environments from high spatial resolution multi-spectral images », in Hay G.J., Blaschke Th., Marceau D., 2008, *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXVIII-4/C1.
- Kergomard C., 2000 « Pratique des corrections atmosphériques en télédétection : utilisation du logiciel 5S-PC », in *Cybergeo : European Journal of Geography* [en ligne], dossiers, Actes des journées de Télédétection en Sciences humaines, document 181, mis en ligne le 05 mai 2000, consulté le 25 novembre 2011. URL: <http://cybergeo.revues.org/1679>; doi:10.4000/cybergeo.1679.
- Klemas V., 2013, « Using remote sensing to select and monitor wetland restoration sites: an overview », *Journal of coastal research*, vol. 29, No. 4, 958-970.
- Laben C.A., Brower B.V., « Process for Enhancing the Spatial Resolution of Multispectral Imagery using Pan-Sharpning ». 2000. <http://www.freepatentsonline.com/6011875.html>
- Lecerf R., 2008, « Suivi des changements d'occupation et d'utilisation des sols d'origine anthropique et climatique à l'échelle régionale par télédétection moyenne résolution (application à la Bretagne) ». Thèse de doctorat. Université de Rennes 2, Rennes, 326 p. URL : <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00337099/en/>
- L'IF, 2008, « Nouvelle cartographie forestière : De la production à l'utilisation », vol. 20, 8 p.
- Lucas R., Medcalf K., Brown A., Bunting P., Breyer J., Clewley D., Keyworth S., Blackmore P., 2011, « Updating the Phase 1 habitat map of Wales, UK, using satellite sensor data », *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 66, 81-102.
- Mallinis G., Koutsias N., Tsakiri-Strati M., Karteris M., 2008, « Object-based classification using Quickbird imagery for delineating forest vegetation polygons in a Mediterranean test site », *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 63, 237-250.
- Medcalf K., Lucas R., Brown A., 2010, « Habitat mapping in Wales using multiple date remote sensing imagery », in Second Habitats workshop, 2010, Brussels, *Monitoring Europe's biodiversity in a post 2010 era: the role of remote sensing for Natura 2000 reporting and ecosystem assessment*. <http://habitat.vgt.vito.be/modules/Downloads/?????.pdf>.
- Midwood J.D., Chow-Fraser P., 2010, « Mapping floating and emergent aquatic vegetation in coastal wetlands of eastern Georgian bay, Lake Huron, Canada », *Wetlands*, vol. 30, 1141-1152.
- More G., Pons X., Burriel J. À., Castells R., Inanez J. J., Roijals X., 2005, « Generació de cartografia detallada de vegetació mediante procesamiento digital de imágenes Landsat, variables orográficas y climáticas », 6th Geomatic Week proceedings, 9 p.
- Ota T., Mizoue N., Yoshida S., 2010, « Influence of using texture information in remote sensed data on the accuracy of forest type classification at different levels of spatial resolution », *Journal of forest research*, DOI:10.1007/s10310-010-0233-6, 6 p.
- Otukei J.R., Blaschke T., 2010, « Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms », *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 12, 27-31.
- Ouyang Z.-T., Zhang M.-Q., Xie X., Shen Q., Guo H.-Q., Zhao B., 2011, « A comparison of pixel-based and object-oriented approaches to VHR imagery for mapping saltmarsh plants », *Ecological informatics*, vol. 6, 136-146.
- Ozdemir I., Karnieli A., 2011, « Predicting forest structural parameters using the image texture derived from Worldview-2 multispectral imagery in a dryland forest », *Isr. Int. J. Appl. Earth Obs Geoinf.*, vol. 13, 701-710.

- Poulin B., Davranche A., Lefebvre G., 2010, « Ecological assessment of *Phragmites australis* wetlands using multi-season SPOT-5 scenes », *Remote Sensing of Environment*, vol. 114, 1602-1609.
- Puissant A., Weber C., 2004, « Démarche orientée “objets-attributs” et classification d’images THRS », *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, No. 173-174, 123-134.
- Rapinel S., 2012, « Contribution de la télédétection à l’évaluation des fonctions des zones humides : de l’observation à la modélisation prospective », Thèse de doctorat, Université Rennes 2, Rennes, 384 p., <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00731169/>
- Rapinel S., Clément B., Magnanon S., Sellin V., Hubert-Moy L., 2014a, « Identification and mapping of natural vegetation on a coastal site using Worldview-2 satellite image », *Journal of Environmental Management*, vol. 144, 236-246.
- Rapinel S., Hubert-Moy L., Clément B., 2014b, « Combined use of LiDAR data and multispectral earth observation imagery for wetland habitat mapping », *Int. Appl. Earth Observ. Geoinf.*
- Renaud J., Breton V., Luque S., 2010, « Intérêts de la télédétection pour la cartographie des habitats naturels : application aux milieux forestiers », Cemagref-UR Ecosystèmes montagnards-Centre de Grenoble, 27 p., 5 annexes.
- Roche P., Bouillon C., Long M., 2010, « Note de synthèse cartographie des habitats naturels Méditerranéens », Cemagref-UR EMAX-Centre d’Aix-en-Provence, 21 p.
- Sanchez-Hernandez C., Boyd D. S., Foody G. M., 2007, « Mapping specific habitats from remotely sensed imagery: support vector machine and support vector data description based classification of coastal saltmarsh habitats », *Ecological Informatics*, vol. 2, 83-88.
- Santurri L., Carlà R., Fiorucci F., Aiazzi B., Baronti S., Cardinali., Mondini A., 2010, « Assessment of very high resolution satellite data fusion techniques for landslide recognition ». In Wagner W., Székely B. (eds): ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna Austria, July 5-7, 2010, IAPRS, vol. XXXVIII, Part 7B.
- Sellin V., Magnanon S., Gourmelon F., Debaine F., Hubert-Moy L., Clément B., David L., Delassus L., Dhervé D., Nabucet J., Rapinel S., Janvre A., 2013, « Cartographie des grands types de végétation par télédétection : étude de faisabilité (Bretagne, Basse-Normandie et Pays de la Loire) », Brest : Conservatoire botanique national de Brest, Brest : UMR6554 LETG CNRS., 166 p., URL : <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00826807>
- Schuster C., Förster M., Kleinschmit B., 2012, « Testing the red edge channel for improving land-use classification based on high-resolution multi-spectral satellite data », *International Journal of Remote Sensing*, vol. 33, No. 17, 5583-5599.
- Simonson W.D., Allen H.D., Coomes D.A., 2013, « Remotely sensed indicators of forest conservation status: Case study from a Natura 2000 site in southern Portugal », *Ecological Indicators*, vol. 24, 636-647.
- SIRS (SYSTEME D’INFORMATION A REFERENCE SPATIALE), 2009, « Evaluation des conditions de la biodiversité dans le Kent et le Nord Pas de Calais : Photo-interprétation, Base de données et cartographie régionale et transfrontalière des habitats naturels », Cahier des clauses techniques particulières, SIRS, 30 p., 4 annexes.
- Sparfel L., Le Berre I., Gourmelon F., 2011, « Évaluation des changements d’occupation des sols en zone côtière à partir de données hétérogènes », *Revue internationale de géomatique*, vol. 21, No. 3, 381-403. doi:10.3166/rig.15.381-403.

- Strasser T., Lang S., Riedler B., Pernkopf L., Paccagnel K., 2014, « Multiscale object feature library for habitat quality monitoring in riparian forests », *IEEE geoscience and remote sensing letters*, vol. 11, No. 2, 559-563.
- Triepke F. J., Brewer C. K., Leavell M. D., Novak J. S., 2008, « Mapping forest alliances and associations using fuzzy systems and nearest neighbor classifiers », *Remote Sensing of Environment*, vol. 112, 1037-1050.
- Tuxen K., Kelly M., 2008, « Multi-scale functional mapping of tidal marsh vegetation using object-based image analysis », in Blaschke Th., Lang S., Hay G.J., 2008, *Object-Based Image Analysis*, Springer, 415-442.
- Vanden-Borre J., Paelinckx D., Mûcher C. A., Kooistra L., Haest B., De Blust G., Schmidt A. M., 2011, « Integrating remote sensing in Natura 2000 habitat monitoring: Prospects on the way forward », *Journal for Nature Conservation*, vol. 19, 116-125.
- Waser L.T., Küchler M., Jütte K., Stampfer T., 2014, « Evaluating the potential of Worldview-2 data to classify tree species and different levels of ash mortality », *Remote sensing*, vol. 6, 4515-4545.
- Wilson P., 2014, « Collecting 29 000 km of river condition data using LiDAR and aerial photography ». In Vietz G., Rutherford I.D., Hughes R. (editors), *Proceedings of the 7th Australian stream management conference*. Townsville, Queensland, 327-335.
- Yuhendra J., Hiroaki K., 2011, « Performance analyzing of high resolution pan-sharpening techniques : Increasing image quality for classification using supervised kernel support vector machine », *Research Journal of Information Technology*, vol. 3(1), 12-23.

NOTES

1. Convention d'étude CNRS-CBN de Brest

RÉSUMÉS

L'objectif de cette étude est d'évaluer les potentialités qu'offre l'imagerie aérienne et satellitaire à haute et très haute résolution spatiale pour la cartographie des grands types de végétation des régions Bretagne, Basse-Normandie et Pays de la Loire à l'échelle du 1/25 000. Différents types d'images (BDORTHO® IRC, SPOT5, Worldview-2) ont été acquises sur quatre sites représentatifs de la diversité des végétations présentes sur ce territoire. Des procédures de classification ont été établies et leur reproductibilité à d'autres sites a été évaluée. La typologie des végétations utilisée est celle proposée par le Conservatoire Botanique National de Brest (CBN de Brest) qui articule, par une démarche « *bottom-up* », la typologie phytosociologique utilisée sur le terrain avec une typologie physionomique (structurale) compatible avec des données de télédétection. Une approche de classification orientée-objet a été privilégiée. Seules les classifications appliquées à l'image Worldview-2 combinent deux approches, orientée-objet et basée sur le pixel. Les performances globales des classifications ont été évaluées à trois niveaux typologiques correspondant à l'occupation du sol, aux grands types de végétations et aux types de formations végétales. Les résultats, des plus concluants au moins concluants, ont été obtenus par la

classification de l'image Worldview-2, puis la BDORTHO® IRC et enfin des images SPOT5. Les résultats ne sont pas satisfaisants pour certaines classes du niveau « Types de formations végétales » mais ils pourraient être améliorés par une étape de photo-interprétation en post-traitement, par l'utilisation d'images multi-dates de différents capteurs et d'informations vectorielles compatibles en termes de granularité et de thème.

The purpose of this study is to evaluate the potential of aerial and satellite imageries of high spatial resolution for large scale vegetation mapping on Brittany, Normandy and Pays de la Loire regions at 1/25 000. Different types of images (BDORTHO® IRC, SPOT5, Worldview-2) were acquired for four sites which represent vegetation diversity in the North-West of France. Classification processes were established and their reproducibility was assessed on another site. The classification used is the nested classification system of the National Botanical Conservatory of Brest (CBN), that schedules a phytosociological typology and a physiognomical typology. This nested classification system is compatible with remote sensing. An object-oriented classification was applied on images. It was combined with pixel-based classification when applied on the Worldview-2 image. Results were evaluated at three classification levels, corresponding to land cover, large vegetation types, and plant formation types. Best results, from more conclusive to less conclusive, were obtained with Worldview-2 image, then BDORTHO® IRC and then SPOT5 images. Some results are not satisfactory for some classes of plant formation type level, but they could be improved in adding photo-interpretation in post-processing, in using multi-date images from different sensors and in using GIS data.

INDEX

geographyun 908, 926, 250

Mots-clés : végétation, cartographie, Worldview-2, ortho-image, image satellite Spot, orientée-objet, occupation du sol, Bretagne, Basse-Normandie, Pays de la Loire

Keywords : vegetation, mapping, Worldview-2, ortho-images, Spot satellite image, object-oriented, land cover, Brittany, Normandy, Pays de la Loire

AUTEURS

VANESSA SELLIN

Conservatoire Botanique National de Brest

Géomaticienne

v.sellin@cbnbrest.com

SYLVIE MAGNANON

Conservatoire Botanique National de Brest, France

Directrice scientifique des actions régionales et interrégionales

s.magnanon@cbnbrest.com

FRANÇOISE GOURMELON

LETG-Brest, Geomer, UMR 6554 CNRS, Université de Brest, Institut Universitaire Européen de la Mer, France, Technopôle Brest-Iroise 29280 Plouzané

Directrice de Recherche, CNRS

Francoise.Gourmelon@univ-brest.fr

FRANÇOISE DEBAINE

LETG-Nantes, Geolittomer, UMR 6554 CNRS, Université de Nantes, France

Maître de conférences

françoise.debaine@univ-nantes.fr

JEAN NABUCET

France, LETG-Rennes, Costel, UMR 6554 CNRS, Université de Rennes 2

Ingénieur, CNRS

jean.nabucet@univ-rennes2.fr