

APPORTS DE L'IMAGERIE PLÉIADES A LA GESTION INTÉGRÉE DES ZONES CÔTIÈRES

– APPLICATION AU TERRITOIRE DE THAU –

Claire Dupaquier¹, Annie Desbrosse¹, Pierre Maurel¹, Roel Plant², Laure-Elise Ruoso¹, Jean-Philippe Roussillon³

1: UMR TETIS, Montpellier, claire.dupaquier@teledetection.fr

2: UMR TETIS, Irstea, Montpellier, UTS (University of Technology of Sydney)

3: SMBT, Sète

Résumé

Dans le contexte actuel de gestion intégrée du littoral, la croissance démographique et l'augmentation de la pression foncière sur le bassin de Thau font de ce territoire un enjeu important, se répercutant sur l'occupation du sol. Pour faire face à ces enjeux, les collectivités territoriales du territoire de Thau ont confié au SMBT à partir de 2006 l'élaboration conjointe de plusieurs instruments de planification afin de mener une approche intégrée du développement territorial au travers du SCoT, du SAGE et d'une procédure Natura 2000. L'objectif de cette contribution est de présenter la méthodologie opérationnelle développée pour cartographier l'occupation du sol initiale 2012/2013 à partir d'images Pléiades sur le bassin de Thau. Cette cartographie constituera une donnée d'entrée pour nourrir l'observatoire du territoire de Thau et sera adaptée à la mise en œuvre des instruments de planification. La méthodologie a été scindée en deux parties, une première partie de photo-interprétation pour cartographier les espaces artificialisés et leurs évolutions sur plusieurs années et une seconde partie sur une approche par classification orientée-objet sur les espaces agricoles et les milieux naturels. La démarche procure un état actualisé de l'occupation du sol selon une typologie à 4 niveaux adaptée de Corine Land Cover et sera mise à jour tous les deux ans pour produire des indicateurs de suivi et d'évaluation du territoire de Thau.

Mots-clés : GIZC, Thau, Pléiades, photo-interprétation, occupation du sol, classification orientée-objet

Abstract

At present and within a context of integrated coastal management, the population growth and increasing land pressure with their subsequent land cover changes on the Thau basin make this territory an important policy issue. In order to cope with the issues at stake the Thau regional authorities have entrusted SMBT from 2006 onwards with the joint development of several planning tools (SCoT, SAGE and Natura 2000 Convention) to conduct an integrated approach to territorial development. The aim of the present paper is to present the methodology used for mapping the initial 2012/2013 land use cover of the Thau basin from Pleiades imagery. This map will be a basic input for the observatory of the Thau territory and support the implementation of planning tools. The methodology was divided into two parts: first, a photo-interpretation approach for artificialised area mapping and evolution monitoring over several years and second, a remote sensing detection approach with the achievement of an object-oriented classification of agricultural and natural environments. This methodology allowed to obtain an up-to-date land use cover according to a 4 level typology adapted from the CORINE land cover nomenclature. This land cover will be updated every second year to help produce assessment and monitoring indicators for the Thau territory.

Keywords: ICZM, Thau, Pléiades, photo-interpretation, land cover, object-oriented classification

Introduction

Les enjeux sur les zones côtières sont tels qu'ils ont conduit très tôt en France à la mise en place de politiques publiques et d'instruments de régulation spécifiques (ex : Conservatoire du Littoral en 1975, Schémas de Mise en Valeur de la Mer en 1983, Loi Littoral de 1986). Ces politiques sont apparues au niveau international au début des années 1990 avec le développement du concept de Gestion Intégrée des Zones Côtières - GIZC - et l'adoption d'une recommandation par l'Union Européenne en 2002 (Henocque, 2003). En France, 25 projets pilotes en matière de GIZC ont été choisis en 2005 par la DATAR et ont fait l'objet de suivis et d'évaluations

(Deboudt, 2012). Il en ressort que la GIZC est avant tout un principe organisateur et une nouvelle méthode de gouvernance entre acteurs multiples autour d'enjeux et d'objectifs complexes afin de construire progressivement des représentations partagées de la réalité dans des phases de diagnostic territorial puis d'élaboration et de suivi de plans de gestion (Meur-Férec, 2007). La mise en place de dispositifs d'observation sur les espaces côtiers devient alors centrale pour permettre l'émergence de ces visions partagées (Bertacchini *et al.*, 2013), à partir notamment de cartographies précises de l'état et des dynamiques d'occupation du sol dérivées d'imagerie aérienne et satellitaire.

Avec l'apparition récente de satellites à haute résolution spatiale (RapidEye, Spot 5/6) voire très haute résolution (Worldview, Pléiades, Quickbird), les approches orientées-objets (OBIA) se sont développées du fait de l'augmentation du nombre et de l'hétérogénéité des objets à extraire (Lang, 2008, Sparfel, 2011, Dupuy *et al.*, 2012). Ces approches OBIA nécessitent l'usage de logiciels spécifiques permettant de prendre en compte une diversité de critères tels que la texture, le spectre, la forme et le voisinage de l'objet (Sparfel, 2011). Elles offrent *a priori* de meilleurs résultats que les approches classiques de classification par pixel (Dupuy *et al.* 2012). Toutefois, la plupart des recherches en OBIA portent sur l'identification et la caractérisation d'objets précis, probablement car elles demandent une très grande expertise de terrain. Elles sont encore peu appliquées à l'occupation du sol complète, (Sparfel *et al.*, 2008, Corbane *et al.*, 2004, Van der Sande *et al.*, 2003) en particulier sur des espaces aussi complexes que les zones côtières.

L'objectif du travail présenté ici était de développer une méthodologie opérationnelle à partir d'imagerie Pléiades combinée à d'autres types de données pour produire une cartographie fine de l'occupation du sol adaptée aux échelles locales de la GIZC (communes, intercommunalités). Le terrain d'étude est le territoire de Thau, un des 25 sites pilotes français de la DATAR, sur lequel l'UMR TETIS développe depuis 2005 des recherches en partenariat avec le Syndicat Mixte du Bassin de Thau (SMBT) en charge de la gestion intégrée de ce territoire. Cette cartographie viendra alimenter l'observatoire de Thau pour produire des indicateurs de suivi et d'évaluation du territoire afin d'aider à sa gestion (régulation de l'étalement urbain, protection des zones humides, *etc.*).

Après une description du site d'étude, nous présentons la méthodologie qui a été développée et les premiers résultats obtenus avant de conclure sur le potentiel de l'imagerie Pléiades pour ce type d'application et sur les perspectives ouvertes.

1. Site d'étude et données disponibles

1.1. Site d'étude

D'une superficie d'environ 44000 hectares, le bassin de Thau est composé de 2 intercommunalités et 14 communes, ou 22 pour le bassin-versant (*Figure 1*). Situé en bordure de la Méditerranée à l'Ouest de Montpellier, il se caractérise par une forte attractivité résidentielle et touristique et présente une grande diversité de paysages (viticoles et agricoles, garrigues, forêts, zones humides et lagunes). Il est soumis à une très forte croissance démographique génératrice d'étalement urbain, d'enfrichement et de pressions sur le milieu naturel et les activités

économiques traditionnelles lagunaires (conchyliculture, pêche). Le SMBT gère depuis 2005 dans une logique de GIZC l'élaboration et la mise en œuvre coordonnées de plusieurs instruments d'aménagement et de gestion : un SCoT (Schéma de Cohérence Territoriale) avec un volet maritime, un SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux), un projet Natura 2000 sur la lagune et ses zones humides ainsi que des contrats pluriannuels de plans d'action.

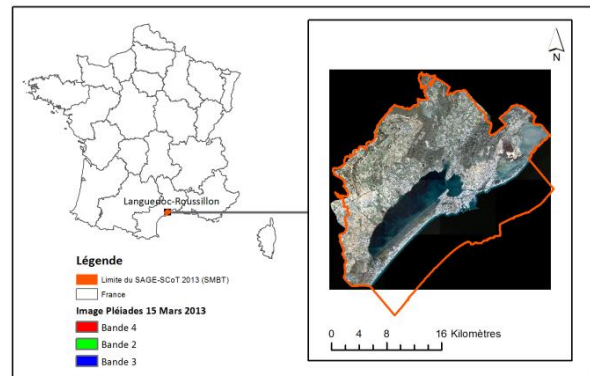


Figure 1 : Localisation du bassin de Thau et image Pléiades de Mars 2013 - © CNES (2013), distribution Airbus DS/Spot Image.

1.2. Données utilisées

Le tableau 1 récapitule les données qui ont été utilisées selon le type d'espace à cartographier.

Ensemble du territoire (périmètre SCoT + SAGE)	<ul style="list-style-type: none"> 6 images Pléiades 2012 / 2013 - RTU CNES BD TOPO IGN 546 Ortho-photographies couleur à 20 cm de 2012 - SIG-LR
Espaces artificialisés	<ul style="list-style-type: none"> BD SMBT de l'étalement urbain (5 dates de 1944 à 2005) BD ORTHO IGN (51 photographies à 20 cm de mai 2009) Cadastre (version 2012)
Espaces agricoles et naturels	<ul style="list-style-type: none"> Indices dérivés des images Pléiades : NDVI, texture... Registre Parcellaire Graphique 2010 de la PAC

Tableau 1 : Liste des données utilisées.

Six images Pléiades en mode bundle et ortho-rectifiées ont été acquises à trois périodes différentes : juillet 2012, septembre 2013 et mars 2013 (*Tableau 2*). La dernière période a été couverte pour pallier à l'absence d'images au printemps 2012, décalant ainsi les cycles culturels observables (cultures d'été 2012, cultures d'hiver 2012-2013 et, dans une moindre mesure, cultures d'hiver 2011-2012).

Date, heure UTC et angle Prise Vue	Résolution spatiale	Bandes spectrales (µm)
10/07/2012, 10h50, 11° et 16°	MS : 2,8 m Ré-échant.	PIR 0,75 – 0,95 Bleu 0,43 – 0,55 Vert 0,49 – 0,61 Rouge 0,60 – 0,72 PAN 0,48 – 0,83
14/09/2012, 10h40, 11°	2 m	
19/09/2012, 10h53, 10°	PAN : 0,7 m	
15/03/2013, 10h41, 13° et 18°	Ré-échant. 50 cm	

Tableau 2 : Description des images Pléiades (NB : le territoire est couvert par 2 scènes Pléiades).

2. Démarche méthodologique

Nous avons scindé en deux la problématique en développant des méthodes différentes de cartographie pour 1) les espaces artificialisés et 2) les espaces agricoles et naturels (*Figure 2*).

Dans le cas des espaces artificialisés, la photo-interprétation a été préférée à la classification automatique car le but du travail était non seulement de déterminer l'artificialisation du sol, mais aussi de distinguer différents types d'habitat (maison individuelle, maisons mitoyennes, immeubles collectifs, etc.) ou d'utilisation du sol (zones à vocation économique, établissements publics, etc.).

Dans le cas des espaces agricoles et des milieux naturels, la classification semi-automatique orientée objet s'imposait comme la meilleure méthode, en raison de la superficie du territoire à cartographier et de la finesse du rendu cartographique recherché.

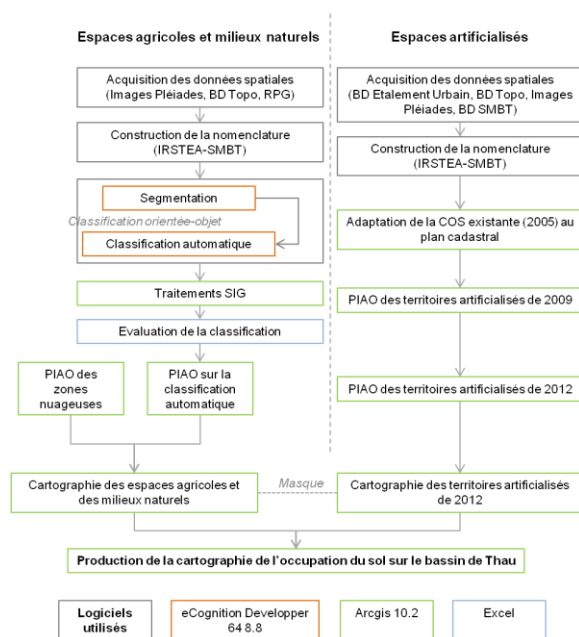


Figure 2 : Organigramme méthodologique.

2.1. Espaces artificialisés

Sont considérés comme artificialisés les espaces présentant une couverture imperméabilisée, « perdus » pour l'activité agricole et/ou perturbés par l'activité humaine.

2.1.1. Spécifications

a. nomenclature

Le travail sur les espaces artificialisés s'est appuyé sur une base de données cartographique établie par Irstea pour la période 1944-2005 (Cemagref, 2008), avec une nomenclature à trois niveaux, puis actualisée par le SMBT pour l'année 2009. Nous avons révisé cette nomenclature afin de mieux prendre en compte les réalités des espaces artificialisés et leur suivi dans le cadre du SCoT, qui fixe notamment des objectifs précis de densification.

b. géométrie

Dans l'optique d'un suivi fin des espaces artificialisés, le cadastre a été systématiquement pris comme référence de délimitation foncière alors que les orthophotographies et les images Pléiades ont servi de référentiel géométrique.

2.1.2. Photo-interprétation

Après avoir adapté la base de données 1944-2009 au cadastre et à la nouvelle nomenclature, un travail de photo-interprétation sous ArcGIS a été mené pour cartographier les extensions urbaines en 2012 et les changements à l'intérieur des zones déjà artificialisées en 2009.

2.1.3. Création du réseau routier

A partir du linéaire de la BD TOPO de l'IGN et de la nature de voie indiquées, une couche du réseau routier a été créée hors espaces artificialisés sous la forme de buffers plus ou moins larges. Une classe de voirie intra-urbaine a été produite dans les limites des enveloppes urbaines.

2.2. Espaces agricoles et milieux naturels

Les espaces agricoles et les milieux naturels sur le bassin de Thau représentent la majorité de l'occupation du sol. Pour les cartographier, nous avons mis en place une méthode semi-automatique, combinant une classification de type orientée-objet avec le logiciel eCognition Developer, et un travail de photo-interprétation pour les classes non détectables automatiquement.

2.2.1. Spécifications

a. nomenclature

En relation avec le SMBT, la nomenclature sur les espaces agricoles et sur les milieux naturels a été élaborée sur la base de la nomenclature Corine Land Cover puis adaptée à une analyse par télédétection. Au final, 14 classes d'occupation du

sol de niveau 4 ont été distinguées par classification orientée-objet et 21 ont été obtenues après le travail de photo-interprétation.

b. géométrie

Pour les espaces agricoles et les milieux naturels, les limites cadastrales n'ont pas été retenues du fait de leur faible correspondance avec l'occupation du sol. Nous avons opté pour une segmentation des images Pléiades dans une approche orientée-objet.

2.2.2. Classification orientée-objet

L'approche pour une analyse orientée-objet passe par trois étapes, 1) l'importation des données utilisées, qu'elles soient raster ou vectorielles, 2) la segmentation des images et 3) la classification des images (Sparfel *et al.*, 2008). Les tâches de segmentation et de classification ont été réalisées sous cluster, en raison du poids important des images Pléiades, ce qui a permis de réduire considérablement le temps de traitement.

a. Données utilisées pour la classification orientée-objet

La segmentation a été réalisée à partir des images Pléiades (XS, PAN) de septembre 2012 qui, visuellement, présentait une meilleure distinction entre les différentes occupations du sol. Nous y avons ajouté l'image panchromatique de mars 2013 pour pallier la présence de nuages sur certaines zones en septembre 2012. Des couches vectorielles (bâti et réseau routier) ont aussi été utilisées comme masque pour la segmentation. L'image multispectrale de mars 2013 a été utilisée uniquement pour la classification. Les images de juillet 2012 n'ont pas été utilisées à ce stade car elles ne couvraient pas l'intégralité du territoire de Thau mais uniquement le périmètre du SCoT.

b. Segmentation de l'image

Nous avons réalisé plusieurs tests pour obtenir une segmentation la plus proche possible des limites de l'occupation du sol. Les paramètres retenus sous eCognition ont finalement été les suivants : algorithme « *multiresolution segmentation* », *shape* de 0,5 et *compactness* de 0,7. Ce travail a fait ressortir, du fait de la très haute résolution des images Pléiades, une catégorie d'objets de forme linéaire correspondants à des chemins, bas-côtés de routes, pourtours de champs, haies, talus.

c. Classification de l'image

Nous avons utilisé des algorithmes de classification experte avec arbre de décision, ainsi que des algorithmes de recherche de seuils paramétriques (réflectance, texture et forme de l'objet) afin de déterminer la classe d'occupation du sol d'appartenance de chaque objet segmenté à partir

de la nomenclature définie précédemment.

2.2.3. Evaluation de la classification

Le résultat de la classification automatique a été évalué en quatre étapes selon la méthode de Radoux *et al.* (2011) : 1) la distinction de trois catégories d'objets suivant leur surface (<0,2 ha, 0,2 ha-<0,8ha, >0,8 ha), 2) le tirage aléatoire pour chaque catégorie d'objets d'un échantillon d'objets de contrôle (1566 au total, couvrant 978 ha soit 1,57% du territoire de Thau), dont l'occupation du sol a ensuite été déterminée par photo-interprétation à partir de sources multiples (photos aériennes, photos de terrain à partir de Google StreetView, Pléiades), 3) la création sous Excel, pour chaque catégorie d'objets, de deux matrices de confusion : nombre d'objets et surface cumulée des objets. Deux matrices de synthèse ont ensuite été produites pour l'ensemble des objets (nombre d'objets, surface cumulée), et 4) le calcul d'un coefficient de précision.

Cette évaluation a permis d'orienter le travail de photo-interprétation qui a suivi, l'objectif pour les gestionnaires étant d'arriver à une précision globale supérieure à 90 %.

2.2.4. Amélioration de la classification par photo-interprétation

Le travail de photo-interprétation post-classification (1,5 homme-mois au total) a été mené sur l'ensemble du territoire en exploitant les images Pléiades en Pan-sharpening aux trois dates, les vues obliques de terrain StreetView, les photographies aériennes et, quand il était pertinent, le RPG 2010. Il a permis de 1) corriger certaines classes mal distinguées lors de la classification automatique, 2) exploiter les images de juillet 2012 pour améliorer la classification, 3) classifier l'occupation du sol sous les zones nuageuses des images de septembre 2012 et 4) détailler les classes dans la partie « surfaces en eau ».

3. Résultats

La figure 3 ci-après présente des extraits des cartes obtenues aux différentes étapes de la méthode.

Pour les espaces naturels et agricoles, le coefficient de précision par classification automatique des images Pléiades de septembre 2012 et de mars 2013, avec une nomenclature à trois niveaux, a été de 70,06 % d'objets bien classés avec plus ou moins 5 % de marge d'erreur. Certaines classes ont été correctement identifiées, notamment les vignes (taux d'omission 15,9 %, taux de commission 9,20 %).

L'analyse des matrices a mis en évidence la difficulté à isoler des classes telles qu'Arboriculture, Sols nus, Garrigue ouverte, Fiches et Cultures

d'été. Pour la classe Arboriculture, les arbres fruitiers et les oliviers se sont retrouvés dans les classes Bois/Forêts, Garrigue fermée et Garrigue ouverte. Pour les sols nus, des confusions sont apparues avec des parcelles de rotation culture d'hiver 2012 / culture d'été 2013, sans végétation active aux trois dates Pléiades. La garrigue ouverte s'est confondue surtout avec des classes comme

les Friches et la Garrigue fermée car l'ensemble présentait un gradient continu de densité d'espèces arbustives, rendant difficile la différenciation en l'absence de séries d'images sur des temps longs (5 à 10 ans). Les cultures d'été 2012 se sont quant à elles majoritairement confondues avec des cultures d'hiver 2011/2012 et des friches sur l'image de septembre 2012.

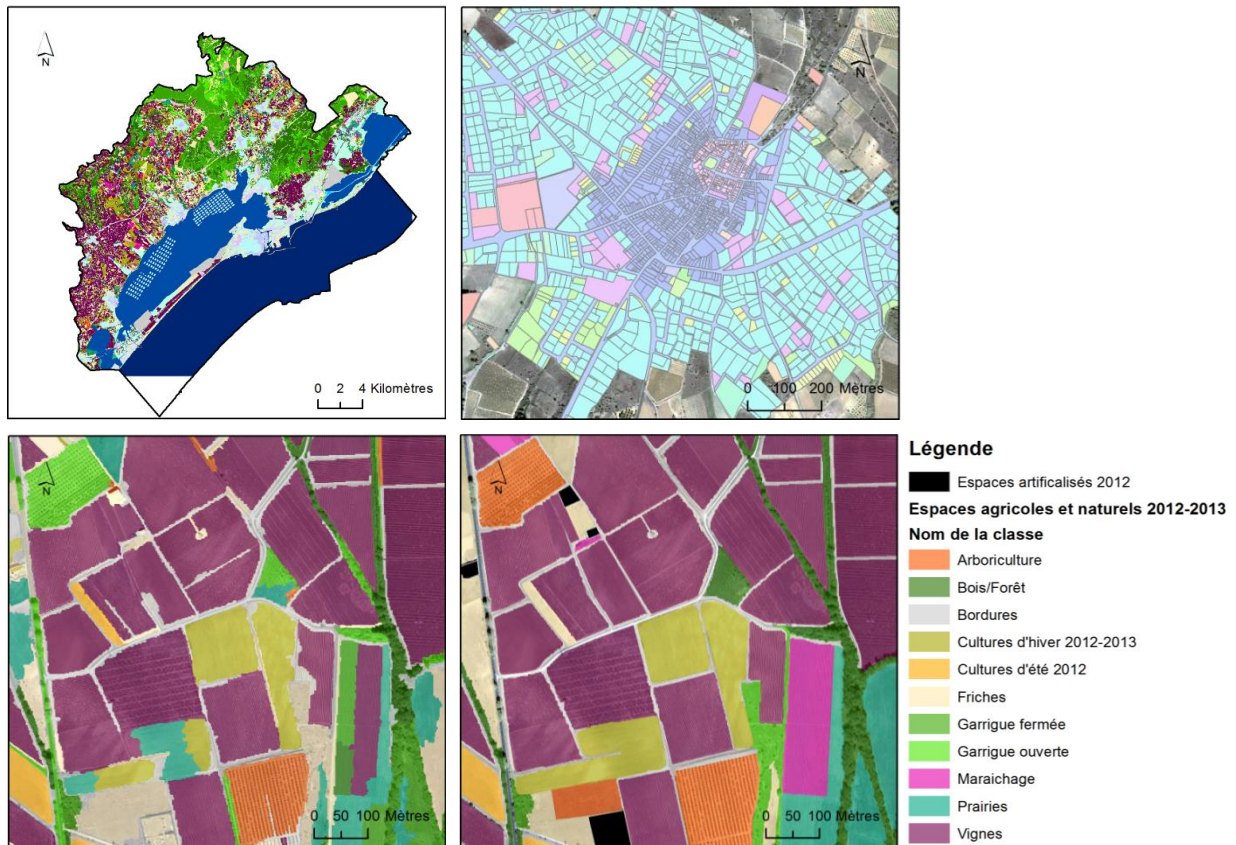


Figure 3 : Résultats de la cartographie d'occupation du sol (1. ensemble de Thau, 2. Extrait espaces artificialisés - Villeveyrac -, 3 et 4 .Extraits espaces agricoles et naturels (3. classification automatique, 4. PIAO)

Le travail de photo-interprétation a permis d'améliorer les résultats de la classification automatique. Les confusions entre cultures d'été 2012 et d'hiver 2011/2012 ont été levées en exploitant l'image de juillet 2012. L'arboriculture (vergers et oliveraies) a pu être mieux distinguée de la garrigue et des bois/forêt. La classe maraîchage a pu être rajoutée. La partie Surface en eau a été redécoupée en plusieurs sous-classes : lagunes, eaux maritimes, canaux, zones humides, plans d'eau artificiels, marais salants.

4. Discussion et perspectives

A ce stade de l'étude, plusieurs étapes restent encore à réaliser : 1) l'assemblage de la carte des espaces artificialisés réalisée par photo-interprétation et de la carte des espaces agricoles et des milieux naturels obtenue semi-automatiquement, 2) des traitements topologiques à réaliser sous ArcGis, notamment pour atténuer le

crénelage de la segmentation, et ventiler la classe Bordures en sous-classes et 3) l'évaluation de la carte complète de l'occupation du sol, toujours d'après la méthode de Radoux *et al.*, qui permettra de quantifier la précision et de valider la cartographie finale auprès des gestionnaires.

La première finalité de ce travail était opérationnelle pour alimenter l'observatoire du territoire de Thau dans un objectif de gestion intégrée. L'étude a montré la pertinence de l'imagerie Pléiades multi-dates pour une cartographie détaillée (4 niveaux de nomenclature) à grande échelle, basée sur une approche mixant classification orientée-objet et photo-interprétation. Pour les espaces agricoles et les milieux naturels, le post-traitement par photo-interprétation a permis d'améliorer les distinctions parmi les cultures d'hiver, les cultures d'été et les zones en eau. Il est probable qu'une étude diachronique avec des images à des dates plus ciblées la même année (1 ou 2 dates de printemps,

1 en juillet, 1 fin septembre) aurait donné de meilleurs résultats pour l'étape de classification automatique (Peña-Barragán *et al.* 2011).

Cette carte d'occupation du sol devrait être mise à jour en 2015 afin de produire des indicateurs d'évolution, notamment pour mesurer l'efficacité des mesures de régulation de l'étalement urbain et de protection des terres agricoles.

Cependant, une telle approche n'est envisageable que sur des territoires de taille relativement restreinte, comme dans le cas de Thau, compte tenu des volumes de données manipulés, des temps de calcul et de photo-interprétation, du coût d'achat des images. Elle pourrait aussi être comparée à une approche mixte combinant des images Pléiades en mono-date pour la résolution spatiale (a priori, septembre pour une bonne distinction de la vigne) et Sentinelle 2 pour la répétitivité.

Sur des territoires plus grands, il pourrait être intéressant de conjuguer une approche Spot 6-7 et Sentinelle 2, avec des images Pléiades sur les zones urbaines.

Pour répondre à ces questions, il est envisagé de poursuivre à des fins plus scientifiques des tests sur les images Pléiades et le jeu de données constitué sur Thau, complété par d'autres images (Take 5 2013, Landsat 8). Plusieurs combinaisons d'images mériteraient d'être évaluées du point de vue de la qualité des classifications d'occupation du sol obtenues : composition colorée tri-dates des NDVI Pléiades Pan-Sharpener ; Pléiades multidates vs Pléiade monodate + images SPOT 5, RapidEye multidates ; Pléiades multidates vs Pléiades monodate + série Take 5 et Landsat 8.

Une autre perspective de recherche est d'exploiter la carte d'occupation du sol à des fins thématiques : analyse des objets linéaires de l'occupation du sol sous l'angle de leurs fonctionnalités écologiques, couplage de l'occupation du sol à des modèles simples pour cartographier certains types de services écosystémiques rendus par l'agriculture péri-urbaine.

Références

Bertacchini Y., Maurel P., Deprez P., Plant R., 2013. *Spatial information & communication arrangements: a contribution to territorial intelligence*. Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences. 1(4) : 19-28.

Cemagref 2008. *SCoT du territoire de Thau. Réalisation d'une base de données géographique des dynamiques du bâti sur le territoire entre 1944 et 2005*. Rapport d'étude pour le SMBT : 53.

Corbane C., Baghdadi N., Hosford S., Somma J., 2004. *Application d'une méthode de classification orientée-objet pour la cartographie de l'occupation du sol : résultats sur ASTER et Landsat ETM*. Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, 175 (3) : 13-26.

Deboudt P., 2012. *Testing integrated coastal zone management in France*, Ocean & Coastal Management, 57: 62-78.

Dupuy S., Barbe E., Balestrat M., 2012. *An Object-Based Image Analysis Method for Monitoring Land Conversion by Artificial Sprawl Use of RapidEye and IRS Data*. Remote Sensing, 4: 404-423.

Henocque, Y., 2003. *Development of process indicators for coastal zone management assessment in France*. Ocean & Coastal Management, 46(3): 363-379.

Lang S., 2008 in Blaschke T., Lang S., Hay G., 2008. *Object-Based Images Analysis, Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*, 17: 817.

Meur-Férec, C., 2007. *La GIZC à l'épreuve du terrain : premiers enseignements d'une expérience française*. Développement durable et territoire [online].

Available:<http://developpementdurable.revues.org/document4471.html> (accessed 15.05.14)

Peña-Barragán J., Ngugi M.K., Plant R.E., Six J., 2011. *Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology*. Remote Sensing of Environment, 115: 1301-1316.

Radoux J., Bogaert P., Fasbender D., Defourny P., 2011. *Thematic accuracy assessment of geographic object-based image classification*. International Journal of Geographical Information Science, 25(6): 895-91.

Sparfel L., Gourmelon F., Le Berre I., 2008. *Approche orientée-objet de l'occupation des sols en zone côtière*. Revue Télédétection, 8(4) : 237-256.

Sparfel L., 2011. *Etude des changements d'occupation des sols dans la zone côtière à partir de données hétérogènes : application au Pays de Brest*. Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale, Ecole Doctorale des Sciences de la Mer.

Van der Sande C.J., De Jong S.M., De Roo A.P.J., 2003. *A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment*. International Journal of applied earth observation and geoinformation, 4: 217-229.