APPROCHE ORIENTÉE-OBJET DE L'OCCUPATION DES SOLS EN ZONE CÔTIÈRE

Lénaig Sparfel, Françoise Gourmelon, Iwan Le Berre

Laboratoire Géomer (UMR 6554 CNRS-LETG
Institut Universitaire Européen de la Mer
Université de Bretagne Occidentale
Technopôle Brest-Iroise,
29280 Plouzané cedex, France
lenaig.sparfel@univ-brest.fr, francoise.gourmelon@univ-brest.fr, iwan.leberre@univ-brest. fr

Soumis le 30 mai 2008, accepté le 11 septembre 2008- © *Revue Télédétection*, 2008, vol. 8, n° 4, p. 237-256

Résumé

L'objectif de cette contribution est de présenter les potentialités de la classification orientée-objet d'une image SPOT 5 à 10 mètres de résolution spatiale pour la création d'une couche d'information décrivant l'occupation des sols en zone côtière. Une typologie spécifique en trois niveaux scalaires est mise en place pour le traitement de l'image. La méthode d'extraction de l'information est fondée sur deux étapes principales. L'image est tout d'abord segmentée en régions (segmentation multi-résolution) afin d'obtenir des objets significatifs. Puis des données spectrales, spatiales et contextuelles sur ces objets sont recueillies afin d'orienter la classification en utilisant des fonctions statistiques d'appartenance. A l'issue du traitement, les résultats sont intégrés sous la forme d'une couche vectorielle dans une base d'information géographique pilotée par un SIG. La qualité de la classification est estimée à l'aide de matrices de confusion. Pour l'image entière, la performance globale de la classification est de 88,5 % au niveau le plus grossier, de 78,7 % au niveau intermédiaire et de 75,1 % au niveau le plus fin, avec des résultats hétérogènes selon les classes. Par rapport à une approche par photo-interprétation, la méthode fournit dans des délais relativement courts des informations cohérentes dont la généalogie et la qualité sont décrites. Sur la zone côtière étudiée (Pays de Brest), la démarche procure un état actualisé de l'occupation des sols selon une typologie à trois niveaux, cohérente par rapport aux inventaires de référence (Corine Land Cover et l'Inventaire Permanent du Littoral).

Mots-clés : classification orientée-objet, occupation des sols, SPOT 5, zone côtière.

OBJECT-ORIENTED APPROACH OF COASTAL LAND COVER

Abstract

This paper deals with the use of an object-oriented classification approach for the identification of land cover types in a coastal area from a 10 m SPOT 5 image. A three level land cover typology is designed. Significant image objects are delineated using a multi-resolution segmentation algorithm. Decision rules using spectral, spatial and contextual information are developed to classify these image objects. The results are exported as a shapefile in a GIS software, and some attributes are modified to correspond to the three level typology. The classification accuracy is estimated with confusion matrix using ground data and aerial orthoimages. The overall classification accuracy for the whole SPOT image is 88,5 % at level 1, 78,7 % at level 2 and 75,1 % at level 3. Despite confusions for wetlands, some agricultural lands and coniferous forests, the method shows high performance for coastal objects and for built-up surfaces. Contrary to photo interpretation this method provides quite quickly quality-confirmed data created by transferable decision rules. An updated three spatial levels land cover database on the studied coastal area is finally produced. This database is coherent with other existing land cover data such as Corine Land Cover and Inventaire Permanent du Littoral.

Keywords : object-oriented classification, land cover, coastal area, SPOT 5.

1. INTRODUCTION

Les estimations réalisées en 2006 par le CETE Méditerranée montraient que près de 10 % de la population française (métropole) vivait de manière permanente dans les communes littorales dont l'emprise spatiale ne représente par ailleurs que 4 % du territoire. Cette pression sur un espace naturellement restreint se traduit par de multiples enjeux environnementaux, économiques et humains. Ils s'expriment notamment par des conflits d'usages et d'accès aux ressources, difficilement gérables du fait d'une approche le plus souvent sectorielle des problèmes et d'une juxtaposition de statuts et de compétences administratives et juridiques sur le littoral (Bersani *et al.*, 2006).

Pourtant, en raison de sa richesse et de sa vulnérabilité, la zone côtière fait l'objet depuis les années 1970 d'une attention croissante qui s'exprime globalement par le concept international de Gestion Intégrée de la Zone Côtière (GIZC) (Cicin-Sain & Knecht, 1998). Sa mise en œuvre implique la mise en commun d'outils et de connaissances sur le territoire concerné et ses caractéristiques, sur ses acteurs et ses enjeux. Dans ce contexte, l'analyse des changements d'occupation des sols contribue à fournir des éléments pertinents pour l'établissement de diagnostics et l'élaboration de prospectives environnementales. A titre d'exemple, on peut citer plusieurs initiatives engagées dans cette voie et à différentes échelles : européenne avec le projet Eurosion mené à l'initiative de la direction générale de l'environnement de la Commission européenne (http://www.eurosion.org/), nationale avec l'observatoire du littoral (http://www.littoral.ifen.fr/) qui offrent l'accès aux données de CORINE Land Cover qui décrit l'évolution de l'occupation du sol de 28 pays européens depuis 1990, et régionale avec le projet (en cours) d'actualisation de l'Inventaire Permanent du LIttoral (IPLI) à l'échelle de la Bretagne par la Direction régionale de l'équipement suivant l'exemple de la BDOCS produite par photo-interprétation en 2004 par la DRE Pays-de-Loire (http://www.pays-de-la-loire.equipement.gouv.fr/).

Les limites des méthodes de photo-interprétation pour la production d'une donnée d'occupation des sols à grande échelle et sur des territoires étendus sont bien connues : délais de traitement, hétérogénéité de l'interprétation, capacité de mise à jour décennales qui les rend peu opérationnelles dans un contexte de suivi à court terme (Le Berre *et al.*, 2005). Pourtant, la production de l'IPLI, comme celle de CORINE Land Cover s'appuient sur de telles méthodes, appliquées à des photographies aériennes (IPLI) ou bien à des images satellitaires (Spot et Landsat pour CORINE Land Cover). Cela explique notamment que l'IPLI, à l'origine conçu comme un inventaire permanent n'ait pu tenir cet engagement, ou seulement ponctuellement. Une seconde cartographie datant de 1982 a en effet été produite localement et, plus récemment, certaines Directions régionales de l'Equipement se sont engagées dans son actualisation dans le cadre des projets de BDOCS (Alsace, Pays-de-Loire, Bretagne…). Du côté de CORINE Land Cover, deux cartographies sont désormais disponibles (1990 et 2000), mais leur échelle (1/100 000) apparaît peu adaptée aux besoins des gestionnaires et des collectivités sur le terrain.

Considérant, de plus, les limites liées à la photographie aérienne (variations radiométriques, missions décennales ou quinquennales), de précédents travaux ayant pour objectif la cartographie de la zone côtière (trait de côte, occupation des sols et de l'estran) (Le Berre *et al.*, 2005) et plus spécifiquement l'inventaire de la végétation insulaire (Gourmelon *et al.*, 2005) se sont intéressés aux apports de l'imagerie SPOT 5 haute résolution. En utilisant différentes méthodes (photo-interprétation, traitement d'image et analyse spatiale), elles ont montré non seulement l'intérêt et les limites de SPOT 5 par rapport à l'imagerie aérienne mais aussi les limites des méthodes de classification spectrale. Ce constat converge avec celui dressé par de nombreux auteurs, relatif aux méthodes d'extraction de l'information des images à haute et très haute résolution. En effet plus la résolution spatiale est fine, plus l'hétérogénéité des objets à extraire croît, rendant les méthodes spectrales de moins en moins performantes (Blaschke & Strobl, 2001 ; Townshend *et al.*, 2000). Pour palier cette inadaptation des méthodes classiques aux images à haute résolution, des approches « orientées-objets » se sont développées depuis une dizaine d'années en utilisant une gamme de critères plus large (spectraux, spatiaux, contextuels…). Appliquées à différents types d'image, elles fournissent *a priori* de meilleurs résultats que les méthodes uniquement basées sur les valeurs spectrales (Harken & Sugumaran, 2005 ; Kamagata *et al.*, 2005 ; Rego & Koch, 2003 ; Willhauck, 2000).

Néanmoins l'approche orientée-objet implique une connaissance experte de l'information à extraire, ce qui explique probablement son utilisation « sectorielle ». En effet la plupart des recherches qui l'utilisent concerne des types d'objets précis tels que l'urbain ou la végétation (Chubey *et al.*, 2006 ; Flanders *et al.*, 2003 ; Hájek, 2005). Elle est également utilisée pour mettre en évidence des changements spatiaux (Desclée *et al.*, 2006 ; McDermid *et al.*, 2003) tels que la croissance urbaine (Aguejdad *et al.*, 2006 ; Puissant & Weber, 2004). Les études visant à produire une information exhaustive concernant l'occupation des sols sont peu nombreuses (Corbane *et al.*, 2004, Lewinski, 2005 ; Lucas *et al.*, 2003, van der Sande *et al.*, 2003), et à notre connaissance aucune d'entre elles ne concerne un territoire aussi complexe que la zone côtière.

Dans ce contexte, notre recherche a pour objectif d'établir un bilan des dynamiques d'occupation des sols sur une période significative d'environ 30 ans, à l'échelle d'un territoire littoral en utilisant des données géospatiales de sources et de natures diverses. Cette contribution présente, une analyse critique des résultats acquis par une méthode de classification orientée-objet employée pour extraire d'une image SPOT 5 l'occupation des sols en zone côtière.

2. SITE D'ETUDE ET DONNEES UTILISEES

2.1. Le Pays de Brest

L'application présentée concerne le Pays de Brest, situé à l'extrémité occidentale de la péninsule bretonne et rassemblant 80 communes (soit 7 établissements publics de coopération intercommunale) autour de l'agglomération brestoise (fig. 1). Sa localisation, sa configuration (3 700 km_ pour un linéaire côtier de 350 km) et la présence de pratiquement tout le panel des activités possibles sur le littoral, confèrent à ce pays une dimension maritime indéniable. Les enjeux liés sont considérables, qu'ils soient économiques (activités traditionnelles – agriculture, pêche – en crise, forte croissance du tourisme, émergence de nouvelles activités – aquaculture, production d'énergie, etc. – sans oublier, à Brest, la recherche océanographique et la Marine nationale), sociaux (progression démographique et densification de l'urbanisation du littoral, évolution de la structure sociale) ou environnementaux avec notamment la création récente du Parc naturel marin de l'Iroise. Conscient de ces enjeux, le Pays de Brest s'est engagé dans une démarche de GIZC dans le cadre d'un projet-pilote qui s'inscrit dans les objectifs de la charte des espaces côtiers de Bretagne (http://www.labretagneetlamer.fr/?q=charte). Ce projet fait également partie des 25 retenus par la DATAR dans le cadre de l'appel d'offre « pour un développement équilibré des territoires littoraux par une gestion intégrée des zones côtières (GIZC) » lancé en 2005.

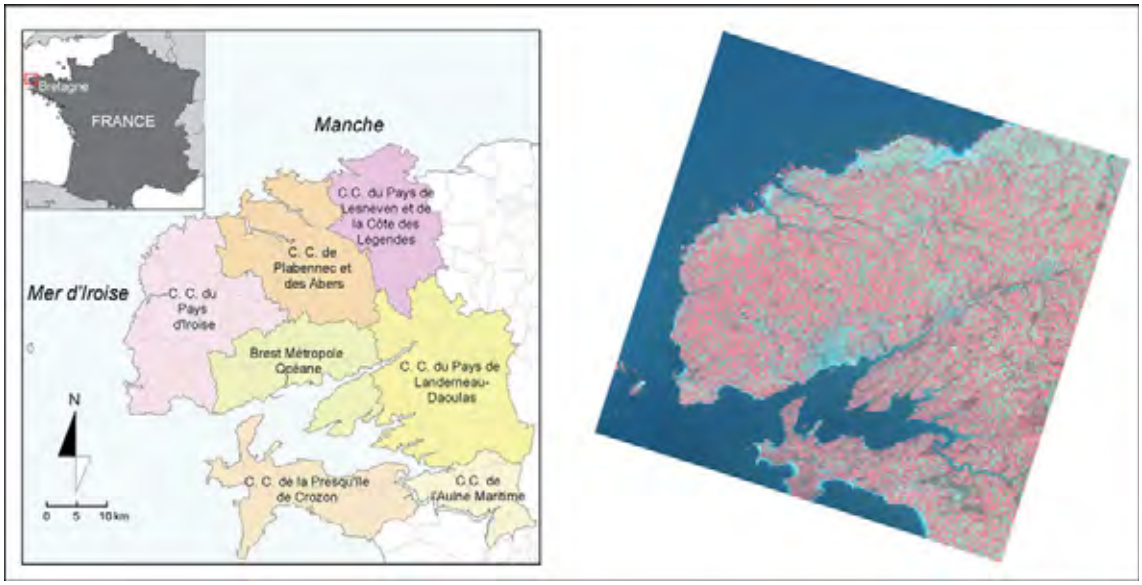


Figure 1 : Localisation du Pays de Brest et image HRG-XS de SPOT 5 à 10 m de résolution utilisée pour l'étude (Spot Image).
Figure 1*: Location of the Pays de Brest and HRG-XS SPOT 5 scene study area.*

2.2. Image SPOT 5

L'image exploitée (fig. 1) dans le cadre de cette étude a été acquise le 17 avril 2003 sur programmation dans le cadre de l'appel d'offre « CNES-IFEN » relatif au suivi du littoral à grande échelle par imagerie SPOT 5 (http://www.littoral.ifen.fr/Travail-Cnes-Ifen.74.0.html). Cette image multibande à 10 m de résolution spatiale couvre quasiment l'ensemble du pays de Brest, à l'exception de l'île Molène, des îlots de son archipel et du Cap de la Chèvre (pointe sud de la presqu'île de Crozon).

2.3. Orthoimages

Deux jeux d'orthophotographies, acquises le 8 septembre 2004 en couleur naturelle et en proche infrarouge couleur, sont mis à notre disposition par la communauté urbaine brestoise (Brest Métropole Océane –BMO). Les images en couleurs naturelles sont en libre consultation et téléchargement à l'adresse suivante : http://www.brest-metropole-oceane.fr/vueduciel/carroyage-orthophoto.html. Comptant chacun 400 dalles, ces jeux d'orthophotographies sont disponibles à 20 cm de résolution spatiale et en projection Lambert 1 uniquement sur le territoire de BMO. Ces données servent à la saisie de 150 points de contrôle environ destinés à la validation de la classification.

2.4. Données de terrain

Sur le territoire concerné par les six autres communautés de commune, 920 points de contrôle sont collectés sur le terrain afin d'estimer la performance globale de la classification. Cette collecte est effectuée préalablement au traitement de l'image, à raison de 20 à 50 points par classe au niveau le plus fin de la typologie mise en place pour le

traitement de l'image Les points sont définis par un échantillonnage au hasard, établi à partir d'une grille régulière de points espacés de 2 km couvrant l'ensemble de l'image et complété par un échantillonnage stratifié pour les classes sous-estimées lors de l'échantillonnage au hasard (Girard & Girard, 2004). Les coordonnées géographiques de chaque point permettent de les localiser sur le terrain avec une marge d'erreur comprise entre 5 et 8m grâce à un GPS de type eTrex-Garmin.

2.5. Base de données Carthage

La base de données sur la CARtographie THématique des AGences de l'Eau est utilisée au cours du traitement pour la création d'une couche thématique « eau » permettant une meilleure classification de la classe « prairie humide ». La BD Carthage est un référentiel national hydrographique diffusé par Sandre (Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau : http://sandre.eaufrance.fr/) qui est chargé en particulier du Système d'Information sur l'Eau (SIE) et qui a pour missions de rassembler et de diffuser tous les référentiels sur l'eau en France. La BD Carthage est élaborée par les Agences de l'eau, sur la base de la BDCarto® de l'IGN qui fourni un référentiel vectoriel exploitable au 1/50 000, enrichi par de l'information thématique et spatiale concernant l'hydrographie.

3. DEMARCHE METHODOLOGIQUE

3.1 Principes méthodologiques généraux

Contrairement à l'approche classique « pixel à pixel », la démarche orientée-objet ne traite pas le pixel de manière isolée, mais dans son contexte en regroupant des pixels au sein d'objets interprétés en se basant sur leurs valeurs spectrales, leur taille, leur forme, leur contexte (Benz *et al*., 2004). Dans notre étude, le logiciel utilisé pour la classification orientée-objet de l'image SPOT 5 est Definiens Professional v.5 (http://www.definiens.com, pour plus d'informations, se reporter aux Definiens Professional 5 User Guide et Definiens Professional 5 Reference Book, 2006). Il impose un traitement en trois principales étapes. Après l'importation des données vectorielles et matricielles prétraitées (corrections géométriques ou radiométriques, géoréférencement) au sein d'un projet, l'image fait l'objet d'une segmentation et d'une classification.

3.1.1. Importation des données

La première étape a pour but de préparer les données mobilisées lors de la classification. Le logiciel Definiens prend en compte le géoréférencement des données et peut gérer des données spectrales du type orthophotographies ou images satellitaires, mais également des couches thématiques en format vecteur et raster porteuses d'informations complémentaires pour aider à la classification.

3.1.2. Segmentation de l'image

Cette étape consiste à effectuer une segmentation de l'image pour générer des objets, créés par une technique ascendante de croissance de région. Au cours des itérations, les pixels sont progressivement fusionnés à leurs voisins pour créer des objets de plus en plus grands, en respectant un seuil d'hétérogénéité prédéfini. Quand ce seuil est atteint, le processus de fusion s'arrête. La procédure permet d'aboutir à la production d'objets adjacents de taille et de forme similaires bien répartis dans l'espace. Le seuil d'hétérogénéité est calculé en fonction de plusieurs paramètres définis par l'utilisateur tels que la couleur, qui renvoie à la valeur spectrale des objets, et la forme, qui correspond à la texture des objets auxquels on peut attribuer un poids relatif. Le critère de forme se subdivise en deux autres critères : le lissage, qui permet d'optimiser le résultat de la segmentation en fonction de la bordure lisse des objets, et la compacité des objets. Le poids attribué à ces critères est le paramètre d'ajustement qui permet de réaliser la segmentation la plus satisfaisante possible. Le critère de taille permet au processus de segmentation de s'arrêter. Plus ce paramètre est élevé, plus les objets sont grands. On peut enfin faire varier le poids des différents canaux, spectraux ou thématiques, au sein de la segmentation en fonction de leur importance ou pertinence pour le résultat final (Benz *et al*., 2004).

Le logiciel Definiens propose quatre types d'algorithmes pour la segmentation. Notre choix s'est porté sur la segmentation multi-résolution qui autorise d'une part une analyse multi-échelle de l'image et d'autre part l'utilisation de données de source et de nature diverses (Baatz & Schäpe, 2000). La notion d'analyse multi-échelle renvoie à la démarche de photo-interprétation. La segmentation multi-résolution permet de transcrire les dépendances hiérarchiques que l'on peut observer dans le monde réel, et de constituer une information supplémentaire pour l'identification d'objets et la classification d'une image. Après avoir effectué une première segmentation de l'image, l'utilisateur peut ensuite créer différents niveaux qui s'empilent les uns sur les autres, en morcelant ou fusionnant les objets issus de la segmentation initiale. Ainsi, une image peut être segmentée plus ou moins finement ; chaque niveau de segmentation s'emboîtant avec le précédent et le suivant. Les objets créés à chaque niveau sont reliés entre eux par un réseau hiérarchique permettant à l'utilisateur d'exploiter les relations entre les différents niveaux pour optimiser les procédures de classification et les fonctions d'appartenance. En effet, chaque objet créé « connaît » son voisinage, son contexte, ses « sous-objets » et « super-objets » (fig. 2). La segmentation multi-résolution permet également de traiter simultanément des données de source, de nature et de résolution différentes.

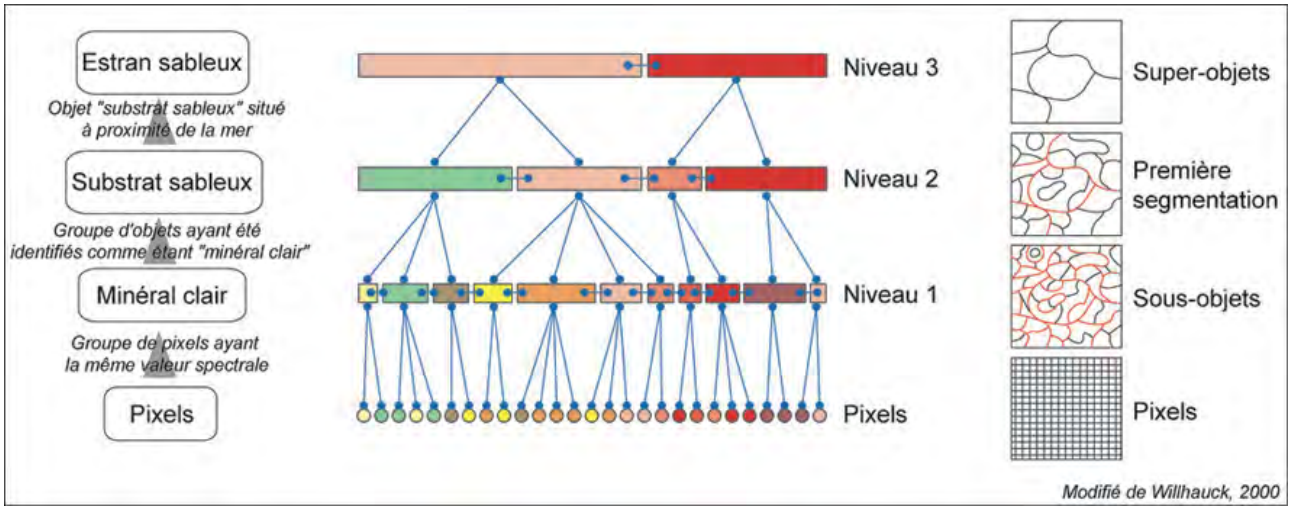


Figure 2 : Principes de la segmentation multi-résolution (modifié de Willhauck, 2000).
Figure 2 : *Multi-resolution segmentation rules (adapted from Willhauck, 2000).*

3.1.3. Classification de l'image

Le logiciel Definiens propose deux types d'approches pour la classification des objets. La méthode classique du « plus proche voisin » se base sur un algorithme de maximum de vraisemblance et est fondée sur l'acquisition (saisie ou importation) d'objets d'entraînement par l'utilisateur. La seconde méthode fait appel à des fonctions d'appartenance. Les fonctions statistiques d'appartenance peuvent prendre en compte plusieurs paramètres tels que la valeur spectrale des objets (descripteurs statistiques fondés sur la somme de la valeur spectrale des pixels composant cet objet), leur forme, leur taille, leur texture, leur distance à un autre objet... Les fonctions d'appartenance sont définies en utilisant les potentialités de la logique floue. Contrairement à la logique booléenne qui raisonne en termes de « vrai » ou « faux » (0 ou 1) (un objet appartient à une classe unique), la logique floue utilise l'ensemble des valeurs comprises entre 0 et 1 où 0 est associé à « faux » et 1 à « vrai ». Les valeurs entre 0 et 1 représentent la transition entre le totalement faux et le totalement vrai. En représentant l'incertitude, la logique floue permet d'appréhender le monde réel (Jensen, 2005).

Approche heuristique par système expert (Robin, 1998), le processus de classification est ensuite basé sur la formulation d'un certain nombre de règles de connaissance définies par l'utilisateur pour chaque type d'objets à classer. Plusieurs règles de connaissances peuvent être combinées pour définir la règle de classification d'un objet donné. Cette règle de classification peut comporter des règles de connaissances correspondant soit à la méthode « plus proches voisins », soit à la méthode des « fonctions d'appartenance », soit à un mélange des deux. Afin de transcrire au mieux la complexité des relations entre les objets à extraire de l'image, la classification est basée sur la construction d'un réseau hiérarchique d'objets / de classes. La connaissance est structurée à différents « niveaux ». La hiérarchie des objets transcrit tout d'abord l'emboîtement de ces derniers en fonction des différents niveaux de segmentation. Le principe de classes « parents » et « enfants » permet en outre un héritage de la structure physique, c'est-à-dire des règles de connaissance, entre plusieurs classes. Enfin le principe de « groupes » autorise un regroupement sémantique de classes (fig. 3).

Les objets peuvent être classés en fonction de leurs relations avec des objets voisins, ou bien situés au-dessus ou au dessous d'eux. Ces relations sont traduites par les fonctions d'appartenance. Un objet peut par exemple être classé en « urbain » s'il se trouve à une distance minimale d'autres objets classés comme « urbains ». Dans ce cas, la procédure de classification prend en compte ces relations entre objets et se déroule avec un certain nombre d'itérations paramétrables par l'utilisateur.

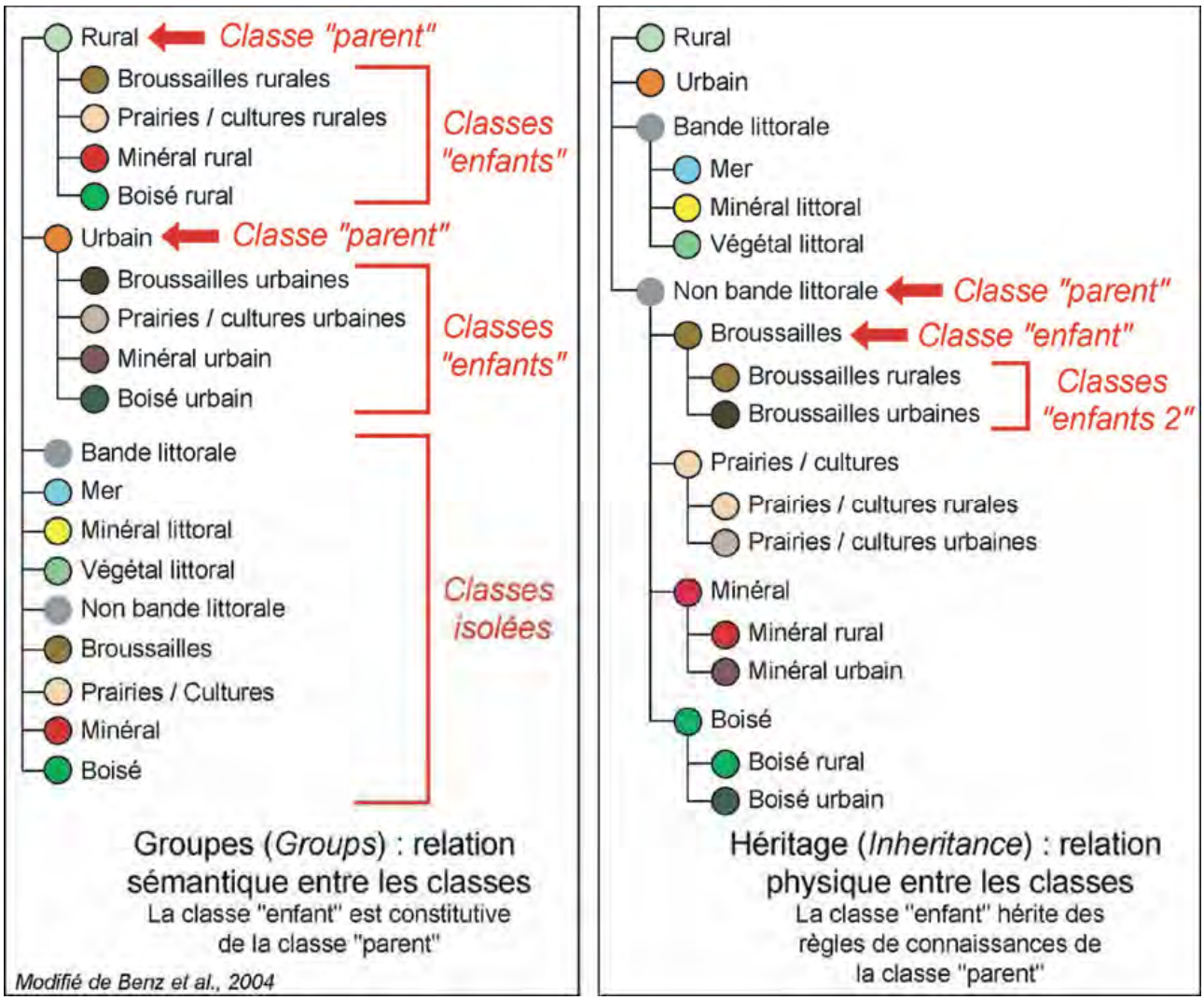


Figure 3 : Définition des classes « parents » et « enfants » en fonction de la hiérarchie et des groupes (modifié de Benz et al., 2004).
Figure 3 :*« Parent » and « child » classes definitions depending on inheritance and groups.*

3.2. Méthode mise en œuvre

Sur la base de ces principes, la production d'une couche d'information relative à l'occupation des sols par classification orientée-objet s'est déroulée en quatre étapes successives : élaboration de la typologie, traitement de l'image, intégration dans une base d'information géographique et validation des résultats (fig. 4).

3.2.1. Typologie

La première étape de la démarche consiste à élaborer une typologie de l'occupation des sols au 1/25 000ème, échelle adaptée à la description de l'occupation des sols sur un secteur de la taille du Pays de Brest. Cette typologie sert de cadre à la classification de l'image SPOT 5. Elle tient compte des typologies en usage : Corine Land Cover (CLC) 2000 et le volet « occupation et usage des sols » de l'Inventaire Permanent du LIttoral (IPLI). Produite dans le cadre du programme européen CORINE, Corine Land Cover est une base de données cartographique servant de référence pour l'ensemble de l'Europe. Elle décrit l'occupation et l'utilisation des sols pour 29 états européens à deux dates : 1990 et 2000 Elle est fondée sur une typologie à trois niveaux autorisant une description du territoire à plusieurs échelles en fonction des besoins. Le niveau le plus fin décrit le territoire au 1/100 000 en 44 classes, dont 7 concernent plus spécifiquement la zone côtière. Le niveau intermédiaire utilisable au 1/500 000 et 1/1 000 000 comprend 15 classes, et le niveau le plus grossier est constitué de 5 classes décrivant les grandes catégories d'occupation des sols repérables à l'échelle de la planète (IFEN, http://www.ifen.fr/donIndic/Donnees/corine/presentation.htm). L'IPLI, base de données plus ancienne mise en place en 1977, décrit spécifiquement la zone côtière de la France métropolitaine au 1/100 000 et 1/25 000 sur une distance moyenne de 5 à 10 kilomètres à l'intérieur des terres et de 5 kilomètres en mer par rapport au trait de côte. La donnée avait vocation à être réactualisée tous les cinq ans, mais le projet s'est limité à la production de deux couches d'information : un état initial en 1977 et une actualisation partielle des données en 1982 (Géolittoral, http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr/article.php3?id_article=9). Sur les 43 classes que comptent l'IPLI, 29 d'entre elles décrivent plus spécifiquement l'occupation des sols.

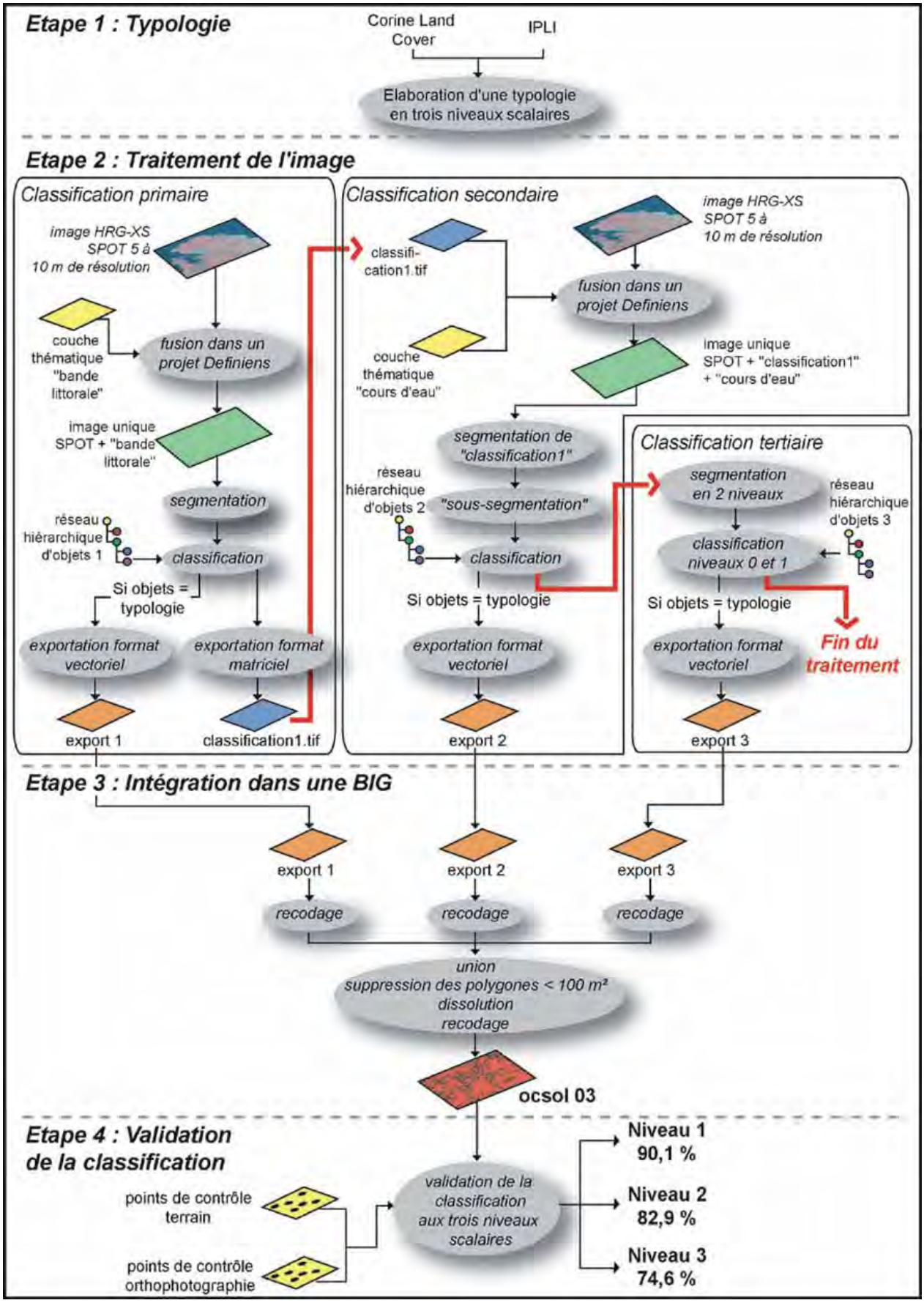


Figure 4 : Organigramme méthodologique.
Figure 4 : *Organization chart.*

De manière à tester l'approche à trois niveaux scalaires, la nomenclature hiérarchisée de Corine Land Cover est conservée. Le niveau 1 au 1/500 000 décrit sommairement l'occupation des sols en 5 classes. Le niveau 2 au 1/100 000 en 14 classes correspond du point de vue scalaire au niveau 3 de Corine Land Cover. Le niveau 3 au 1/25 000 en 22 classes correspond au niveau de description de l'IPLI. De manière à permettre des comparaisons ultérieures, les correspondances entre cette nouvelle typologie et les données existantes (Corine Land Cover et IPLI) sont conservées. La typologie définitive est élaborée à la suite de tests de classification réalisés sur des extraits de l'image SPOT 5. Ont été retenues des classes pertinentes pour l'étude des changements d'occupation des sols en zone côtière et ne nécessitant pas un temps de traitement trop important. Au niveau le plus fin de la typologie, huit classes décrivent les zones artificialisées, deux classes les terres agricoles, six classes les forêts et milieux naturels et semi-naturels, quatre classes la bande littorale et deux classes les surfaces en eau (tableau 1).

Tableau 1 : Typologie utilisée pour la classification de l'image SPOT 5.
Tableau 1 : *SPOT 5 imagery land cover classification scheme.*

Niveau 1 1/500 000	Niveau 2 1/100 000	Niveau 3 1/25 000	Corresp. CLC 00	Corresp. IPLI
1 - Zones artificialisées	11 - Habitat	111 - Tissu urbain dense	111	11
		112 - Tissu urbain discontinu	112	12
		113 - Tissu semi urbain (bourg, hameau...)	112	10/12/13
	12 - Zone industrielle et commerciale	121 - Zone industrielle et commerciale	121	15
	13 - Infrastructures, grands équipements	131 - Infrastructures, grands équipements	122/123/124	16
	14 - Equipements sportifs et de loisirs	141 - Equipements sportifs	141/142	16
		142 - Equipements de loisirs		18
	15 - Carrières, décharges, chantiers	151 - Carrières, décharges, chantiers	131/132/133	16
2 - Terres agricoles	21 - Terres agricoles	211 - Terres cultivées, prairies	212/242/231	20/21/22
		212 - Cultures hors-sol et sous serres	211/242	21
3 - Forêts et milieux naturels et semi-naturels	31 - Forêts et plantations	311 - Forêt de résineux	311	29
		312 - Forêt de feuillus ou mixte	312/313	29
	32 - Lande	321 - Lande	243/322	26/28
	33 - Broussailles	331 - Broussailles		26
	34 - Zones humides	341 - Zones humides intérieures	411/412	41
		342 - Prairies humides	231	23
4 - Bande littorale	41 - Végétation littorale et marine	411 - Végétation littorale rase	331/333	28/100
		412 - Algues		
	42 - Espaces littoraux minéralisés	421 - Estran sableux / vaseux	331/421/423	32/40/41
		422 - Falaises, roches nues	332	30
5 - Surfaces en eau	51 - Surfaces en eau	511 - Mer	523	40/43
		512 - Eaux continentales	511/512/513	40/41

Le choix d'établir une typologie originale plutôt que d'utiliser les typologies CLC ou IPLI résulte du constat suivant. Certaines classes de l'IPLI souffrent d'une définition trop floue, ou sont trop directement liées à une démarche de photo-interprétation. C'est le cas par exemple de la classe « tissu mixte » qui correspond à un « mélange hétérogène de différents types d'habitats, d'industries et de commerces », ou encore de la classe « espaces en mutation » décrite comme des « espaces dont l'aspect dégradé laisse présager d'un changement d'affectation (terrain vague, friches industrielles, carrières ou décharges abandonnées) ». Les espaces urbanisés sont très détaillés, avec des distinctions difficiles à effectuer par traitement d'image sans l'apport de données complémentaires. C'est par exemple le cas de la classe « habitat touristique spécifique ». Quant à la typologie CLC, elle est peu adaptée au traitement de l'image du fait que certaines classes sont trop agrégées tandis que d'autres sont trop détaillées. Ainsi les classes CLC décrivant les densités d'habitats sont limitées au « tissu urbain continu » et au « tissu urbain discontinu », ce qui est insuffisant à l'échelle du territoire étudié. A l'inverse, les classes correspondant à la végétation et aux structures agricoles de CLC sont trop détaillées pour les besoins de l'étude qui n'a pas vocation à traiter de la végétation en particulier, mais à décrire l'occupation des sols à l'échelle d'un territoire.

3.2.2 - Traitement de l'image

Le traitement de l'image s'appuie sur trois étapes successives : la production d'informations en appui à la classification, la segmentation et la classification.

Production d'informations en appui à la classification

Une couche thématique « bande littorale » est utilisée pour améliorer les performances de la classification après que plusieurs tests aient montré d'importantes confusions entre les objets « littoraux » et certains objets « terrestres », et ce même après l'utilisation d'une fonction statistique d'appartenance déterminant une distance à la classe « mer ». Cette couche thématique, numérisée à l'écran à partir de l'image SPOT 5 englobe les objets de cette interface tels que la mer, la végétation littorale rase / végétation dunaire, les estrans sableux et vaseux, les falaises et rochers, les algues et les broussailles littorales. La donnée produite est importée sous forme de couche thématique au sein du projet et fusionné à l'image SPOT 5, permettant l'obtention d'un supplément d'information pour la classification de l'image.

De la même façon, une couche thématique « cours d'eau » est intégrée au projet. Elle est extraite de la base de données Carthage fournie par l'IGN. Elle permet d'augmenter les performances de classification des objets « prairies humides » en intégrant une fonction statistique d'appartenance fondée sur la distance à un cours d'eau.

Segmentation

Considérant les nombreux avantages de la segmentation multi-résolution sur les autres méthodes (Blaschke & Strobl, 2001, Schiewe *et al*., 2001), seul cet algorithme est employé au cours du traitement de l'image SPOT 5. Les différents paramètres de segmentation utilisés sont formalisés de manière empirique à l'issue d'une longue phase de tests sur des extraits d'image et de comparaisons des résultats obtenus.

En ce qui concerne la construction du réseau hiérarchique de classes, Puissant & Weber (2004) ont démontré les avantages d'une approche déductive par rapport à une approche linéaire. L'approche linéaire est définie par une combinaison linéaire de règles spécifiques, chaque ensemble de règles permettant d'identifier un type d'objet. L'approche déductive consiste quant à elle à effectuer une succession de masques en classant d'abord des objets aisément identifiables comme l'eau, et en créant ensuite une seconde classe « non eau » composée de tous les objets ne correspondant pas aux règles de connaissance de la classe « eau ». Les objets classés ensuite sont alors définis comme des « enfants » de la classe « non eau », et héritent ainsi de ses caractéristiques physiques. L'ensemble du réseau hiérarchique de classes est donc construit sur une succession d'exclusions, qui a pour effet d'augmenter la discrimination entre les objets et les performances de la classification. Les règles de connaissance implémentées au sein de chaque classe sont uniquement basées sur des fonctions statistiques d'appartenance. La méthode des plus proches voisins fondée sur la saisie d'objets d'entraînement est volontairement écartée dans le cadre de cette étude afin de permettre une reproductibilité optimale de la méthode (Chubey *et al*., 2006 ; Puissant *et al*., 2006). Le tableau 2 recense l'ensemble des fonctions d'appartenance utilisé pour la classification de l'image.

Classification de l'image

Au vu d'une part de l'hétérogénéité et de la taille de l'image et, d'autre part, de la complexité des objets à extraire, l'image SPOT 5 est soumise à trois classifications successives. La première classification « primaire » permet non seulement d'identifier un maximum d'objets simples, mais aussi de préparer l'identification d'objets plus complexes. La classification « secondaire » sert à identifier les objets non classés lors de la classification primaire, à l'exception des objets urbains et des bâtiments dont le traitement fait l'objet d'une classification « tertiaire ». Précisons que ces trois classifications sont totalement indépendantes des trois niveaux hiérarchiques de la typologie.

(1) Classification primaire

L'image SPOT 5 et la couche thématique « bande littorale » sont fusionnées au sein d'un projet pour ne former qu'une image unique. Afin d'effectuer la première classification, cette image est segmentée en utilisant les critères décrits dans le tableau 3. En raison de la grande diversité des objets à identifier, un poids égal est attribué aux trois bandes de l'image SPOT 5 (vert, rouge et proche infrarouge).

Un réseau hiérarchique d'objets est mis en place pour la classification primaire. Deux groupes d'objets sont créés : « rural » et « urbain ». La distance à ces groupes constituant une règle de classification pour certains objets, la classification prend en compte les relations entre objets et est donc effectuée avec un certain nombre d'itérations (cinq). Les objets sont ensuite fusionnés par classe. A l'issue de la classification, les objets classés correspondant à une classe de la typologie sont exportés au format vectoriel (.shp) (export 1). La totalité de cette première classification est enfin exportée au format matriciel (.tif) sous le nom de « classification1 ». Cette image est créée dans le but d'apporter un complément d'information sous forme de couche thématique lors de la classification secondaire.

(2) Classification secondaire

Le but de ce second traitement est d'identifier des objets « ruraux » complexes qui n'ont pu être classés de manière satisfaisante lors de la classification primaire. L'image « classification1 » est importée dans un nouveau projet sous forme de couche thématique. Elle est combinée à l'image SPOT 5 et à la couche thématique « cours d'eau » issue de la BD Carthage. Une première segmentation est effectuée en utilisant uniquement la couche thématique « classification1 » pour retrouver les contours des objets classés et fusionnés lors de la classification primaire. En utilisant la segmentation multi-résolution, certains types d'objets sont alors sous-segmentés en fonction de la classe à laquelle ils appartiennent

(tableau 3). Le poids attribué aux trois bandes de l'image SPOT 5 varie en fonction de leur intérêt pour l'identification des objets. Un nouveau réseau hiérarchique est proposé pour classer le maximum d'objets « ruraux ». Ces derniers sont ensuite exportés au format vectoriel (export 2).

Tableau 2 : Fonctions d'appartenance utilisées pour le traitement de l'image.
Tableau 2 : *Membership functions used for the classification.*

Type de critère	Fonction	Signification
Critères spectraux	Mean Layer 1, 2, 3, 4	Valeur moyenne des pixels d'un objet pour un canal de l'image.
	Brightness	Somme de la valeur moyenne des canaux contenant une information spectrale divisée par leur quantité calculée pour un objet (moyenne des moyennes spectrales d'un objet).
	Ratio Layer 2, 3	Le ratio d'un canal pour un objet indique la contribution de ce canal à la brillance totale de l'objet.
	Mean difference to neighbors objects	Pour chaque objet voisin, la différence moyenne du canal concerné est calculé et pondéré en fonction de la longueur de la bordure existant entre les objets. La notion de voisinage (neighborhood) peut être paramétrée : elle peut concerner uniquement les voisins immédiats ou alors les objets d'une certaine surface autour de l'objet pour lequel le calcul est effectué.
Critères de forme	Area	La surface d'un objet correspond au nombre de pixels que le compose. Dans le cas d'une image géoréférencée, la surface de l'objet correspond à la surface réelle du pixel multipliée par le nombre de pixel composant l'objet.
	Density	La densité correspond à la surface couverte par un objet divisée par son rayon.
	Rectangular fit	La première étape dans le calcul de ce critère consiste à créer un rectangle ayant la même surface que l'objet considéré. Les proportions de l'objet en terme de largeur et hauteur sont prises en compte. La surface de l'objet non contenue dans le rectangle en ensuite comparée à la surface contenue dans le rectangle.
Critères de texture	GLCM Homogeneity	La matrice de co-occurence du niveau de gris (gray level co(occurrence matrix, GLCM) est un résumé de la structure d'une image. La structure est l'organisation des éléments texturaux les uns par rapport aux autres c'est-àdire les relations spatiales qui existent entre eux dans une image. Les calculs des critères de texture du logiciel Definiens sont basés sur les travaux de Haralick.
Critères topologiques	Relative border to ...	La bordure relative à ... fait référence à la longueur de la bordure partagée avec avec les objets voisins. Ce critère décrit le ratio entre la longueur de la bordure partagée par un objet donné avec les objets voisins assimilés à telle ou telle classe et la longueur totale de la bordure. Si la bordure relative d'un objet par rapport aux objets d'une classe donnée est 1, l'objet en question est totalement encerclé par ces objets classés.
	Relative area of ...	La surface relative de ... correspond à la surface couverte par les objets assimilés à une certaine classe dans un périmètre défini situé autour de l'objet que l'on étudie, divisé par la surface totale des objets situés dans ce même périmètre. Le rayon permettant de définir le périmètre peut être paramétré.
	Existence of super-object ...	Le critère Existence d'un super-objet ... permet de vérifier si le "super-objet", c'est-à-dire l'objet situé au-dessus de l'objet considéré, est assimilé à telle ou telle classe. L'utilisation de ce type de critère nécessite une segmentation multi-résolution et une classification à plusieurs niveaux.
	Relative area of sub-object ...	La surface relative des sous-objets ... correspond à la surface absolue couverte par les "sous-objets" assignés à la classe considérée. Si les données sont géoréférencées, les valeurs obtenus correspondent à la surface réelle. L'utilisation de ce type de critère nécessite une segmentation multi-résolution et une classification à plusieurs niveaux.

Tableau 3 : Critères de segmentation pour les classifications primaire, secondaire et tertiaire.
Tableau 3 : *First, second and third classification segmentation criterions.*

Nom de la classification	Informations utilisées	Types d'objets segmentés	Echelle	Couleur	Forme	Compacité	Lissage
Classification primaire	Image SPOT 5 Bande littorale	Tous	10	0,8	0,2	0,5	0,5
Classification secondaire	Image SPOT 5 Classification1	Broussailles rural Prairie rural Végétation haute	10	0,8	0,2	0,5	0,5
		Minéral rural	10	0,5	0,5	0,5	0,5
	Cours d'eau	Sol nu rural	10	0,5	0,5	0,8	0,2
		Boisé rural	10	0,3	0,7	0,5	0,5
Classification tertiaire	Image SPOT 5	Minéral rural (2) Minéral urbain (2)	5	0,8	0,2	0,5	0,5
		Broussailles urbaines Prairie urbaine Objets blancs ruraux Objets blancs urbains Sol nu urbain Ombre Minéral rural Minéral urbain	30	0,5	0,5	0,5	0,5

(3) Classification tertiaire

Le troisième traitement ne concerne que les objets appartenant à un environnement urbain, ainsi que les bâtiments et les parcelles construites, qui n'ont pas été classés lors de la classification précédente. Un groupe d'objets « urbain » est constitué afin de préparer la classification tertiaire : il comprend un groupe « environnement urbain » concernant l'ensemble des objets constitutifs du milieu urbain et un groupe « bâtiments » concernant uniquement les maisons, immeubles et bâtiments industriels situés en milieu rural et en milieu urbain. Les potentialités de l'analyse multi-échelle sont utilisées ici afin de discriminer les densités urbaines, et deux niveaux empilés l'un sur l'autre sont créés. Dans un niveau 1 supérieur, tous les objets appartenant au groupe « environnement urbain » sont fusionnés, puis grossièrement segmentés (tableau 3). Un niveau 0 est créé en dessous du niveau 1, où les objets appartenant au groupe « bâtiments » sont fusionnés, puis très finement segmentés (tableau 3). A l'issue de cette étape de fusion et segmentation, un réseau hiérarchique d'objets est construit pour classer les objets des niveaux 0 et 1 simultanément. L'objectif au niveau 0 est de discriminer les « jardins », « maisons » et « objets blancs » pour formaliser des règles de connaissances basées sur la densité et la nature du bâti et d'aider à l'identification des classes « tissu urbain dense », « tissu urbain discontinu », « tissu semi-urbain » et « zone industrielle et commerciale » au niveau 1. A l'issue de cette classification tertiaire, l'ensemble des différentes classes constitutives du milieu urbain est identifié. Les objets urbains ainsi classés sont fusionnés par classe et exportés au format vectoriel (export 3).

Lors du traitement d'image, une quantité importante de données spatiales, spectrales, et contextuelles relatives aux objets décrivant l'occupation des sols en zone côtière est recueillie. Dans un souci de formalisation et de diffusion ultérieure, un dictionnaire des règles de connaissance est mis en place. Cette démarche s'inscrit dans le cadre de la réflexion actuelle sur la mutualisation de la connaissance et la définition de bases de données sémantiques, et se traduit par la construction d'une ontologie réutilisable dans les procédures de classification (Puissant *et al*., 2006 ; Roussey *et al*., 2004). Ces données sont référencées sous forme de fiches (fig. 5).

3.2.3. Intégration dans une base d'information géographique (BIG)

Les classifications successives sont importées dans la BIG : la première à l'issue de la classification primaire, la seconde à l'issue de la classification secondaire (tous les objets sauf les objets « urbains »), la dernière à l'issue de la classification tertiaire (les objets « urbains »). Il résulte donc de ces trois classifications trois couvertures de polygones, nommées export 1, export 2 et export 3. Dans un premier temps, un même traitement est appliqué à chacune de ces trois couvertures. Des classes sont unies pour être en cohérence avec la typologie établie. En effet, les tables attributaires des couvertures issues de Definiens contiennent un champ « CLASS » indiquant la classe à laquelle appartient le polygone. Mais certaines classes de la typologie sont composées de différents types d'objets dans la classification. Ainsi, la classe « terres cultivées » est constituée des objets « talus », « sols nus ruraux » et « champs », et les attributs « CLASS » de ces polygones seront donc « talus », « sols nus ruraux » et « champs », et non pas « terres cultivées ». En ce sens, un attribut « CODE3 » est créé, et l'ensemble des polygones est recodé pour correspondre à la typologie au niveau scalaire le plus fin**.**

Dans un second temps, ces trois couvertures sont réunies par une procédure d'union.

Puis dans un troisième temps, une série de traitement est appliquée à cette couverture unique. Leur taille les rendant superflus au sein de la couche de polygones, les objets ayant une taille inférieure à 100 m_, c'est-à-dire à un pixel, sont éliminés. Une opération de dissolution des contours d'objets est réalisée afin de regrouper les polygones adjacents décrits par la même classe attributaire « CODE3 » et de réduire ainsi le nombre de polygones contenus dans la couverture. Enfin, deux nouveaux champs attributaires « CODE1 » et « CODE2 » sont créés pour cette couverture, et

renseignés en fonction de la typologie. Les trois niveaux scalaires apparaissent donc dans la structure attributaire de la couverture finale. Il résulte de ces traitements une couverture unique « ocsol 03 » composée de 74 326 polygones ayant une taille minimale de 100m_ et renseignée par 6 attributs : un identifiant, la taille et le périmètre de chaque polygone, et les codes correspondant aux trois niveaux de la typologie.

3.2.4. Validation de la classification

La performance globale du traitement est évaluée aux trois niveaux de description typologique par la construction de matrices de confusions inspirées de celles proposées par Congalton (1991) ou Girard & Girard (2004). L'ensemble des points levés sur le terrain et sur les orthophotographies est stocké dans une couche d'information ponctuelle. Une zone tampon ou *buffer* de 1 m (pour demeurer en dessous de la taille du pixel) est calculée autour de chacun de ces points afin d'obtenir une information polygonale. Ces polygones sont décrits par trois codes (niveau 1, 2 et 3). Cette couche est ensuite intersectée avec la couche d'occupation des sols issue du traitement de l'image SPOT 5, afin de comparer les résultats de la classification avec les données de terrain. La formulation de requêtes croisées permet ensuite de recueillir les données alimentant les matrices de confusion aux trois niveaux de description pour évaluer les erreurs d'omission et de commission (Jensen, 2005). La performance finale de la classification et l'indice de Kappa sont également calculés (Congalton, 1991).

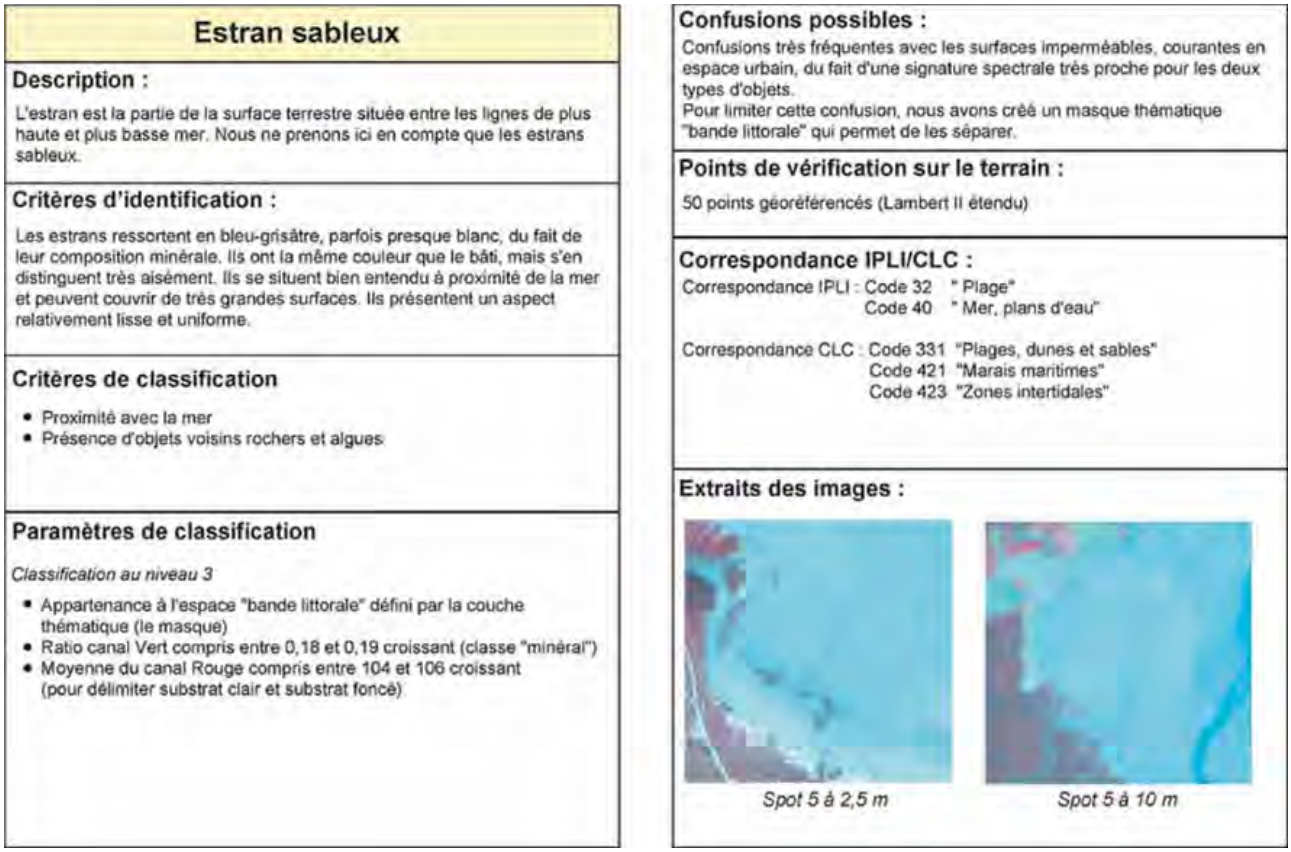


Figure 5 : Exemple de fiche issue du catalogue de données.
Figure 5 : *Extract from the data inventory.*

4. RÉSULTATS

Il résulte de l'ensemble de ces traitements une couche d'information décrivant l'occupation des sols du Pays de Brest en 2003 aux trois niveaux de précision typologique. La qualité de l'information produite est évaluée pour chacun de ces niveaux.

4.1. Niveau 1

La carte de l'occupation des sols du Pays de Brest au niveau 1 est présentée figure 6.

La performance globale de la classification au niveau 1 est de 88,6 %, avec un indice de Kappa de 85 %. Les résultats selon les types de milieux sont relativement homogènes, puisqu'ils dépassent les 70 % de précision pour le producteur, avec cependant de meilleurs résultats pour les zones artificialisées, la bande littorale et les surfaces en eau**.** Les résultats obtenus pour les terres agricoles sont plus faibles, avec seulement 72,2 % de polygones bien classés.



	1	2	3	4	5	TOTAL	***Précision pour le réalisateur (%)***
1	292	26	7	0	0	325	***89,8***
2	11	65	14	0	0	90	***72,2***
3	9	22	181	3	0	215	***84,2***
4	1	1	7	189	2	200	***94,5***
5	0	0	0	2	88	90	***97,8***
TOTAL	313	114	209	194	90	920	***87,7***
Précision pour l'utilisateur (%)	***93,3***	***57,0***	***86,6***	***97,4***	***97,8***	***86,3***	***88,5***

Précision totale : ***88,5 %***
Indice de Kappa : ***0,85***

Figure 6 : Carte de l'occupation des sols du Pays de Brest et matrice de confusion de la classification de l'image SPOT 5 au niveau1.
Figure 6 : *Pays de Brest land cover map and confusion matrix at level 1.*

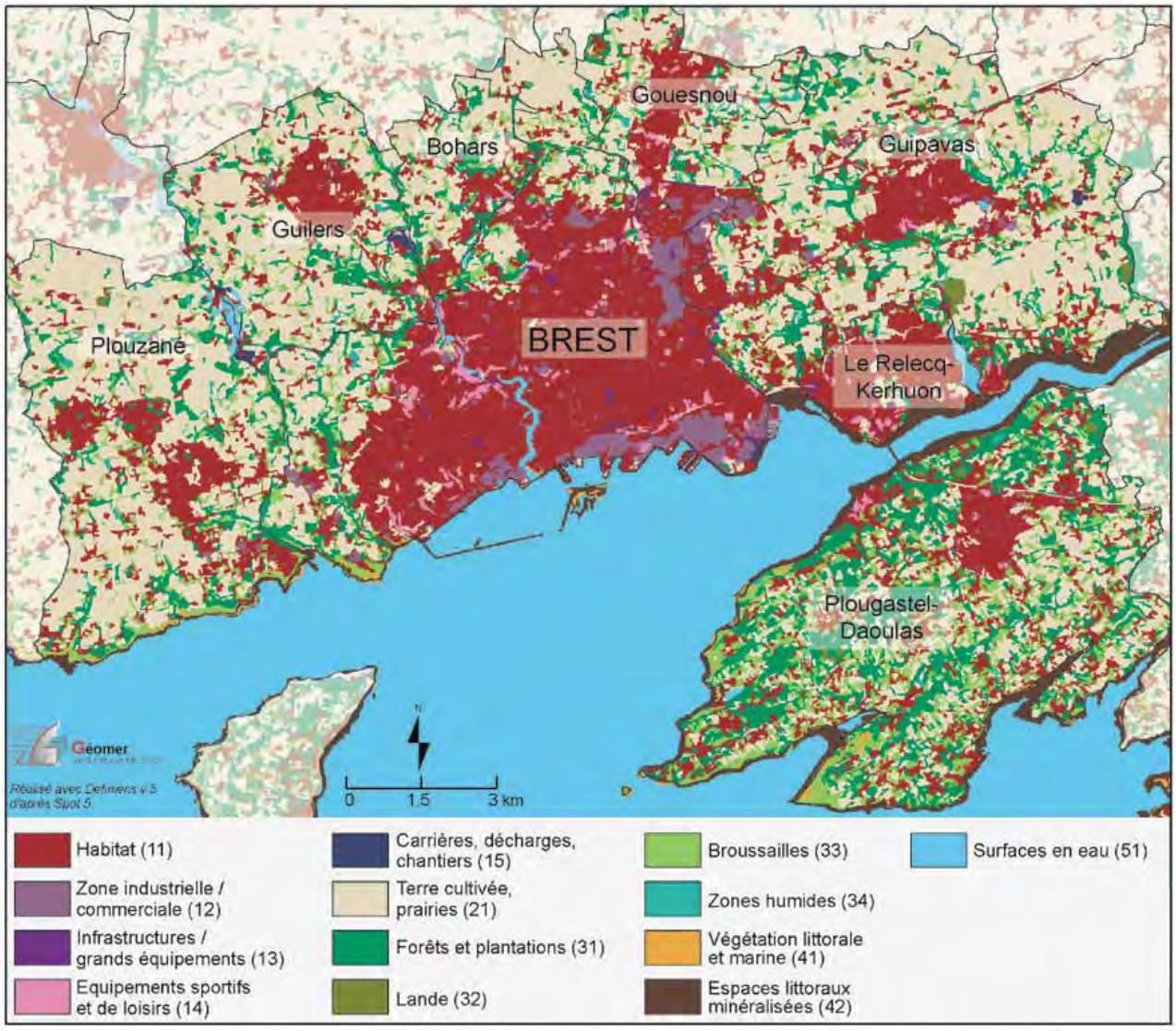
4.2. Niveau 2

Un extrait de la carte de l'occupation des sols du Pays de Brest au niveau 2 est présenté figure 7.
La performance globale de la classification au niveau 2 est de 78,8 % avec un indice de Kappa de 76,4 %.
Contrairement au niveau 1, on observe des disparités dans les résultats obtenus. Certaines classes obtiennent de mauvais résultats tels que les « infrastructures et grands équipements » (44 % de polygones bien classés) qui se confondent avec les classes « habitat », « zone industrielle / commerciale » et « terre cultivée, prairie », ou encore les « zones humides » (41,8 % de polygones bien classés) qui présentent des confusions avec les « terres agricoles », les « forêts et plantations » et les « broussailles ». Les « carrières, décharges, chantiers » sont également assez mal classés, avec une performance globale de seulement 43,3 %, les confusions avec les classes « habitat », « zone industrielle / commerciale » et « terre cultivée, prairie » étant nombreuses. Les « équipements sportifs et de loisirs » et les « broussailles » ne comptent également qu'entre 50 et 60 % de polygones bien classés. Les « zones industrielles / commerciales » (78 %) et les « terres cultivées, prairies » (72,2 %) sont également en dessous du seuil des 80 %. Les résultats obtenus pour les objets littoraux sont excellents (entre 90 % et 94 %). l' « habitat » obtient également de très bons résultats (98,7 % de polygones bien classés).

4.3. Niveau 3

Un extrait de la carte de l'occupation des sols du Pays de Brest au niveau 3 est présenté figure 8.

La performance globale de la classification au niveau 3 est de 75,3 % avec un indice de Kappa de 74 %.
Les disparités en terme de qualité de la classification, observées au niveau 2, s'accentuent. Les « zones humides intérieures » obtiennent les plus mauvais résultats (28 % de polygones bien classés), les confusions avec les « terres cultivées et prairies » et les « broussailles » étant nombreuses. D'autres objets assez mal classés apparaissent : « cultures hors-sol et sous serres », « prairies humides », « forêts de résineux ». Ces trois classes présentent des confusions importantes avec les classes « forêt de feuillus ou mixte » et « terres cultivées, prairies ». Pour les objets des zones artificialisées, les résultats sont inégaux, avec de très bonnes performances pour l'habitat (90 % pour le « tissu urbain dense », 94 % pour le « tissu urbain discontinu », et 96 % pour le « tissu semi urbain »), mais des confusions dans l'identification des autres objets (« équipements sportifs », « équipements de loisirs », « carrières, décharges, chantiers », « infrastructures / grands équipements »).

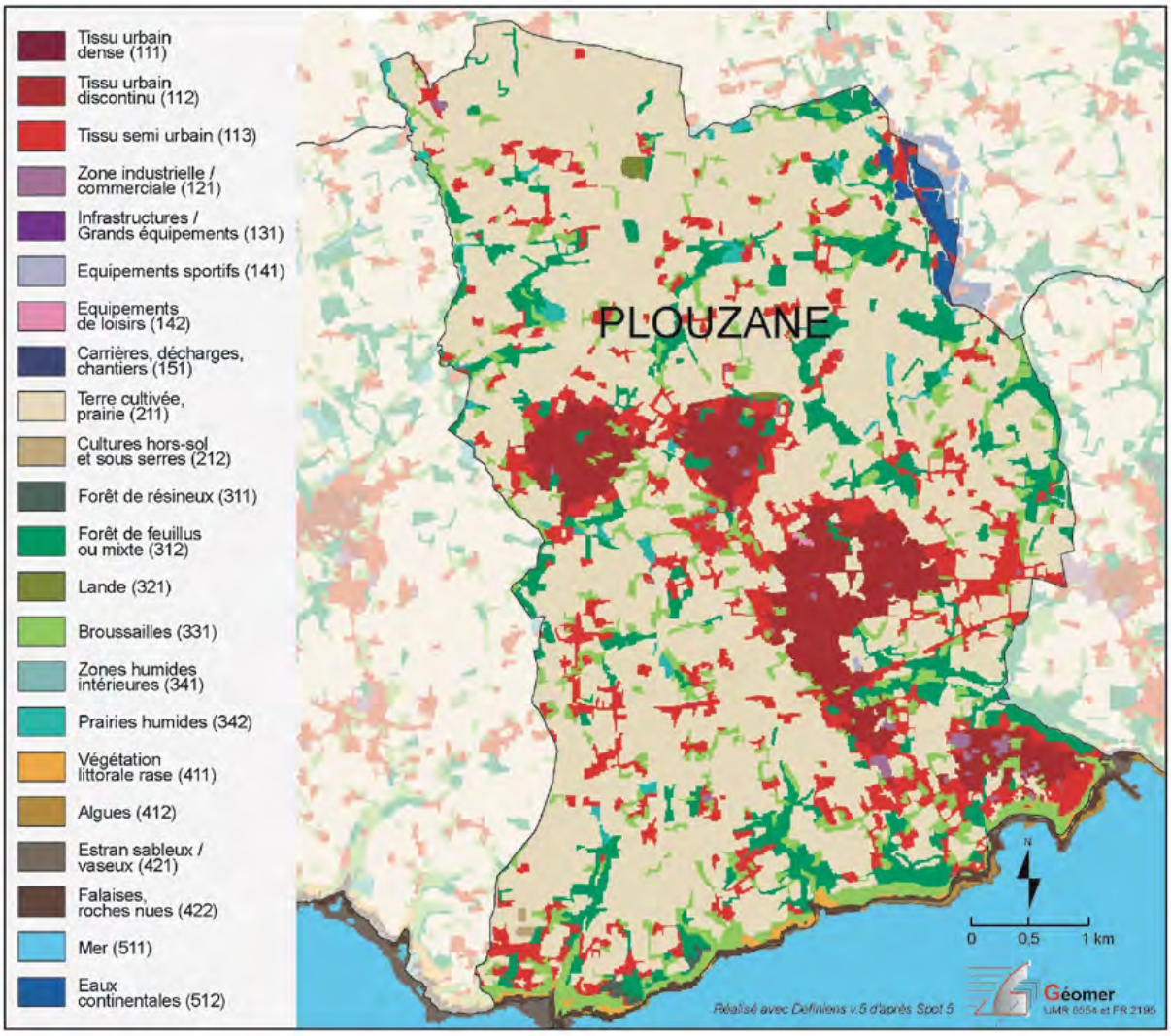


	11	12	13	14	15	21	31	32	33	34	41	42	51	TOTAL	*Précision pour le réalisateur*
11	148	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	150	***98,7***
12	6	39	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	50	***78,0***
13	9	2	11	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	25	***44,0***
14	17	0	0	35	0	12	0	1	6	0	0	0	0	70	***50,0***
15	4	6	0	0	13	7	0	0	0	0	0	0	0	30	***43,3***
21	4	1	1	3	2	65	9	1	3	1	0	0	0	90	***72,2***
31	1	0	1	1	0	3	73	1	1	4	0	0	0	85	***85,9***
32	0	0	0	0	0	4	0	20	0	1	0	0	0	25	***80,0***
33	3	0	0	0	0	7	12	1	26	1	2	0	0	50	***52,0***
34	3	0	0	0	0	8	8	1	9	23	3	0	0	55	***41,8***
41	0	0	0	0	0	1	1	0	5	0	90	3	0	100	***90,0***
42	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	94	2	100	***94,0***
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	88	90	***97,8***
TOTAL	196	48	15	39	15	114	103	24	51	31	95	99	90	920	***71,3***
Précision pour l'utilisateur	***75,5***	***81,3***	***73,3***	***89,7***	***86,7***	***57,0***	***70,9***	***83,3***	***51,0***	***74,2***	***94,7***	***94,9***	***97,8***	***79,3***	***78,8***

Précision totale : ***78,8 %***
Indice de Kappa : ***0,76***

Figure 7 : Extrait de la carte de l'occupation des sols du Pays de Brest et matrice de confusion de la classification de l'image SPOT 5 au niveau 2.

Figure 7 : *Extract of Pays de Brest land cover map and confusion matrix at level 2.*



	111	112	113	121	131	141	142	151	211	212	311	312	321	331	341	342	411	412	421	422	511	512	TOTAL	*Précision pour le réalisateur*
111	45	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	***90,0***
112	0	47	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	***94,0***
113	0	0	48	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	50	***96,0***
121	0	4	2	39	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	***78,0***
131	2	6	1	2	11	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	***44,0***
141	0	7	1	0	0	16	0	0	11	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	40	***40,0***
142	2	5	2	0	0	1	18	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	30	***60,0***
151	0	1	3	6	0	0	0	13	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	***43,3***
211	0	0	0	0	1	1	0	2	45	3	0	3	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	60	***75,0***
212	0	1	3	1	0	0	2	0	5	12	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	***40,0***
311	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	22	7	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	35	***62,9***
312	0	0	1	0	1	0	0	0	3	0	2	42	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	50	***84,0***
321	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	25	***80,0***
331	0	0	3	0	0	0	0	0	7	0	0	12	1	26	0	1	0	0	0	0	0	0	50	***52,0***
341	0	0	3	0	0	0	0	0	5	0	0	2	1	4	7	0	2	1	0	0	0	0	25	***28,0***
342	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	6	0	5	0	16	0	0	0	0	0	0	30	***53,3***
411	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	5	0	0	42	0	0	1	0	0	50	***84,0***
412	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	2	0	0	0	50	***96,0***
421	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	45	2	0	0	50	***90,0***
422	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	44	1	1	50	***88,0***
511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	49	0	50	***98,0***
512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	38	40	***95,0***
TOTAL	49	75	72	48	15	18	21	15	99	15	25	78	24	51	13	18	45	49	52	48	51	39	920	***71,2***
Précision pour l'utilisateur	***91,8***	***62,7***	***66,7***	***81,3***	***73,3***	***88,9***	***85,7***	***86,7***	***45,5***	***80,0***	***88,0***	***53,8***	***83,3***	***51,0***	***53,8***	***88,9***	***93,3***	***98,0***	***86,5***	***91,7***	***96,1***	***97,4***	***78,4***	***75,3***

Précision totale : ***75,3 %***
Indice de Kappa : ***0,74***

Figure 8 : Extrait de la carte de l'occupation des sols du Pays de Brest et matrice de confusion de la classification de l'image SPOT 5 au niveau 3.

Figure 8 *: Extract of Pays de Brest land cover map and confusion matrix at level 3.*

5. DISCUSSION

On remarque classiquement une diminution de la qualité de la classification avec la précision typologique de l'occupation des sols. Si les résultats obtenus pour le niveau 1 (88,6 %) sont au dessus du seuil recommandé de 85 % de pixels bien classés pour une classification acceptable (Foody, 2002), ils passent en dessous de ce seuil aux niveaux 2 (78,8 %) et 3 (75,3 %). Ces résultats globaux masquent cependant des disparités importantes entre les classes. Les classes « broussailles » et « cultures hors sols et sous serres » au niveau 3 sont relativement mal classées. Les mauvais résultats de la classe « broussailles » sont probablement liés à la date d'acquisition de l'image (avril) qui ne correspond pas aux conditions optimales pour la détection de la végétation (Girard & Blasco, 1996). De plus, plusieurs images acquises à différentes saisons auraient sans doute permis de discriminer plus aisément broussailles et terres cultivées, ainsi que cultures hors sol et terres cultivées au niveau 3. De même, l'utilisation de plusieurs images aurait probablement permis d'améliorer les résultats de la classification pour les zones humides et les prairies humides d'autant plus que la date d'acquisition de l'image employée (avril 2003) coïncidait avec une période de déficit pluviométrique important qui s'est produit sur le Finistère entre janvier et mai. En outre Smith *et al.,* (2003) ont montré que l'hétérogénéité de la structure paysagère d'une image est susceptible d'avoir un impact défavorable sur la qualité de la classification. Or l'espace considéré dans cette étude, et particulièrement le littoral, présentent une forte hétérogénéité liée à la topographie (plateau entaillé de vallons) ainsi qu'à une tradition d'habitat dispersé accentuée par l'évolution urbaine récente caractérisée par un mitage de l'espace agricole, qui est lui-même soumis à une certaine déprise dans les secteurs les moins adaptés à l'agriculture mécanisée. A contrario, les bons résultats des classes de la bande littorale justifient l'utilisation d'une couche thématique pour la discrimination de classes porteuses de confusions. En effet, des tests préliminaires révélaient d'importantes confusions entre certaines classes, comme par exemple entre les estrans sableux et certains territoires artificialisés. L'hétérogénéité paysagère de la zone littorale augmentait également les risques de confusions. Le recours à la couche thématique « bande littorale » permet de traiter cet espace complexe indépendamment du reste de l'image, et donc d'améliorer les performances de la classification. Enfin, les très bons résultats des classes « tissu urbain dense », « tissu urbain discontinu » et « tissu semi-urbain » confirment l'intérêt de la segmentation multi-résolution et le recours à des règles de classification basée sur une analyse multi-échelle des densités de bâti.

Néanmoins si l'on compare les résultats obtenus avec des études ayant porté sur la production d'une information sur l'occupation ou l'utilisation des sols, il apparaît que les performances globales des classifications sont sensiblement les mêmes (tableau 4).

Pour sa classification en 19 classes de l'utilisation des sols de la région de Varsovie, Lewinsky (2005) obtient une performance globale de 86,3 %, avec une utilisation combinée de l'approche « plus proches voisins » et fonctions d'appartenance. Van der Sande *et al.* (2003) ont utilisé le même type de méthode mixte et parviennent à une performance globale de 74 % pour une classification de l'occupation des sols en 17 classes. Corbane *et al.* (2004) obtiennent une précision de 87,3% pour la classification en 14 classes d'une image ASTER. Enfin Lucas et *al.* (2007) obtiennent un résultat global de 84,9 % pour une classification de la végétation et des cultures en11 classes, classification entièrement fondée sur la formulation et l'implémentation de règles de connaissances. Dans tous les cas les disparités entre les classes sont notables. Corbane *et al.* (2004) parviennent à une précision de 100% pour la classe « tissu urbain continu », mais de 34,5% pour la classe « sol nu blanc ». Il en va de même pour Lucas *et al.* (2007) avec un résultat de 100% pour la classe « forêt de conifères », mais de 48% pour la classe « lande sèche ».

Dans le cadre de classifications portant sur des objets spécifiques, ou sur un nombre de classes inférieur à 10, les résultats sont généralement meilleurs. Willhauck, 2000, Kressler *et al.*, 2003, Flanders et *al.*, 2003, Chubey et al., 2006 obtiennent des performances globales très proches au supérieures à 90 %, mais avec un nombre réduit de classes (entre 4 et 8) (tableau 4).

Il est possible que les résultats de cette étude aient été améliorés en ayant recours aux objets d'entraînement et l'approche « plus proches voisins ». Cette méthode relativement intuitive aurait de plus probablement permis un gain de temps non négligeable par rapport à la formalisation de règles de connaissance. En contrepartie la reproductibilité de la méthode en aurait été réduite d'autant.

Auteur(s)	Secteur d'étude	Type d'image	Résolution spatiale	Objectifs de la classification	Nbr de classes	Méthode de classification	Performance globale	Commentaires des résultats [1]
Willhauck, 2000	Amérique du Sud zone d'étude 500 km²	SPOT multispectral 1995	20 m	Identification de deux espèces de hêtre au sein d'une forêt .	4	basée sur le pixel	90,90%	Très bons résultats avec les deux méthodes Résultats très proches Typologie simple Résultats homogènes avec la méthode orientée-objet *"eau" = 100 %* *"espèce 2" = 87 %*
						orientée-objet	94,5%	
Kressler *et al.*, 2003	Vienne, Autriche zone d'étude 56 km²	KOMPSAT-1 juillet 2002	6,6 m	Description simple de l'occupation des sols.	5	orientée-objet	89,9%	Résultats homogènes pour les deux images (sauf pour "urbain") *"forêt" = 96 % (Kompsat)* *"agriculture" = 63 % (Kompsat)* *"forêt" = 93 % (SPOT 5)* *"urbain" = 57 % (SPOT 5)*
		SPOT 5 août 2002	2,5 m			orientée-objet	86,3%	
Flanders *et al.*, 2003	Colombie Britanique, Canada zone d'étude 943 km²	Landsat 7 ETM+ 17 avril 2000 2 extraits d'une même scène	30 m	Identification de coupes à éclaircies dans les massifs forestiers de Colombie Britannique.	extrait 1 : 6	basée sur le pixel	Extrait 1 56,7%	Meilleurs résultats avec l'approche orientée-objet Extrait 1 : résultats très hétérogènes avec la méthode orientée-objet *"eau" = 91 %* *"sols nus" = 0%* Extrait 2 : résultats assez homogènes avec la méthode orientée-objet *"eau" = 96 %* *"coupes d'éclaircies récentes" = 71 %*
						orientée-objet	70%	
					extrait 2 : 4	basée sur le pixel	Extrait 2 80,5%	
						orientée-objet	91%	
van der Sande *et al.*, 2003	Maastricht, Pays-Bas zone d'étude 16 km²	IKONOS-2 6 mai 2000	1 m	Description de l'occupation des sols en 3 niveaux de précision	Niveau 1 : 5 Niveau 2 : 11 Niveau 3 : 17	orientée-objet	74%	Résultat global correct Résultats très hétérogènes *"pâturage" = 97 %* *"végétation naturelle" = 11 %* Confusions entre certaines classes
Corbane *et al.*, 2004	Liban zone d'étude 200 km²	ASTER 21 mars	MIR : 30 IR thermique : 90 m	Description de l'occupation des sols d'un bassin versant	14	basée sur le pixel	74,3%	Meilleurs résultats avec l'approche orientée-objet Meilleurs résultats pour l'image ASTER que pour l'image Landsat La résolution plus fine de l'image ASTER permet une meilleure discrimination de la Résultats hétérogènes avec la méthode orientée-objet *"tissu urbain continu" = 100 % (ASTER)* *"sol nu blanc" = 34,5 % (ASTER)* *"eau" = 99,7 %* *"sol cultivé 2" = 18 % (Landsat)*
						orientée-objet	87,3%	
		Landsat 7 ETM+ 15 mai 2001	MIR : 30 IR thermique : 60 m Panchro : 15 m			basée sur le pixel	63,8%	
						orientée-objet	71,9%	
Lewinski, 2005	Varsovie, Pologne zone d'étude 795 km²	ASTER 4 mai 2002	15 m	Description de l'occupation des sols en 2 niveaux de précision	19	orientée-objet	86,3%	Résultat global très bon Résultats assez hétérogènes *"parcs urbains et ruraux" = 100 %* *"zones humides intérieures" = 36 %*
Chubey, *et al.*, 2006	Alberta, Canada zone d'étude 77 km²	IKONOS-2 15 août 2001	Panchro : 1 m Multispectral : 4 m	Description de la végétation (inventaire forestier)	8	orientée-objet	93%	Très bons résultats Résultats très homogènes (toutes les classes > 80 %) Méthode orientée-objet adaptée à un inventaire forestier *"sable" = 100 %* *"épicéa" = 81 %*
Lucas et al., 2007	Pays de Galles, Royaume-Uni zone d'étude 680 km²	Landsat 7 ETM+ 4 dates entre juillet 2001 et septembre 2002	30 m	Description habitats semi-naturels et des terres agricoles	11	orientée-objet	84,9%	Résultat global très bon Résultats assez hétérogènes *"forêt de conifères" = 100 %* *"lande sèche" = 48 %*

[1] *Les pourcentages en italiques correspondent respectivement au meilleur et au plus mauvais résultat de la classification (en terme de précision pour le réalisateur)*

Tableau 4 : Exemples d'études basées sur la méthode orientée-objet.
Tableau 4 : *Examples of object-based studies.*

6. CONCLUSION

Dans notre étude, la finalité du traitement de l'image SPOT 5 était de disposer de données relativement récentes sur l'occupation des sols du Pays de Brest, comparables avec des données antérieures de source et de nature différentes. La comparaison des deux inventaires permettra de réaliser un diagnostic des changements d'occupation des sols intervenus sur cet espace en 25 ans et servira de base à l'élaboration d'un modèle fonctionnel utilisable dans des scénarios exploratoires.

A partir d'une image du satellite SPOT 5, l'occupation des sols a été extraite à trois niveaux de précision typologique en utilisant une approche orientée-objet. Les résultats sont de qualité variable en fonction de la précision typologique et de la nature des objets. En termes de qualité globale, ils sont acceptables si on les comparent à des résultats obtenus avec des méthodes « classiques » ou à d'autres études ayant eu recours à la méthode orientée-objet..

Avec des performances le plus souvent supérieures, la démarche orientée-objet offre des avantages considérables sur les classifications classiques pixel à pixel. L'analyse centrée sur l'objet limite pour des images à haute et très haute résolution l'effet « poivre et sel » que l'on peut trouver avec une approche centrée sur le pixel. L'utilisateur est également totalement maître des procédures de classification des objets grâce aux fonctions d'appartenance, contrairement à une classification supervisée basée sur le pixel où le processus de classification est inféodé aux parcelles d'entraînement, et uniquement à celles-ci. Mais la procédure est plus complexe dans la mesure où elle intègre différents niveaux d'analyse hiérachisés. En résumé, la démarche orientée-objet est assez proche d'une démarche de photo-interprétation : elle en a les avantages sans les inconvénients. Le traitement numérique de l'information géographique garantit l'homogénéité des résultats sur l'ensemble de l'image. De plus, la démarche cognitive d'un photo-interprète est transcrite par l'analyse multi-échelle. Néanmoins la méthode implique une connaissance experte des objets et de nombreux tests nécessaires à la détermination des paramètres de segmentation optimaux (Schiewe *et al.*, 2001). Ces paramètres sont en outre variables d'une image à l'autre, et spécifiques aux résultats attendus. Les concepts de segmentation multi-résolution et de réseau hiérarchique de classification peuvent être difficiles à traduire concrètement, et malgré une phase de réflexion, l'implémentation peut ne pas forcément aboutir aux résultats escomptés. Si l'on ne dispose pas de données préalables sur les objets, la collecte d'informations pour la formulation des multiples fonctions statistiques d'appartenance et définition de règles de connaissance satisfaisantes peut également se révéler très longue. Une investigation systématique des très nombreuses informations disponibles sur les objets, ponctuée par de nombreux tests et ajustements, est en effet souvent nécessaire.

La « complexité » de la méthode à mettre en œuvre et de l'important volume de données de référence à collecter est cependant largement compensé par l'homogénéité de traitement appliqué à l'échelle d'une image, ainsi que par sa reproductibilité sur les territoires adjacents ou à d'autres dates à partir d'images du même type. Autant de possibilités que n'offre pas la photo-interprétation comme en témoignent les difficultés de mise à jour des cartographies IPLI et Corine Land Cover.

7. RÉFÉRENCES

Aguejdad, R., Hubert-Moy, L. and Clergeau, P. (2006) "Object oriented image analysis for mapping urban expansion in western France". P. 2317-2321 in *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Denver, 31 juillet – 4 août 2006, 4208 p.

Baatz, M. and Schäpe, A. (2000) Multiresolution segmentation : an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. P. 12-23 in Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. (réd.) Proceedings of the Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII Beiträge Zum AGIT-Symposium Salzburg 2000.

Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. and Heynen, M. (2004) "Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information". *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 58, p. 239-258.

Bersani, C., Simoni, M. L., Allain, Y. M., Ribière, G., Denègre, J., Planques, P., et Tugayé, Y. (2006) Rapport relatif au schéma d'organisation des dispositifs de recueil de données et d'observation sur le littoral. Ministère de l'Intérieur, Ministère de l'Equipement, Ministère de l'Ecologie, 120p. (http://www.ifen.fr/littoral/telecharger/004488-01.pdf)

Blaschke, T. and Strobl, J. (2001) What's wrong with pixels ? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. GeoBIT/GIS, vol. 6, p. 12-17.

Cicin-Sain, B. and Knecht, R. (1998) "Integrated coastal and ocean management". Island Press, 517 p.

Chubey, M. S., Franklin, S. E. and Wulder, M. A. (2006) "Object-based analysis of Ikonos-2 imagery for extraction of forest inventory parameters". *Photogrammetric engineering and remote sensing*, vol. 72, no. 4, p. 383-394.

Congalton, R.G. (1991) "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data". *Remote Sensing of the Environment*, vol. 37, p. 35-46.

Corbane, C., Baghdadi, N., Hosford, S., Somma, J. et Chevrel, S. (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*, vol. 175, no 2004-3, p. 13-26.

Desclée, B., Bogaert, P. and Defourny, P. (2006) "Forest change detection by statistical object-based method". *Remote Sensing of Environment*, vol. 102, p. 1-11.

Definiens Professional 5 (2006) “Reference Book. Munich”, 122 p.

Definiens Professional 5 (2006) “User Guide”. Munich, 249 p.

Flanders, D., Hall-Beyer, M. and Pereverzoff, J. (2003) “Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction”. *Journal Canadien de télédétection / Canadian Journal of remote sensing*, vol. 29, no. 4, p. 441-452.

Foody, G.M. (2002) “Status of land cover classification accuracy assessment”. *Remote Sensing of Environment*, vol. 80, p. 185-201.

Girard, C.M. et Blasco, F. (1996) “Végétation herbacée terrestre”. P. 199-266 in Bonn, F. (réd.) *Précis de télédétection*, vol 2 : Applications thématiques. PUQ – AUPELF, 633 p.

Girard, M-C. et Girard, C.M. (2004) “Traitement des données de télédétection”. Dunod, Paris, 530 p.

Gourmelon, F., Bioret, F. et Sauve, L. (2005) “Potentialités de l'imagerie satellitaire SPOT 5 pour la cartographie de la végétation terrestre, application à l'île d'Ouessant (Finistère)”. *Cybergeo : Revue européenne de géographie*, vol. 325, p. 1-15, http://www.cybergeo.eu/index3027.html

Hájek, F. (2005) “Object-oriented classification of remote sensing data for the identification of tree species composition”. P. 16-20 in Olsson, H. (réd.) *Proceedings of ForestSat 2005 Conference*, Borås, 31 mai – 3 juin 2005, 119 p.

Harken, J. and Sugumaran, R. (2005) “Classification of Iowa wetlands using an airborne hyperspectral image : a comparison of the spectral angle mapper classifier and an object-oriented approach”. *Journal Canadien de télédétection / Canadian Journal of remote sensing,* vol. 31, no. 2, p. 167-174.

Jensen, J. R. (2005) “Introductory digital image processing, a remote sensing perspective”. Prentice-Hall, Londres, 526 p.

Kamagata, N., Akamatsu, Y., Mori, M., Qing Li, Y., Hoshino, Y. and Hara, K. (2005) “Comparison of pixel-based and object-based classifications of high resolution satellite data in urban fringe areas”. 6 p. in *Proceedings of the 26th Asian Conference on Remote Sensing*, Hanoi, 7-11 novembre 2005.

Le Berre, I., Giraudet, J. et Hénaff, A., (2005) “Suivi du littoral par SPOT 5 : cartographie de l'occupation des sols”. *Photo-Interprétation*, vol. 41, no. 3, p. 3-11.

Lewinski, S. (2005) “Land use classification of ASTER image, Legionowo test site”. 8p. in *Proceedings of the 25th EARSeL Symposium*, Porto, 6-11 juin 2005.

Lucas, R., Rowlands, A., Brown, A., Keyworth, S. and Bunting, P. (2007) “Rule-based classification of multi-temporal imagery for habitat and agricultural land cover mapping”. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 62, p. 165-185.

McDermid, G.J., Pape, A., Chubey, M.S. and Franklin, S.E. (2003) “Object oriented analysis for change detection”. 4 p. in *Proceedings 25th Canadian Symposium on Remote Sensing*, Montréal, 14-16 octobre 2003.

Puissant, A. et Weber, C. (2004) “Démarche orientée ‘objets-attributs’ et classification d'images THRS”. *Revue française de photogrammétrie et de télédétection*, vol. 173-174, p. 123-134.

Puissant, A., Sheeren, D., Weber, C., Wemmert, C., Gançarski, P. (2006) “Amélioration des connaissances sur l'environnement urbain : intérêt de l'intégration de règles dans les procédures de classification”. 5 p. in *Actes du colloque Interactions Nature-Société, analyse et modèles*, La Baule, 3-6 mai 2006, .

Rego, F. L., Koch, B (2003) “Automatic classification of land cover with high resolution data of the Rio de Janeiro city Brazil comparison between pixel and object classification”. P. 153-157 in Carstens, J. (réd.) *Remote Sensing of Urban Areas*.

Robin, M. (1998) *La Télédétection*. Nathan, Paris, 318 p.

Roussey, C., Laurini, R., Beaulieu, C., Tardy, Y. et Zimmermann, M. (2004) “Le projet Towntology, un retour d'expérience pour la construction d'une ontologie urbaine”. P. 217-237 in Vangenot, C. (réd.) *Les Ontologies spatiales*, Hermès Lavoisier, Paris.

Schiewe, J., Tufte, L. and Ehlers, M. (2001) “Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing”. GeoBIT/GIS, vol. 6, p. 34-39.

Smith, J. H., Stehman, S. V., Wickham, J. D. and Yang, L. (2003) “Effects of landscape characteristics on land-cover class accuracy”. *Remote Sensing of Environment*, vol. 84, p. 342-349.

Townshend, J. R. G., Huang, C., Kalluri, S. N. V., DeFries, R. and Liang, S. (2000) “Beware of per-pixel characterization of land-cover”. *International Journal of remote sensing*, vol. 21, no. 4, p. 839-843.

Van der Sande, C. J., de Jong, S.M. and 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*, vol. 4, p. 217-229.

Willhauck, G. (2000) “Comparison of object oriented classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between SPOT multispectral satellite images and aerial photos”. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 33,8 p.