ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA PRODUCITON AUTOMATISÉE
M. ING.

PAR
David DUBOIS

ENVIRONNEMENT LOGICIEL D'EXPLOITATION DES IMAGES SATELLITAIRES POUR FACILITER LA GESTION DES CATASTROPHES MAJEURES

MONTRÉAL, LE 24 NOVEMBRE 2009

© David Dubois, 2009

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE

M. Richard Lepage, directeur de mémoire
Génie de la production automatisée à l'École de technologie supérieure

M. Jacques-André Landry, codirecteur de mémoire
Génie de la production automatisée à l'École de technologie supérieure

Mme Rita Noumeir, présidente du jury
Génie électrique à l'École de technologie supérieure

M. Rachid Aissaoui, membre du jury
Génie de la production automatisée à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 20 NOVEMBRE 2009

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

De nombreuses personnes m'ont offert leur support tout au long de ma maîtrise et je tiens à prendre quelques instants pour les remercier. J'aimerais d'abord souligner l'aide inestimable de mon directeur de mémoire, Monsieur Richard Lepage, qui a patiemment répondu à toutes mes questions et m'a offert de précieux conseils. Je tiens aussi à remercier mon codirecteur, monsieur Jacques-André Landry, pour les pistes de recherche qu'il m'a offert dès le début de ma recherche ainsi que pour les ressources bibliographiques. De plus, je désire envoyer un merci transatlantique à Monsieur Tullio Tanzi ainsi qu'aux autres professeurs du département de traitement de signaux et d'images de Telecom Paristech en France pour leur accueil et support lors de mon stage de recherche.

Je profite de l'occasion pour remercier mes parents et amis pour avoir été présent lorsque j'en avais le plus besoin. Je veux aussi souligner l'assistance fantastique de mes beaux-parents qui ont bien voulu être correcteurs et réviseurs de mon mémoire.

Finalement, je remercie ma femme Élisabeth pour son écoute active et sa présence tout au long de ma maîtrise.

ENVIRONNEMENT LOGICIEL POUR L'EXPLOITATION DES IMAGES SATELLITAIRES POUR FACILITER LA GESTION DES CATASTROPHES MAJEURES

DUBOIS, David

RÉSUMÉ

Cette étude qui porte sur l'évaluation de plusieurs systèmes d'information géographique ainsi que de différents logiciels de traitement d'images vise à déterminer le type d'environnement logiciel nécessaire pour faciliter la manipulation et le traitement des images satellitaires de très haute résolution. Ceci est fait dans le but d'obtenir une plateforme de développement d'algorithmes utiles aux photo-interprètes. Pour ce faire, une étude des différents satellites captant des images de la Terre est d'abord effectuée. Ensuite, les algorithmes nécessaires au traitement de ces images sont présentés. La Charte régissant la gestion des catastrophes majeures est aussi décrite. Les logiciels à évaluer sont présentés et les critères d'évaluation sont décrits. Les résultats de l'évaluation sont ensuite donnés et un choix de logiciel est présenté. Le logiciel sélectionné est décrit plus en détail et des améliorations sont apportées. Finalement, un exemple typique de problème de télédétection relié aux catastrophes majeures est donné en utilisant le logiciel choisi pour le résoudre. Le tout s'inscrit dans un projet plus grand visant à simplifier la tâche du photo-interprète qui prépare les cartes des zones touchées par des catastrophes naturelles de grande envergure.

Mots-clés : évaluation de logiciels, gestion de catastrophes, images satellitaires à très haute résolution, traitement d'images

SOFTWARE FRAMEWORK FOR THE USE OF SATELLITE IMAGES IN THE MANAGEMENT OF MAJOR DISASTERS

DUBOIS, David

ABSTRACT

This work which relates to the evaluation of several geographical information systems as well as various image processing softwares aims at determining the type of software environment required to facilitate the handling and processing of satellite images of very high-resolution. This is done with the aim of setting up a development environment for the creation of useful algorithms for photointerpreters. With this intention, a study of the various satellites collecting images of Earth is initially carried out. Then, the algorithms necessary to the treatment of these images are presented. The Charter governing the management of the major disasters is also described. The softwares to evaluate are presented and the criteria of evaluation are described. The results of the evaluation are then given and a choice of software is presented. The selected software is described in more details and improvements are brought forth. Finally, a typical example of remote sensing problem connected to major disasters is given by using the chosen software to solve it. This falls under a larger project aiming at simplifying the task of the photo interpreter which prepares the maps of areas affected by large scale natural disasters.

Keywords: disaster management, image processing, software evaluation, very high resolution satellite images

TABLE DES MATIÈRES

Page

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 ACQUISITION ET TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES À TRÈS HAUTE RÉSOLUTION SPATIALE 5
1.1 Introduction 5
1.2 Les satellites optiques en fonction 6
1.2.1 Landsat 6
1.2.2 Spot 8
1.2.3 Quickbird 10
1.2.4 IKONOS 11
1.2.5 AVHRR 12
1.3 Les satellites radars 13
1.3.1 RADARSAT-2 14
1.3.2 TerraSAR-X 15
1.3.3 Utilisation des images radars 16
1.4 Les images satellitaires 17
1.4.1 Géoréférencement 17
1.4.2 Projection cartographique 18
1.4.3 Image de base 19
1.4.4 Image standard 20
1.4.5 Image orthorectifiée 20
1.4.6 Couples stéréoscopiques 21
1.5 Les types de données contextuelles 21
1.5.1 Données matricielles 21
1.5.2 Données vectorielles 22
1.6 Segmentation et extraction des primitives 23
1.6.1 Méthodes basées sur les pixels directement 24
1.6.2 Utilisation d'information contextuelle 24
1.6.3 Analyse de la texture 25
1.6.4 Autres méthodes 26
1.7 Classification 27
1.7.1 Réseaux de neurones 28
1.7.2 Machine à vecteur de support 29
1.7.3 Méthodes hybrides 30
1.8 Conclusion 30

CHAPITRE 2 CHARTE INTERNATIONALE « ESPACE ET CATASTROPHES MAJEURES » 31
2.1 Introduction 31
2.2 La Charte 32

2.2.1 Début 32
2.2.2 But de la Charte 32
2.2.3 Services offerts 33
2.3 Membres de la Charte 33
2.3.1 Agence spatiale européenne (ESA) 34
2.3.2 Centre national d'études spatiales (CNES) 35
2.3.3 Agence spatiale canadienne (ASC) 35
2.3.4 Autres membres 36
2.4 Étapes du processus d'activation 36
2.4.1 Désastre 37
2.4.2 Appel par un utilisateur autorisé 38
2.4.3 Obtention des données disponibles 38
2.4.4 Préparation des cartes 38
2.4.5 Distribution aux utilisateurs finaux 39
2.5 Types de catastrophes couvertes par la Charte 40
2.5.1 Cyclone 40
2.5.2 Tornade 40
2.5.3 Tremblement de terre 41
2.5.4 Éruption volcanique 41
2.5.5 Inondation 41
2.5.6 Feu de forêt 42
2.5.7 Pollution par hydrocarbures 42
2.5.8 Substances toxiques 43
2.5.9 Substances radioactives 43
2.6 Activations récentes 43
2.6.1 Ouragan en France 43
2.6.2 Inondation au Brésil 44
2.6.3 Incendie en Argentine 44
2.7 Conclusion 45

CHAPITRE 3 ÉVALUATION DES LOGICIELS 46
3.1 Introduction 46
3.2 Détermination des besoins 47
3.3 Éléments à quantifier pour évaluer les logiciels 50
3.4 Obtention d'images satellitaires 53
3.5 Description des logiciels 54
3.5.1 Logiciels commerciaux 54
3.5.2 Logiciels source libre 57
3.6 Résultats 61
3.6.1 Valeurs des critères 61
3.6.2 Tests logiciels 68
3.6.3 Retour sur les résultats 86
3.7 Discussion 86
3.7.1 Analyse des résultats 87

3.7.2 Recommandation 90
3.7.3 Conclusion 91

CHAPITRE 4 ENVIRONNEMENT LOGICIEL DE DÉVELOPPEMENT POUR LE PROJET GLOBAL 93
4.1 Introduction 93
4.2 Principes de programmation 93
4.2.1 Structure d'OTB 94
4.2.2 Programmation générique 95
4.2.3 Lecture en continu et enchaînement des opérations 96
4.3 Gestions des paramètres d'une application 97
4.3.1 Ligne de commande 97
4.3.2 Interface graphique dynamique 99
4.4 Interface de programmation visuelle 101
4.4.1 Principes 101
4.4.2 Exemples 102
4.4.3 Ce qu'il faut faire 106
4.5 Conclusion 107

CHAPITRE 5 EXEMPLE D'APPLICATION : LA DÉTECTION DE BÂTIMENTS DANS LES IMAGES SATELLITAIRES DE TRÈS HAUTE RÉSOLUTION SPATIALE 108
5.1 Introduction 108
5.2 Problématique 108
5.3 Fonctionnalités disponibles 109
5.4 Fonctionnalités manquantes 110
5.5 Processus de détection des bâtiments 113
5.5.1 Premier niveau : classification de la couverture terrestre 116
5.5.2 Second niveau : qualification des zones habitées 116
5.5.3 Troisième niveau : détection des bâtiments 117
5.6 Résultats obtenus 118
5.6.1 Premier niveau : classification de la couverture terrestre 120
5.6.2 Second niveau : qualification des zones habitées 121
5.6.3 Troisième niveau : détection des bâtiments 122
5.7 Conclusion 124

CONCLUSION. 126

ANNEXE I Valeurs des critères d'évaluation 130

ANNEXE II Code source pour ParseGUI(…) 131

ANNEXE III Code source pour filtre RGB vers HSV 134

ANNEXE IV Image quick_aceh_shore_avant.tif.....138

BIBLIOGRAPHIE.....139

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1.1 Liste des bandes spectrales pour Landsat7 8

Tableau 1.2 Liste des bandes spectrales pour Spot5 10

Tableau 1.3 Liste des bandes spectrales pour Quickbird 11

Tableau 1.4 Liste des bandes spectrales pour IKONOS 12

Tableau 1.5 Liste des bandes spectrales pour AVHRR 13

Tableau 1.6 Liste des résolutions d'acquisition pour RADARSAT-2 15

Tableau 1.7 Liste des résolutions d'acquisition pour TerraSAR-X 16

Tableau 2.1 Liste des agences membres de la Charte 34

Tableau 3.1 Liste des critères pour l'évaluation des logiciels 51

Tableau 3.2 Valeurs possibles pour l'évaluation des algorithmes de classification 63

Tableau 3.3 Valeurs en fonction du prix 65

Tableau 3.4 Résultats pour Aphelion 69

Tableau 3.5 Résultats pour ArcGIS 70

Tableau 3.6 Résultats pour Definiens Developer 72

Tableau 3.7 Résultats pour ENVI 73

Tableau 3.8 Résultats pour Geomatica 74

Tableau 3.9 Résultats pour GvSIG 76

Tableau 3.10 Résultats pour IDRISI 77

Tableau 3.11 Résultats pour Ilwis 79

Tableau 3.12 Résultats pour MapWindow 80

Tableau 3.13 Résultats pour OTB 82

Tableau 3.14 Résultats pour Quantum GIS 83

Tableau 3.15 Résultats pour Saga GIS 84

Tableau 3.16 Résultats pour uDig.....85

Tableau 3.17 Liste des trois meilleurs scores 89

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1.1 Différence entre la projection d'Albers et la projection conforme conique de Lambert. 19

Figure 2.1 Processus d'activation de la Charte. 37

Figure 3.1 Chaîne de traitement des images satellitaires. 50

Figure 3.2 Suite de produits ArcGIS d'ESRI. 56

Figure 4.1 Interactions entre OTB et diverses bibliothèques. 95

Figure 4.2 Gestion des paramètres par ligne de commande. 98

Figure 4.3 Gestion des paramètres par interface utilisateur graphique dynamique. 100

Figure 4.4 Module d'un système de programmation visuelle. 102

Figure 4.5 Exemple Simulink. 103

Figure 4.6 Exemple SCIRun. 105

Figure 4.7 Exemple de l'interface Ariane pour Pandore. 106

Figure 5.1 Démonstration de l'utilité de l'espace couleur HSV. 111

Figure 5.2 Schéma du processus de détection. 115

Figure 5.3 Niveaux de la pyramide multirésolution. 119

Figure 5.4 Comparaison des résultats obtenus. 120

Figure 5.5 Classification des zones habitées et visualisation en espace RGB. 121

Figure 5.6 Masques des zones habitées. 122

Figure 5.7 Résultat de l'algorithme de Luo Bin. 123

Figure 5.8 Résultat final. 124

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ActiveX	COMPONENT OBJECT MODEL : composant logiciel de programmation
API	Interface de programmation d'application (*Application Program Interface*)
AVHRR	*Advanced Very High Resolution Radiometer*: Satellite météorologique
CCL	Projection conforme conique de Lambert
CNES	Centre National d'Études Spatiales (France)
E00	Format de données vectorielles thématiques
HDF[4/5]	Format de données hiérarchiques pour stocker des informations d'imagerie satellitaire
L1G	Format d'image spécifique au satellite Landsat
MNT	Modèle numérique de terrain (*DEM : Digital Elevation Model*)
MTU	Projection de Mercator transverse universelle
NDVI	Indice d'activité végétale
OTB	*Orfeo Toolbox*
RSO	Radar à synthèse d'ouverture
SHP	*SHAPEFILE* : Fichier de données vectorielles thématiques (remplace E00)
SOM	*Self-organizing map* : Carte auto adaptive de Kohonen
SIG	Système d'information géographique (GIS en anglais)

INTRODUCTION

La problématique

Le groupe de recherche piloté par Richard Lepage a pour but d'aider les photo-interprètes lors de la préparation de cartes servant aux secouristes lors de catastrophes naturelles prisent en charge par la Charte internationale « espace et catastrophes majeures ». Dans le cadre de ce nouveau projet, la problématique spécifique à ce mémoire est l'étude des moyens logiciels disponibles et nécessaires pour arriver à développer des algorithmes de classification robustes des images satellitaires. En effet, les nouveaux satellites permettent souvent d'obtenir des images d'une zone sur plusieurs bandes spectrales à très haute résolution. Comme le nombre d'images acquises et leur taille sont en croissance, il devient difficile pour les opérateurs humains de traiter efficacement cette masse de données rapidement.

Les objectifs

Le but principal de ce projet est l'évaluation de divers logiciels de traitement d'image afin de déterminer si un logiciel existant offre tous les algorithmes et toutes les fonctionnalités nécessaires à la classification des images satellitaires dans le but de proposer un environnement logiciel pour faciliter la gestion des catastrophes majeures. Il s'agit de définir une plateforme de développement permettant de faire le pont entre la recherche et l'application par les experts des organismes à valeur ajoutée auxquels les membres de la Charte font appel. De ceci découle aussi le besoin d'identifier des logiciels existants permettant de traiter et de représenter en plusieurs niveaux hiérarchiques de plus en plus abstraits des images satellitaires tout en offrant les algorithmes précédemment déterminés. Si tel n'est pas le cas, il s'agira d'évaluer si l'adaptation d'un logiciel spécialisé en vision informatique est réalisable, s'il est préférable de construire une nouvelle application sur mesure pour résoudre le problème ou s'il est possible de combiner quelques logiciels afin d'arriver au but. Ce travail sera fait dans l'optique de permettre une classification automatique éventuelle des images satellitaires. Une fois un logiciel adéquat choisi, des améliorations y seront apportées afin de le rendre plus facile d'utilisation. De plus, une chaîne de traitements pour la résolution d'un problème typique de télédétection sera établie.

Cette dernière permettra de déterminer quels algorithmes sont déjà présents et quels sont ceux qui devront être ajoutés.

Les spécifications

Puisqu'il s'agit avant tout d'un travail de recherche qualitatif, les hypothèses suivantes seront utilisées. Premièrement, pour qu'un logiciel soit jugé acceptable, il devra être en mesure de répondre aux besoins présents et futurs reliés au projet. Ceci implique plusieurs sous-éléments. D'abord, un tel logiciel doit exister déjà ou être réalisable dans un court laps de temps. Ensuite, puisque les besoins évolueront au cours du projet, le logiciel devra permettre l'ajout et la modification de composantes pour s'adapter. Finalement, le logiciel devra être disponible pour tous les chercheurs associés au projet global. Ainsi, le logiciel pourra être installé sur un serveur ou sur un nombre adéquat de postes individuels. Les éléments décrits ci-dessus seront utilisés comme base lors de la définition des critères d'évaluation.

Les limites

Afin d'effectuer une analyse adéquate tout en évitant l'évaluation de logiciels trop éloignés de la problématique de départ, il est établi que seulement un nombre limité de logiciels sera utilisé pour l'évaluation. Il existe de nombreux logiciels de traitement d'images plus ou moins spécialisés en télédétection, mais seulement les plus utilisés seront évalués. De plus, afin de cibler correctement les besoins des chercheurs, il faudra utiliser un certain nombre de critères pour évaluer les logiciels. Ces critères doivent donc être précis et en nombre limité pour éviter d'analyser des éléments inutiles. Il faudra aussi se concentrer sur les logiciels directement en évitant autant que possible les considérations matérielles, car ces dernières devraient dans la mesure du possible être toutes similaires peu importe le logiciel. Ceci inclut autant l'aspect processeur et mémoire que le stockage à long terme des images d'entrées et des images et données résultant d'un traitement.

Les termes

Comme le projet est rattaché au domaine de l'observation de la terre et implique des technologies d'imagerie en orbite, plusieurs termes seront définis ici afin d'aider le lecteur

lors de sa lecture du document. Certains de ces termes ont la même définition que dans d'autres domaines d'imagerie alors que certains autres ont une définition spécifique aux images satellitaires. Les termes récurrents ainsi que leur définition appropriée sont donc présentés ci-dessous.

Bande : Plage de fréquence à laquelle une acquisition d'image est effectuée. Par exemple : le bleu entre 0,440 μm et 0,490 μm.

Multibande : Se dit d'une image qui comporte plusieurs bandes.

Hyperspectral(e) : Il s'agit typiquement de plus de 100 bandes d'acquisition généralement contigües.

Multispectral(e) : Qui comporte de deux à 100 bandes d'acquisition généralement choisies selon les besoins.

Résolution : Dimension d'un pixel d'une image. Par exemple, pour une résolution d'un mètre, chaque pixel représente une zone d'un mètre par un mètre.

Temps de revisite : Il s'agit du temps que prend un satellite avant de repasser au dessus d'une zone d'intérêt particulière.

Les prérequis

Il est supposé que la communauté scientifique intéressée par l'analyse et le traitement des images satellitaires a une bonne connaissance des caractéristiques d'intérêts ainsi que des algorithmes les mieux adaptés aux besoins. Ainsi, la communication avec certains chercheurs du domaine permettra de diriger adéquatement les travaux dans ce projet. De plus, la disponibilité d'images satellitaires pour effectuer des mesures et tests des logiciels évalués est supposée. Finalement, il est fortement supposé qu'un ou des logiciels déjà

existants permettent avec peu ou pas de modification d'effectuer la majeure partie des travaux nécessaires à la réussite du projet.

La justification (les retombées)

Ce projet est justifié, car le nombre sans cesse croissant d'images satellitaires devient de plus en plus difficile à gérer par les experts. Le choix judicieux d'un logiciel de traitement et de représentation des images permettra de faciliter la classification future des images satellitaires. Ceci aura des retombées positives dans des domaines aussi variés que la défense, la prévision des risques naturels ainsi que la surveillance de la fonte des glaciers. Les organismes à valeur ajoutée de la Charte pourront profiter pleinement des résultats. Finalement, cette recherche s'inscrit dans le cadre d'une coopération internationale, ce qui démontre l'intérêt global pour des améliorations dans ce domaine.

Le contenu du mémoire

Le prochain chapitre porte sur la revue de la littérature. Il s'agit d'un survol des articles et thèses portant principalement sur la segmentation, l'extraction de caractéristiques, la représentation à différents niveaux et la classification. Ensuite, la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » sera décrite, car le projet aura des retombées positives pour les organismes membres de cette charte. Le chapitre suivant détaille l'évaluation des logiciels. La méthodologie utilisée pour répondre au problème sera décrite en détail. Ceci implique la définition du plan d'expérience, la méthode de collecte de données ainsi que la façon d'analyser les données obtenues. Après, les résultats obtenus pendant les diverses phases de la recherche seront exposés. Par la suite, une discussion sur les résultats obtenus et leur signification sera effectuée. Le quatrième chapitre porte sur les améliorations possibles pour le logiciel recommandé. Le dernier chapitre donne les détails sur la résolution d'un problème fréquent en télédétection à l'aide du logiciel choisi. Finalement, un retour sera fait sur l'ensemble du projet et les applications et recherches futures seront abordées dans la conclusion.

CHAPITRE 1

ACQUISITION ET TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES À TRÈS HAUTE RÉSOLUTION SPATIALE

1.1 Introduction

L'indexation des images satellitaires est un projet qui englobe plusieurs technologies différentes. Afin d'indexer ce type d'images, il faut d'abord avoir les moyens physiques de capturer ce type d'images. Pour cela, divers satellites sont présentement en orbite autour de la terre. Ils sont munis de divers capteurs permettant la capture de la surface de la terre sur différentes bandes spectrales. Ensuite, il est primordial d'avoir une conception approfondie de la constitution des données à traiter tel que le souligne Chrisman (1997), car les algorithmes utilisés dépendront grandement de ce facteur. Ceci amène un autre point important qui est de déterminer quelles méthodes et quels algorithmes seront les plus appropriés pour l'extraction de primitives ainsi que la classification des éléments extraits en fonction de diverses caractéristiques. Ce chapitre portera donc sur les divers éléments nécessaires à la compréhension du problème présenté par l'indexation de ce type d'images. Ceci permettra de mieux être en mesure d'évaluer correctement les différents logiciels disponibles pour réaliser le travail demandé.

Ainsi, il faudra comprendre les différentes plateformes de capture d'images et leurs capacités. De plus, il sera nécessaire d'avoir une vue d'ensemble générale des images satellitaires à proprement parler ainsi que les différents types de données reliées à ces images. Finalement, une bonne compréhension des principes de traitement et d'analyse d'images en général et satellitaires en particulier sera de mise.

Le chapitre sera donc divisé en cinq parties. Tout d'abord, les divers satellites de capture d'images qui sont présentement en service seront décrits de manière détaillée. Ensuite, la composition des images satellitaires sera expliquée. Troisièmement, les différents types et formats de données disponibles seront énumérés. Ensuite, la segmentation et l'extraction de

primitives à l'intérieur d'une image seront abordées de manière à envisager les difficultés qui seront probablement rencontrées. Pour terminer ce chapitre, les différents principes de segmentation et d'extraction de primitives seront abordés. De plus, quelques algorithmes de classification des éléments ou zones extraits des images seront expliqués afin d'aider dans l'évaluation des logiciels candidats pour la suite du projet.

1.2 Les satellites optiques en fonction

Depuis le lancement du premier satellite nommé Spoutnik en 1957 par les russes, des milliers de satellites furent mis en orbite autour de la terre. De nos jours, plus de 800 satellites sont actifs d'après l'*Union of Concerned Scientists* (2008). Par contre, seulement une vingtaine de ces satellites font la saisie de données d'observation de la terre. Parmi ceux-ci, seulement les suivants seront décrits, car ils représentent les sources les plus probables des données qui seront traitées dans le projet global : Landsat 7, Spot 4 et Spot 5, Quickbird 2, Ikonos et AVHRR. Pour chaque satellite, un bref historique sera présenté, la technologie utilisée pour la prise de données sera décrite et les différentes résolutions spatiales disponibles ainsi que les bandes spectrales captées seront énumérées.

Il est important de noter que les temps de revisite aussi connue comme résolution temporelle des satellites listés ci-dessous sont donnés selon le principe que l'image est prise hors du point nadiral (« Off-Nadir »). Cela signifie que le capteur n'est pas directement au-dessus de la zone captée. Les temps de revisite directement au point nadiral sont plus longs, mais offrent une image ayant moins de distorsion causée par les éléments optiques du capteur.

1.2.1 Landsat

Le premier satellite de ce programme, Landsat 1, fut lancé en 1972. Il s'agit d'un projet des États-Unis dont le plus récent satellite est Landsat 7. Le but du projet était d'avoir une plateforme capable de prendre des photographies de la surface de la terre afin d'en étudier les changements. Le premier satellite de la série était doté d'une caméra vidicon à retour de faisceau opérant dans le spectre visible ainsi que d'un capteur multispectral. Ce dernier

permettait l'acquisition d'images sur cinq bandes dont l'infrarouge thermal dans le cas de Landsat 3. La caméra à retour de faisceau fut remplacée par un scanneur multibande pour thèmes multiples (TM) à partir de Landsat 4. Ce capteur permettait l'acquisition de données sur sept bandes. Pour six bandes la résolution spatiale était de 30m alors que pour la bande capturant des images sur une bande englobant plusieurs des autres bandes, la résolution était de 120 m.

Pour le satellite le plus récent de cette série, Landsat 7, un nouveau scanneur multibande amélioré pour thèmes multiples (ETM+) est utilisé. La principale amélioration apportée comparée au TM est qu'il y a maintenant capture sur la bande panchromatique qui couvre l'ensemble du spectre visible. De plus, la résolution est maintenant de 60 m pour la bande thermale. Les données captées sont référencées selon le système mondial de référencement 2 (WRS-2). Les images produites représentent des régions de 183 km par 170 km. Ceci fait en sorte que pour chaque région, environ 3,8 Go de données sont capturées. Entre chaque acquisition d'une même zone, il se passe 16 jours. Il s'agit de la résolution temporelle de ce satellite.

Il est important de noter qu'en mai 2003, une défaillance est survenue avec le système de correction des lignes de balayage. Ceci fait en sorte que les images captées contiennent des zigzags sans données causés par les mouvements du satellite pour balayer une zone.

Le Tableau 1.1 montre les différentes bandes captées par l'ETM+ selon la longueur d'onde et la résolution spatiale.

Tableau 1.1 Liste des bandes spectrales pour Landsat 7

Identifiant de bande	Longueur d'onde (µm)	Résolution (m)
1	0,45 – 0,515	30
2	0,525 – 0,605	30
3	0,63 – 0,69	30
4	0,75 – 0,9	30
5	1,55 – 1,75	30
6	10,4 – 12,5	60
7	2,09 – 2,35	30
8	0,52 – 0,9	15

1.2.2 Spot

Le programme de Satellites Pour L'Observation de la Terre (SPOT) eut son premier satellite en orbite en 1986. Ce programme relativement jeune développé par la France conjointement avec la Belgique et la Suède comporte cinq satellites dont les deux derniers sont toujours en opération. Les trois premiers satellites lancés en 1986, 1990 et 1993 respectivement sont identiques. Ils sont dotés de deux capteurs du spectre visible à haute-résolution (HRV). Ces capteurs permettent l'obtention d'images sur quatre bandes dont une panchromatique. En 1998, SPOT 4 fut mis en orbite. Ce dernier est muni de deux capteurs du spectre visible et infrarouge à haute résolution (HRVIR) ainsi que d'un capteur VEGETATION. Les capteurs HRVIR gardent les mêmes résolutions spatiales de 10 m pour le panchromatique et 20 m pour les autres bandes que le HRV, mais ajoutent une bande infrarouge. Le capteur VEGETATION capte des images sur les quatre bandes suivantes : bleu, rouge, proche infrarouge et infrarouge central. Il permet l'observation à long terme de la couverture végétale à une résolution de 1 km.

SPOT 5, le plus récent satellite de ce programme fut lancé en 2002. Le satellite SPOT 5 comporte trois types de capteurs différents. Tout d'abord, une paire de capteurs géométriques à haute résolution (HRG) rend possible l'obtention d'images dans les mêmes bandes que les HRVIR, mais avec une meilleure résolution. La paire de capteurs stéréo à haute résolution (HRS) est utilisée pour l'acquisition simultanée de couples stéréoscopiques d'une même zone. Ceci fait en sorte qu'un seul satellite est nécessaire pour obtenir des images permettant la création de modèles d'élévation de terrain numérique (DEM). Finalement, ce satellite est aussi doté d'un capteur VEGETATION identique à celui de SPOT 4.

Le Tableau 1.2 montre les différentes bandes captées par les différents capteurs du satellite SPOT 5.

Tableau 1.2 Liste des bandes spectrales pour Spot 5

HRG		
Identifiant de bande	**Longueur d'onde (µm)**	**Résolution (m)**
B1	0,5 – 0,59	10
B2	0,61 – 0,68	10
B3	0,79 – 0,89	10
SWIR	1,58 – 1,75	20
PAN	0,51 – 0,73	5 ou 2,5
HRS		
Identifiant de bande	**Longueur d'onde (µm)**	**Résolution (m)**
PAN	0,51 – 0,73	10
VEGETATION		
Identifiant de bande	**Longueur d'onde (µm)**	**Résolution (m)**
B0	0,43 – 0,47	1165
B1	0,61 – 0,68	1165
B2	0,79 – 0,89	1165
MIR	1,58 – 1,75	1165

1.2.3 Quickbird

Tout comme la série SPOT, le programme Quickbird est commercial et appartient à la société DigitalGlobe. L'objectif de l'entreprise est de mettre en orbite une constellation de trois satellites offrant un service rapide. Ceci fut réalisé en 2009. Le satellite Quickbird fut lancé en 2001. Par la suite, le satellite WorldView-1 fut mis en orbite en 2007. Le dernier de la série, WorldView-2 fut lancé en octobre 2009. Le principal attrait des images fournies par ces satellites est qu'elles offrent une résolution spatial jusqu'à 50 cm en panchromatique pour WorldView-1 et 60 cm en panchromatique ainsi que 2.4 m en multispectral pour Quickbird. Ceci fait de ce programme l'un des plus précis disponible commercialement à ce jour.

Le satellite Quickbird est composé d'un capteur haute-résolution permettant l'acquisition d'images de haut contraste avec un ratio signal-bruit élevé. Son temps de revisite d'une zone est entre un et trois jours et demi selon la latitude. Ceci fait en sorte que le suivi de changements rapides dans une zone (ex : catastrophes naturelles) est plus facilement réalisable à l'aide des images obtenues par ce satellite.

Le Tableau 1.3 montre les différentes bandes captées par les différents capteurs du satellite Quickbird.

Tableau 1.3 Liste des bandes spectrales pour Quickbird

Identifiant de bande	**Longueur d'onde (µm)**	**Résolution (m)**
B	0,45 – 0,52	2,4
G	0,52 – 0,6	2,4
R	0,63 – 0,69	2,4
NIR	0,76 – 0,9	2,4
PAN	0,445 – 0,9	0,6

Le seul point faible de ce satellite est qu'il n'offre qu'une seule bande près de l'infrarouge et aucune dans l'infrarouge à proprement parler. Ceci fait en sorte que les zones végétales contenues dans les images ne sont pas aussi facilement classifiables qu'avec des images dont les bandes infrarouges sont disponibles.

1.2.4 IKONOS

Le satellite commercial IKONOS est commandé par la compagnie GeoEye établie en Virginie aux États-Unis. Il fut mis en service en 1999. Par la suite, le satellite OrbView-3 fut lancé en 2003. Par contre, à la suite d'une défaillance du système de caméras, ce satellite cessa d'acquérir de nouvelles images en 2007 selon *SpaceToday.net* (2007). Le satellite GeoEye-1 (anciennement OrbView-5) fut mis en orbite en septembre 2008.

Le satellite IKONOS a une résolution spatiale de 1 m en panchromatique et 4 m en multispectral. Les bandes multispectrales captées sont le bleu, le vert, le rouge et le proche infrarouge. Le temps de revisite est de trois à cinq jours. GeoEye offre différents produits d'imagerie provenant d'IKONOS comme les images orthorectifiées et les images stéréoscopiques.

Le Tableau 1.4 montre les différentes bandes captées par les différents capteurs du satellite IKONOS.

Tableau 1.4 Liste des bandes spectrales pour IKONOS

Identifiant de bande	**Longueur d'onde (µm)**	**Résolution (m)**
1	0,445 – 0,516	4
2	0,506 – 0,595	4
3	0,632 – 0,698	4
4	0,757 – 0,853	4
PAN	0,529 – 0,929	1

1.2.5 AVHRR

Le satellite à radiométrie de très haute résolution (« Advanced Very High Resolution Radiometer ») ou AVHRR est plus spécialisé que les satellites décrits précédemment. En effet, il sert principalement à déterminer les couches nuageuses et la température des différentes surfaces acquises par le capteur (nuage, eau, terre). Le premier de la série comportait un capteur à quatre bandes et fut mis en service en 1978. Le second. AVHRR/2, fut lancé en 1981 et était composé d'un capteur à cinq bandes. Le plus récent de la série, AVHRR/3, fut placé en orbite vingt ans après le premier et est capable d'acquérir des données sur six bandes spectrales.

AVHRR/3 capte des données principalement dans la région infrarouge ainsi que dans le rouge et une faible partie du vert dans le spectre visible. Sa résolution spatiale de 1 km est très loin des résolutions offertes par les autres satellites. Par contre, ce satellite offre une meilleure couverture de l'infrarouge et ceci permet entre autre un suivi des changements climatiques, mais aussi la détection de neige et de glace, l'obtention de la température de l'eau et la détection de zones nuageuses.

Le Tableau 1.5 montre les différentes bandes captées par les différents capteurs du satellite AVHRR.

Tableau 1.5 Liste des bandes spectrales pour AVHRR

Identifiant de bande	**Longueur d'onde (µm)**	**Résolution (m)**
1	0,58 – 0,68	1090
2	0,725 – 1,0	1090
3a	1,58 – 1,64	1090
3b	3,55 – 3,93	1090
4	10,3 – 11,3	1090
5	11,5 – 12,5	1090

1.3 Les satellites radars

Le radar à synthèse d'ouverture (RSO), dont certains satellites d'observation de la Terre sont munis, est défini comme un « radar à visée latérale pourvu d'un dispositif spécial de traitement des signaux rétrodiffusés, permettant d'améliorer la résolution géométrique de

l'image selon l'axe parallèle à la route du vecteur »[1]. Puisque les ondes radars sont polarisées et que différents matériaux réfléchissent les ondes radars de manières différentes, il est possible de faire une étude polarimétrique de la couverture terrestre afin d'en déterminer la nature. De plus, en utilisant deux antennes espacées, il est possible de déterminer la position tridimensionnelle d'un pixel grâce à ce qu'on appelle l'interférométrie. Bien que plusieurs satellites radars existent, seulement le plus récent radar canadien et le plus récent radar allemand seront présentés dans cette section. Il s'agit de RADARSAT-2 et TerraSAR-X.

1.3.1 RADARSAT-2

Ce satellite fut mis en orbite en décembre 2007. Il s'agit d'un satellite appartenant à la compagnie MacDonald Dettwiler and Associates (MDA) qui en assure aussi l'opération et la commercialisation des images capturées. Il s'agit du second satellite radar canadien après RADARSAT-1 lancé en 1995 et toujours en opération. RADARSAT-2 remplit diverses fonctions telles que la détection d'éléments polluants, le suivi du développement des cultures agricoles et l'acquisition de cibles pour l'armée. Ce satellite opère dans la bande radar C. L'Agence Spatiale Canadienne partage un partenariat financier avec MDA afin de fournir au gouvernement canadien des données provenant de RADARSAT-2. Puisque l'acquisition d'images radars ne se fait pas en fonction de bandes spectrales, le tableau présentant les différentes résolutions offertes par RADARSAT-2 diffère légèrement de ceux présentés précédemment. Ainsi, la première colonne présentera le mode d'acquisition, la seconde décrira la finesse du balayage et la dernière donnera la résolution métrique.

Le Tableau 1.6 montre les différentes résolutions offertes par RADARSAT-2 selon le mode d'acquisition et le type de balayage. Comme il est possible de le voir dans le tableau ci-

[1]En ligne. http://www.espace.gc.ca/asc/fr/ressources/vocabulaire_affiche.asp?id=144 . Consulté le 6 octobre 2008

dessous, ce satellite offre au maximum une résolution de trois mètres. À ce jour, il s'agit d'une des meilleures résolutions d'images radars disponibles commercialement.

Tableau 1.6 Liste des résolutions d'acquisition pour RADARSAT-2

Mode d'acquisition	**Balayage**	**Résolution (m)**
Polarisation sélective transmission H ou V réception H et/ou V H = Horizontale V = Verticale	Fin	10x9
	Standard	25x28
	Faible incidence	40x28
	Haute incidence	25x28
	Large	25x28
	Scan RSO étroit	50x50
	Scan RSO large	100x100
Polarimétrique transmission H et V alternée réception H et V simultanée	Quad-pol fin	11x9
	Quad-pol standard	25x28
Polarisation sélective unique transmission H ou V réception H ou V	Pinceau	1x?
	Ultra-Fin	3x3
	Fin à multivisée	11x9

1.3.2 TerraSAR-X

Le satellite radar TerraSAR-X fut mis en orbite le 15 juin 2007 à partir du Kazakhstan. Le développement fut effectué conjointement par le centre spatial allemand et la compagnie EADS Astrium. Les droits d'exploitation commerciale appartiennent à Infoterra. Ce satellite opère dans la bande X. Grâce à sa longueur d'onde courte, la bande X permet d'obtenir une résolution spatiale de 1 m. Il s'agit de la meilleure résolution présentement disponible sur le marché pour des images radars satellitaires. Les applications du satellite TerraSAR-X sont nombreuses et variées. Elles comprennent le calcul de l'élévation du terrain, la météorologie,

l'évaluation de l'utilisation des terres et la détection de structures en dessous de la végétation et dans le sol. Le temps de revisite d'une scène est de deux jours et demi grâce au chevauchement des images captées. Tout comme RADARSAT-2, TerraSAR-X peut avoir une polarisation simple, double ou quadruple selon les besoins des clients.

Le Tableau 1.7 qui suit liste les différents modes d'acquisition de ce satellite et la résolution spatiale disponible.

Tableau 1.7 Liste des résolutions d'acquisition pour TerraSAR-X

Balayage	**Polarisation**	**Résolution (m)**
SpotLight	Simple (HH ou VV)	1
	Double (HH/VV)	2
StripMap	Simple (HH ou VV)	3
	Double (HH/VV, HH/HV ou VVHV)	6
ScanSAR	Simple	18

1.3.3 Utilisation des images radars

Tel que mentionné plus haut, les possibilités d'utilisation des données radars sont multiples dans le domaine de la télédétection. De nombreux chercheurs ont d'ailleurs publié des articles fort pertinents pour diverses applications utilisant les images radars. Par exemple, les auteurs Tison *et al.* (2004) utilisent les données d'amplitude et de phase interférométrique pour détecter les bâtiments à l'aide de leur ombrage. Les résultats sont, à première vue, très intéressants, mais les auteurs mettent en garde contre l'utilisation de leur algorithme dans les zones de densité urbaine élevée.

Dans le même ordre d'idée, les auteurs Amberg *et al.* (2004) proposent une chaîne d'extraction de structures construites par l'homme à l'aide d'images RSO. Leur objectif

pratique est d'extraire le réseau routier de leur image d'étude. Ils se basent sur la programmation dynamique pour effectuer des recherches de candidats possibles pour les routes dans un arbre de tous les candidats.

Bien que l'intérêt de la télédétection soit souvent tourné vers le développement humain, il est aussi possible d'utiliser des données radars pour détecter et tracer les contours des rivages. Ainsi, les auteurs Tan *et al.* (2005) ont exploité la transformée en ondelettes ainsi que la méthode des contours actifs pour obtenir des contours suffisamment précis des rives d'un lac.

1.4 Les images satellitaires

Bien que les images satellitaires soient comme toutes les autres images composées à la base d'une matrice de pixels, elles contiennent en plus de l'information contextuelle ainsi que des traitements spécifiques à ce genre d'images qui augmentent leur utilité.

Parmi les ajouts par rapport à une image normale, on retrouve le géoréférencement, la projection cartographique et le traitement des distorsions occasionnées par le système optique des capteurs. Des informations récentes et détaillées sont exposées par Bolstad (2005). Ces aspects seront abordés successivement dans les pages suivantes puis les différents types d'images offerts par les organisations commerciales propriétaires des satellites mentionnés ci-haut.

1.4.1 Géoréférencement

Le géoréférencement est l'acte de situer spatialement un objet par rapport à un système de coordonnées connu. Dans notre cas, il s'agit donc d'attribuer des coordonnées géographiques aux zones contenues dans les images satellitaires. Pour ce faire, il est nécessaire de définir des points de repère dont les coordonnées sont connues et de référencer tous les pixels de l'image selon ces points de repère. Un système GPS peut être utilisé directement sur le terrain. Il est aussi possible de référencer une région à partir de données cartographiques déjà existantes pour la région.

1.4.2 Projection cartographique

Pour ce qui est de la projection cartographique, il s'agit, selon le Centre Canadien de Télédétection (2005), de représenter la Terre dans un plan bidimensionnel. De nombreuses méthodes de transformation existent afin d'effectuer cette tâche. Les projections les plus répandues en imagerie satellitaire sont la projection de Mercator transverse universelle (MTU) et la projection conforme conique de Lambert (CCL). Chaque projection donne des résultats différents et chacune a ses applications particulières. La **Figure 1.1** donne un exemple de discordance entre les coordonnées projetées selon différentes méthodes. Puisque la projection cartographique implique des coordonnées, il devient apparent qu'elle va de paire avec le géoréférencement.

La projection MTU utilise une série de cylindres enveloppant la Terre à intervalles réguliers. Ce type de projection est très répandu pour les canevas cartographiques, car il permet de conserver un système de coordonnées cohérent pour toute une série de cartes.

Pour sa part, la projection CCL projette la surface de la Terre sur un cône déroulé. Son principal avantage est que les formes présentes sont conservées en tous points. Par contre, tout comme pour la projection MTU, la précision des angles et des distances est grande seulement à une échelle locale. Ceci est toutefois suffisant pour les régions généralement capturées par les satellites d'imagerie. Ce type de projection est le plus utilisé pour les cartes d'Amérique du Nord.

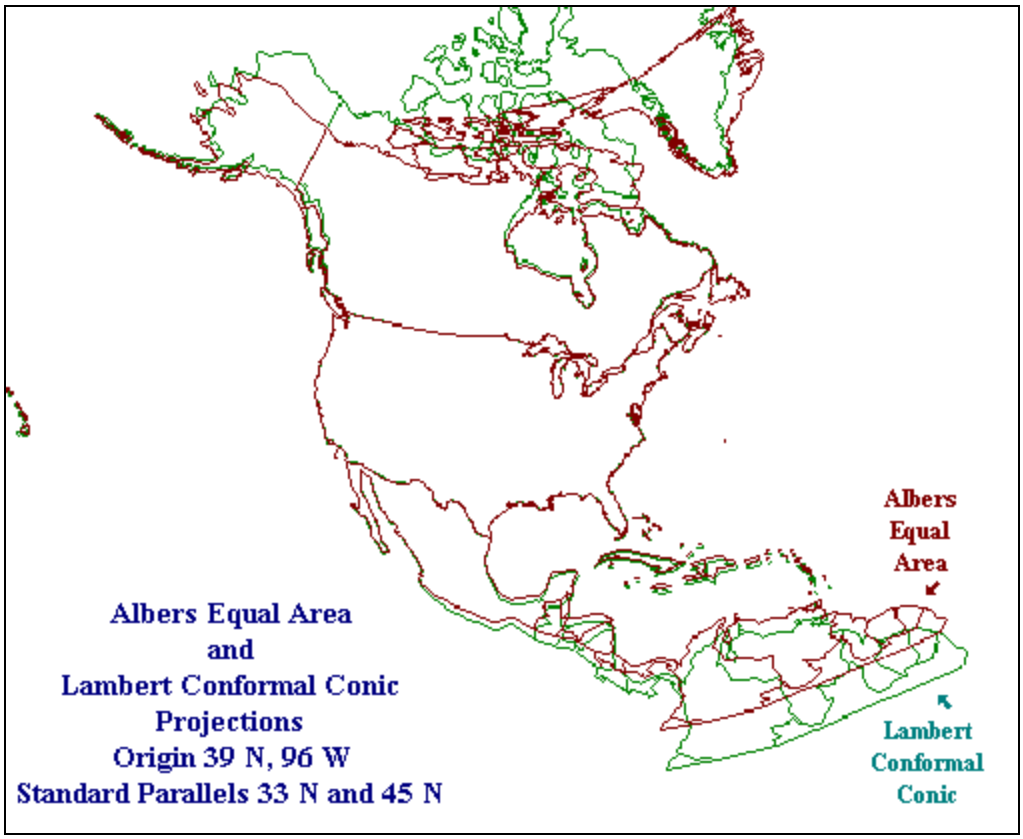

Figure 1.1 Différence entre la projection d'Albers et la projection conforme conique de Lambert.

Tirée de Peter H. Dana, the Geographer's Craft project.
Département de géographie. Université du Colorado.
http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/mapproj/mapproj_f.html

1.4.3 Image de base

Ce type d'image est le plus simple qui soit. L'image est directement reçue du satellite et ne subit absolument aucun traitement avant d'être envoyée au client. À moins d'être un chercheur en traitement d'images satellitaires qui désire explorer de nouvelles méthodes de filtrage ou d'avoir des besoins très précis, ce type de carte n'est pas souhaitable, car tout le travail de préparation doit être effectué.

1.4.4 Image standard

Ce deuxième type d'image satellitaire est sans doute le plus répandu. Avant d'être rendue disponible, une image standard sera géoréférencée à l'aide de points de repère connus et robustes. Une projection cartographique sera aussi appliquée afin d'avoir une carte en deux dimensions de la zone acquise. De plus, une série de filtres et corrections sera appliquée afin d'éliminer les distorsions causées par le jeu de lentilles du satellite ainsi que le bruit occasionné par le capteur lui-même. Finalement, il arrive aussi parfois que la couverture nuageuse soit enlevée ou atténuée.

1.4.5 Image orthorectifiée

Les images orthorectifiées sont généralement des images standards auxquelles une autre étape de traitement est ajoutée. Il s'agit de corriger les distorsions occasionnées par l'angle de visé du satellite ainsi que l'élévation des différentes régions d'une image. Afin de rectifier une image satellitaire, un modèle numérique de terrain (MNT) ou *Digital Elevation Model (DEM)* est utilisé. Ce modèle est généralement créé à l'aide de couples stéréoscopiques de la région à traiter. Il s'agit ici aussi d'un type de projection, mais lié au terrain plutôt qu'aux coordonnées. La compagnie *Satellite Imaging Corporation* offre un exemple animé d'orthorectification d'une image satellitaire accompagnée d'explications détaillées[2].

[2] Orthorectification d'une image par la compagnie *Satellite Imaging Corporation* : http://www.satimagingcorp.com/svc/orthorectification.html

1.4.6 Couples stéréoscopiques

Les couples stéréoscopiques sont une paire d'images de la même région avec un léger déplacement entre les deux. Ce type de produit est de plus en plus disponible grâce aux satellites comme SPOT 5 équipés de paires de capteurs permettant l'acquisition d'un couple stéréoscopique en une seule passe. Tel que mentionné plus haut, ce type d'image est utilisé pour générer des modèles numériques de terrain. Un MNT représente la dénivellation du terrain dans la zone captée. Il peut être utilisé pour effectuer une reconstruction tridimensionnelle du terrain. De plus, les paires stéréoscopiques sont utilisées pour déterminer la hauteur des bâtiments ainsi que des arbres et autres éléments contenus dans une image satellitaire.

1.5 Les types de données contextuelles

Les systèmes d'information géographique (SIG) utilisent différents formats de fichiers pour stocker les éléments cartographiques ou contextuels d'une zone terrestre. Cependant, seulement deux grands types principaux de représentation sont utilisés par ces SIG. Il s'agit du format matriciel et du format vectoriel. À l'aide de ces deux formats, tous les éléments symboliques d'une image satellitaire peuvent être représentés : route, école, lac, conifère, feuillu, etc.

Cette section explique les différences fondamentales entre les deux représentations ainsi que les avantages et désavantages de chacun.

1.5.1 Données matricielles

La représentation matricielle des données en imagerie satellitaire remplit plusieurs fonctions. À la base, il s'agit d'un tableau à deux dimensions dont chaque cellule contient la valeur mesurée. Pour une image, satellitaire ou autre, chaque cellule est appelée pixel et contient un scalaire représentant un niveau de gris pour une image panchromatique ou un vecteur pour

les images multispectrales ou hyperspectrales. La combinaison de trois matrices permet de visualiser une image en pseudo couleur.

De façon plus générale, il est possible de stocker d'autres informations d'une zone terrestre à l'aide d'une matrice. Par exemple, il peut être intéressant de connaître la température à chaque point d'une surface ou bien la quantité de pluie annuelle pour une région. De plus, une matrice peut être créée pour contenir les classes d'appartenance de chaque pixel après une classification d'une image satellitaire.

Puisque les images satellitaires peuvent être de très grande taille (40 000x40 000 pixels dans le cas d'images de Quickbird), il peut être intéressant de compresser les données contenues dans une matrice tout en évitant une perte d'information. À cet effet, Gonzalez (2004) propose de nombreux algorithmes tels que l'encodage de plage ou *run-length encoding* (RLE) et Lempel-Ziv-Welch (LZW). Une autre méthode est l'utilisation d'une structure de données quartenaires ou *quadtree compression* telle que mentionnée par Chrisman (1997). Il ne faut pas oublier que la principale contrainte de la représentation matricielle est la résolution des pixels. Plus la précision requise est grande, plus la taille de la matrice sera importante.

1.5.2 Données vectorielles

Depuis que l'homme construit des bâtiments et routes pour faciliter son existence, la surface de la terre est parsemée de nombreuses structures géométriques. Il suffit de penser aux autoroutes, aux édifices commerciaux et stationnements, aux chemins de fer ainsi qu'aux maisons pour voir qu'une représentation vectorielle est tout à fait adéquate pour le stockage de ces types de données extraites d'une image satellitaire. Trois principaux types de données peuvent être représentés par des vecteurs : les points, les lignes et les polygones.

En imagerie satellitaire, les points peuvent représenter des centres d'intérêt spécifiques tels que la position d'une école, le centre d'une ville ou un aéroport. Ce type de représentation

permet simplement de localiser l'objet, mais ne donne pas d'indication sur sa taille et sa forme réelles.

Les lignes sont fréquemment utilisées pour représenter les routes, les chemins de fer ainsi que les rivières. Il s'agit simplement d'une série de vecteurs dont le point d'arrivée de l'un est le point d'origine d'un autre. Par contre, le problème d'identification de la largeur d'une route ou d'une rivière demeure présent.

Pour ce qui est des polygones, ils peuvent décrire suffisamment bien les frontières entre des zones administratives, la forme d'un lac et même la structure des bâtiments. Un polygone est composé d'une suite de segments droits dont le dernier se termine au point de départ du premier segment. Divers modèles existent pour représenter des polygones et Gold (1988) explique les principes fondamentaux.

L'avantage de la représentation vectorielle est la possibilité de faire un zoom positif ou négatif facilement, car seule l'amplitude des vecteurs à besoin d'être modifiée. Par exemple, lors de la décomposition en pyramide multi-échelle d'une image satellitaire, le même jeu de données vectorielles peut être utilisé en spécifiant seulement un facteur d'échelle. Un problème majeur tel que mentionné par Chrisman (1997) est que la représentation topologique des objets par des polygones peut créer des zones de chevauchement ainsi que des trous entre des objets adjacents.

1.6 Segmentation et extraction des primitives

Avant d'être en mesure d'effectuer une classification de zones ou l'extraction d'objets d'intérêt dans une image, il est nécessaire d'extraire des primitives de cette image. Ces primitives sont les composants primaires permettant de construire les différents objets. Au cours des dernières années, de nombreux chercheurs se sont consacrés à l'extraction de primitives les plus significatives selon les besoins. Parmi les techniques possibles, il existe la détection au niveau des pixels, l'utilisation du contexte, l'analyse de textures ainsi que des

analyses plus poussées. Ces multiples approches seront approfondies ci-dessous. Il faut toutefois savoir que certaines de ces méthodes sont plus performantes que d'autres pour certains problèmes spécifiques et selon la résolution d'image.

1.6.1 Méthodes basées sur les pixels directement

La méthode la plus simple, d'après Fu *et al.* (1969), est de caractériser les zones en fonction de la valeur des pixels. Puisque différents types de couverture terrestre ont des réflectances ou facteurs de réflexion distincts, il est possible de caractériser une zone selon sa réflectance. Pour ce faire, les bandes rouges et proche-infrarouges sont généralement favorisées, car les végétaux se séparent plus facilement dans ces bandes spectrales selon Tucker (1979). Ces méthodes sont les plus simples et généralement les plus rapides, par contre, les résultats sont généralement faibles avec des taux de succès en dessous de 90%. Ce type d'approche est idéal pour la classification approximative de très grandes surfaces. En effet, puisqu'un pixel représente une région variant de 0,5 m à 1 km, il n'est généralement pas possible d'identifier précisément des objets dont la taille est plus petite que la taille d'échantillonnage. Ainsi, une maison de 10 m par 10 m ne sera pas adéquatement captée sur une image dont la résolution spatiale est de 25 m.

Malgré ces limitations spatiales, ce type d'approche est encore utilisé, mais il est habituellement accompagné d'informations additionnelles telle que la connaissance du voisinage et parfois des classifications préexistantes d'une région. Finalement, certaines études sont effectuées pour l'extraction au niveau du sous-pixel dont les travaux de Broadwater (2004).

1.6.2 Utilisation d'information contextuelle

Tel que mentionné ci-haut, il est rare que les méthodes basées seulement sur les pixels soient suffisantes pour résoudre un problème en imagerie satellitaire. C'est pourquoi il arrive fréquemment que de l'information contextuelle soit utilisée pour faciliter l'extraction de caractéristiques. Une méthode souvent choisie est la préservation de la cohérence spatiale

entre les pixels avoisinants. La plupart du temps, une zone sera composée de plusieurs pixels adjacents ayant des caractéristiques spectrales similaires. En tenant compte de cela, il est plus facile d'assigner une classe à un groupement de pixels.

Dans la même ligne de pensée, Xiao *et al.* (2004) proposent d'utiliser l'indice d'activité végétale (NDVI) afin de masquer les zones de végétation pour, par la suite, être en mesure de détecter plus facilement les segments de route par exemple. Le NDVI est cité comme moyen reconnu de détecter la végétation et est fréquemment utilisé. Une autre connaissance contextuelle peut être la probabilité de retrouver des éléments construits par les hommes tels que des maisons et autres bâtiments selon la zone dans laquelle l'analyse est effectuée. Ceci est proposé par Amberg *et al.* (2004). Pour la détection de routes, plusieurs critères peuvent être définis afin de bien caractériser un segment de route (longueur, courbe, etc.).

Ce qu'il ne faut pas oublier avec les méthodes utilisant de l'information contextuelle est que l'information à utiliser doit être fortement corrélée avec les caractéristiques à extraire. Une façon d'obtenir et d'exploiter le contexte lié à une image satellitaire est l'utilisation d'un système d'information géographique. Puisque de nombreuses cartes sont déjà construites pour un nombre important de régions dans le monde et que les SIG sont de plus en plus répandus, il devient facile de se servir d'information déjà existante pour effectuer la mise à jour d'une classification sur une région donnée. Quelques auteurs tels que Duan *et al.* (2005), Guienko (2003) et Tsegage *et al.* (2001) se sont intéressés à ce domaine de recherche.

1.6.3 Analyse de la texture

Vue de l'espace, la couverture terrestre est composée d'une majorité d'eau, de nombreuses zones de végétation ainsi que de régions urbaines ou dénudées. Dans cette optique, les différentes couvertures végétales offrent divers aspects visuels en plus d'avoir une réponse spectrale différente. Ainsi, il est intéressant de faire l'analyse de la texture dans une image satellitaire pour être capable d'extraire les différents types de végétation ainsi que les routes et bâtiments.

Diverses techniques sont présentement utilisées pour analyser la texture dans les images. Par exemple, il est possible de définir des matrices de cooccurrence pour une région donnée afin de déterminer si des niveaux de gris se répètent avec une fréquence et une orientation permettant de signaler la présence d'une texture. Ceci est proposé par Shanggua (2007) dont l'objectif est la détection des différents types de nuages présents dans une image satellitaire.

Une autre approche consiste à décomposer une image en ondelettes de Gabor. L'application d'un filtre de Gabor imite le processus de traitement de notre système de vision. Tel que discuté par Arivazhagan *et al.* (2006), la représentation en ondelettes de Gabor en deux dimensions permet la représentation fréquentielle et spatiale pour une zone donnée appelée imagette. Il devient ainsi possible d'utiliser ces éléments comme caractéristiques à comparer avec celles de textures connues recherchées comme, par exemple, la couverture d'une forêt de pins pour classifier les zones d'une image satellitaire. Dans leur article, les auteurs Zhao *et al.* (2005) proposent la fusion d'un filtre de Gabor avec un classificateur par champs de Markov pour la classification de la couverture terrestre avec des résultats au dessus de 80% démontrant ainsi l'intérêt d'utiliser des filtres de Gabor pour les textures se trouvant dans les images satellitaires.

1.6.4 Autres méthodes

En plus de devoir extraire des caractéristiques d'une image satellitaire, il faut aussi être en mesure de sélectionner les caractéristiques nécessaires à l'accomplissement de la tâche de plus haut niveau (ex : détection du réseau routier d'une ville). Il s'agit alors de faire de la sélection de caractéristiques. Pour effectuer ce travail, diverses techniques existent dans la littérature. Les méthodes les plus communes sont la réduction de la dimensionnalité et la fusion d'information.

La réduction de la dimensionnalité peut être utilisée comme étape préliminaire avant d'injecter les caractéristiques dans un classificateur. Le temps de calcul exigé par les

différents classificateurs dépend souvent du nombre de caractéristiques qui doivent être prises en considération. En sachant cela, il peut être pertinent de tenter de diminuer le nombre de caractéristiques sans pour autant perdre en information. Une méthode très répandue pour effectuer la réduction de la dimensionnalité est l'analyse en composantes principales (ACP). Elle est d'ailleurs décrite et appliquée par Kaewpijit *et al.* (2002) pour l'étude d'images satellitaires. Une autre méthode, moins populaire, est la décomposition en valeurs singulières ou *singular value decomposition* (SVD). Tel que démontré par Berra (2003), il s'agit en fait d'une méthode équivalente à l'ACP lorsque cette dernière est effectuée avec la matrice de covariance plutôt que de corrélation. Ces deux méthodes statistiques font en sorte de diminuer le nombre de dimensions en projetant les données sur leurs axes représentant la plus grande variance.

Pour ce qui est de la fusion d'information, il s'agit en fait de conserver l'ensemble des caractéristiques, mais de fournir à différents classificateurs des ensembles de caractéristiques diverses. Ceci permet d'obtenir une série de réponses qui seront fusionnées afin d'améliorer la décision finale. De nombreux auteurs se sont intéressés à ce genre de technique appliquée spécifiquement à la classification de la couverture terrestre à partir d'images satellitaires dont Claywell *et al.* (2006), Fjortoft (2006), Sheng *et al.* (2008) Wanxiao *et al.* (2003) et Zhao *et al.* (2005). Généralement, les résultats obtenu par ces chercheurs sont au-dessus de 90%, mais certains ont obtenus des scores en dessous de 70% tel que Steele (2000). Il faut donc retenir que le choix des éléments caractéristiques ainsi que des classificateurs dépend de l'image et du but du traitement.

1.7 Classification

En télédétection, la classification permet de combler différents besoins. Les écologistes peuvent être intéressés par les différents types de végétation dans une zone précise. Un autre exemple peut être la détection de feux de forêts ou autres catastrophes. Afin de répondre à ces besoins, de nombreux chercheurs ont étudié divers classificateurs ayant déjà été utilisés pour d'autres types d'images. Parmi ceux-ci, on retrouve les réseaux de neurones tels

qu'utilisés par D'Addabbo *et al.* (2004), Liu *et al.* (2004), Luo *et al.* (2006), Kilpatrick et Williams (1995), Stephanidis *et al.* (1995), Waldemark *et al.* (2000) et Wang *et al.* (2005), les machines à vecteurs de support (SVM) utilisées par Inglada (2007) ainsi que les classificateurs plus généraux tel que le classificateur par maximum de vraisemblance ainsi que le classificateur Bayésien. De plus, la SVD décrite dans les méthodes de réduction de la dimensionnalité peut aussi être utilisée avec succès comme classificateur comme le propose Elden (2007).

1.7.1 Réseaux de neurones

Plusieurs types de réseaux de neurones existent, mais seulement quelques-uns d'entre eux sont fréquemment choisis pour la classification utilisant des images. Le plus populaire continue d'être le Perceptron multicouche. En ce qui concerne la classification de la couverture terrestre, il offre des résultats intéressants démontrés par Liu *et al* (2004). Par contre, si le nombre de caractéristiques devient trop élevé, le temps de calcul devient considérable et il faut se tourner vers des techniques de réduction de la dimensionnalité.

Dans certains cas, il peut être plus judicieux de se tourner vers un réseau de neurones dont la phase d'apprentissage est non supervisée. Ce type de classificateur évite le besoin de préparer des données d'apprentissage étiquetées. Ceci est le cas pour les cartes auto adaptatives de Kohonen (1987). Il est question ici d'un réseau dont les neurones permettent une représentation spatiale des classes. Les auteurs Kilpatrick et Williams (1995) emploient ce type de classificateur afin d'assigner des étiquettes à une région de l'Antarctique par un apprentissage non supervisé. Un réseau similaire est utilisé par Stephanidis *et al.* (1995) pour la classification des nuages dans les images satellites. L'intérêt de ce type de réseau est de contrôler le nombre de classes possibles par le nombre de neurones en sortie. Le réseau est organisé en carte topologique où les neurones rapprochées représentent des entrées semblables. Cela permet aussi d'effectuer une projection des caractéristiques dans un espace de dimensionnalité moins élevée que le système de départ. Par exemple, trois ou quatre bandes spectrales pourraient être utilisées pour caractériser chaque point d'une image alors

que le réseau pourrait être configuré avec une couche de sortie en forme de grille à deux dimensions. Le résultat est une représentation cartographique des classes caractérisées par les valeurs spectrales de chaque point dans les différentes bandes.

1.7.2 Machine à vecteur de support

Avec son introduction par Vladimir Vapnik (1995), ce type d'outil mathématique est jeune comparé aux réseaux de neurones. Il s'agit d'un classificateur bipolaire linéaire qui projette des données non-séparables linéairement dans un espace de plus grande dimension où les données deviennent séparables par un hyper-plan qui maximise la marge de séparation entre les classes. Il est possible de classifier des données non-linéaires en utilisant l'astuce du noyau (*kernel trick*) proposé par Aizerman (1967). L'utilisation d'un noyau pour remplacer les produits scalaires permet de passer d'un espace de faible dimension non-linéaire à un espace de plus haute dimension linéaire. L'attrait principal des SVM est qu'ils minimisent l'erreur empirique de classification tout en maximisant la marge de séparation entre les classes. On trouve des applications des SVM pour la classification d'images, mais très peu d'articles sont consacrés à son utilisation pour les images satellitaires.

Dans son article, l'auteur Inglada (2007) utilise une SVM pour détecter des objets créés par l'homme sur des images SPOT 5. Afin d'avoir un système insensible aux variations de réflectance causées par des changements saisonniers, les caractéristiques utilisées sont des informations géométriques. Bien que les résultats ne soient pas très précis, ce système de classification ne requiert aucune information a priori. Il suffit seulement d'avoir une base de données d'apprentissage. De plus, ce classificateur n'a pas besoin de connaître de façon spécifique les formes à classifier et peut donc être adapté à différentes tâches telles que la détection de segments de routes ou la détection de ponts.

Pour sa part, Sheng *et al.* (2008) utilisent une SVM afin de fusionner des bandes spectrales à une bande panchromatique de résolution spatiale plus précise. Ceci permet d'obtenir une image pseudo couleur dont la résolution est plus élevée. Le fait de fusionner les différentes

bandes peut faciliter les étapes subséquentes d'extraction et classification. Les résultats démontrent que cette technique est comparable à celles déjà existantes tout en obtenant un score légèrement supérieur, car elle élimine mieux les distorsions spatiales.

1.7.3 Méthodes hybrides

Afin de palier aux divers points faibles des différents classificateurs, certains auteurs ont proposé des méthodes combinant différents classificateurs soit en cascade, soit en parallèle. Parmi celles-ci, Liu *et al.* (2004) et Luo *et al.* (2006) ont étudié l'utilisation d'algorithmes génétiques pour faire l'apprentissage des poids d'un réseau de neurones de type Perceptron multicouche suivi de la poursuite de l'apprentissage par descente du gradient. Une autre approche est mise de l'avant par Zortea *et al.* (2008). Il s'agit de l'utilisation d'un ensemble de classificateurs SVM pour effectuer la classification de la couverture terrestre à partir d'images satellitaires. L'idée est d'assigner les classes en fonction d'un système par vote des différents classificateurs ayant reçu en entrée des données sur la même zone.

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, une revue de la littérature fut accomplie concernant les différents satellites en orbite qui capturent des images de la surface terrestre, les différents types d'images satellitaires ainsi que les types de données contextuelles rattachées à ces images, différentes techniques de segmentation et extraction de caractéristiques et finalement quelques classificateurs utilisés dans ce domaine. Ceci a permis d'avoir une vue d'ensemble sur les ressources disponibles pour le projet ainsi que de mettre en contexte des méthodes précédemment employées pour l'analyse d'autres types d'images.

Le prochain chapitre portera sur la Charte Internationale « Espace et catastrophes majeures » qui gère la distribution de données satellitaires aux organismes qui sont appelés à gérer les ressources lors de catastrophes.

CHAPITRE 2

CHARTE INTERNATIONALE « ESPACE ET CATASTROPHES MAJEURES »

2.1 Introduction

Puisque l'utilisation de satellites pour l'observation de la Terre est une activité très dispendieuse, elle n'est pas à la portée de tous. Par contre, lorsqu'une catastrophe naturelle survient, il peut s'avérer fort utile pour les équipes de secours ainsi que pour les personnes affectées à la reconstruction d'avoir accès à des images satellitaires captées avant et après la catastrophe. L'utilisation de ces images permet non seulement de planifier adéquatement la répartition des équipes de secours afin de maximiser l'effort pour sauver des vies humaines, mais aussi de prévoir quels moyens de transport sont les plus adéquats selon l'état des routes et des ponts.

Afin de rendre des images disponibles gratuitement aux preneurs de décisions en cas de catastrophes, la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » fut créée. Cette dernière s'occupe d'abord d'obtenir les images satellitaires de la zone touchée par une catastrophe. Ensuite, les images brutes sont traitées et analysées par des experts pour faire ressortir les éléments importants selon la catastrophe. Finalement, le produit complété est envoyé aux utilisateurs finaux afin que ces derniers puissent agir au mieux.

Ce chapitre est divisée en cinq grandes sections. Tout d'abord, la Charte elle-même sera décrite plus en détail. Ensuite, les membres actuels de la Charte seront présentés. Le processus d'activation de la Charte sera expliqué étape par étape. Les différentes catastrophes pouvant donner lieu à l'activation de la Charte seront décrites. Enfin, divers exemples d'activations récentes de la Charte seront donnés. Le chapitre se terminera par une conclusion faisant un retour sur les diverses sections et établissant un lien avec l'ensemble du projet.

2.2 La Charte

Cette section présente la Charte dans son ensemble. Nous expliquons les débuts de la Charte, les buts visés par celle-ci ainsi que les différents services offerts. Tel que son nom l'indique, il s'agit d'un accord international entre diverses agences spatiales et autres organismes.

2.2.1 Début

C'est après la tenue de la conférence Unispace III[3] en juillet 1999 que l'agence spatiale européenne et l'agence spatiale française ont fondé la Charte. Cette conférence avait plusieurs ateliers portant sur la télédétection au service de la gestion des catastrophes naturelles qui ont contribué à faire connaître les enjeux auxquels les preneurs de décisions doivent faire face lors de catastrophes. Le 20 octobre 2000, l'Agence spatiale canadienne signait et devenait le troisième membre de la Charte. Bien que la Charte était déjà fondée depuis un certain temps, ce n'est qu'en novembre 2000 qu'elle entra officiellement en vigueur.

2.2.2 But de la Charte

Afin de bien capturer l'essence même de la Charte, le passage suivant est extrait directement du site web officiel de la Charte (2008). « La Charte internationale vise à offrir un système unifié d'acquisition et de livraison des données satellites dans les cas de catastrophes d'origine naturelle ou humaine par l'entremise d'utilisateurs autorisés. ». Chaque agence membre s'est engagée à fournir des ressources à l'appui de la Charte et contribue ainsi à atténuer les répercussions de telles catastrophes sur la vie des gens et sur la propriété. Ce passage explique clairement l'objectif principal de la Charte : fournir des données satellites

[3] Conférence UNISPACE III 1999 : http://www.un.org/events/unispace3/

aux utilisateurs habilités à prendre des décisions lors de catastrophes. Pour atteindre ce but, la Charte prévoit différents services faisant partie d'un ensemble générique appliqué pour chaque activation. Le texte cité fait aussi mention d'utilisateurs autorisés. Il s'agit principalement des organismes ou services de protection, défense et sécurité civile ou de secours, ou autres services présents dans un pays où une catastrophe survient. Il peut y avoir des exceptions, mais le conseil directeur de la Charte doit les autoriser.

2.2.3 Services offerts

Tel que mentionné précédemment, la Charte offre divers services aux utilisateurs autorisés. Ceux-ci seront présentés sommairement ici puisqu'ils seront revus plus en détail lors de la description du processus suivi lors d'une activation.

Tout d'abord, la Charte offre un numéro de téléphone unique donné à ses utilisateurs autorisés. Un opérateur est disponible 24 heures sur 24 afin de répondre et mettre en branle les autres éléments prévus par la charte. L'opérateur communique avec l'ingénieur d'astreinte qui obtiendra les informations détaillées de la catastrophe et contactera les membres requis de la Charte ainsi que le chef de projet. Ensuite, la planification des données récentes et d'archives à obtenir est effectuée. Une personne ressource nommée chef de projet sera assignée au projet pour traiter les données obtenues et fournir des rapports et cartes aux utilisateurs. Le chef de projet offre ces expertises tout au long de la crise pendant les heures normales de travail.

2.3 Membres de la Charte

Dans cette section, les différents membres signataires de la Charte seront présentés. Pour les trois principaux membres, une description un peu plus détaillée de leur implication dans les activités de la Charte sera donnée. Les autres membres seront présentés sommairement. Le Tableau 2.1 ci-dessous présente rapidement l'ensemble des membres ainsi que les ressources qu'ils fournissent.

Tableau 2.1 Liste des agences membres de la Charte

Agence membre	Ressources fournies
Agence spatiale européenne (ESA)	ERS, ENVISAT
Centre national d'études spatiales (CNES) - France	Spot, Formosat
Agence spatiale canadienne (CSA)	RADARSAT
Indian Space Research Organisation (ISRO)	IRS
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) - États-Unis	POES, GOES
Comisión Nacional de Actividades Espaciales de l'Argentine (CONAE)	SAC-C
Agence spatiale japonaise (JAXA)	ALOS
United States Geological Survey (USGS)	Landsat, Quickbird, GeoEye-1
DMC International Imaging (DMC)	ALSAT-1, NigeriaSat, BILSAT-1, UK-DMC, TopSat
Administration nationale spatiale de la Chine (CNSA)	Satellites des séries FY, SJ et ZY

2.3.1 Agence spatiale européenne (ESA)

L'ESA est l'un des membres fondateurs de la Charte. Cette agence spatiale regroupe 17 états membres à travers l'Europe. Sa forme actuelle fut créée en 1975. Sa mission est de faire bénéficier les citoyens européens des percées dans le domaine spatial. Grâce au nombre important d'états membres, l'ESA peut soutenir des projets de plus grande envergure que chacun de ses constituants pris individuellement.

L'ESA a lancé en orbite les satellites ERS-1, ERS-2 ainsi qu'ENVISAT. Présentement, ERS-2 et ENVISAT sont en fonction et peuvent contribuer des données satellites lors de

l'activation de la Charte. ERS-2 comporte un capteur d'images dans l'infrarouge ainsi qu'un capteur qui surveille la quantité d'ozone dans l'atmosphère. ENVISAT quant à lui fournit des mesures de l'atmosphère, des océans, de la glace ainsi que de la superficie terrestre.

2.3.2 Centre national d'études spatiales (CNES)

Le CNES est le second membre fondateur de la Charte. L'agence spatiale française fut créée en 1961. Sa mission est de proposer au gouvernement français des programmes d'avancement dans le domaine spatial et par la suite mettre en œuvre ces projets à l'aide de partenaires industriels. Le CNES travaille présentement sur le programme Pléiades. Il s'agit d'une constellation de satellites d'observation de la Terre dont le premier satellite sera lancé en 2010. Afin de promouvoir l'utilisation des données de ces nouveaux satellites, le CNES développe la boîte à outils Orfeo dont il sera question dans les chapitres subséquents.

Présentement, le CNES se charge de la distribution des images captées par les satellites SPOT par le biais de sa filiale commerciale Spot Image. Tel que mentionné dans la revue de la littérature, les derniers satellites SPOT comportent de nombreux capteurs d'images et offrent la possibilité de capter des images en stéréoscopie.

2.3.3 Agence spatiale canadienne (ASC)

L'ASC est la première agence spatiale à signer et devenir membre de la charte après les deux membres fondateurs. Elle fut établie en 1989 afin de gérer le programme spatial canadien. Son siège social est situé à Saint-Hubert au Québec. Par ses activités, l'ASC vise l'utilisation des connaissances spatiales acquises pour le mieux-être des Canadiens.

Une des façons utilisées pour remplir sa mission est l'utilisation des satellites RADARSAT-1 et RADARSAT-2 pour la surveillance de l'environnement. La commercialisation des images radars captées est réalisée par MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd. (MDA).

2.3.4 Autres membres

Au fil des dernières années, plusieurs autres agences et organismes se sont joints aux membres originaux de la Charte. Parmi ceux-ci se trouvent l'*Indian Space and Research Organisation* (ISRO), le *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *Comisión Nacional de Actividades Espaciales de l'Argentine* (CONAE), l'Agence spatiale japonaise (JAXA), l'*United States Geoligical Survey* (USGS) et ses associés, *DMC Imaging International* (DMC) et ses associés et finalement l'Administration nationale spatiale de la Chine (CNSA).

Ces différents membres sont les gestionnaires et fournisseurs attitrés pour les satellites suivants : Landsat, Quickbird, GeoEye-1, IRS, NigeriaSat et quelques autres. La grande diversité géographique des différents membres de la Charte fait en sorte que la disponibilité d'un chef de projet situé près de l'événement de crise est souvent possible.

2.4 Étapes du processus d'activation

Afin de bien comprendre l'utilité et le fonctionnement de la Charte, les étapes du processus d'activation de cette dernière seront expliquées en ordre chronologique. Il faut toujours garder en tête que peu importe le type d'activation, le temps demeure un facteur très important. Le schéma de la **Figure 2.1** montre l'ensemble du processus d'activation de la charte pour un appel reçu. Les étapes et les personnes impliquées y sont illustrées. La suite de cette section donnera les détails de chacune des étapes.

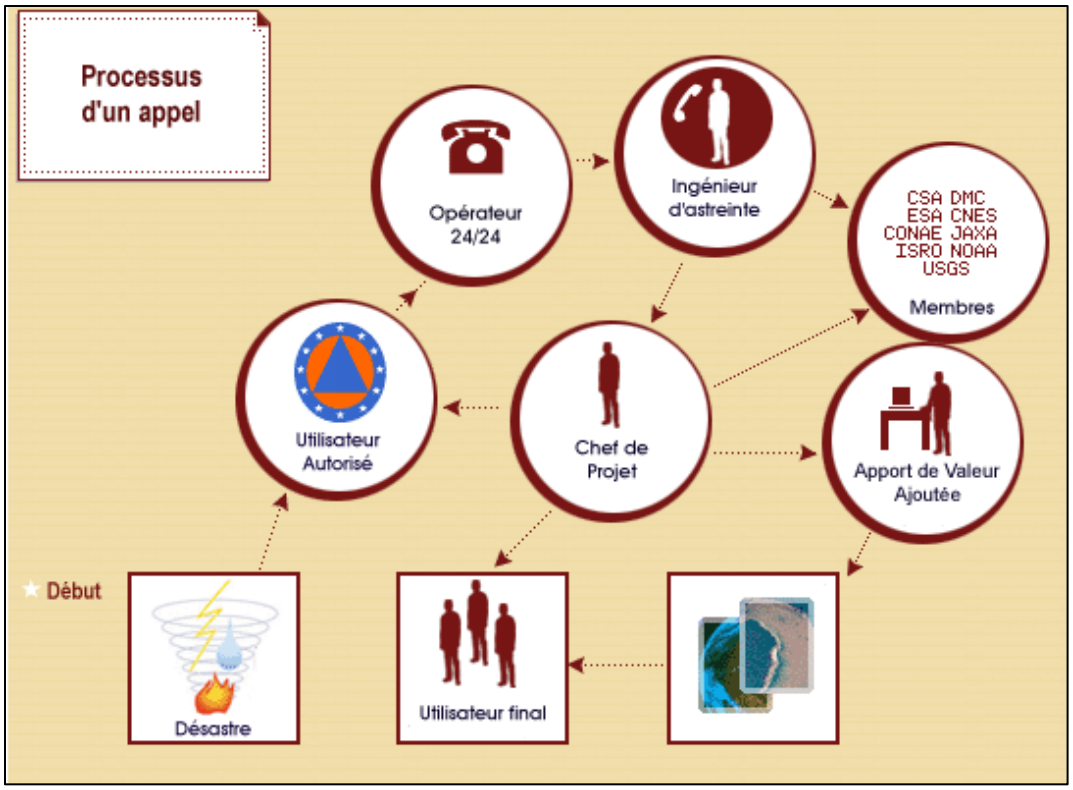

Figure 2.1 Processus d'activation de la Charte.

Tirée de Charte internationale « risque et catastrophes naturelles ».
Activer la Charte.
http://www.disasterscharter.org/activate_f.html

2.4.1 Désastre

Le premier élément nécessaire à l'activation de la Charte est bien évidemment la présence d'un désastre tel que défini par la Charte. Ainsi lorsque des vies humaines ou des infrastructures sont mises en danger, il devient capital d'activer la Charte le plus tôt possible. Les catastrophes naturelles ou technologiques considérées sont : les cyclones, les tremblements de terre, les inondations et la pollution par hydrocarbures pour n'en nommer que quelques-uns.

2.4.2 Appel par un utilisateur autorisé

Découlant directement de l'avènement d'un désastre, cette étape ne peut être effectuée que par un utilisateur autorisé. Ce dernier peut être un organisme de protection, défense ou sécurité civile par exemple. Lorsqu'un organisme de ce type est reconnu par le comité directeur de la Charte, il se voit donner le numéro de téléphone unique permettant l'activation de la Charte. Tel qu'il est mentionné précédemment, un opérateur est disponible en tout temps pour prendre les appels faits à ce numéro. L'opérateur doit vérifier que l'appelant est bien un utilisateur autorisé. Une fois les vérifications effectuées, il communique avec l'ingénieur d'astreinte chargé de la prochaine étape

2.4.3 Obtention des données disponibles

L'ingénieur d'astreinte est lui aussi disponible 24 heures sur 24 tous les jours. Il s'assure de bien comprendre les besoins de données de l'utilisateur autorisé en fonction du type de catastrophe et des satellites disponibles. Il doit donc élaborer un plan d'acquisition d'images nouvelles et/ou d'archives selon les besoins. Ceci dépend donc de l'évaluation des ressources satellites afin de déterminer celles qui sont les plus adéquates. Une fois le plan préparé, l'ingénieur d'astreinte communique avec la ou les agences membres de la Charte pour la demande d'acquisition d'images.

Pour la suite de cette étape, les agences membres mobilisées par la demande font programmer le ou les satellites nécessaires afin qu'ils passent au-dessus de la zone de catastrophe et capturent les données requises selon le plan d'acquisition.

2.4.4 Préparation des cartes

Une fois les données acquises, il est généralement essentiel de traiter les données pour en faire des images utilisables par les utilisateurs finaux. Ainsi, un spécialiste effectue diverses opérations pour répondre aux besoins mis en évidence par le chef de projet. Il sera fréquemment nécessaire de filtrer les images pour éliminer le bruit de capture des données.

De plus, puisque les nouvelles images acquises et les images d'archives ne proviennent pas obligatoirement de la même ressource, il devient pertinent d'effectuer une orthorectification des images, car il peut y avoir des différences d'échelle entre les images ou même une différence d'angle ou de position du satellite lors de la prise de l'image.

En plus de ces opérations de base, le spécialiste peut être appelé à effectuer des traitements et des analyses de plus haut niveau tels que la détection des routes, la prédiction de la progression de l'eau (dans le cas d'une inondation) ou même l'évaluation des dégâts occasionnés. Il devient donc important pour le spécialiste d'avoir des outils de travail pertinents pour obtenir des résultats justes rapidement. Parmi les équipes fournissant des spécialistes en photo-interprétation, on retrouve le SERTIT pour la France, ZKI pour l'Allemagne et (par intérim) le Centre canadien de télédétection (CCT) pour le Canada. Il s'agit d'organismes à valeur ajoutée avec de nombreuses années d'expérience en télédétection et création de cartes.

Le projet global duquel découle ce mémoire vise justement à fournir ce genre d'outils automatisés au spécialiste pour accélérer l'obtention des images pertinentes par les utilisateurs finaux. L'analyse des besoins de ce spécialiste donne donc de bonnes pistes de critères pour l'évaluation des différents logiciels disponibles. Sans trop d'effort, il est possible de voir qu'il est nécessaire que le logiciel puisse lire différents formats de données satellitaires, qu'il fournisse aussi de nombreux algorithmes de traitement et de classification, qu'il puisse gérer les images ayant plusieurs bandes spectrales et de grandes dimensions et qu'il permette l'ajout d'informations additionnelles telles que les noms des routes, les niveaux d'élévation ainsi que l'échelle.

2.4.5 Distribution aux utilisateurs finaux

Une fois tout le travail de préparation des images effectué, les données sont transmises aux utilisateurs finaux. Entre-temps, un chef de projet est désigné pour servir de liaison entre l'utilisateur final et les membres de la Charte. Ce chef de projet est disponible pendant les

heures de travail seulement. Il confirme l'exactitude des données fournies et s'assure de la réception des données par les utilisateurs finaux. Il peut aider dans l'interprétation des données fournies.

2.5 Types de catastrophes couvertes par la Charte

Les différentes sous-sections suivantes décrivent chacune brièvement les multiples catastrophes naturelles ou technologiques listées dans le texte de la Charte. Cette liste permet de comprendre sommairement les divers besoins en données satellites qui pourraient survenir selon le type de catastrophes. Pour chaque type de catastrophes, un nombre approximatif d'activations de ce genre sera donné. Les activations recensées se sont toutes produites avant le 1re mars 2009.

2.5.1 Cyclone

Un cyclone est une zone où l'air est en rotation autour d'un centre de basse pression. Ainsi, tout type de dépression rotationnelle est appelé cyclone. Cela devient un problème lorsqu'il s'agit de cyclones tropicaux qui se forment dans les eaux chaudes et atteignent des vitesses élevées. Lorsqu'un cyclone tropical frappe une zone côtière, il en résulte généralement une inondation qui peut détruire les constructions et entraîner la mort des gens sur place. Ce type de catastrophes fut l'objet d'au moins huit activations de la Charte depuis ses débuts.

2.5.2 Tornade

Une tornade est un tourbillon de vents très violents qui se forme à la base d'un nuage d'orage. Le potentiel de destruction au mètre carré d'une tornade est généralement supérieur à celui d'un cyclone tropical, mais la tornade a une durée de vie moindre. Seulement une activation de la Charte a été faite pour une tornade. Cet événement s'est produit dans le sud-ouest des États-Unis en 2008.

2.5.3 Tremblement de terre

Un séisme est le produit de la libération soudaine de l'énergie accumulée par les déplacements des plaques tectoniques. Il y a plusieurs milliers de tremblements de terre chaque année, mais la plupart sont de trop faible intensité pour être ressentis. Les tremblements de terre de grande intensité peuvent fracasser les ponts et routes, détruire les bâtiments et occasionner des glissements de terrain. De nombreux systèmes sont mis en place à travers le monde pour détecter d'avance ce type de catastrophes. Depuis la création de la Charte, au moins 27 activations étaient reliées à des séismes importants.

2.5.3.1 Tsunami

Un tsunami ou raz de marée est une série d'ondes causées par le déplacement rapide d'un important volume d'eau. Ce type de catastrophe survient généralement lorsqu'un séisme se produit en mer. Un tsunami peut faire élever rapidement le niveau d'eau de plusieurs dizaines de mètres et ainsi pénétrer à l'intérieur des terres en détruisant les structures sur son passage. Dans les dernières années, il y a eu quatre activations pour ce type de catastrophe.

2.5.4 Éruption volcanique

Lors d'une éruption volcanique, de la lave est généralement émise de la bouche du volcan avec parfois la projection de fragments de roches. Ce genre d'événement peut être très destructeur autant sur le plan humain qu'écologique. La lave détruit tout sur son passage et la fumée projetée incommode grandement les êtres vivants. Il devient donc important de prévoir les voies découlement de la lave et les routes d'évacuation les plus sûres. Au cours des années précédentes, il y a eu 11 activations concernant des activités volcaniques.

2.5.5 Inondation

Une inondation est généralement un terme associé au débordement d'un cours d'eau. Il existe plusieurs causes à une inondation : glissement de terrain, conditions météorologiques,

problèmes d'irrigation et de drainage. De plus, la modification des conditions climatiques causée par les activités polluantes de l'humanité peut être une cause d'inondation. Les inondations peuvent être soudaines ou progresser lentement. Le plus important est d'être en mesure de rétablir rapidement les capacités d'écoulement de l'eau en zone inondée. Les intervenants doivent donc connaître les conditions originales des cours d'eau ainsi qu'avoir une idée des infrastructures d'égout de la zone touchée. Les inondations sont présentement la cause la plus importante d'activation de la Charte avec plus de 100 activations depuis ses débuts.

2.5.6 Feu de forêt

Il s'agit d'un incendie qui concerne une zone boisée. Il existe plusieurs causes aux feux de forêt. Premièrement, il peut s'agir d'une cause naturelle telle que la foudre. Deuxièmement, cela peut être causé par un accident comme jeter un mégot de cigarette encore allumé. Finalement, cela peut être un acte malveillant intentionnel et donc être considéré de nature criminelle. Peu importe la cause, il y a chaque année plusieurs milliers de feux de forêt dans le monde. Ces feux peuvent s'approcher parfois dangereusement des habitations, ils détruisent les refuges des animaux et polluent l'air. Depuis la création de la Charte, 12 activations proviennent d'un feu de forêt.

2.5.7 Pollution par hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés organiques de carbone et d'hydrogène. Ils peuvent prendre divers noms selon leur forme : méthane, propane, éthane. De plus, le terme hydrocarbure peut faire référence au pétrole et au gaz naturel. Lorsqu'il est question d'activation de la Charte pour pollution par hydrocarbures, il s'agit généralement d'un déversement d'hydrocarbure dans l'eau. Bien que ces événements sont peu fréquents (seulement huit activations depuis le début de la Charte), ils sont néanmoins très difficiles à maîtriser à cause du déplacement de la nappe polluante par des courants marins. De plus, ils nuisent fortement et parfois détruisent la faune marine des zones touchées.

2.5.8 Substances toxiques

Une substance toxique est un composé chimique néfaste pour un organisme. Il s'agit généralement de poisons, mais il peut aussi s'agir d'autres éléments tels que des polluants ou des problèmes d'intoxication alimentaire. Il n'y a pas encore eu d'activation de la Charte concernant des substances toxiques.

2.5.9 Substances radioactives

Un élément est considéré radioactif lorsqu'il dégage de l'énergie sous forme de rayonnement. Ce rayonnement peut être plus ou moins nocif pour les êtres vivants, car il peut altérer le fonctionnement des cellules. C'est pourquoi ce type de catastrophe est très dangereux et peut avoir des effets négatifs pendant longtemps. Depuis la création de la Charte, aucune activation ne concernait une catastrophe reliée à des substances radioactives. On peut supposer que l'incident de la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986 aurait justifiée l'activation de la Charte pour ce type de catastrophe.

2.6 Activations récentes

De manière à comprendre le processus expliqué précédemment, cette section présente quelques activations récentes pour des types variés de catastrophes considérées par la Charte. Pour chaque exemple, la date de l'événement sera donnée, une courte description suivra. Finalement, les différentes données satellitaires fournies seront listées et expliquées lorsque jugées nécessaires.

2.6.1 Ouragan en France

Le 24 janvier 2009, le centre opérationnel de gestion interministérielle des crises (COGIC) effectuait une demande d'activation de la Charte pour un ouragan provenant de l'océan Atlantique qui a touché le sud-ouest de la France. Cette catastrophe a fait une quinzaine de morts et a laissé sans électricité plus d'un million de gens. Le CNES était le gestionnaire du

projet pendant cette catastrophe. Le service régional de traitement d'image et de télédétection (SERTIT) fut mandaté pour traiter les images reçues et produire les cartes de la région d'Aquitaine. Pour cet événement, des données provenant d'ENVISAT à 12,5 mètres de résolution ainsi que de Spot 4 à 20 mètres de résolution furent fournies. Ces données ont permis la création de cartes montrant les zones inondées par l'ouragan.

2.6.2 Inondation au Brésil

Le 27 novembre 2008, la *comision nacional de actividades espaciales* (CONAE) demandait l'activation de la Charte pour une inondation causée par de fortes pluies qui duraient depuis deux mois dans la région de Santa Catarina. L'inondation fut la cause de la mort de 84 personnes. De plus, cette catastrophe a laissé sans abri plus de 20 000 personnes. L'*instituto nacional de pesquisas espacials* (INPE) a géré ce dossier pour la Charte. L'INPE a préparé des cartes montrant les zones inondées à l'aide de données provenant d'Envisat à 14,8 mètres de résolution ainsi que des images radars à 100 mètres de résolution provenant d'ALOS-PalSar.

2.6.3 Incendie en Argentine

Le 17 avril 2008, l'organisme *Sistema Federal de Emergencias* (SIFEM) faisait une demande d'activation de la Charte pour une série d'incendies majeurs en Argentine. Ces incendies ont duré plusieurs jours causant des problèmes à la circulation aérienne et routière. La fumée bloquait gravement la visibilité dans les environs de Buenos Aires et Montevideo. CONAE s'est occupé de gérer ce projet et a effectué les traitements d'images pour générer les cartes utilisées. Il y a eu de nombreux satellites utilisés pour cette activation dont : IRS-P6, Lansat 7, Spot 5, DMC et SAC-C. De plus, les résolutions variaient de 250 mètres à 2,5 mètres selon le satellite. Les cartes créées montraient l'étendue de la fumée, les zones brûlées ainsi que les incendies en cours.

2.7 Conclusion

En conclusion, ce chapitre portant sur la Charte internationale « espace et catastrophes majeures » a permis la mise en évidence de certains points à considérer lors de l'évaluation des différents logiciels. Ainsi, il est déjà possible de dire qu'un logiciel adéquat devrait être en mesure d'ouvrir plusieurs types de fichiers ainsi qu'offrir une panoplie d'algorithmes de traitement et de classification. Ce chapitre a aussi montré l'utilité de la Charte pour la protection de l'environnement et des vies humaines ainsi que les éléments pouvant être améliorés par l'automatisation de certaines étapes du traitement.

Le prochain chapitre portera sur l'évaluation des logiciels pour déterminer lequel ou lesquels seront utilisés pour le projet global.

CHAPITRE 3

ÉVALUATION DES LOGICIELS

3.1 Introduction

Le projet d'indexation des images satellitaires vise à extraire des descripteurs des images de haute résolution de manière à permettre des recherches plus efficaces dans les bases de données d'images satellitaires sans cesse grandissantes. Ce projet sera développé par de nombreuses personnes sur une période de plusieurs années. Les gens qui travailleront sur le projet auront à la fois des besoins similaires et parfois des besoins bien spécifiques en matière de fonctionnalité. Afin d'être en mesure de coordonner adéquatement les efforts de toutes les personnes qui travaillent sur le projet et dans l'optique d'avoir un système de développement homogène, un ou des logiciels devront être choisis pour effectuer le travail.

De façon à déterminer ces logiciels, des critères d'évaluation seront définis, une liste de logiciels candidats devra être créée et les logiciels seront finalement évalués en fonction des critères sélectionnés. De plus, une série d'images sera utilisée pour évaluer les critères nécessitant des tests pratiques. Les critères seront ordonnés selon leur niveau d'importance pour la réussite du projet. Ceci permettra de donner un score à chaque logiciel et ainsi choisir le/les logiciel(s) ayant le plus haut score tout en tenant compte de l'importance relative de chaque critère.

La suite de ce chapitre est donc divisée en quatre parties. D'abord, les différents besoins seront déterminés. Ensuite, une liste exhaustive des éléments à évaluer sera créée. Par la suite, la source des images à utiliser sera choisie et les images utilisées seront présentées. Après, une liste complète des différents logiciels disponibles qui répondent à un minimum de critères sera spécifiée. La pondération de chaque critère sera établie. Les logiciels seront évalués en fonction des critères. Finalement, une analyse des résultats permettra de faire des recommandations quant aux logiciels à utiliser.

3.2 Détermination des besoins

Cette section présente de manière plus ou moins formelle les divers besoins des nombreux intervenants travaillant sur le projet global. Les éléments récurrents pour tous les intervenants du projet seront d'abord présentés le plus précisément possible. Par la suite, les besoins plus spécifiques seront abordés avec la même approche. Ceci servira de première analyse des critères à choisir pour l'évaluation de l'ensemble des logiciels candidats.

En premier lieu, les chercheurs travaillant sur le projet n'utiliseront pas nécessairement toutes les mêmes images et parallèlement les mêmes types d'information. Ainsi, il est fort probable que divers formats d'images seront traités. La source des images affectera aussi les formats disponibles. Par exemple, Geogratis[4] offre des images en format JPEG, GeoTiff et L1G. Ainsi, le ou les logiciels retenus devront être en mesure d'ouvrir ces types de fichiers directement ou offrir des fonctionnalités d'importation. Puisqu'il est possible que certains nouveaux types voient le jour, il faudra bien sûr utiliser un logiciel dont les mises à jour sont fréquentes.

Ensuite, comme il s'agit d'utiliser des images satellitaires, de nombreux algorithmes de traitement seront nécessaires. Afin d'extraire les divers descripteurs requis pour l'indexation, certains prétraitements devront être effectués (filtrage, seuillage). De plus, d'autres opérations plus complexes seront sans doute nécessaires (segmentation, détection d'arêtes, détection de contours, etc.). Il sera aussi fort utile d'être en mesure d'intégrer de nouvelles fonctionnalités de traitement d'images lorsque de nouveaux besoins apparaîtront ou lorsque de nouveaux algorithmes seront développés.

---

[4] Geogratis : http://www.geogratis.ca

Dans le même ordre d'idée, il sera important d'être en mesure de classifier les pixels ou autres représentations selon différents besoins (couverture terrestre, texture, éléments fabriqués par les humains). Ainsi, des algorithmes de classification supervisée et non-supervisée devront être disponibles. Ces algorithmes devront être suffisamment flexibles pour répondre aux divers besoins de classification des projets de chacun.

Un autre aspect important pour les chercheurs travaillant sur le projet est la question du temps de traitement ainsi que la taille maximale des fichiers de données en entrée et en sortie. Les logiciels permettant un traitement en flux continu ainsi que l'utilisation de fichiers très volumineux seront favorisés. En effet, les images de très haute résolution occupent souvent un espace disque de plus d'un gigaoctet. Les nouveaux satellites ayant des capteurs de meilleure résolution génèreront des fichiers encore plus volumineux.

Les chercheurs assignés au projet utilisent trois systèmes d'exploitation différents pour effectuer leur travail selon leur préférence. Les systèmes utilisés sont Linux, Mac et Windows. Il serait donc grandement appréciable d'avoir un logiciel disponible sur un grand nombre de plateformes. Ceci permettrait une adoption plus rapide et simplifiée d'un outil de travail standard pour tous. De plus, il faudrait être capable d'utiliser des résultats obtenus dans un autre logiciel comme entrée du logiciel de choix. L'inverse est aussi vrai à savoir qu'il faudrait être en mesure de produire des résultats utilisables dans d'autres logiciels. Ceci assurerait un traitement complet en ayant un minimum de développement à effectuer.

Certains des chercheurs travailleront à extraire de l'information contextuelle des images satellitaires. Par exemple, la détection et l'extraction d'un réseau routier peut être fort utile pour un travail de plus haut niveau. De plus en plus, cette information existe déjà extraite et traitée manuellement par des experts. Les résultats sont généralement stockés dans des fichiers spécifiques sous formes de vecteurs et polygones. Ainsi, le logiciel retenu devra être capable de lire des fichiers vectoriels afin d'en extraire des éléments de comparaison pour évaluer les algorithmes de détection. Cela sera fort utile lorsqu'il deviendra nécessaire de justifier les algorithmes choisis.

L'utilisation de divers fichiers contenant de l'information sur une même zone apporte une autre contrainte à laquelle le logiciel choisi devra répondre. Ce dernier devra en effet être en mesure de superposer les données d'une même zone géographique pour un traitement adéquat. Ainsi, il faudra extraire l'information de géoréférencement des images et fichiers vectoriels ainsi qu'offrir des capacités d'orthorectification d'images pour aligner correctement les images. Il s'agit de transformer une image pour qu'elle tienne compte de l'angle de capture ainsi que de l'élévation du terrain. Cette information peut être stockée de diverses façons. Par exemple, les fichiers GéoTiff stockent cette information dans des champs spécifiques dans leur en-tête alors que d'autres types d'images sont accompagnés d'un fichier supplémentaire contenant cette information.

La plupart des images satellitaires ne sont pas composées des trois canaux de couleur habituels (le rouge, le vert et le bleu). C'est-à-dire que l'image est généralement composée de trois bandes combinées dont chacune est assignée à l'un des canaux de la représentation RVB. Il s'agit donc d'images en pseudo couleur. Ceci sera généralement suffisant pour des traitements de base. Par contre, certains des chercheurs auront besoin de travailler avec d'autres bandes telles que l'infrarouge et le proche infrarouge en plus des trois bandes originales. Ceci implique donc que le ou les logiciels conservés devront impérativement être capables d'ouvrir et traiter des images d'une ou de plusieurs bandes sans nécessiter de modifications trop importantes ni de prétraitements.

La **Figure 3.1** illustre la chaîne de traitement des images satellitaires. Elle permet de faire un sommaire des différents besoins rattachés à chaque bloc. Pour ce qui est de l'environnement, il s'agit d'avoir un logiciel facilement utilisable sur un maximum de systèmes d'exploitation, de gérer différents types et formats d'images et d'avoir une documentation détaillée du logiciel. Le bloc de prétraitement nécessite des algorithmes de filtrage, mais aussi de mise en registre et d'orthorectification des images. Pour l'extraction des attributs, il est nécessaire d'avoir des algorithmes de segmentation et des outils permettant de travailler sur des images à plusieurs bandes. Lors de la classification pour déterminer les types d'objets se trouvant

dans l'image, il faut des algorithmes flexibles et variés permettant un apprentissage supervisé ou non supervisé. De plus, il serait pratique d'être en mesure de manipuler des données vectorielles pour valider les résultats de classification. Finalement, pour la présentation des résultats, un système de visualisation des images tenant compte de l'information géographique de la scène est requis.

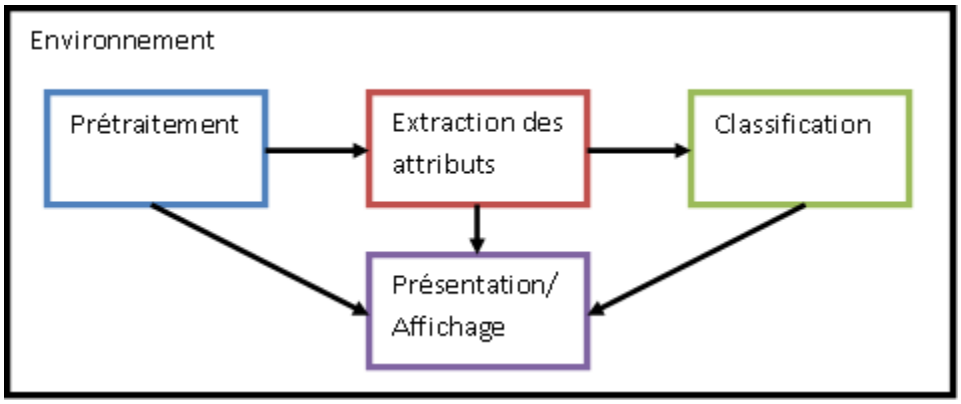

Figure 3.1 Chaîne de traitement des images satellitaires.

3.3 Éléments à quantifier pour évaluer les logiciels

Dans cette partie, les divers critères d'évaluation utilisés pour déterminer quels logiciels répondent le mieux aux besoins seront abordés en détail. Puisque chaque critère n'a pas la même importance, l'évaluation finale et le poids de chaque critère seront faits en fonction de son importance relative. Le Tableau 3.1 liste la série de critères retenus ainsi qu'une courte description pour chacun d'eux.

Tableau 3.1 Liste des critères pour l'évaluation des logiciels

	Critères (Vert = très important, jaune = important, rouge = pertinent)	Description
	Gestion de plusieurs types de fichiers d'images	Puisque les sources d'images satellitaires sont variées et que chaque format a ses particularités, le logiciel choisi devra être en mesure d'ouvrir le plus grand nombre de formats de fichiers d'images possible.
	Algorithmes de traitement d'images	Les algorithmes de base de traitement d'images devraient être présents (filtrage, opérations logiques et arithmétiques). De plus, des algorithmes plus spécialisés tels que ceux permettant la détection de textures ainsi que les algorithmes de détection d'arêtes seront nécessaires.
	Algorithmes de classification	Plusieurs algorithmes de classification devraient être présents afin de permettre aux chercheurs du projet d'effectuer un travail de classification lorsque nécessaire. Des exemples d'algorithmes de classification sont : réseau de neurones, machine à vecteur de support (SVM), KMoyennes et K-plus proches voisins.
	Possibilité d'extension	Il est fort probable que de nouvelles fonctionnalités seront requises au cours du projet. Cela signifie qu'il faudra être en mesure de facilement ajouter ces fonctionnalités au logiciel choisi.
	Prix	Comme les ressources financières sont limitées, il faut évidemment considérer le prix d'achat du logiciel. Un logiciel peu dispendieux ou gratuit sera préférable.
	Taille des fichiers d'entrée et de sortie	Les images satellitaires provenant de capteurs optiques et radars à très haute résolution sont de taille très importante (généralement

		plus d'un gigaoctet par image). Il est donc essentiel de trouver un logiciel qui est capable de gérer des fichiers de très grande taille sans que les performances en écopent.
	Gestion des images multibandes	Une image satellitaire étant composée généralement de plusieurs bandes, il faut pouvoir manipuler les diverses bandes ensemble ou indépendamment.
	Gestion de l'information de géoréférencement	Certains chercheurs travailleront sur la détection de divers changements dans les images satellitaires. Ceci implique l'utilisation de plusieurs images représentant une même zone géographique. Il faut donc être capable de déterminer la position géographique d'objets dans les diverses images peu importe le format de l'image et la résolution du capteur.
	Gestion des données vectorielles	Un critère un peu moins important est d'avoir la possibilité de manipuler des données vectorielles soit pour effectuer des vérifications, soit pour les superposer à une image satellitaire.
	Disponibilité sur différentes plateformes	Comme plusieurs personnes travailleront sur le projet et que ces personnes travailleront sur différents ordinateurs avec différents systèmes d'exploitation, le logiciel idéal devrait être utilisable sur plusieurs plateformes.
	Facilité d'utilisation et d'apprentissage	De manière à réduire le temps d'utilisation au minimum, le logiciel adopté devrait être facile d'utilisation et avoir suffisamment de documentation et d'exemples. Le but est d'être capable de faire avancer le projet global sans avoir constamment à chercher de l'aide extérieure.
	Facilité d'installation	L'installation du logiciel devrait se faire sans problème sur le système d'exploitation choisi. Les étapes d'installation et les bibliothèques requises (s'il y en a) devraient être clairement définies.

Chaque critère sera évalué sur une échelle de 0 à 10. Un score de 10 pour un critère signifiera que le logiciel évalué répond parfaitement à ce critère. Une note de 0 signifiera, quant à elle, que l'application ne satisfait aucunement le critère évalué. Les valeurs intermédiaires représenteront le degré de satisfaction du critère.

De plus, puisque certains critères sont plus importants que les autres pour les besoins du projet, une pondération des scores sera effectuée en fonction de l'importance relative de chaque critère selon les poids suivants : 1 pour les éléments très importants (couleur verte dans le tableau), 0,8 (couleur jaune) pour les éléments importants et 0,5 (couleur rouge) pour les éléments pertinents, mais non capitaux. Cela implique donc que si un logiciel obtient la note de 10 pour la facilité d'installation, le score pondéré sera de 5 puisque la facilité d'installation est un critère pertinent sans plus. Une note de 10 pour la possibilité d'extension sera conservée à 10 puisque ce critère est très important pour le projet global. Ainsi, bien que le total maximal soit de 120 (12 critères ayant une note de 10), après les ajustements selon l'importance, le total réellement possible est de 94.

3.4 Obtention d'images satellitaires

Afin d'évaluer certains des critères principaux de la liste, il sera nécessaire d'avoir une série d'images diverses et de fichiers de données vectorielles. Ainsi, il faudra obtenir plusieurs images optiques en différents formats, plusieurs images radars et quelques fichiers de données vectorielles variés. Pour les données vectorielles, Geogratis offre un nombre suffisant de types de données pour les besoins de l'évaluation. De même que pour les formats de fichiers d'images, Geogratis a plus d'un type de fichier. Par contre, les images disponibles par ce service n'ont pas une très grande résolution spatiale et ne sont pas de taille suffisante pour correctement tester le critère de taille des fichiers.

Pour ce qui est des images radars, la branche géospatiale de MDA offre quelques images radars gratuitement sur son site web. Ce qui est intéressant avec les images offertes, c'est

qu'il s'agit d'images capturées par RADARSAT-2 dont certaines ont une résolution de trois mètres. Par contre, le choix d'images disponibles est extrêmement limité.

3.5 Description des logiciels

Cette section permet d'avoir une idée rapide des différents logiciels existant qui pourraient répondre aux divers besoins demandés par ce projet d'indexation d'images satellitaires. On retrouve deux catégories principales de logiciels : les logiciels commerciaux et les logiciels libres (« open-source »). Parmi les applications listées ici, certaines sont spécialisées en traitement de tous types d'images alors que la plupart sont des systèmes d'information géographique (SIG) offrant des capacités de traitement d'images axées sur les images satellitaires. Les sites web des différents logiciels sont listés dans la bibliographie.

3.5.1 Logiciels commerciaux

3.5.1.1 IDRISI

Ce logiciel est développé par le laboratoire Clarks Labs de l'Université Clarks. Il s'agit d'un système d'information géographique très complet développé depuis 1987. Il permet l'ouverture de la plupart des types de fichiers matriciels et vectoriels. De plus, il a de nombreux modules permettant du traitement d'images de base ainsi que différents types de classificateurs. Il s'agit donc d'une balance presque parfaite entre traitement d'images et SIG. Il n'est pas très dispendieux pour un logiciel commercial de ce type. Par contre, certaines fonctionnalités nécessaires au projet sont difficiles d'utilisation et requièrent des étapes intermédiaires superflues. De plus, les fichiers E00 fournis par Geogratis ne sont pas tous importables dans ce logiciel. La clientèle visée par ce logiciel est le groupe de chercheurs étudiant les changements divers affectant la Terre ainsi que les professionnels utilisant les SIG.

3.5.1.2 ENVI

Ce logiciel développé par ITT VIS est beaucoup plus spécialisé pour les images multispectrales que pour les aspects plus cartographiques des autres logiciels SIG. Il permet l'intégration facile de données matricielles et vectorielles. Il offre aussi quelques algorithmes de classification. Son prix est toutefois plus élevé que IDRISI. Par contre, il possède la capacité d'ajout aisé de modules et ses algorithmes peuvent être utilisés par des programmes externes de diverses façons (COM, RPC, CALL_EXTERNAL, LINKIMAGE). De plus, il est possible de le combiner à un autre outil d'ITT VIS nommé IDL afin de créer des applications externes utilisant les algorithmes d'ENVI. Finalement, avec les versions plus récentes, il est possible d'intégrer les capacités d'ENVI à ArcGIS (voir plus bas) pour générer des cartes utilisant les données d'ENVI en passant par ArcMap.

3.5.1.3 Geomatica

Géomatica est un produit développé par une firme canadienne depuis 1982. Ce logiciel est très semblable à IDRISI en termes de fonctionnalités. Il est possible d'obtenir une licence de campus abordable. Il est toutefois moins facile d'utilisation qu'ENVI et contient un nombre très important de modules spécialisés pour la cartographie qui ne sont pas nécessaires pour notre projet. Finalement, les possibilités d'extension sont présentes, mais l'utilisation externe ne semble pas facilement réalisable. De plus l'appel de fonctions externes requiert une connaissance parfaite des entrées et sorties de ces fonctions. Cette application est donc beaucoup plus axée sur les besoins industriels qu'académiques de cartographie.

3.5.1.4 ArcGIS

Cette suite de logiciels conçus par la firme ESRI est très populaire auprès des utilisateurs de SIG. Sa structure actuelle fut établie en 1999 lorsque ESRI a combiné plusieurs petites applications. La suite comprend un visualiseur de cartes/images, des outils de traitement d'images, des outils pour la cartographie ainsi qu'un système de gestion des données et la possibilité d'ajouter nos propres fonctions. Le principal avantage est que le format E00,

utilisé pour les données vectorielles sur le site Geogratis, est issu d'ArgGIS et est donc facilement utilisable. Par contre, le coût prohibitif de cette solution diminue grandement son attrait. Il s'agit d'un SIG utilisé de façon quasi exclusive pour la recherche industrielle. Son utilisation massive vient du fait qu'ESRI est une des premières firmes à s'être intéressées aux SIG. La **Figure 3.2** montre les divers éléments d'ArcGIS et leurs interactions.

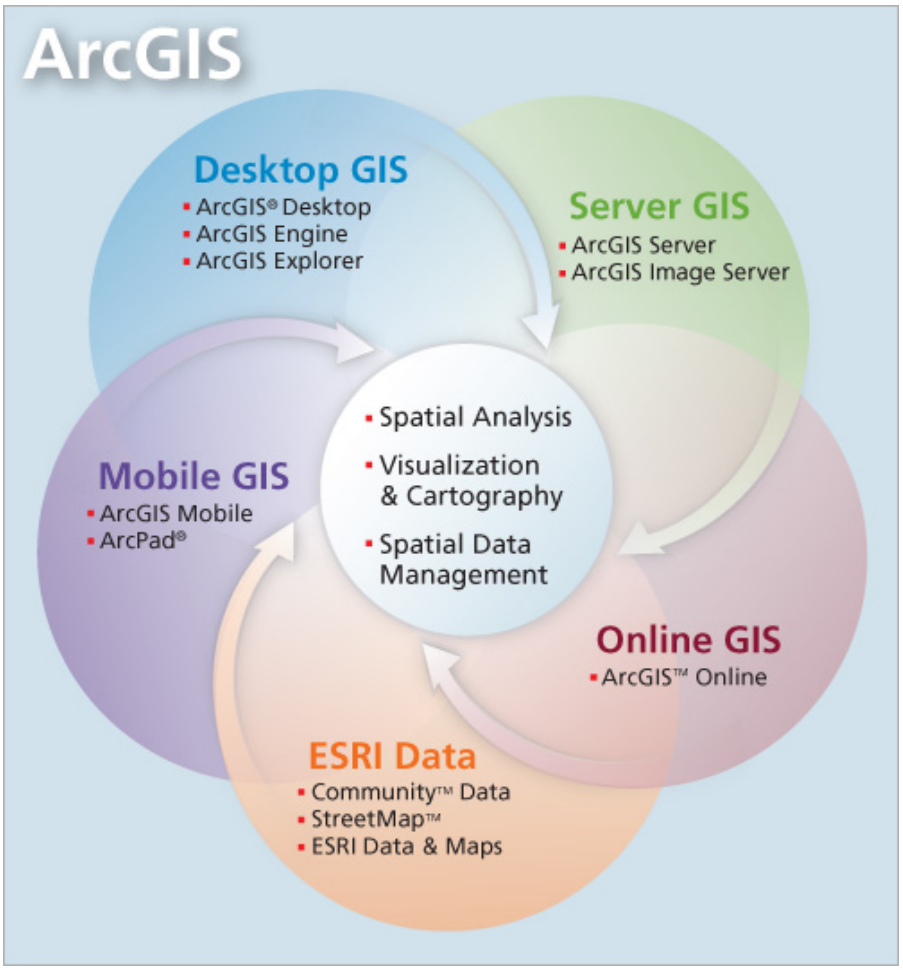

Figure 3.2 Suite de produits ArcGIS d'ESRI.

Copyright © 1995-2008 ESRI.
All rights reserved.
Published in the United States of America

3.5.1.5 Aphelion

Ce logiciel d'ADCIS est spécialisé dans le traitement des images en niveaux de gris ou couleurs. Aphelion est le successeur de KBVision développé originalement par Amerinex. Il contient un nombre très important d'algorithmes intéressants pour le projet. Son coût n'entre pas en ligne de compte puisqu'une licence est déjà disponible à l'ÉTS. De plus, cet outil peut être utilisé en tant que bibliothèque d'objets et d'algorithmes avec Visual Basic ou avec le langage C. Il permet aussi la manipulation d'objets obtenus par les divers traitements de façon très puissante. Par contre, il ne tient pas compte des images géoréférencées ni des données vectorielles. Il n'offre absolument aucune fonctionnalité de SIG, mais contient les algorithmes les plus fréquemment utilisés en traitement d'images tout en étant pauvre en algorithmes de classification.

3.5.1.6 Definiens Developer for Earth Science

Ce logiciel de la compagnie Definiens, dont le siège social est à Munich en Allemagne, fut ébauché au milieu des années 80. L'idée principale était alors de simuler le comportement cognitif des humains pour extraire de l'information de données numériques. L'analyse d'images est donc le point fort de ce logiciel. Afin de répondre à la demande, le logiciel est offert en versions spécifiques pour l'analyse d'images médicales, l'observation de la Terre ainsi que l'analyse des cellules et tissus. Ce logiciel offre très peu d'algorithmes de prétraitement. Il est par contre sans doute le meilleur en ce qui a trait à l'analyse détaillée d'images basée sur des objets. De plus, il peut être couplé à Geomatica pour profiter des algorithmes de ce logiciel.

3.5.2 Logiciels source libre

3.5.2.1 GvSIG

Ce logiciel dont le développement a débuté en 2003 est présentement mis à jour par la firme IVER Tecnologias. Le but était la création d'une application de gestion de l'information

géographique. Ce logiciel ne permet pas l'ouverture directe des fichiers E00 (il faut d'abord les transformer en ShapeFile à l'aide d'un autre logiciel). De plus, il ne contient qu'un nombre très limité de fonctionnalités et elles sont consacrées à l'aspect cartographique. Le seul point intéressant est qu'il permet des connexions faciles avec des bases de données. Il faut aussi noter qu'il fonctionne sur plusieurs systèmes d'exploitation, car il est développé en Java.

3.5.2.2 uDig

Udig est un logiciel créé et maintenu par Refractions Research, une compagnie canadienne établie en Colombie-Britannique. Ce logiciel est conçu avec l'interface d'Eclipse[5] à l'aide du langage de programmation Java. Il permet l'ouverture d'images et de données vectorielles sans trop de difficulté. Il ne possède aucune fonctionnalité autre que l'affichage et la superposition de couches. Il est aussi très lent à charger les données et le taux de rafraîchissement de l'affichage n'est pas acceptable. L'objectif du logiciel est d'être modulaire et ainsi s'intégrer à d'autres applications ou intégrer de nouvelles fonctionnalités à uDig.

3.5.2.3 Ilwis

La première version de ce logiciel fut disponible en 1988. Au départ il était commercial et développé par la compagnie ITC. Depuis 2007, il est offert en tant que logiciel source-libre. Ce logiciel offre de nombreuses fonctionnalités intéressantes pour le projet. Il est capable d'ouvrir les fichiers d'images et de données vectorielles sans problème. Il comporte un nombre assez impressionnant d'algorithmes de traitement d'images. Il permet aussi l'ajout de fonctionnalités à l'aide de scripts personnalisés. De plus, il est possible de créer une

[5] Eclipse : Outil de développement multiplateforme. http://www.eclipse.org

interface externe (VB ou C++) et d'appeler les fonctionnalités de ce logiciel. L'inconvénient est qu'il n'est disponible que sous Windows. Par contre, le développement continuel par la communauté d'utilisateurs fait en sorte qu'il demeure à jour.

3.5.2.4 Quantum GIS / GRASS

En 2002, le projet de développement de Quantum GIS voyait le jour. Ce logiciel (Quantum) n'offre que des fonctionnalités très basiques de manipulation de couches d'images et de vecteurs. Par contre, il est possible d'y ajouter des modules externes pour augmenter ses capacités. Son intérêt principal est qu'il peut servir d'interface au système SIG GRASS. Ce système très puissant fut originellement développé par l'armée américaine avec plusieurs partenaires universitaires et privés. Il fonctionne à l'aide d'une base de données permettant le stockage des images, cartes et vecteurs. Les deux systèmes (Quantum GIS et GRASS) sont tous deux développés pour fonctionner sur de multiples systèmes d'exploitation tels que Linux, Mac OS X et Windows.

3.5.2.5 MapWindow

Le développement de MapWindow a commencé au début des années 2000. Il s'agit d'une application Windows exclusivement ainsi qu'un composant ActiveX permettant d'intégrer les fonctionnalités de MapWindow à un autre logiciel. Ce logiciel ne permet pas l'ouverture des fichiers E00. Il faut donc préalablement transformer ceux-ci en fichiers SHP à l'aide d'un outil externe. Il sert principalement de visualiseur et d'outil d'interprétation pour le travail de cartographie. Cela signifie que les données ouvertes dans ce logiciel doivent avoir été préparées et traitées à l'aide d'un logiciel SIG ayant plus de fonctionnalités de traitement d'images.

3.5.2.6 Saga GIS

Depuis 2001, Saga GIS est en continuel développement par le professeur J. Böhner et ses collègues en Allemagne. Ce logiciel peut être utilisé en ligne de commande ou à l'aide d'une

interface graphique. Il s'agit d'une collection de modules permettant l'ouverture de différents types de fichiers reliés au SIG tout en offrant quelques capacités de traitement d'images. Il possède aussi un interface de programmation (API) permettant l'utilisation dans un logiciel externe. La dernière version de Saga GIS est disponible autant pour les systèmes Linux que pour les systèmes Windows.

3.5.2.7 Orfeo Toolbox (OTB)

OTB n'est pas vraiment un logiciel, mais plutôt une boîte à outils contenant des modules permettant de créer des applications ainsi que des applications préconstruites répondant à certains besoins en traitement d'images satellitaires. Cette boîte à outil est en fait une bibliothèque de code C++ contenant divers algorithmes permettant l'ouverture et la manipulation d'images satellitaires de différents formats. OTB n'offre qu'une interface très modeste pour la visualisation des images. La boîte à outil Orfeo est développée par l'agence spatiale française (CNES) dans le but d'offrir une plateforme de travail adéquate pour le traitement des images satellitaires qui seront acquises par la nouvelle constellation de satellites optiques Pléaides[6] et radars Cosmo (Italie). La première version fut disponible au public en 2006 et le développement officiel devrait se poursuivre jusqu'en 2010 et probablement plus longtemps vu la forte demande pour cette boîte à outils. Depuis la version 2.8, des applications de télédétection avec interface graphique sont disponibles pour effectuer des tâches comme la détection de routes et le comptage d'objets. Un outil similaire à OTB nommé PolSARPro permet le traitement des images radars.

---

[6] Pléaides : http://smsc.cnes.fr/PLEIADES/

3.6 Résultats

Cette section présente les résultats d'évaluation de chaque logiciel par rapport à tous les critères déterminés précédemment. Le but de cette section est d'arriver à choisir un ou plusieurs logiciels à utiliser pour le projet global. Ceci doit être fait de manière objective afin d'effectuer un choix répondant le mieux aux différents critères jugés importants pour répondre aux nombreux besoins reliés au projet.

En premier lieu, les valeurs possibles pour chaque critère seront expliquées. Ceci permettra de comprendre dans quel cas un logiciel a une note parfaite de 10 alors qu'un autre logiciel a une note de 4/10. Certains critères sont évalués par rapport à des valeurs minimales et maximales dictées par les logiciels examinés. Par exemple, la valeur 10 pour le critère du prix est associé aux logiciels gratuits alors que la valeur zéro sera donné au logiciel dont le prix est le plus élevé. D'autres critères ont une échelle de valeurs qui tente de représenter le mieux possible les critères qualitatifs tels que la facilité d'utilisation et d'installation.

Ensuite, une description d'évaluation sera donnée pour chaque logiciel testé. La valeur donnée pour chaque critère sera expliquée puis le total sera présenté. Un tableau récapitulatif sera présenté pour chaque logiciel afin de visualiser plus facilement les scores obtenus par les logiciels ainsi que leurs points forts et points faibles.

3.6.1 Valeurs des critères

Dans cette section, les critères déterminés dans le chapitre précédent sont repris un à un et leurs échelles de valeurs possibles sont présentées. De cette façon, il sera plus facile de justifier les notes obtenues par les divers logiciels. L'ANNEXE I contient un tableau résumant les valeurs possibles pour chaque critère. Il faut toutefois noter que ces valeurs sont générales et tentent de représenter le mieux possible l'ensemble des logiciels évalués. Lorsqu'un logiciel ne répond pas tout à fait aux éléments d'un critère pour avoir la note rattachée à ces éléments tout en offrant plus d'éléments que ceux requis pour une note moins élevée, une note intermédiaire peut être donnée avec une justification.

3.6.1.1 Types de fichiers

L'application idéale doit être en mesure d'ouvrir un nombre important d'images dans des types de fichiers variés. Afin d'avoir une note parfaite pour ce critère, le logiciel permettra l'ouverture directe de fichiers généraux (JPEG, GeoTiff, …) ainsi que de fichiers spécifiques (GRASS, ILWIS, RST, …). Pour avoir une note de sept, un logiciel permettra l'ouverture directe de fichiers généraux et offrira des options d'importations de fichiers spécifiques. Pour avoir la note 3, il suffira d'être capable d'ouvrir les types généraux directement tout en offrant des formats propres au logiciel. Pour avoir une note de 1, un logiciel aura des formats propriétaires et permettra l'importation des fichiers généraux. Les logiciels ayant seulement des formats propriétaires se verront aussi attribuer zéro comme note pour ce critère.

3.6.1.2 Algorithmes de traitement d'images

Afin d'évaluer adéquatement les logiciels en ce qui a trait aux algorithmes de traitement d'images, l'échelle suivante est employée : 10 si un logiciel a tous les algorithmes de traitement d'images de base (filtrage, détection d'arêtes, morphologie mathématique, opérations arithmétiques, …) et qu'il permet la modification des algorithmes existant ainsi que l'ajout de nouvelles fonctionnalités, 8 pour un logiciel qui a les éléments décrits précédemment sauf la possibilité de modifier les fonctionnalités existantes, 6 pour une application qui offre des mises à jour contenant de nouvelles fonctionnalités sans toutefois permettre l'ajout de nouveaux algorithmes par l'utilisateur, 4 lorsqu'un logiciel offre plusieurs algorithmes de base sans plus, deux pour un logiciel qui offre seulement quelques algorithmes de base et finalement zéro pour un logiciel qui n'offre pas d'algorithmes de traitement ou très peu (exemple : seulement du rognage ou agrandissement).

3.6.1.3 Algorithmes de classification

Une échelle très semblable à celle décrite pour les algorithmes de traitement sera utilisée pour les algorithmes de classification, car les deux critères sont très similaires. Le Tableau 3.2 liste les valeurs possibles pour ce critère en fonction des éléments présents ou non.

Tableau 3.2 Valeurs possibles pour l'évaluation des algorithmes de classification

Valeur	Éléments
10	- Plusieurs algorithmes de classification (supervisés et non-supervisés) - Possibilité de modifier les algorithmes existants - Possibilité d'ajouter de nouvelles fonctionnalités de classification - Mises à jour des algorithmes de classification par l'équipe de développement
8	- Plusieurs algorithmes de classification (supervisés et non-supervisés) - Possibilité d'ajouter de nouvelles fonctionnalités de classification - Mises à jour des algorithmes de classification par l'équipe de développement
6	- Plusieurs algorithmes de classification (supervisés et non-supervisés) - Mises à jour des algorithmes de classification par l'équipe de développement
4	- Plusieurs algorithmes de classification (supervisés et non-supervisés)
2	- Quelques algorithmes de classification (supervisés et non-supervisés)
0	- Peu ou pas d'algorithmes de classification (supervisés et non-supervisés)

3.6.1.4 Possibilité d'extension

Bien que ce critère soit semblable aux deux précédents, il demeure distinct, car la possibilité d'ajouter de nouvelles fonctionnalités ne se limite pas aux algorithmes de traitement d'images ou de classification. En effet, un logiciel adéquat devra permettre l'ajout de fonctionnalités autant au niveau des algorithmes que des fonctionnalités de base telles que la visualisation et la gestion des fichiers. Ainsi, un logiciel dont l'équipe de développement ou une tierce partie fournit des mises à jour suffisamment fréquentes et qui permet à l'utilisateur de faire lui-même des ajouts aura une note de 10. Un logiciel qui est mis à jour de manière fréquente aura une note de 5. Finalement, un logiciel qui n'offre aucune possibilité d'extension, que ce soit par mises à jour absentes ou peu fréquentes ou par l'impossibilité de modifications par l'utilisateur aura une note de 0. Ainsi, les logiciels qui sont conçus pour être constamment améliorés par l'utilisateur sont grandement favorisés par ce critère et les deux précédents, car le projet s'échelonnera sur plusieurs années et les méthodes et technologies utilisées changeront sans aucun doute.

3.6.1.5 Prix

Pour le prix, la note parfaite ne peut être attribué qu'à un logiciel gratuit puisqu'il est nettement préférable d'avoir le minimum de dépenses possibles. Le Tableau 3.3 montre bien l'échelle de valeurs possibles en fonction du prix. Il est important de noter que cette échelle fut créée en fonction des prix des divers logiciels au moment de l'étude. Il est possible que ces prix soient modifiés. De plus, le prix considéré est pour une licence simple.

Tableau 3.3 Valeurs en fonction du prix

Valeur	Prix
10	Gratuit
8	<200$
6	>=200$ et <500$
4	>=500$ et <1000$
2	>=1000$ et <2000$
0	>=2000$

3.6.1.6 Taille des fichiers

Puisque les images satellitaires haute résolution prennent de plus en plus d'espace de stockage et en mémoire, un logiciel ayant une note parfaite pour ce critère ne devrait être limité que par le système physique sur lequel il est installé et par le système d'exploitation. Pour les logiciels pouvant ouvrir et traiter des fichiers de plus de deux giga octets, la note 7 sera attribuée. Les logiciels pouvant ouvrir des fichiers d'un giga octets ou plus, la note 4 sera donnée. Un logiciel qui ouvre des fichiers de taille moins importante aura la note 1. Ces valeurs reflètent l'importance d'avoir un logiciel capable de gérer des fichiers de plus en plus gros sans devoir effectuer du prétraitement au préalable, comme découper une image en sous-images de plus petite taille.

3.6.1.7 Gestion des images multibandes

Tel qu'il est mentionné dans la section précédente, il est nécessaire d'accéder à toutes les bandes d'une image. Ainsi, le logiciel idéal offrira des fonctionnalités de gestion des images multibandes. Pour avoir une note parfaite, un logiciel permettra la manipulation des différentes bandes et l'application d'algorithmes à une ou plusieurs bandes à la fois. De plus, il devra permettre la fusion de fichiers d'une ou plusieurs bandes en un fichier unique contenant ces bandes. La note 5 sera attribuée à un logiciel qui permet la manipulation des

images multibandes sans offrir la capacité de choisir les bandes à manipuler. Les logiciels n'offrant pas de gestion des images multibandes auront la note zéro, car il s'agit d'un critère fortement attaché aux images satellitaires qui ont généralement plus d'une bande par fichier.

3.6.1.8 Géoréférencement

Pour ce qui est du géoréférencement, il faudra être capable au minimum d'avoir l'information sur la position géographique de la zone contenue dans l'image. Une application pourra avoir la note 10 seulement si elle permet l'utilisation des informations de géoréférencement pour faire correspondre des images entre elles ou des images et des données cartographiques vectorielles. De plus, il permettra d'extraire cette information pour la visualiser ou la stocker à l'extérieur du fichier image. Un logiciel qui ne permet que la visualisation des valeurs de géoréférencement sans être en mesure de les utiliser ou qui demande beaucoup de manipulations pour y arriver aura une note de 5. Les logiciels ne tenant pas compte du géoréférencement auront 0 comme note, car une des particularités des images satellitaires est d'être capable de localiser la zone capturée.

3.6.1.9 Données vectorielles

En télédétection, le terme donnée vectorielle fait allusion aux éléments cartographiques utilisés principalement dans les SIG. Ces données peuvent représenter les routes à l'aide de vecteurs et les bâtiments à l'aide de polygones. Pour qu'un logiciel obtienne une note parfaite pour ce critère, il devra être capable d'ouvrir, manipuler et afficher les données vectorielles. Ceci devra être possible avec ou sans image satellitaire comme couche de fond. De plus, le logiciel permettra la création de nouvelles données vectorielles à l'aide de manipulations et traitements sur des images satellitaires. Un logiciel qui permet l'ouverture, la visualisation ainsi que la manipulation de données vectorielles existantes aura une note 7. Un logiciel qui permet l'ouverture, la visualisation et peu ou pas de manipulations aura la note 4. Finalement, une application qui n'offre pas de fonctionnalités pour les données vectorielles aura zéro comme note.

3.6.1.10 Disponibilité multiplateformes

Le logiciel idéal devrait être disponible sur un maximum de plateformes. Afin d'obtenir un score parfait, un logiciel devra être disponible sur Mac OS X, Windows XP/Vista et plusieurs plateformes basées sur Unix/Linux. Les logiciels disponibles sur trois plateformes différentes auront la note 7. Ceux qui sont disponibles sur deux plateformes auront la note quatre alors que ceux qui ne sont disponibles que sur une seule plateforme auront la note 1. Aucun logiciel ne pourra obtenir une note de 0 puisque la disponibilité sur une seule plateforme demeure suffisante pour répondre aux besoins de l'équipe de recherche.

3.6.1.11 Facilité d'utilisation et d'apprentissage

Ce critère est plus qualitatif et subjectif que les précédents. La facilité d'utilisation et d'apprentissage dépend évidemment de l'interface usager ainsi que de l'aide disponible, mais aussi des connaissances préalables de l'utilisateur. C'est pour cette raison qu'un logiciel pourra avoir n'importe quelle valeur entre zéro et dix pour ce critère. Par contre, la note attribuée devra bien évidemment être justifiée. Des points importants à considérer pour évaluer un logiciel par rapport à ce critère sont : la disponibilité et la disposition des menus et des barres d'outils, le contenu de la documentation d'aide, la présence de tutoriels, le temps requis pour effectuer des tâches répétitives, etc.

3.6.1.12 Facilité d'installation

Dans la même ligne d'idée que le critère précédent, celui-ci demeure aussi qualitatif et dépend de plusieurs facteurs qui peuvent varier grandement d'un logiciel à l'autre. C'est pourquoi une approche similaire au critère sur la facilité d'utilisation sera employée, c'est-à-dire qu'il sera possible d'attribuer n'importe quelle note entre zéro et dix inclusivement en autant que la note soit justifiée adéquatement. Pour ce critère, des points à considérer lors de l'évaluation sont : le temps requis pour l'installation complète, le nombre d'éléments pré-requis (autres logiciels nécessaires, capacités du système informatique), la documentation reliée à l'installation, etc.

3.6.2 Tests logiciels

De manière à ne pas influencer le lecteur, l'ordre de présentation des logiciels évalués est simplement l'ordre alphabétique du nom du logiciel. De plus, les distinctions entre logiciel commercial et logiciel en source libre ne seront apparentes que pour le critère du prix. Pour chaque logiciel, les notes accordées pour chaque critère seront discutées sommairement lorsqu'il s'agit de critères quantitatifs et plus en détail lorsqu'il s'agit des critères qualitatifs. Un tableau résumera le score d'un logiciel pour chaque critère, son score total ainsi que les points forts et points faibles marquants.

3.6.2.1 Aphelion

Tel qu'il est mentionné précédemment, Aphelion est un logiciel dédié au traitement d'images. C'est pourquoi il contient un nombre impressionnant d'algorithmes pour le traitement et aussi quelques outils de classification. De plus, son interface est conviviale ; les algorithmes sont classés par thématiques et le tout est facile d'accès et d'utilisation. L'installation sous Windows se fait rapidement en suivant les étapes simples. C'est pourquoi il obtient de très bonnes notes pour ces critères. Le prix est aussi bien côté dans le cas spécifique de notre groupe de recherche puisque l'École de technologie supérieure a présentement une licence complète d'Aphelion. Il faut toutefois noter que si ce n'était pas le cas, ce logiciel obtiendrait une note en dessous de cinq.

Malheureusement, Aphelion n'est présentement disponible que sous Windows. Il y a des plans pour rendre disponibles les bibliothèques d'algorithmes sous Linux d'ici la fin de 2009. La plus grande faiblesse par rapport au projet est que ce logiciel ne gère aucunement l'aspect géographique des images satellitaires. Ainsi, aucun géoréférencement ne peut être effectué directement, et les données vectorielles représentant des routes ou zones d'intérêt ne peuvent être superposées aux images. De plus, le logiciel ne peut ouvrir les formats d'images spécialisées pour les images satellitaires tels que HDF5, HDR et TSX.

Tableau 3.4 Résultats pour Aphelion

Types de fichiers	Traitement	Classification	Extension	Prix	Taille des fichiers	Multibandes	Géoréférencement	Données vectorielles	Disponibilité	Utilisation	Installation
3	10	8	10	10	10	10	0	0	4	9	10
Points forts						**Points faibles**					
- Algorithmes de traitement complets - Utilisation facile						- Aucune gestion des données spécifiques aux images satellitaires - Disponible seulement sous Windows					
Total						66.5/94					

3.6.2.2 ArcGIS

Le logicel ArcGis Desktop 9.3 évalué ne répond pas adéquatement à un grand nombre de critères. Premièrement, bien qu'il gère un très grand nombre de fichiers, il faut généralement passer par l'assistant d'importation qui comporte plusieurs étapes fastidieuses pour ouvrir des images simples comme des GeoTIFF. Le prix est très élevé, même pour une seule licence d'utilisation. À la base, ArcGis ne comporte que très peu d'algorithmes de traitement et de classification. De plus, la plupart de ces algorithmes sont dans des modules externes qu'il faut acheter. Il existe un nombre assez impressionnant de modules d'extension, mais seulement un ou deux seraient utiles pour le projet. Il faut aussi noter qu'il n'est pas possible pour un utilisateur de créer et d'ajouter de nouveaux algorithmes. Finalement, ArcGis n'est disponible que sous Windows.

Pour ce qui est des points forts, ce logiciel permet une gestion très facile des images multibandes. Il offre plusieurs possibilités quant à la manipulation de données vectorielles et

détecte et affiche correctement les images et vecteurs par rapport à l'information de géoréférencement. De plus, l'installation s'effectue sans problème et plusieurs possibilités s'offrent quant à l'installation de données et projets pour effectuer l'apprentissage du logiciel. Concernant ce dernier point, la documentation fournie avec ArcGis est à la fois facile à comprendre et très détaillée. Ceci est encore plus frappant en ce qui a trait aux tutoriels.

Tableau 3.5 Résultats pour ArcGIS

Types de fichiers	**Traitement**	**Classification**	**Extension**	**Prix**	**Taille des fichiers**	**Multimande**	**Géoréférencement**	**Données vectorielles**	**Disponibilité**	**Utilisation**	**Installation**
7	4	4	5	0	10	10	10	10	4	7	10
Points forts						**Points faibles**					
- Excellente documentation (description des fonctionnalités et tutoriels) - Gestion facile du géoréférencement						- Interface peu ergonomique - Nécessité d'acheter des modules supplémentaires pour le traitement et la classification					
Total						59.5/94					

3.6.2.3 Definiens Developer

Le logiciel d'analyse d'images développé par Definiens offre une gestion poussée des projets d'études d'images haute résolution. Il permet l'ouverture de la majorité des types de fichiers sans distinction par rapport à la taille de ceux-ci. De plus, les images multibandes peuvent être facilement manipulées sur une ou plusieurs bandes à la fois. Le géoréférencement est disponible automatiquement. Definiens Developer comporte un assez grand nombre

d'algorithmes de classification. Il est d'ailleurs possible d'ajouter des fonctionnalités à l'aide du kit de développement disponible. La compagnie offre fréquemment de nouvelles versions. Le point le plus intéressant de ce logiciel est qu'il s'approche des principes de vision de David Marr en ce qui a trait à l'analyse d'une scène. Les images sont traitées comme étant des scènes contenant des objets qui sont décrits par des propriétés discriminantes. Le processus d'analyse s'effectue donc à plusieurs niveaux (scène, objets, regroupements d'objets).

Malheureusement, ce logiciel a plusieurs lacunes. Premièrement, il y a très peu d'algorithmes de traitement d'images. Deuxièmement, bien que la gestion des données vectorielles semble présente, cette fonctionnalité rendait instable le logiciel lors des tests effectués. Troisièmement, Definiens Developer est présentement disponible seulement sous Windows. Il semble qu'il y ait possibilité future qu'OS X de Mac soit supporté, mais ce n'est pas encore fait. Quatrièmement, l'interface comporte de nombreuses fenêtres dont l'utilité est parfois difficile à déterminer. De plus, bien que la documentation soit très complète, il demeure difficile de trouver l'information et de l'appliquer. Finalement, le prix d'une licence excède largement la barre de 2000$ fixée pour la note de 0.

Tableau 3.6 Résultats pour Definiens Developer

Types de fichiers	Traitement	Classification	Extension	Prix	Taille des fichiers	Multimande	Géoréférencement	Données vectorielles	Disponibilité	Utilisation	Installation
7	4	8	10	0	10	10	10	4	3	6	10
Points forts						**Points faibles**					
- Outil d'analyse très puissant - Kit de développement disponible pour extension des fonctionnalités						- Interface complexe et peu intuitif - Lent à exécuter					
Total						64.5/94					

3.6.2.4 ENVI

Ce logiciel de type SIG comporte plusieurs caractéristiques fort intéressantes pour le projet. Tout d'abord, il permet l'ouverture d'un très grand nombre de formats de fichiers que ce soit directement ou par importation. Il ne semble pas y avoir de limite quant à la taille de ces fichiers. La gestion d'images multibandes est simple et intuitive. À la base, ENVI offre un très grand nombre d'algorithmes de traitement d'images et de classification (incluant un classificateur par réseau de neurones). De plus, il est possible d'ajouter de nouvelles fonctionnalités et aussi d'appeler les fonctionnalités de ce logiciel à partir d'une autre application en utilisant directement les bibliothèques. L'entreprise commercialisant ce logiciel effectue aussi des mises à jour suffisamment fréquentes. Puisqu'il s'agit d'un SIG, la gestion du géoréférencement et des données vectorielles est bien intégrée. Un autre point fort intéressant et que ce logiciel est disponible sur plusieurs plateformes Unix ainsi que sur OS X et Windows. La documentation est claire et détaillée et l'installation sous Windows est encore une fois très simple.

Un élément important vient diminuer le pointage de ce logiciel. Il s'agit du prix de plus de 1000,00$ pour une licence individuelle. En passant outre sur ce point, demeure la question de l'utilisation du logiciel. ENVI a une documentation impressionnante et explicative pour permettre aux débutants de rapidement trouver ce dont ils ont besoin. Par contre, l'interface graphique est composée de plusieurs fenêtres indépendantes qui rendent les manipulations plus ardues comparées aux manipulations dans une interface ayant une seule fenêtre et plusieurs cadres départageant les différentes zones de travail.

Tableau 3.7 Résultats pour ENVI

Types de fichiers	**Traitement**	**Classification**	**Extension**	**Prix**	**Taille des fichiers**	**Multimande**	**Géoréférencement**	**Données vectorielles**	**Disponibilité**	**Utilisation**	**Installation**
7	10	8	10	2	10	10	10	10	10	7	10
Points forts						**Points faibles**					
- Facilement extensible - Choix intéressant d'algorithmes de classification						- Prix élevé - Interface complexe					
Total						74.5/94					

3.6.2.5 Geomatica

Geomatica est un SIG dont les mises à jour sont fréquentes et dont le développement est continuel. Il propose une panoplie presque complète d'algorithmes de traitement et de classification, ce qui n'est pas le cas pour tous les SIG. Un point très important si l'on considère qu'il s'agit d'un logiciel commercial est qu'il permet la création et l'intégration de

nouveaux algorithmes. Les données vectorielles et le géoréférencement sont pris en charge sans difficulté. La même chose peut être dite de la manipulation d'images ayant plusieurs bandes spectrales. De plus, son installation sous Windows s'effectue de manière simple. Le chargement de fichiers de très grandes tailles (plus de 500Mo) se fait promptement.

Plusieurs types de fichiers sont pris en charge, mais il faut parfois avoir recours à un assistant d'importation. Comme tous les logiciels commerciaux de ce type, le problème majeur demeure son coût prohibitif. Le logiciel a une interface graphique simple et ergonomique qui facilite les manipulations. Par contre, certaines fonctionnalités connexes se trouvent à des endroits différents. Par exemple, certains algorithmes de classification sont situés dans deux menus différents. Finalement, Geomatica est disponible sur plusieurs plateformes, mais il nécessite l'installation d'une application supplémentaire pour fonctionner sur les systèmes Linux. De plus, même avec cette application, le logiciel n'est supporté que sur deux distributions spécifiques de Linux.

Tableau 3.8 Résultats pour Geomatica

Types de fichiers	**Traitement**	**Classification**	**Extension**	**Prix**	**Taille des fichiers**	**Multimande**	**Géoréférencement**	**Données vectorielles**	**Disponibilité**	**Utilisation**	**Installation**
7	10	10	10	0	10	10	10	10	6	8	10
Points forts						**Points faibles**					
- Logiciel fréquemment mis à jour - Algorithmes de traitement nombreux						- Prix élevé					
Total						74.5/94					

3.6.2.6 GvSIG

Bien que ce logiciel soit considéré comme un SIG, il tient beaucoup plus de l'application de cartographie que de l'analyse d'information géographique à l'aide d'images satellitaires. GvSIG n'offre absolument aucun algorithme de traitement d'images ni de classificateur. Il n'est pas possible d'ajouter de nouvelles fonctionnalités, mais il y a au moins une mise à jour par année. Le logiciel offre plusieurs fonctionnalités intéressantes pour la manipulation et la création de données vectorielles, mais ceci n'est pas utile pour le projet. Lors du chargement d'une image de plus de 500 mégaoctets, l'application a simplement gelé sans afficher de message d'erreur. De plus, il fut difficile d'arriver à superposer une image avec des données vectorielles de la même zone. Voilà pourquoi une note de six fut donnée pour le critère de géoréférencement. Il faut aussi noter qu'il n'y a pas d'aide d'inclue à l'intérieur de l'application, mais les fonctionnalités peuvent être utilisées de manière intuitive.

Pour ce qui est des forces de GvSIG, il faut d'abord mentionner qu'il s'agit d'un gratuiciel. Il est très facile d'utilisation avec son interface simple et claire. L'installation est rapide et contient très peu d'étapes. En dernier lieu, ce logiciel permet une manipulation aisée des images multibandes.

Tableau 3.9 Résultats pour GvSIG

Types de fichiers	Traitement	Classification	Extension	Prix	Taille des fichiers	Multimande	Géoréférencement	Données vectorielles	Disponibilité	Utilisation	Installation
7	0	0	5	10	1	10	6	10	10	9	10
Points forts						**Points faibles**					
- Facile d'utilisation - Disponible sur plusieurs systèmes d'exploitation						- Pas d'algorithme de traitement ou de classification - Instable lorsque des fichiers de taille importante sont chargés					
Total						54.6/94					

3.6.2.7 IDRISI

Ce logiciel très populaire auprès des chercheurs, dont Holmer *et al.* (2001), Kabbour *et al.* (2006) et Rughooputh *et al.* (2000), a plusieurs points en sa faveur. En premier lieu, il contient de nombreuses fonctionnalités de traitement d'images. Il offre aussi plusieurs algorithmes de classification du simple (K-centroïdes) au complexe (réseau de neurones). Il est aussi possible de programmer de nouvelles fonctions ou de créer des chaînes de traitement à l'aide du module de programmation de modèles. Il est parmi les logiciels commerciaux les moins dispendieux. L'installation est facile. De plus, même si l'interface peut sembler complexe, le guide d'utilisation et les tutoriels sont parfaitement adaptés à une assimilation rapide des fonctionnalités d'IDRISI. Comme la plupart des autres SIG, il permet de manipuler les images multibandes. L'intérêt de ce logiciel par rapport à ce critère est que l'interface et les fonctionnalités qui y sont rattachées sont beaucoup plus développées que dans les autres logiciels. Le géoréférencement est pris en charge sans difficulté.

IDRISI comporte néanmoins quelques faiblesses décrites ici. Tout d'abord, il n'est disponible que sous Windows. Bien qu'il permette la manipulation et la création de données vectorielles, il faut parfois passer par plusieurs assistants afin de charger correctement les données. De plus, ce logiciel ne gère pas tous les types de fichiers et requiert l'utilisation d'un assistant d'importation pour plusieurs formats de fichier.

Tableau 3.10 Résultats pour IDRISI

Types de fichiers	**Traitement**	**Classification**	**Extension**	**Prix**	**Taille des fichiers**	**Multimande**	**Géoréférencement**	**Données vectorielles**	**Disponibilité**	**Utilisation**	**Installation**
7	10	8	10	4	10	10	10	10	1	9	10
Points forts						**Points faibles**					
- Tutoriels faciles à suivre - Beaucoup de fonctionnalités utiles						- Problèmes d'importation de certains types de fichiers					
Total						75/94					

3.6.2.8 Ilwis

Ce logiciel disponible gratuitement offre plusieurs fonctionnalités utiles au projet global. Premièrement, il contient plusieurs algorithmes de traitement d'images ainsi que quelques algorithmes de classification. Son interface est simple et facile d'utilisation. Ilwis permet la

manipulation d'un grand nombre de formats de fichier, grâce à l'utilisation d'un module d'importation faisant appel à GDAL[7]. Les données vectorielles ainsi que le géoréférencement sont pris en charge sans problème. L'installation ne requiert que la décompression du contenu d'un fichier d'archives dans un répertoire sur le disque dur. De plus, ce logiciel contient une très bonne documentation sur ses fonctionnalités et son utilisation.

Pour ce qui est des points faibles, notons qu'Ilwis n'est disponible que sous Windows. Les développeurs offrant du support pour ce logiciel n'ont pas fait de mise à jour depuis plus d'une année, mais il est possible pour un utilisateur d'ajouter lui-même des fonctionnalités ou d'appeler des applications externes pour traiter les images.

[7] Geospatial Data Abstraction Library: traducteur de formats matriciels pour les données géospatiales. http://www.gdal.org/

Tableau 3.11 Résultats pour Ilwis

Types de fichiers	Traitement	Classification	Extension	Prix	Taille des fichiers	Multimande	Géoréférencement	Données vectorielles	Disponibilité	Utilisation	Installation
7	8	6	5	10	10	10	10	10	1	8	10
Points forts						**Points faibles**					
- Interface facile à manipuler - Bonne base d'algorithmes disponible						- Peu de mises à jour effectuées - Ajout de fonctionnalités difficile					
Total						70/94					

3.6.2.9 MapWindow

MapWindow est un autre SIG qui ne s'intéresse qu'à l'aspect cartographie des systèmes d'information géographique. Ainsi, il ne contient pas d'algorithmes de traitement d'images. De plus, il n'a aucune fonctionnalité de classification. Comme son nom peut le laisser croire, MapWindow n'est disponible que sous Windows. Finalement, il y des mises à jour fréquentes, mais elles sont souvent peu significatives au point de vue innovation. Il faut aussi noter qu'il est possible d'ajouter des algorithmes à l'aide de modules d'extensions, mais il n'en existe présentement aucun d'intéressant.

Pour ce qui est des points forts, MapWindow est en mesure d'ouvrir un grand nombre de formats de fichier. Il gère aussi très bien le géoréférencement. Il en fait de même avec les données vectorielles. En dernier lieu, son installation s'effectue sans souci.

Tableau 3.12 Résultats pour MapWindow

Types de fichiers	Traitement	Classification	Extension	Prix	Taille des fichiers	Multimande	Géoréférencement	Données vectorielles	Disponibilité	Utilisation	Installation
10	0	0	5	10	10	10	10	10	1	7	10
Points forts						**Points faibles**					
- Installation facile et rapide - Logiciel gratuit						- Ne répond pas de façon satisfaisante à la majorité des critères					
Total						65/94					

3.6.2.10 Orfeo Toolbox

La boîte à outils Orfeo semble, à première vue, répondre très bien à la majorité des critères évalués. Grâce à son intégration complète de GDAL, elle permet d'ouvrir la grande majorité des formats de fichiers reliés aux images satellitaires et continuera d'être adaptée pour les formats futurs. À la base, cette boîte à outils offre le plus grand nombre d'algorithmes de traitement d'images après Aphelion. De plus, ses algorithmes de classification sont plus flexibles et plus complets que tous les autres logiciels évalués. OTB est extensivement supportée par ses développeurs et utilisateurs, car ces derniers peuvent ajouter de nouvelles fonctionnalités sans problème. Il est possible de manipuler des données vectorielles facilement, mais la création de nouveaux vecteurs est une tâche ardue à cause du manque d'interface graphique. Le géoréférencement est pris en charge, mais l'utilisateur doit spécifier quand il veut l'utiliser. Pour ce qui a trait aux images ayant plusieurs bandes spectrales, il n'y a pas de limite quant au nombre de bandes, mais ce ne sont pas tous les algorithmes qui effectuent leur traitement sur toutes les bandes directement. Dans ces cas, il faut utiliser une fonction spéciale qui force le traitement sur toutes les bandes. La

documentation fournie dans un guide externe explique bien les différentes étapes à suivre pour résoudre ces petits problèmes et offre une série de tutoriels pour être en mesure d'utiliser correctement OTB. Le dernier point important est que cette boîte à outils est disponible sur un nombre presque illimité de plateformes même si l'installation requiert parfois des ajustements pour certains systèmes d'exploitation.

En ce qui concerne les faiblesses d'OTB, il n'y en a que deux qui méritent d'être mentionnées. Premièrement, puisqu'il s'agit d'une boîte à outils et non d'un logiciel, l'utilisateur doit avoir une bonne connaissance de la programmation (en c++ dans ce cas). Ainsi, bien que la documentation fournisse de bons exemples, elle ne facilite pas nécessairement l'utilisation d'OTB pour les chercheurs ayant peu d'expérience en programmation. Dans le même ordre d'idée, OTB n'offre à la base aucune interface graphique pour accéder aux algorithmes et manipuler les images. Il faut donc développer les interfaces à l'aide de FLTK[8]. Deuxièmement, l'installation de cette boîte à outils nécessite l'installation de plusieurs autres bibliothèques. Les étapes sont parfois complexes et il faut effectuer plusieurs manipulations précises dans un ordre fixe pour arriver à correctement l'installer.

[8] Fast Light Toolkit: Outil de creation d'interfaces graphiques multiplateformes. http://www.fltk.org/

Tableau 3.13 Résultats pour OTB

Types de fichiers	Traitement	Classification	Extension	Prix	Taille des fichiers	Multimande	Géoréférencement	Données vectorielles	Disponibilité	Utilisation	Installation
10	10	10	10	10	10	8	8	9	10	6	5
Points forts						**Points faibles**					
- Gère un très grand nombre de types de fichiers - Contient plusieurs algorithmes de traitement et de classification utiles pour les images satellitaires						- Installation difficile - La gestion des images multibandes requiert des manipulations supplémentaires					
Total						85.8/94					

3.6.2.11 Quantum GIS / GRASS

Ce logiciel est un autre SIG presque entièrement axé sur la cartographie plutôt que l'analyse d'images satellitaires. Il ne contient aucun algorithme de traitement et n'offre pas de fonctionnalités de classification. Les concepteurs misent beaucoup sur la modularité de ce logiciel. En effet, il est facile d'accéder à un serveur dédié offrant une liste de modules d'extension créée pour Quantum GIS. Par contre, il n'existe présentement aucun module avec des algorithmes de traitement d'images sauf GRASS. Ce dernier étant difficile à configurer et nécessitant la création d'une base de données spécialisée, les notes 7 et 9 furent accordées pour l'installation et le critère d'extensibilité respectivement.

Pour ce qui est des forces de ce logiciel, il faut d'abord mentionner la gestion facile des données vectorielles et du géoréférencement. Les images multibandes peuvent aussi être

manipulées aisément dans Quantum GIS. Même sans le module GRASS, ce logiciel permet la lecture de plusieurs formats d'images satellitaires. Finalement, son utilisation est grandement facilitée par son interface simple et la documentation extensive fournie.

Tableau 3.14 Résultats pour Quantum GIS

Types de fichiers	**Traitement**	**Classification**	**Extension**	**Prix**	**Taille des fichiers**	**Multimande**	**Géoréférencement**	**Données vectorielles**	**Disponibilité**	**Utilisation**	**Installation**
10	0	0	9	10	10	10	10	10	7	10	7
Points forts						**Points faibles**					
- Base de développement/utilisation vaste - Gestion de données vectorielles et d'images satellitaires complète						- Installation difficile - Utilisation ardue					
Total						70/94					

3.6.2.12 Saga GIS

En ce qui concerne ce logiciel, il est un des rares à offrir plus d'algorithmes d'analyse et de classification que d'algorithmes de traitement d'images. Comme plusieurs autres logiciels évalués, il utilise GDAL comme module d'importation pour être en mesure d'ouvrir un plus grand nombre de types de fichiers. Il permet également le chargement et la visualisation facile des données vectorielles. Il est disponible sous Windows et plusieurs distributions de Linux. L'installation sous Windows se fait rapidement et la procédure est fort simple.

Par contre, Saga GIS a plusieurs lacunes notables. Premièrement, il dépend entièrement du support des utilisateurs pour son développement. Il est présentement rarement mis à jour. Deuxièmement, son utilisation est compliquée par plusieurs facteurs. Il n'existe aucune aide fournie avec le logiciel. Il faut trouver l'information en ligne. De plus, la gestion des images multibandes est ardue à cause des nombreuses manipulations nécessaires. De plus, l'utilisation du géoréférencement pour superposer des données nécessite plusieurs étapes. Finalement, l'interface est complexe et les fonctionnalités importantes se trouvent à des endroits inattendus ou difficiles d'accès.

Tableau 3.15 Résultats pour Saga GIS

Types de fichiers	**Traitement**	**Classification**	**Extension**	**Prix**	**Taille des fichiers**	**Multimande**	**Géoréférencement**	**Données vectorielles**	**Disponibilité**	**Utilisation**	**Installation**
10	6	8	5	10	7	5	5	10	7	5	10
Points forts						**Points faibles**					
- Installation facile - Gratuit						- Interface peu ergonomique - Manipulation d'images satellitaires multibandes difficile					
Total						68.6/94					

3.6.2.13 uDig

Pour ce qui est d'uDig, il s'agit d'un logiciel utilisant comme base le logiciel de développement/déploiement Éclipse. Ceci permet une mise à jour facile et un standard de développement populaire. De plus, cela fait en sorte que ce logiciel est disponible sur un très grand nombre de systèmes d'exploitation. L'installation se fait aisément, même si

l'utilisation d'Éclipse peut requérir la configuration d'éléments spécifiques au système. Il est possible d'installer uDig dans différentes langues dont le français. Finalement, ce logiciel permet de facilement manipuler les données vectorielles.

En ce qui concerne les points faibles, uDig en a plusieurs. Premièrement, il n'offre aucun algorithme de traitement d'images ni de classificateurs. Plusieurs formats d'images fréquemment utilisés ne sont pas supportés. Un problème relié à cela est qu'il est difficile, voire impossible de manipuler des images ayant plusieurs bandes. De plus, le géoréférencement n'est vraiment utilisé qu'avec les données vectorielles provenant de sources diverses.

Tableau 3.16 Résultats pour uDig

Types de fichiers	**Traitement**	**Classification**	**Extension**	**Prix**	**Taille des fichiers**	**Multimande**	**Géoréférencement**	**Données vectorielles**	**Disponibilité**	**Utilisation**	**Installation**
3	0	0	5	10	7	5	5	10	10	5	8
Points forts						**Points faibles**					
- Disponible sur plusieurs plateformes						- Pas de traitement ni de classification - Prise en charge de très peu de formats					
Total						44.1/94					

3.6.3 Retour sur les résultats

Dans cette section, la pondération des critères utilisés pour l'évaluation des différents logiciels fut élaborée en premier lieu. Par la suite, les logiciels retenus pour être évalués furent notés en fonction des divers critères et un score final fut déterminé. De plus, les points forts et points faibles des différentes applications furent ressortis

Il semble bien que le logiciel répondant le mieux aux nombreux critères des chercheurs travaillant sur le projet est la boîte à outils Orfeo. En effet, cette dernière obtient non seulement le score le plus haut, mais des scores parfaits pour les cinq critères les plus importants, soit la gestion de différents types de fichiers, les algorithmes de traitement d'images, les algorithmes de classification, la possibilité d'étendre les fonctionnalités du logiciel et finalement le prix.

La prochaine section porte sur la discussion des résultats obtenus ainsi que la recommandation d'un ou plusieurs logiciels à utiliser pour la suite du projet global.

3.7 Discussion

Les résultats d'évaluation de chaque logiciel furent compilés et décrits de façon spécifique. Les avantages et inconvénients de chaque logiciel furent aussi mis en évidence afin de faire ressortir les aspects différentiateurs entre les diverses applications selon les besoins identifiés pour le projet global. Les notes furent compilées et un score final fut déterminé pour chaque logiciel. À partir de ce score, la boîte à outils Orfeo fut mise en évidence comme étant le logiciel répondant le mieux à l'ensemble des critères.

Cette section porte sur une analyse plus détaillée des résultats obtenus. En premier lieu, les résultats des logiciels seront comparés afin de faire ressortir les forces et lacunes fréquemment rencontrées pour répondre aux problèmes liés à l'observation de la Terre. Par la suite, des recommandations sur les différentes options envisagées seront données. Ceci

permettra la prise éventuelle d'une décision finale sur le choix d'un ou plusieurs logiciels pour la réalisation du projet par les chercheurs qui y sont assignés.

3.7.1 Analyse des résultats

3.7.1.1 SIG versus logiciel de traitement d'images

Deux types majeurs de logiciels furent mis en évidence par cette recherche. D'abord, le SIG qui offre un grand nombre de fonctionnalités pour la création de cartes géographiques et la manipulation de données vectorielles. De manière générale, les capacités offertes par ce type de logiciel sont insuffisantes pour le projet. La majorité des logiciels évalués entrent dans cette catégorie. Ensuite, le logiciel de traitement d'images permet de travailler sur l'image satellitaire en appliquant des filtres, transformations et autres manipulations selon les besoins. Tel qu'il a été déterminé lors de la création des critères, il est plus important pour le projet global d'être en mesure d'appliquer des prétraitements et d'utiliser des algorithmes de classification que de manipuler des données vectorielles. C'est pourquoi les logiciels entrant dans cette catégorie sont préférés. Parmi les logiciels évalués, seulement Aphelion et OTB font partie de la catégorie des logiciels de traitement d'images.

En plus de ces deux types principaux, un logiciel fait exception en se retrouvant dans la catégorie des logiciels d'analyse d'images. Tel qu'il est mentionné dans les sections précédentes, Definiens Developer permet l'analyse des images par une approche orientée objet. Bien que ceci soit insuffisant en soi, il s'agit d'une part importante du travail qui sera effectuée par les différents chercheurs travaillant sur le projet. Il faudra donc considérer cela lors de la décision finale.

3.7.1.2 Forces et faiblesses récurrentes

Au cours de l'étude, de nombreux points forts ainsi que plusieurs lacunes ont été fréquemment rencontrés dans les divers logiciels. Puisque cela a un impact majeur sur le choix du logiciel à adopter, il est important d'en discuter ici. Les avantages récurrents seront

d'abord présentés, puis il en sera fait de même pour les points faibles. Dans chaque cas, les logiciels impliqués seront nommés et l'importance de ces points pour le projet sera mise en évidence.

D'abord, le point fort le plus souvent présent est la documentation très complète offerte avec certains des logiciels. C'est le cas principalement pour ArcGIS, ENVI et IDRISI. Ce qui ressort est que ce sont majoritairement les outils commerciaux qui offrent des tutoriels et une documentation bien développée. Ceci est compréhensible, car la facilité d'utilisation et la possibilité de se référer à des exemples font en sorte que les clients favorisent un logiciel plutôt qu'un autre. La seule exception à cela est OTB. Cette dernière a un guide d'utilisation et des tutoriels dont les étapes sont simples et faciles à appliquer. Ceci s'explique par le fait que cette boîte à outil est développée par le CNES et est donc subventionnée par le gouvernement. De plus, le but avoué d'OTB est d'être accessible par le plus grand nombre de chercheurs. Ensuite, les algorithmes de traitement sont présents dans de nombreux logiciels évalués. Ceci est vrai pour les logiciels suivants : Aphelion, ENVI, Geomatica, IDRISI, Ilwis, OTB et dans une certaine mesure Saga GIS. Il est possible de remarquer une fois de plus que dans la plupart des cas, il s'agit de logiciels commerciaux. L'exception au niveau des logiciels vendus est ArcGIS qui n'est pas fourni à la base avec beaucoup d'algorithmes de traitement par rapport aux autres. Il faut sans doute attribuer cela à la propension d'ESRI à tout fournir en modules séparés.

Du côté des points faibles, il y en a deux qui ressortent plus souvent que les autres : l'utilisation difficile d'une interface graphique lourde et le manque d'algorithmes de classification. Pour ce qui est du premier point, il est valable pour ArcGIS, Definiens Developer, ENVI, Quantum GIS et Saga GIS. Ceci arrive fréquemment lorsque le développement d'une application se fait de manière séquentielle. Diverses parties sont développées à différents moments et ensuite intégrées au logiciel sans repenser l'interface afin de ne pas dérouter les clients récurrents. Dans certains cas, la documentation est suffisamment claire pour pallier à ce problème, mais ce n'est pas toujours le cas pour les logiciels en source libre comme il fut mentionné plus haut. En ce qui concerne le manque

d'algorithmes de classification, c'est sans doute le problème qui revient le plus souvent parmi tous les points notés. Les logiciels affectés sont les suivants : ArcGIS, GvGIS, Ilwis, MapWindows, Quantum GIS et uDig. Ce qui ressort le plus est qu'excepté ArcGIS, il s'agit de logiciels source libre. Ceci s'explique par le fait que les algorithmes de classification sont généralement complexes et nécessitent beaucoup de développement pour les implanter.

3.7.1.3 Comparaison du top trois

En utilisant le score final de chacun des logiciels, il est possible de déterminer lesquels répondent le mieux aux critères. Le Tableau 3.17 ci-dessous montre les logiciels aux trois premières positions avec le score sur la note maximale de 94 remis en pourcentage.

Tableau 3.17 Liste des trois meilleurs scores

Logiciel	**Résultat (%)**
Boîte à outils Orfeo	91.28
ENVI	84.04
PCI Geomatica ET IDRISI	82.98

Comme il est possible de le constater, OTB obtient une note 6% plus élevé qu'ENVI qui se retrouve en deuxième position. Ceci peut surprendre pour deux raisons majeures. Premièrement, il s'agit du seul logiciel en source libre avec un total de plus de 75. Dans la plupart des cas, les logiciels commerciaux ont des notes très élevées pour les algorithmes, le traitement multibande, la gestion des données vectorielles ainsi que pour la qualité de la documentation, car ces logiciels sont développés depuis longtemps par une équipe nombreuse de programmeurs ce qui est rarement le cas des logiciels en source libre. Deuxièmement, il s'agit d'une boîte à outils relativement nouvelle, car la première version fut offerte en 2006. Le succès d'OTB s'explique d'abord par l'utilisation d'ITK comme base pour un nombre important d'algorithmes de traitement et de classification. Ainsi, l'équipe de

développement s'est concentrée sur les lacunes des SIG afin d'apporter des solutions à celles-ci.

Afin d'effectuer une comparaison adéquate, il faut bien comprendre pour quels critères OTB et ses compétiteurs ont perdu des points. En ce qui concerne OTB, la majorité des points perdus concernent l'installation et l'utilisation (principalement à cause de la nécessité d'avoir une bonne expérience en programmation C++). Par contre, l'installation peut être confiée à une seule personne plus à l'aise avec la procédure. De plus, des formations de bas niveau en programmation suffisent pour s'adapter au style de développement d'OTB. Une fois ces éléments mis de côté, il reste un score presque parfait pour l'ensemble des autres critères. Comparée avec les plus proches compétiteurs, il semble qu'OTB offre d'abord une plus grande flexibilité au niveau des types de fichiers gérés. ENVI, Geomatica et IDRISI sont plus axés sur leurs propres formats de fichiers propriétaires ce qui se somme généralement par un manque de compatibilité pour le transfert des éléments. De plus, les trois principaux compétiteurs ont aussi leurs lacunes au niveau de l'utilisation. Plus précisément, ENVI a une interface beaucoup trop chargée peu importe la complexité des tâches à accomplir. Ainsi, même l'application de filtres simples fait apparaitre de nombreuses fenêtres. Finalement, tel que mentionné précédemment, les trois plus proches compétiteurs d'OTB sont tous des logiciels commerciaux dont le prix varie de 500$ à plus de 2000$ par licence. Il faut évidemment éviter de reposer la décision finale seulement sur ce critère, mais il s'agit tout de même d'un élément important à considérer vu le nombre de chercheurs travaillant sur le projet.

3.7.2 Recommandation

À la lumière des différents tests effectués ainsi que de l'analyse des résultats obtenus, il est maintenant possible de faire un choix éclairé. D'abord, il est clair que l'utilisation d'OTB n'implique aucun coût et peut se faire par tous les chercheurs ayant un minimum de connaissances en programmation. C'est pourquoi ce logiciel devrait être installé sur un serveur pour les traitements nécessitant une plus importante puissance de calcul ainsi que sur

les postes de travail individuels pour le développement de nouveaux algorithmes et pour les traitements moins lourds.

Ensuite, comme OTB comporte quelques lacunes au niveau du traitement multibande ainsi que pour les données vectorielles et la manipulation d'objets extraits des images, il faudra sans doute le combiner avec un ou plusieurs logiciels commerciaux. Aphelion pourra être utilisé pour répondre au besoin de manipulation d'objets puisqu'une licence est déjà disponible. Par ailleurs, le potentiel d'analyse orientée-objet offert par Definiens Developer ne devrait pas être ignoré. Il s'agit d'un élément important qui sera probablement fort utile dans les étapes plus avancées du projet.

En résumé, la recommandation finale est la suivante : Utiliser OTB pour le maximum d'éléments du projet à l'aide des algorithmes déjà existants ou en créant de nouveaux algorithmes à intégrer à OTB selon les besoins et faire éventuellement l'acquisition d'un logiciel commercial pour pousser les travaux plus loin dans le domaine des SIG. Pour cela, ENVI est favorisé par son score final et particulièrement par sa capacité potentielle d'interagir avec OTB. Finalement, si le budget le permet, une licence de Definiens Developer devrait être installée sur un poste accessible par tous les chercheurs.

3.7.3 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis d'établir une liste de critères afin d'évaluer différents logiciels de type SIG ou de traitement d'image et d'analyser en profondeur les résultats et ainsi faire ressortir une recommandation concernant le choix du ou des logiciels à utiliser. Tel que mentionné plus haut, OTB devrait incontestablement être inclus comme logiciel principal pour le déroulement du projet global. Ceci n'implique donc aucun coût à priori puisque le logiciel est gratuit et que les machines sur lesquelles il sera installé sont déjà fournies. Par contre, il faudra qu'une ou plusieurs personnes effectuent l'installation en suivant à la lettre les étapes détaillées afin d'éviter de se retrouver avec des problèmes plus tard.

Le prochain chapitre détaillera certaines améliorations visant à rendre OTB plus facile d'utilisation pour les chercheurs qui ont moins d'expérience en programmation. Une amélioration sera implantée directement dans OTB et une autre sera décrite en détail en vue d'être éventuellement intégrée.

CHAPITRE 4

ENVIRONNEMENT LOGICIEL DE DÉVELOPPEMENT POUR LE PROJET GLOBAL

4.1 Introduction

Prenant pour acquis que la boîte à outils Orfeo sera utilisée comme logiciel principal pour le projet global, ce chapitre présente des améliorations qui peuvent être apportées à OTB. Ces améliorations visent d'abord à rendre plus facile l'utilisation d'OTB par l'ajout de composantes d'interface utilisateur graphique pour les commandes fréquemment utilisées. En ajoutant des interfaces conviviales, OTB pourra devenir un outil utilisable par un plus grand nombre de chercheurs.

La suite de ce chapitre est divisée en trois grandes sections. Tout d'abord, les principes de programmation utilisés pour OTB seront décrits en détail. Ceci permettra de comprendre le fonctionnement des différentes parties de cette bibliothèque d'algorithmes tout en voyant les interactions entre les divers modules. Ensuite, la gestion des paramètres d'une application quelconque sera abordée selon différentes méthodes afin de voir ce qui peut être amélioré dans OTB. Les principes de la programmation visuelle seront présentés. Par la suite, la programmation visuelle semble toute désignée pour rendre plus accessible OTB. Finalement, il y a aura un retour sur l'ensemble du chapitre afin de résumer les concepts décrits.

4.2 Principes de programmation

En considérant OTB dans son ensemble, il s'agit d'une boîte à outils de programmation développée en C++ pour résoudre des problèmes de télédétection. En y regardant de plus près, il est possible de remarquer qu'OTB est en fait composée de plusieurs parties distinctes, chacune fonctionnant indépendamment des autres. Afin de déterminer quelles parties d'OTB améliorer et comment procéder, il faut d'abord comprendre la structure interne d'OTB. Cette section présente d'abord les diverses composantes de cette boîte à outils. Ensuite, le concept

de programmation générique sera présenté, car OTB en fait bon usage et cela sera utile pour les sections subséquentes. Finalement, les principes de lecture en continue et de flux de données seront abordés.

4.2.1 Structure d'OTB

Tel que mentionné précédemment, OTB utilise diverses bibliothèques déjà existantes pour augmenter ses propres fonctionnalités. Ainsi, l'installation d'OTB inclut les modules principaux suivants : GDAL, FLTK et ITK. L'utilisation de GDAL permet l'ouverture, la gestion et la manipulation d'un grand nombre de formats d'images satellitaires. GDAL est donc le module de gestion des fichiers pour OTB. Pour ce qui est de la présentation des résultats et la visualisation des options pour une application, FLTK est utilisée. Il s'agit d'une boîte à outils permettant la création et la gestion d'interfaces graphiques. Cette bibliothèque sera utilisée pour démontrer les améliorations possibles dans la prochaine section. Finalement, ITK est une boîte à outils développée en C++ originalement créée pour faciliter le traitement et l'analyse d'images médicales. OTB est largement basée sur les principes de développement utilisés pour ITK. De plus, OTB utilise des classes d'ITK pour un nombre important de ses algorithmes. Le schéma de la **Figure 4.1** ci-dessous montre la chaîne de fonctionnement général d'OTB avec les bibliothèques mentionnées ici.

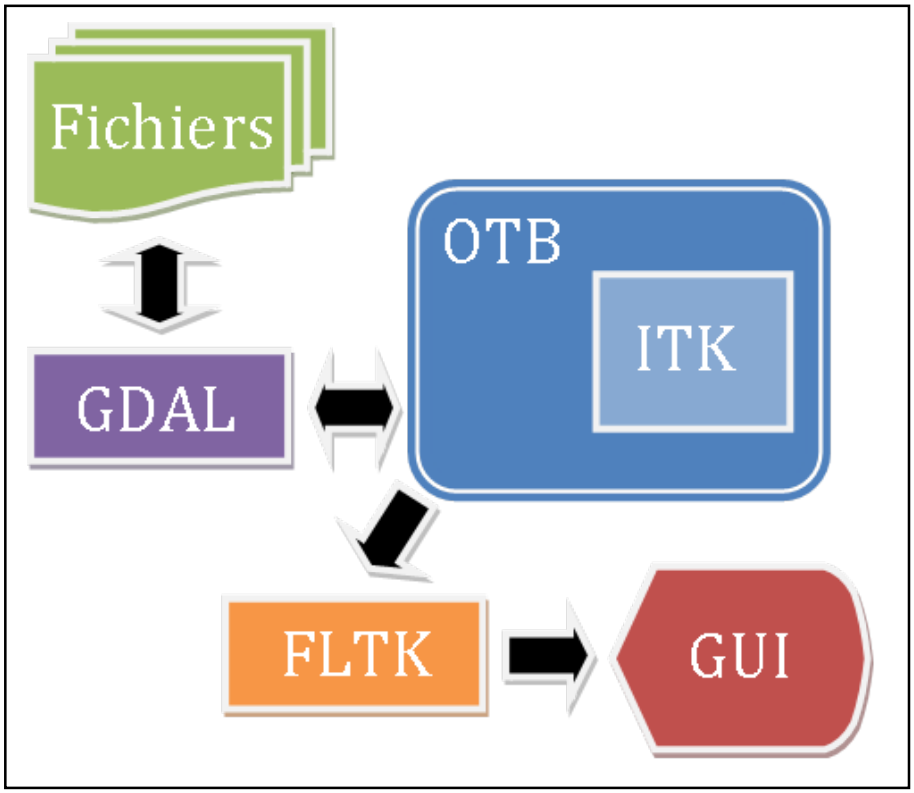

Figure 4.1 Interactions entre OTB et diverses bibliothèques.

4.2.2 Programmation générique

ITK est développé selon les principes de la programmation générique. Puisqu'OTB se base en grande partie sur ITK pour sa structure et son fonctionnement, il est donc important d'expliquer les principes de la programmation générique. Les buts de la programmation générique sont de fournir de la robustesse contre les violations d'accès ainsi que d'offrir une flexibilité maximale selon Altenkirch *et al.* (2006). Les auteurs Cirak et Cummings (2008) et Hinze et Loh (2006) expliquent bien les fondements de ce type de programmation. De manière générale, la programmation générique implique la création d'une structure qui est capable de tenir compte de différents types de données pour appliquer un traitement uniforme. Ainsi, une classe générique serait capable de traiter aussi bien les entiers que les valeurs à virgule flottante et même les données d'autres types.

L'application de ces principes à un système de traitement d'images satellitaires offre de nombreux avantages. Les classes d'ITK et par le fait même d'OTB sont construites de manière à accepter les données provenant de plusieurs types de fichiers et donc de données variées (JPEG, TIF, etc.). De plus, les données d'entrée peuvent comporter de multiples bandes spectrales. C'est pourquoi OTB a une classe permettant d'effectuer des traitements identiques sur un nombre illimité de bandes d'une image. La programmation générique peut aussi signifier l'utilisation de paramètres pour modifier le comportement d'une classe donnée. Ainsi, une classe permettant l'analyse morphologique mathématique sur une image peut être paramétrée de manière à permettre de choisir l'élément structurant à utiliser, la taille de cet élément ainsi que le type d'opérateur de morphologie à appliquer (dilatation, érosion ou autre).

4.2.3 Lecture en continu et enchaînement des opérations

Dans OTB, la lecture en continue ou *streaming* concerne l'ouverture, la manipulation et l'écriture des images satellitaires. Il s'agit de traiter des sous-sections de l'image afin d'éviter de charger entièrement une image en mémoire. C'est un concept utile avec les images satellitaires de très haute résolution qui peuvent avoir une taille dépassant le gigaoctet. Ainsi, la lecture en continue permet la manipulation d'images de grande taille sans nécessiter l'ajout de mémoire à l'ordinateur utilisé.

Pour ce qui est de l'enchaînement des opérations, OTB utilise le fait que chaque module comporte une entrée et une sortie pour permettre la création de flux d'opérations. Ainsi, pour appliquer un filtre de lissage sur une image, il faut d'abord connecter un module de lecture d'image à un module de filtrage. Ensuite, il faut connecter le résultat du filtre à un module de visualisation du résultat ou d'écriture de fichier. Cela permet de créer des chaînes de traitement qui peuvent être modifiées facilement en ajoutant ou en enlevant des modules dans la chaîne. Le concept de lecture en continu ne peut être utilisé dans une chaîne seulement si l'ensemble de la chaîne utilise des modules pouvant gérer la lecture en continu. Les modules d'ouverture d'images sont construits de manière à permettre la lecture en continu. Pour

l'écriture d'un fichier image sur le disque utilisant la lecture en continu, il faut utiliser le module ***otbStreamingImageFileWriter***.

4.3 Gestions des paramètres d'une application

Lors de la création d'une application, le développeur doit faire plusieurs choix importants quant à la structure de son programme et les moyens qu'auront les utilisateurs d'interagir avec cette application. Cette section s'intéresse à deux éléments particuliers de la création d'une application soit la gestion des paramètres d'entrée ainsi que le type d'interface utilisateur.

4.3.1 Ligne de commande

L'entrée des paramètres à l'aide d'une console de terminal est la façon la plus simple et rapide pour un programmeur d'offrir des capacités d'interaction à ses applications. Le C++ permet la gestion des paramètres à l'aide de deux variables (argc et argv). La première contient la valeur numérique du nombre de paramètres fournis par l'utilisateur et la seconde contient une liste des valeurs entrées. Le programmeur a deux possibilités majeures à ce niveau. Il peut tenir pour acquis que les paramètres fournis respectent les formats requis et que le bon nombre de paramètres est présent ou il peut passer les paramètres dans une fonction de vérification qui déterminera si les paramètres sont valables. La deuxième façon de procéder est plus robuste contre les erreurs et devrait être favorisée. De plus, OTB offre un module de gestion des paramètres complet et le guide d'utilisation contient des exemples démontrant son utilisation. La prochaine sous-section vise à démontrer comment ce module fut légèrement modifié afin d'obtenir une interface graphique dynamique pour la gestion des paramètres des applications créées à l'aide d'OTB. La **Figure 4.2** montre un exemple d'une application utilisant le module de gestion des paramètres d'OTB.

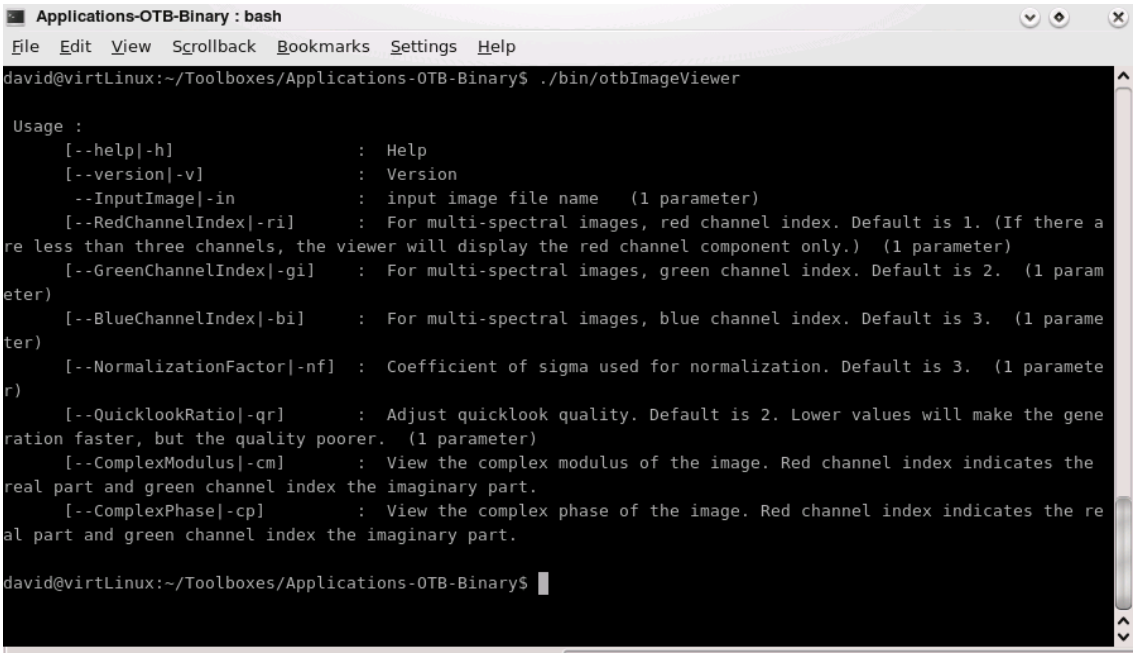

Figure 4.2 Gestion des paramètres par ligne de commande.

Bien que ce module aide grandement pour la gestion des paramètres, il nécessite de connaître l'ordre des paramètres ou bien les noms d'appel des paramètres. Par exemple, pour l'application *otbImageViewer*, il faut fournir dans l'ordre : une image d'entrée, l'index de la bande rouge, l'index de la bande verte, l'index de la bande bleue, un facteur de normalisation et d'autres paramètres. Par contre, certains de ces paramètres sont optionnels et d'autres ont aussi une valeur par défaut. Ainsi, il serait possible de lancer l'application seulement avec une image d'entrée, l'index de la bande bleue et le facteur de normalisation de la manière suivante :

./otbImageViewer --InputImage …/imageentree.xxx --BlueChannelIndex 3
--NormalizationFactor 2

Lorsque l'utilisateur omet des paramètres obligatoires ou lorsqu'il ne respecte pas l'ordre des paramètres, une aide est générée dynamiquement et est affichée. Cette aide comporte la liste entière des paramètres dans l'ordre avec une description de chacun ainsi que des valeurs par

défaut lorsque c'est pertinent. Toute cette information doit donc être fournie par le développeur de l'application au moment de définir les paramètres.

4.3.2 Interface graphique dynamique

À l'instar d'une console de terminal, une interface graphique dans un environnement évolué, tel que Mac OS X ou Windows Vista, peut être facilement modifiée et rend généralement plus claires et explicites les options disponibles à l'utilisateur. Le module de gestion des paramètres d'OTB contient déjà une fonction squelette dont le but était de générer une interface graphique pour que l'utilisateur n'ait pas à entrer les paramètres dans une console. C'est dans cette optique qu'il fut décidé de partir de cette fonction pour développer un algorithme permettant la création dynamique d'une interface graphique affichant les paramètres requis et offrant la description de ces paramètres. La suite de cette sous-section explique comment fonctionne l'algorithme et décrit les éléments utilisés.

En premier lieu, un conteneur est créé afin d'y mettre les références aux différentes boîtes de texte qui seront associées à chaque paramètre. Puisque certains des paramètres seront des chemins d'accès vers des fichiers, il fut déterminé d'ajouter un bouton ouvrant une fenêtre de parcours de répertoires pour les paramètres le nécessitant. Ainsi, il faut aussi créer un conteneur pour gérer les boutons créés dynamiquement. En second lieu, la structure de l'interface doit être initialisée. Il faut d'abord déterminer la longueur et la largeur de la fenêtre en fonction des paramètres. Un bouton est aussi ajouté au bas de la fenêtre afin que l'utilisateur puisse confirmer les données fournies. La partie dynamique de l'algorithme est gérée dans une boucle qui ajoute chaque paramètre à fournir dans le conteneur et assigne une boîte de texte avec description et un bouton pour parcourir les fichiers au besoin. Afin de démontrer la facilité d'utilisation de la nouvelle fonction, l'exemple du tutoriel d'OTB pour l'afficheur d'images (otbImageViewer) fut modifié pour utiliser cette nouvelle fonction. La ligne suivante montre le code utilisé originalement pour profiter du module de gestion des paramètres par une console :

parser->ParseCommandLine(argc,argv,parseResult);

Pour utiliser l'interface graphique dynamique de gestion des paramètres, il suffit de changer cette ligne pour celle-ci :

parser->ParseGUI(argv[0],"Description générale de l'application",parseResult);

L'ANNEXE II contient le code source de la méthode principale ***ParseGUI***. Le changement au niveau de l'application est donc minime. Ceci tient compte que l'application utilisait déjà le module de gestion des paramètres d'OTB. Sans cela, il serait nécessaire d'ajouter une ligne de code pour chaque paramètre désiré. Ce travail a fait l'objet d'un article de conférence de Dubois, Lepage et Tanzi (2009) présenté à IGARSS 2009. La capture d'écran de la **Figure 4.3** montre la fenêtre graphique résultant de l'utilisation du code proposé.

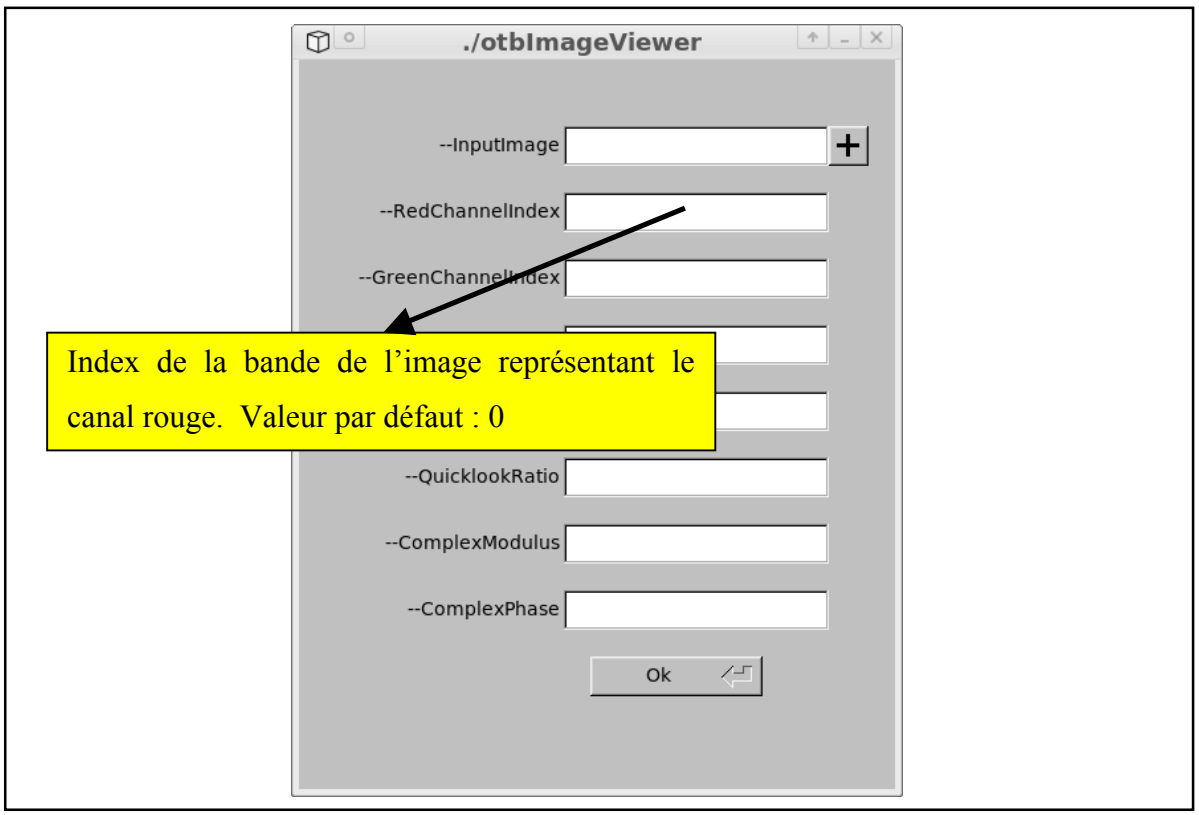

Figure 4.3 Gestion des paramètres par interface utilisateur graphique dynamique.

Tous les paramètres sont présentés dans l'ordre. Les paramètres nécessitant l'inscription d'un chemin d'accès ont un bouton « + » permettant d'ouvrir un navigateur de fichiers. De plus, en positionnant le curseur sur une des boîtes de texte, il est possible de voir une description du paramètre et des valeurs possibles.

4.4 Interface de programmation visuelle

Une fois l'interface graphique dynamique créée, les recherches furent dirigées vers des méthodes et concepts qui permettraient de rendre OTB accessible à un plus grand nombre de chercheurs. Ce qui ressort de ces recherches est que l'utilisation d'une interface de programmation visuelle serait la solution optimale. Cette section décrira donc les principes de fonctionnement de ce type de programmation, offrira des exemples d'interfaces de programmation visuelle existantes qui se rapprochent de ce qui serait adéquat pour OTB et listera les étapes à suivre pour arriver à intégrer les fonctionnalités d'OTB dans une interface de programmation visuelle.

4.4.1 Principes

L'idée directrice derrière la programmation visuelle est de représenter les classes et les données sous forme de schémas. Un objet est composé d'attributs le caractérisant et de méthodes permettant de le manipuler. Par exemple, la classe ***otbCommandLineArgumentParser*** est un objet permettant la gestion des paramètres passés à une application développée avec OTB. Cet objet contient des attributs tels que la liste des paramètres ainsi que des méthodes telles que la vérification des paramètres et l'affichage de l'aide. La programmation visuelle ne peut remplacer un système procédural, car la complexité augmente très rapidement au fur et à mesure qu'une application grandit. Par contre, cette façon de procéder est idéale lorsqu'il est question de programmation orientée objet. La raison est la suivante : en programmation orientée objet, chaque classe est

construite pour contenir l'information sur les méthodes disponibles pour l'objet ainsi que sur les données (l'état) de cet objet à tout moment. Ainsi, un objet peut être représenté visuellement avec des connexions pour les entrées et sorties de cet objet. En général, les systèmes de programmation visuelle représentent chaque objet par un rectangle avec un certain nombre de points de branchement. La plupart du temps, les points de branchement situés à gauche du rectangle sont des entrées et les points de branchement situés à droite sont des sorties. La **Figure 4.4** montre un objet ayant trois entrées et deux sorties.

Figure 4.4 Module d'un système de programmation visuelle.

Ce schéma pourrait représenter une fonction de traitement d'image qui prend par exemple une image en entrée avec deux paramètres modifiables et retourne une image traitée ainsi qu'un masque des zones modifiées. Habituellement, il n'est pas nécessaire de connecter toutes les entrées. Une entrée non connectée prend simplement une valeur par défaut et une sortie non connectée ne sera pas sauvegardée. Afin de rendre l'utilisation plus facile, il est important de définir un standard pour différentier les entrées des sorties, mais aussi différencier les paramètres des images. Dans le cas présenté ici, les images d'entrées sont représentées par des connecteurs de couleur verte, les paramètres sont bleus, les images de sorties sont rouges et les masques sont orangés. Il serait aussi possible d'utiliser différentes formes géométriques pour les connecteurs.

4.4.2 Exemples

Les exemples suivants sont des systèmes de programmation visuelle développés pour ajouter de la valeur à des applications similaires à OTB ou des systèmes servant à la modélisation de

problèmes complexes. Le premier exemple est un outil très populaire en milieu universitaire: la boîte à outil *Simulink*[9] de Mathworks est un système de programmation visuelle ayant un grand succès en milieu universitaire et industriel. Cet outil permet en effet de construire des modèles de simulation dans divers domaines dont les circuits électroniques, la biochimie et la thermodynamique. Ceci est effectué à l'aide des bibliothèques modulaires contenant les blocs de construction nécessaires à chaque domaine. La **Figure 4.5** utilise Simulink pour représenter un système électrique ayant la fonction de transfert $\frac{2}{2s+1}$. Le bloc *Step* représente une source générant un signal de type échelon. Le bloc *Transfert fcn* contient la fonction de transfert à appliquer au signal d'entrée. Le bloc *Scope* est un objet qui permet de visualiser graphiquement l'évolution du signal de sortie dans le temps. Chaque bloc a plusieurs paramètres modifiables. Pour accéder aux paramètres, il faut simplement cliquer sur un bloc à l'aide du bouton droit de la souris.

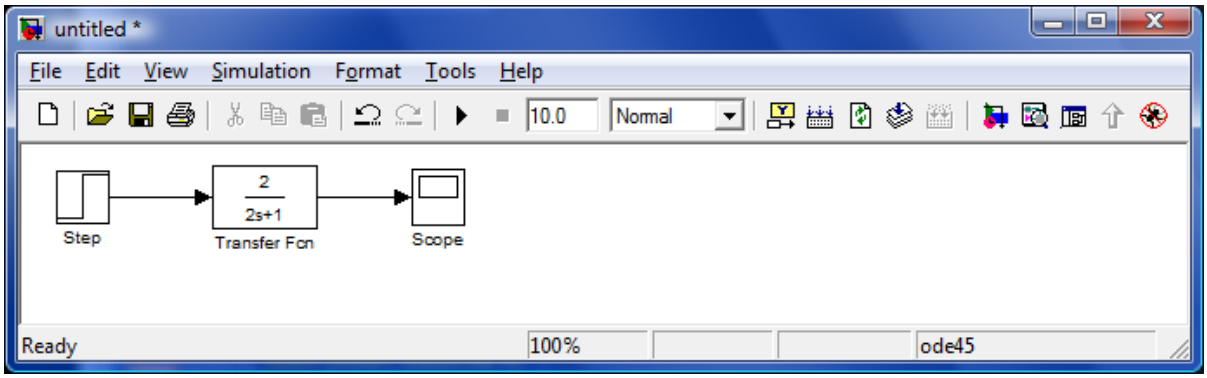

Figure 4.5 Exemple Simulink.

[9] Boîte à outils Simulink : http://www.mathworks.com/products/simulink/

Le second exemple porte sur la mise en place d'un système de programmation visuelle nommé itkFlowRun de Ferreira *et al.* (2007) pour la boîte à outils ITK. Puisque cette dernière fait partie d'OTB, il est intéressant de voir qu'il y a déjà des travaux sur lesquels se baser. Le patron de conception par fabrique abstraite[10] est utilisé afin de permettre la gestion des modules d'ITK ainsi que des classes créées par des tiers.

Le troisième exemple est en fait une étude de Bitter *et al.* (2007) de quatre autres logiciels intégrés permettant la programmation visuelle d'ITK. L'intérêt de cet article est qu'il montre bien la demande pour un environnement de programmation simplifié pour les chercheurs utilisant ITK. De plus, certains des logiciels présentés sont devenus des logiciels commerciaux. La **Figure 4.6** ci-dessous est une capture d'écran d'un des logiciels proposés (SCIRun).

[10] Fabrique abstraite: http://fr.wikipedia.org/wiki/Fabrique_abstraite_(patron_de_conception)

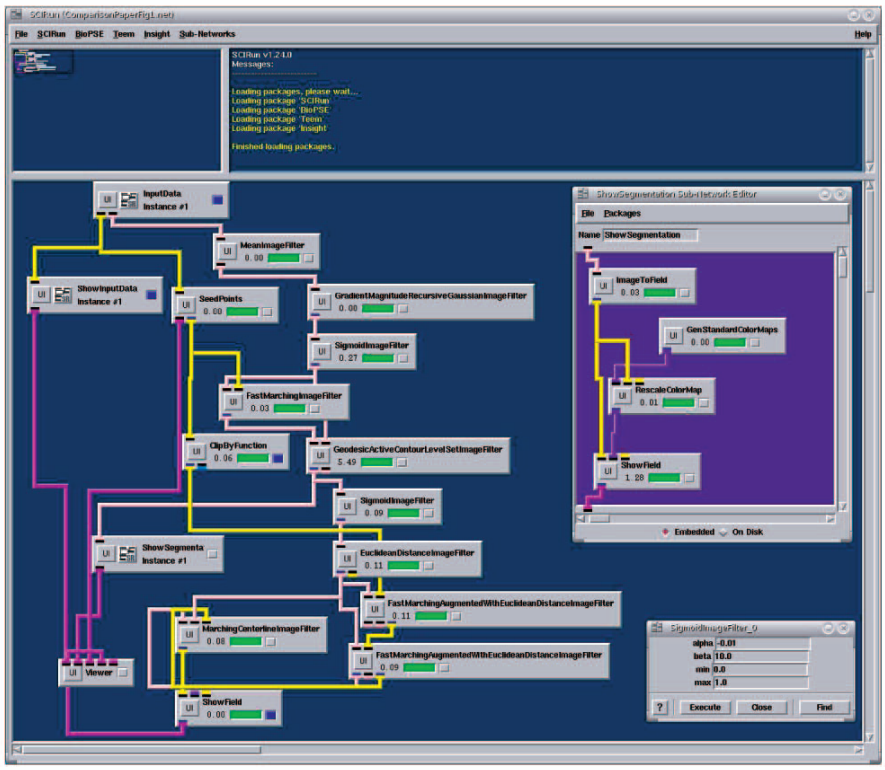

Figure 4.6 Exemple SCIRun.

Source : Bitter, I., R. Van Uitert, et al. 2007. « Comparison of four freely available frameworks for image processing and visualization that use ITK ». IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 13, no 3, p. 486.

Le dernier exemple s'approche aussi de ce qui est fait avec ITK. Il s'agit de l'interface de programmation visuelle Ariane pour la bibliothèque de traitement d'images Pandore[11]. Tout comme OTB, cette bibliothèque est développée en C++ et il est possible de créer de nouveaux algorithmes et de les intégrer à Pandore. L'interface Ariane, développée par le groupe de recherche en informatique, image et instrumentation de l'Université de Caen

[11] Pandore: http://www.greyc.ensicaen.fr/~regis/Pandore/

(GREYC) vise à faciliter la création d'applications de traitement d'images par des chercheurs n'ayant pas nécessairement d'expérience en programmation. La **Figure 4.7** présente l'interface Ariane avec le schéma partiel d'un système de détection de texte. Les entrées, sorties et paramètres sont visuellement différentiables sur chaque bloc représentant des opérateurs pouvant être appliqués à une image.

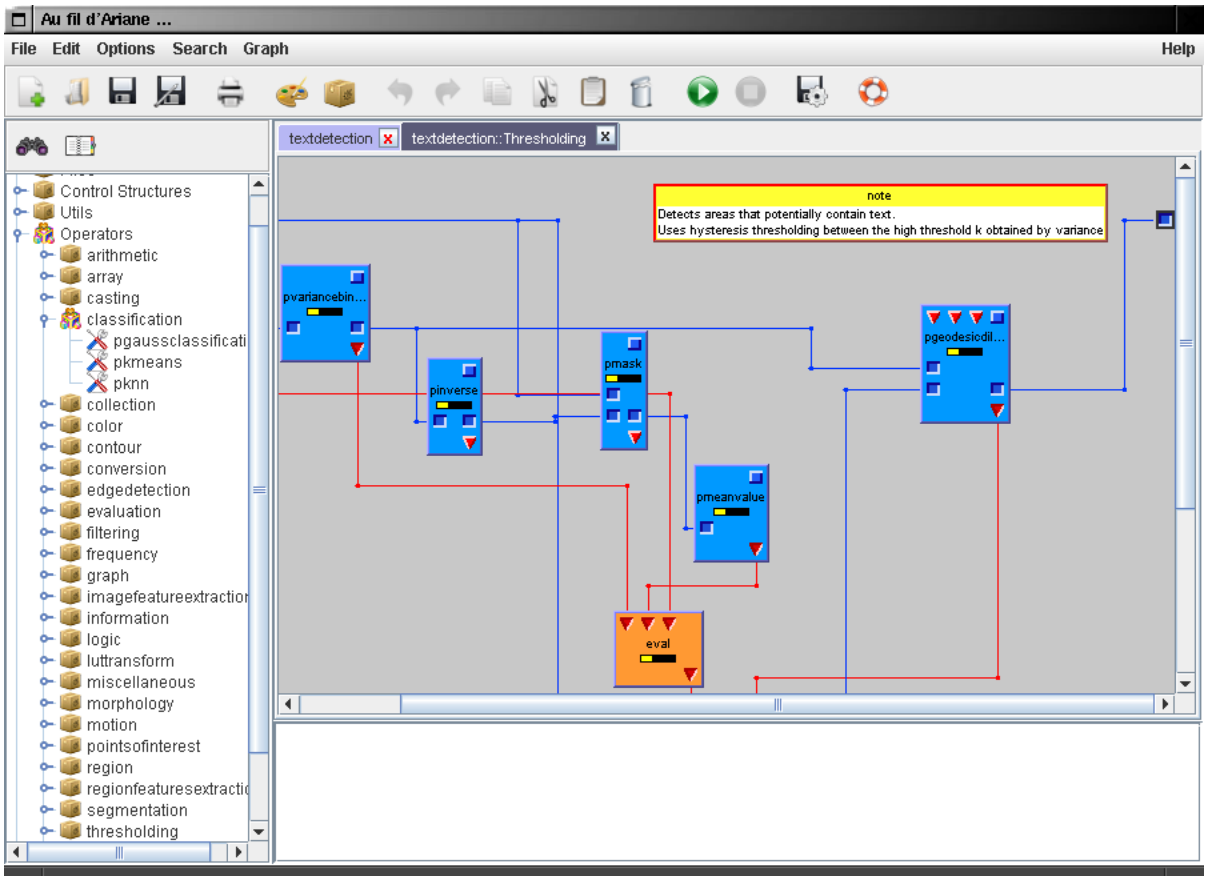

Figure 4.7 Exemple de l'interface Ariane pour Pandore.

Tirée de Un environnement de programmaiton visuelle pour Pandore
http://www.greyc.ensicaen.fr/~regis/Ariane/index-fr.html

4.4.3 Ce qu'il faut faire

La tâche de rendre l'ensemble des classes disponibles dans OTB utilisable en programmation visuelle peut sembler ardue, mais une partie du travail est déjà fait grâce à la manière dont

ses classes furent développées. En effet, la programmation générique fait en sorte que les entrées et sorties des classes d'ITK et d'OTB sont déjà très bien définies. Ce qu'il reste à faire est donc de construire une classe générique de représentation graphique des objets d'OTB. Cela implique l'utilisation de FLTK pour développer la base de cette classe. De plus, les principes de programmation dynamique vus précédemment devraient être appliqués afin de rendre les représentations graphiques flexibles par rapport au nombre d'entrées et de sorties des classes. Des connaissances avancées en programmation orientée objet et en développement d'interfaces graphiques sont donc requises pour le bon déroulement de l'adaptation d'OTB pour en faire un outil de programmation visuelle utilisable par un plus grand nombre de chercheurs en observation de la Terre.

4.5 Conclusion

En résumé, ce chapitre permet d'observer différentes façons d'améliorer OTB pour en faire un outil non seulement puissant, mais aussi facilement utilisable par des chercheurs qui n'ont pas nécessairement une très grande expérience en programmation en général et en orientée objet en particulier.

Le prochain chapitre portera sur l'utilisation de la boîte à outils Orfeo pour résoudre un problème de télédétection fréquent : la détection de bâtiments. Différents algorithmes existants seront utilisés pour en démontrer l'utilisation. De plus, un algorithme de conversion entre espaces couleurs sera ajouté à OTB pour montrer comment il est facile d'augmenter les capacités de cette boîte à outils.

CHAPITRE 5

EXEMPLE D'APPLICATION : LA DÉTECTION DE BÂTIMENTS DANS LES IMAGES SATELLITAIRES DE TRÈS HAUTE RÉSOLUTION SPATIALE

5.1 Introduction

En considérant OTB comme le logiciel de choix pour le projet global, il est important de justifier cette décision dès le début. Le but de l'ensemble des travaux effectués est de déterminer quel logiciel permet de développer facilement des algorithmes pour aider les photo-interprètes à analyser des images satellitaires lors de catastrophes gérées par la Charte. C'est pourquoi ce chapitre porte sur l'utilisation d'OTB pour tenter de résoudre un problème typique d'évaluation des dégâts grâce à l'imagerie satellitaire. Le but est de démontrer les possibilités offertes par cette boîte à outils tout en faisant ressortir les points qui pourront être améliorés tels que les algorithmes manquants qui seraient utiles.

La suite de ce chapitre est composée de quatre sections principales. Premièrement, la problématique à résoudre sera expliquée de manière détaillée. Deuxièmement, les fonctionnalités disponibles dans OTB et utiles pour la résolution du problème seront présentées. Troisièmement, les fonctionnalités manquantes pour le bon déroulement du travail seront décrites. Lorsque cela est facilement réalisable, les fonctionnalités manquantes seront développées et ajoutées à OTB. Dans le cas contraire, des logiciels alternatifs seront utilisés conjointement avec OTB. Quatrièmement, le processus de détection de bâtiments proposé sera expliqué en détail.

5.2 Problématique

La problématique choisie pour démontrer comment utiliser OTB est la détection des bâtiments dans les images satellitaires dont la résolution spatiale est inférieure à dix mètres par pixel. Ce problème fut sélectionné, car il existe plusieurs façons de procéder pour le résoudre. De plus, il s'agit d'un problème relativement commun dans le domaine de

l'observation de la Terre. Afin de résoudre adéquatement ce problème, il faut être en mesure de distinguer les bâtiments des arbres, des routes, des champs et autres éléments se trouvant dans l'image. Un élément important à considérer est d'être capable d'identifier de manière unique chaque bâtiment. Ceci permettra une analyse de plus haut niveau par la suite (exemple : déterminer les bâtiments commerciaux et les résidences). Ce problème se place très bien dans le cadre du projet concernant la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures ». En effet, l'automatisation de la détection des habitations avant et après une catastrophe permettra de diriger plus rapidement et adéquatement les secours vers les lieux où ils sont le plus nécessaires.

5.3 Fonctionnalités disponibles

Un outil fort pratique en détection d'objet est l'analyse multi-échelles. Ceci permet de détecter des éléments dans une image à différentes résolutions et ainsi renforcer le taux de confiance concernant les objets détectés. De plus, cela permet d'éliminer les objets trop petits ou trop grands par l'utilisation des résolutions adéquates seulement. La boîte à outils Orfeo comporte une série de classes rattachées à l'analyse multi-échelle. La plus intéressante est la classe ***MorphologicalPyramidAnalysisFilter***. Cette dernière utilise un élément structurant et la morphologie mathématique pour filtrer l'image. Par la suite, l'image est sous-échantillonnée. Ces étapes sont répétées autant de fois que le nombre de résolutions désirées. Puisque la morphologie mathématique est non linéaire, il faut conserver les éléments perdus lors du sous-échantillonnage si l'on désire obtenir un résultat juste.

Afin de classifier rapidement de grandes zones d'une image satellitaire comme étant d'une couverture particulière, une classification par la méthode des k-centroïdes peut s'avérer rapide et facile. De plus, les résultats obtenus sont généralement très adéquats. OTB contient la classe ***KMeansImageClassificationFilter*** qui permet de classifier des images multibandes de cette façon. Le seul inconvénient est qu'il est nécessaire de fournir des centroïdes de départ pour chaque classe désirée.

Puisque les objets d'intérêt d'une image se trouvent généralement dans des zones précises, il peut s'avérer judicieux de masquer les zones sans intérêt afin d'accélérer le traitement par les algorithmes de détection. Les classes ***MaskImageFilter*** et ***MaskNegatedImageFilter*** d'ITK qui sont utilisables dans OTB, permettent toutes deux d'appliquer un masque à une image. La première prend un masque dont les pixels à zéro sont éliminés de l'image masquée. La seconde prend un masque dont les pixels à zéro sont conservés dans l'image masquée.

Puisqu'il est souvent nécessaire de filtrer une image de différentes manières avant d'appliquer des algorithmes de détection et de segmentation, ces types de filtres présents dans OTB sont listés sommairement ici. Pour la détection des arêtes, les filtres ***CannyEdgeDetectionImageFilter*** et ***SobelEdgeDetectionImageFilter*** peuvent être utilisés. Lorsqu'un filtre passe-bas est nécessaire, ***MeanImageFilter***, ***MedianImageFilter*** et ***DiscreteGaussianImageFilter*** sont des filtres adéquats. Plusieurs autres filtres de ce genre existent dans OTB, mais ne seront pas présentés ici.

En ce qui concerne les algorithmes de classification, OTB en offre un ensemble varié. Par exemple, les classes ***SOMImageClassificationFilter*** et ***SVMImageClassificationFilter*** permettent respectivement la classification par réseau de neurones SOM ou par machine à vecteurs de support. De plus, ITK contient des classes génériques pour créer et utiliser des réseaux de neurones de type Perceptron multicouches ainsi qu'un classificateur Bayésien. Finalement, OTB offre toutes les classes nécessaires à l'utilisation de champs de Markov pour la classification.

5.4 Fonctionnalités manquantes

Bien que la boîte à outils Orfeo comporte un nombre important de filtres répondant à divers besoins en télédétection, elle a tout de même quelques lacunes au niveau des algorithmes utiles pour la détection des bâtiments. Cette section donne les détails sur certaines de ces lacunes et décrit des méthodes pour les surmonter que ce soit par la création de nouvelles classes dans OTB ou par l'utilisation d'un autre logiciel.

De nombreux satellites capturent les images sur des bandes près des trois principaux canaux de couleur soit le rouge, le vert et le bleu. Cet espace couleur est sensible aux variations d'intensité lumineuse ainsi qu'aux ombres. Puisque les toits des bâtiments comportent fréquemment des angles créant des zones d'ombres, il devient intéressant de passer dans un espace de représentation de la couleur un peu plus robuste face à ces inconvénients. Ainsi, le modèle de couleurs HSV (Hue, Saturation, Value ou teinte, saturation et intensité) pourrait être utilisé. La bande H (teinte) représente la couleur de base utilisée sans tenir compte de l'intensité lumineuse. Les ombres n'apparaissent donc pas sur cette bande. La **Figure 5.1** suivante montre un exemple de cela. À gauche se trouve un bâtiment d'une couleur quelconque dont les pentes du toit sont ombragées. À droite, il y a le même bâtiment représenté par la bande H du modèle HSV. Il est possible de constater que l'ombre n'apparaît presque plus. Il reste à éliminer quelques artéfacts. Ceci peut s'avérer utile pour la détection de zones de pixels semblables.

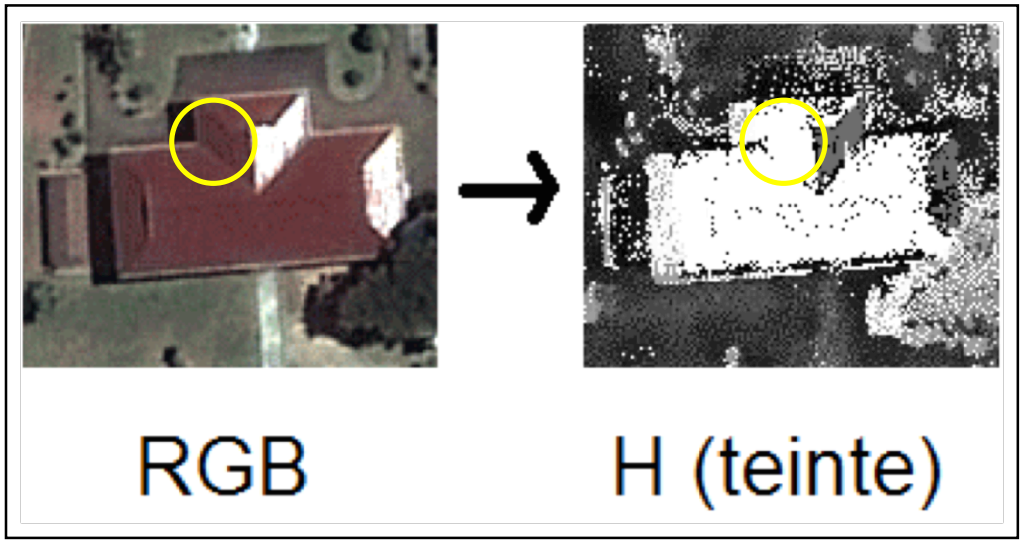

Figure 5.1 Démonstration de l'utilité de l'espace couleur HSV.

Puisque cette fonctionnalité n'existe pas nativement dans OTB, elle a été développée dans le cadre des travaux de ce mémoire. Deux buts sont visés par la création d'un filtre RVG-HSV pour OTB. Premièrement, cela permettra son utilisation pour le problème courant de

détection de bâtiments. Deuxièmement, cela démontrera la facilité avec laquelle un nouveau filtre peut être intégré à la boîte à outils. L'ANNEXE III contient le code source pour ce filtre qui fonctionne parfaitement avec la version la plus récente d'OTB. Puisqu'il s'agit d'un filtre de base qui ne fait que changer l'espace couleur utilisé, les fichiers sources sont simplement mis dans le répertoire BasicFilters du chemin d'accès principal des fichiers sources d'OTB. Il suffit ensuite de reconfigurer les fichiers de compilation d'OTB à l'aide de CMake[12] et de recompiler OTB en suivant les étapes décrites dans le guide d'utilisation par l'*OTB Development Team* (2009). Pour ce faire, il faut d'abord ouvrir CMake en donnant en paramètre le répertoire principal d'OTB. Ensuite, il faut appuyer sur le bouton de configuration et lorsqu'il n'y a plus de messages d'erreur, il faut appuyer sur le bouton de génération. La suite dépend du système d'exploitation et il est préférable de consulter le guide d'OTB.

Une seconde fonctionnalité fréquemment utilisée en analyse d'images est la représentation des résultats des détections et segmentations sous forme d'objets. Bien qu'ITK fournisse plusieurs classes pour créer et manipuler spatialement des objets, il n'y a pas d'algorithmes permettant des calculs de centroïde, d'aire et d'autres éléments pouvant qualifier un objet. De plus, la structure hiérarchique utilisée est difficile à manipuler, car il n'existe pas d'interface graphique. Cette structure doit d'ailleurs être entièrement construite pour chaque nouveau problème, car il n'existe pas d'algorithme pouvant automatiquement passer d'images étiquetées à une série d'objets. C'est pourquoi il n'est présentement pas possible d'utiliser OTB pour faire l'analyse d'objets. Il faut donc se tourner vers un autre logiciel pour effectuer cette partie du travail.

[12] Outil de compilation multiplateforme CMake: http://www.cmake.org

Tel que mentionné lors de l'évaluation des logiciels, il existe un logiciel d'analyse et de traitement d'images répondant bien à ce problème. Il s'agit du logiciel Aphelion. Puisqu'une licence institutionnelle existe déjà pour ce logiciel à l'ÉTS, il est facile de l'utiliser comme substitut à OTB pour la dernière phase de la détection des bâtiments. Il faut d'abord sauvegarder l'image finale du traitement effectué avec OTB dans un format compatible avec Aphelion. Cette image pourra ensuite être manipulée dans Aphelion afin de construire une liste d'objets (bâtiments) qui peuvent être filtrés en fonction de critères discriminants (taille, forme, etc.).

5.5 Processus de détection des bâtiments

Cette section contient la démarche proposée pour effectuer la détection des bâtiments dans une image satellitaire à l'aide d'OTB. Le processus retenu comporte trois étapes ou niveaux principaux. Une pyramide multirésolution sera utilisée comme base pour l'ensemble du processus. L'image originale choisie sera décomposée en trois niveaux de résolution. Le niveau de plus faible résolution sera utilisé pour la première étape du processus. Pour les étapes subséquentes, le niveau suivant sera utilisé chaque fois. Ainsi, les premiers traitements devant être faits sur l'ensemble de l'image seront effectués sur une image de faible résolution et donc de petite taille. Les traitements nécessitant une plus grande précision seront faits sur des niveaux de la pyramide de plus grande taille. L'utilisation de la pyramide multirésolution permet de créer rapidement des masques pour effectuer les traitements des étapes suivantes seulement sur les zones d'intérêt. Ceci peut permettre par exemple d'éviter de tenter de détecter des bâtiments dans une zone d'eau après un séisme.

Premièrement, la couverture terrestre sera déterminée. Le résultat de la classification sera utilisé comme masque pour l'étape suivante. Ceci permettra de réduire l'espace de travail des étapes subséquentes aux zones urbaines seulement. Deuxièmement, les zones habitées seront subdivisées de manière plus détaillée en zones denses (centres urbains) et moins denses (zones rurales). La qualification des diverses zones donnera de l'information contextuelle sur les bâtiments à détecter. Par exemple, les bâtiments des centres urbains sont

généralement plus grands et plus rapprochés les uns des autres. Troisièmement, les bâtiments seront détectés en tenant compte de la zone où ils se trouvent.

Afin de réaliser des tests pour chaque étape, une image satellitaire de haute résolution sera utilisée. Puisque le projet vise à aider les intervenants de la Charte, une image d'une zone touchée par une catastrophe naturelle sera choisie. Ainsi, une partie d'une image Quickbird de Banda Aceh en Indonésie prise le 23 juin 2004 sera utilisée. Il s'agit d'une zone fortement touchée par un tsunami causé par un tremblement de terre dans l'océan Indien à la fin de 2004. L'image se trouve à l'ANNEXE IV à la fin de ce mémoire.

Les sous-sections suivantes présentent les trois étapes principales de détection des bâtiments. Pour chacune des étapes, la méthode choisie et les algorithmes utilisés seront présentés. Le schéma de la **Figure 5.2** ci-dessous offre un aperçu du processus dans son ensemble.

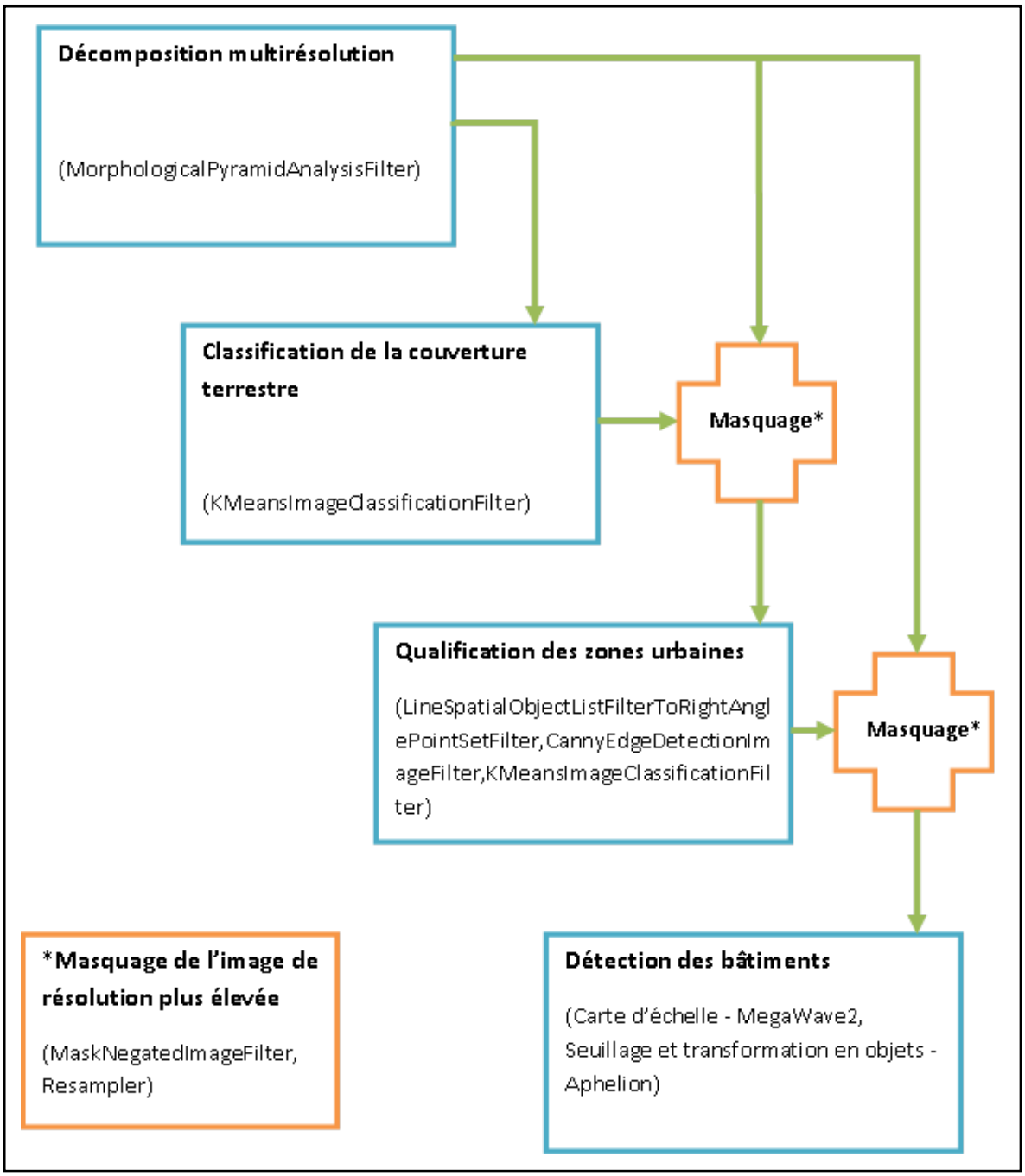

Figure 5.2 Schéma du processus de détection.

L'étape intermédiaire de masquage comporte plusieurs algorithmes nécessaires à l'application adéquate du masque à l'image de plus haute résolution. D'abord, seuls les pixels de la ou des classes désirées doivent être mis à la valeur de masque (zéro dans le cas

de ***MaskNegatedImageFilter***). Ensuite, il faut mettre l'image de masque à l'échelle de l'image à masquer. Cela nécessite un algorithme comme celui de la classe ***Resampler***.

5.5.1 Premier niveau : classification de la couverture terrestre

Tel que mentionné précédemment, le but de cette étape est de créer un masque afin d'effectuer le traitement des étapes suivantes seulement sur les zones d'intérêt (régions urbaines). Puisque le premier niveau de la pyramide utilisée est une image de très faible résolution, seulement trois principales classes seront distinguées : l'eau, la végétation et les zones urbaines. La méthode des k-centroïdes sera utilisée vu le nombre limité de classes et sa notoriété à fournir des résultats adéquats pour ce genre de problème. La classe ***KMeansImageClassificationFilter*** d'OTB sera donc utilisée. Ce classificateur prend en entrée une image, le nombre de classes désirées et finalement un centroïde de départ pour chacune des classes. Il faut donc trouver un pixel représentatif pour l'eau, la végétation et la zone urbaine. Puisque l'image a trois bandes, le classificateur nécessite que les centroïdes soient définis à l'aide des valeurs du pixel pour chaque bande. Dans le cas présent, il est donc nécessaire de fournir neuf paramètres pour définir les centroïdes. Le mieux serait de prévoir une interface pour que l'utilisateur puisse lui-même choisir quels pixels il désire utiliser comme centroïdes de départ.

Le résultat obtenu permettra de créer le masque conservant seulement les zones urbaines de l'image. Pour ce faire, la classe représentant les zones urbaines sert de moule pour éliminer de l'image de plus haut niveau les pixels appartenant aux zones d'eau et de végétation. Il faut d'abord suréchantillonner le résultat de la classification afin d'avoir un masque de la même taille que l'image qui sera utilisée pour la prochaine étape.

5.5.2 Second niveau : qualification des zones habitées

Afin de discerner les zones habitées en zones urbaines denses et zones rurales, il y a plusieurs solutions possibles. Premièrement, il est possible de se servir de la réponse spectrale des matériaux utilisés comme revêtement de toits. Dans l'image utilisée, les maisons des

quartiers modestes ont des toits métalliques bleutés alors que les hôtels et bâtiments plus luxueux ont des toits rouges. Pour utiliser cette méthode, il est encore possible d'utiliser un classificateur de k-centroïdes. L'inconvénient majeur est qu'il est nécessaire de bien analyser l'image au préalable pour définir de bons centroïdes de départ. De plus, certains toits ont des pentes prononcées causant des zones d'ombres pouvant fausser les résultats. Afin de pallier à ce problème, le modèle de couleur HSV peut être utilisé tel qu'il est expliqué précédemment. Il est aussi possible d'utiliser un des autres classificateurs mentionnés dans les sections précédentes.

Une autre solution serait de calculer le nombre d'angles droits dans une région pour ainsi distinguer les zones ayant de nombreux bâtiments des zones peu développées. Pour ce faire, deux étapes sont nécessaires. Il faut d'abord détecter les segments de ligne. Pour cela, la classe ***LineSegmentDetection*** d'OTB peut être utilisée. Par la suite, la classe ***LineSpatialObjectListFilterToRightAnglePointSetFilter*** servira à détecter les segments avec des angles droits. Le but avoué de ces deux classes est d'ailleurs d'être en mesure d'effectuer une détection non supervisée de zones urbaines. En partant du même principe, il serait possible de se baser sur le réseau routier d'une zone pour la qualifier adéquatement. Par contre, cela implique un travail important pour détecter correctement les routes qui peuvent être de largeurs et de compositions différentes.

Le résultat obtenu servira une fois de plus de masque pour l'étape suivante. De la même manière que pour la première étape, il faudra suréchantillonner le résultat pour lui donner la même taille que l'image qui sera utilisée pour la dernière étape.

5.5.3 Troisième niveau : détection des bâtiments

Une fois les zones urbaines détectées, il reste à localiser les bâtiments. Le processus proposé utilise plusieurs algorithmes dont aucun ne fait présentement partie d'OTB. La première étape est de se servir des algorithmes de calcul de carte d'échelle développés par Luo Bin (2007). L'inconvénient est que ses algorithmes furent originalement développés dans le

langage utilisé par la boîte à outils MegaWave2[13]. Cette boîte à outils est une bibliothèque d'algorithmes pour le traitement d'images disponible seulement pour les systèmes Unix. Par contre, puisque l'algorithme est relativement simple, il ne serait pas trop difficile de l'adapter à la structure utilisée dans OTB. Malheureusement, les algorithmes de Luo Bin prennent en entrée le résultat d'une transformation générée par la fonction FLST (fast level-set transform) de MegaWave2. Cette fonction est très complexe et serait longue à adapter pour OTB. Les développeurs d'OTB ont déjà commencé le transfert, mais ils ont mis cela sur la glace pour un temps indéterminé.

Le résultat de l'étape précédente est une segmentation des objets se trouvant dans l'image en fonction de leur taille. Ainsi, les objets de même taille auront la même classe. Puisque le but est l'identification unique de chaque bâtiment, il est nécessaire de segmenter à nouveau les objets à l'aide d'un algorithme de croissance de région. Il existe un algorithme de ce genre dans OTB, mais le résultat est une image étiquetée où les zones de même taille portent la même étiquette. Ceci ne permet pas de bien séparer les objets. Pour pallier à cela, Aphelion offre un algorithme de segmentation par croissance de région dont le résultat est une liste d'objets segmentés. Cette liste peut facilement être filtrée afin d'éliminer les éléments trop petits ou trop grands. De plus, toute sorte d'informations peuvent être extraites pour chacun des objets. L'information obtenue peut être utilisée afin d'affiner les paramètres de filtrage pour les détections subséquentes et améliorer les résultats.

5.6 Résultats obtenus

Cette section présente les résultats de l'application du processus proposé dans ce chapitre pour la détection des bâtiments dans une image satellitaire de très haute résolution. Pour chaque niveau, le résultat brut sera illustré et expliqué. Pour les deux premiers niveaux, le

[13] MegaWave2: http://megawave.cmla.ens-cachan.fr/

masque résultant sera aussi présenté. La **Figure 5.3** présente d'abord les trois niveaux de la pyramide multirésolution de la plus faible résolution (sommet de la pyramide ou niveau 1) à la plus haute résolution (base de la pyramide ou niveau 3).

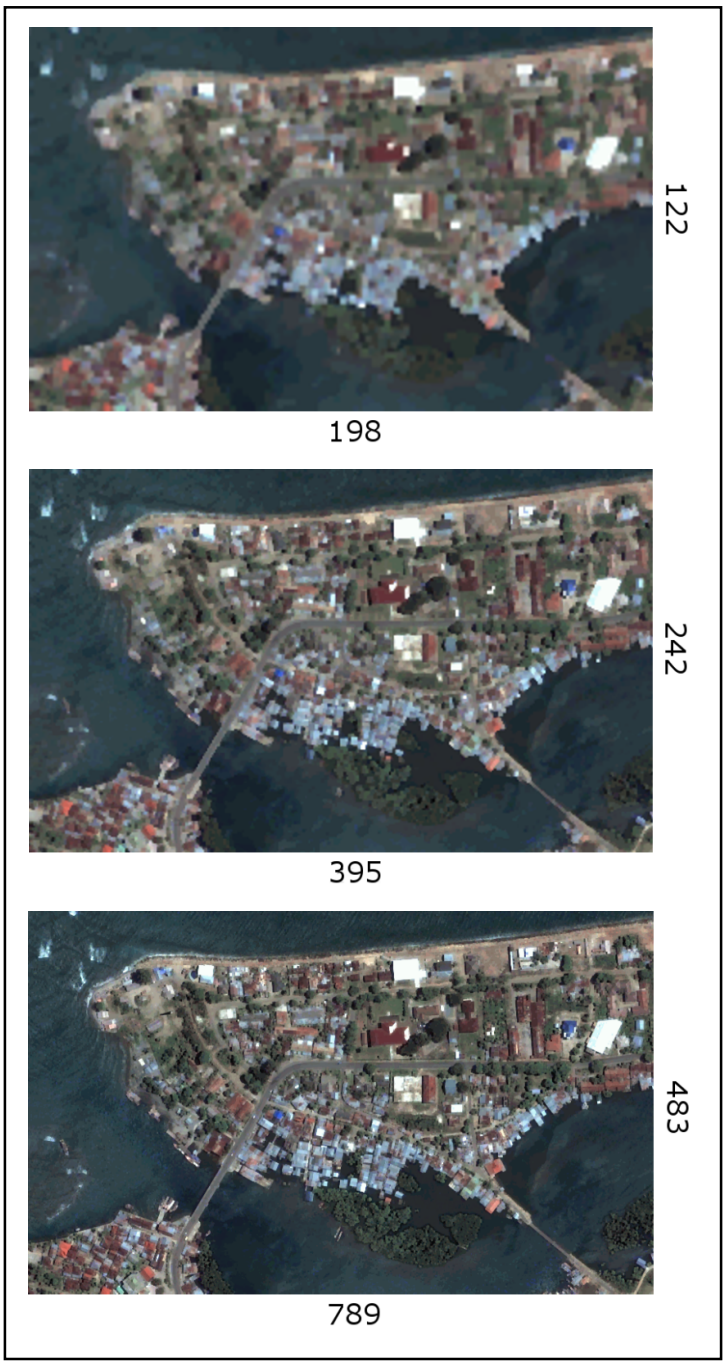

Figure 5.3 Niveaux de la pyramide multirésolution.

5.6.1 Premier niveau : classification de la couverture terrestre

Pour cette première étape, l'image originale avec les bandes rouge, verte et bleue fut d'abord utilisée avec des centroïdes de départ pris à différents endroits dans l'image. Les résultats obtenus ne répondent pas aux attentes. Les zones urbaines et la végétation semblent former une seule classe. Des tests supplémentaires avec le modèle de couleur HSV furent effectués. La **Figure 5.4** présente le meilleur résultat obtenu en RVB et en HSV. L'image de pyramide multirésolution utilisée a une taille de 198x122 pixels seulement. Ceci fait en sorte d'obtenir un temps de traitement très court.

Figure 5.4 Comparaison des résultats obtenus.

Dans cet exemple, l'eau est représentée par les pixels noirs, la végétation par les pixels blancs et les zones urbaines par les pixels gris. Il ressort clairement que la classification sur l'image couleur originale donne des résultats très peu satisfaisant. Il semble que la végétation et les toits des bâtiments sont trop semblables en RVB. Par contre, les valeurs d'intensité pour les trois classes sont beaucoup plus distinctes en HSV ce qui facilite la classification. L'espace couleur HSV sera donc privilégié pour la suite du processus. Les résultats obtenus ont permis de rapidement éliminer les zones d'eau et une grande partie des zones de végétation. Une meilleure sélection des centroïdes de départ permettrait sans doute de diminuer le nombre de mauvaises classifications (principalement les vagues dans le haut gauche de l'image).

5.6.2 Second niveau : qualification des zones habitées

Bien que la qualification des zones habitées en fonction du nombre d'angles droits détectés semble être une avenue fort intéressante, elle n'était pas encore disponible dans OTB au moment des tests. L'image obtenue par l'application du masque provenant de l'étape précédente est visible dans la **Figure 5.5**. Puisqu'il s'agit d'une image HSV, elle est représentée ici en pseudo couleur à gauche. Afin de s'assurer qu'il s'agit bien de bâtiments, le résultat est aussi montré en RGB à droite.

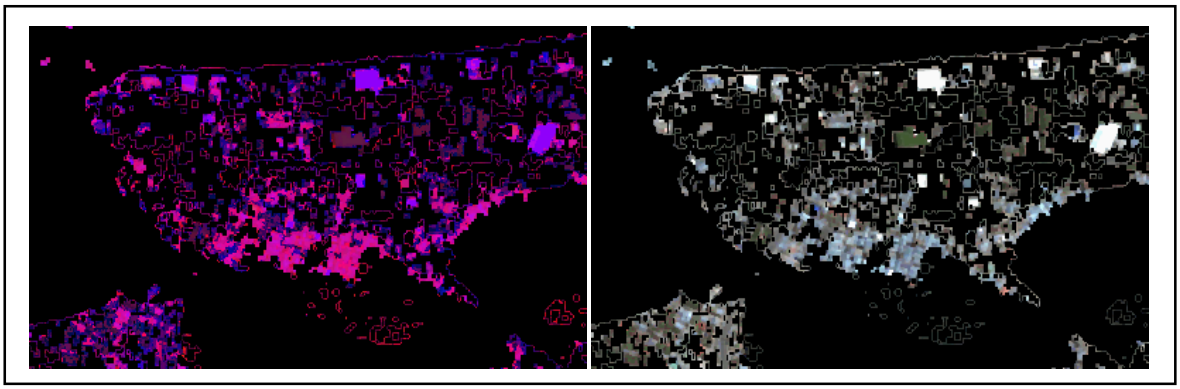

Figure 5.5 Classification des zones habitées et visualisation en espace RGB.

Après inspection, les toits des différentes habitations ont des valeurs HSV distinctes si l'on considère les habitations huppées et celles de moindre qualité. Il semblait donc possible de faire la discrimination entre les deux classes à l'aide de la couleur. C'est pourquoi l'algorithme de classification par k-centroïdes fut de nouveau utilisé. Puisque deux classes sont d'intérêt pour ce niveau (bâtiments ruraux et de meilleures qualités), il fut nécessaire de concevoir deux masques et de combiner les deux résultats à l'étape finale. Les masques serviront à la fois pour déterminer les zones où détecter les bâtiments, mais aussi quel contexte utiliser lors de cette détection. La **Figure 5.6** montre les deux masques obtenus à l'aide du filtre appliqué avec les trois classes suivantes : bâtiment de bonne qualité, bâtiment rural et autre).

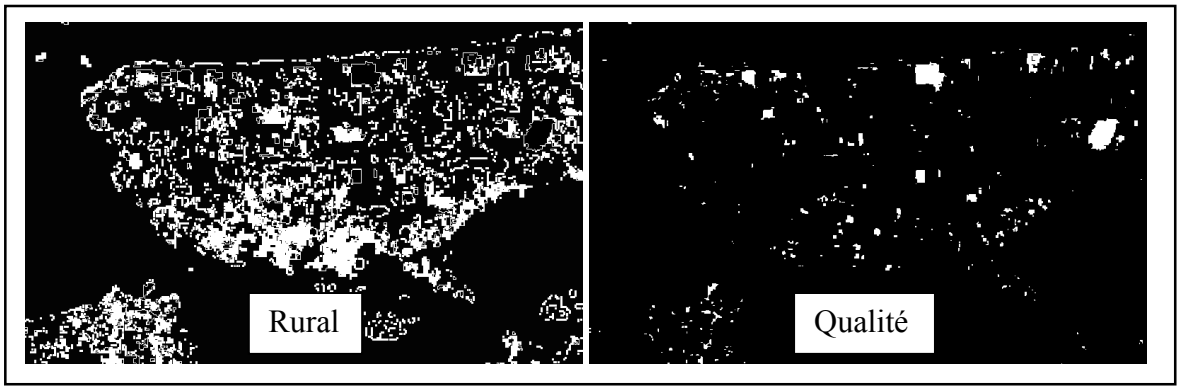

Figure 5.6 Masques des zones habitées.

En appliquant les masques sur l'image originale, il ressort que les bâtiments ayant des toits métalliques bleutés forment la majeure partie de la classe rurale. Ceci était attendu, car leur position et proximité les uns par rapport aux autres laissent penser qu'il s'agit d'un quartier relativement démuni.

5.6.3 Troisième niveau : détection des bâtiments

La dernière image de la pyramide morphologique est utilisée à ce niveau. Les masques sont tous les deux appliqués à cette image et le résultat obtenu est traité en deux étapes. D'abord, les algorithmes de calcul de carte d'échelle proposés par Luo Bin sont utilisés pour segmenter les objets de l'image en fonction de leur taille. Tel que mentionné précédemment, cette étape doit être effectuée à l'aide de MegaWave2, car les fonctionnalités nécessaires ne sont pas encore présentes dans OTB. La **Figure 5.7** contient un exemple de résultat obtenu à l'aide de cet algorithme sur l'image masquée. Cela permet de voir que les objets segmentés ont une valeur d'intensité qui dépend de leur taille. Ainsi, les objets ayant une taille semblable ont une même valeur d'intensité.

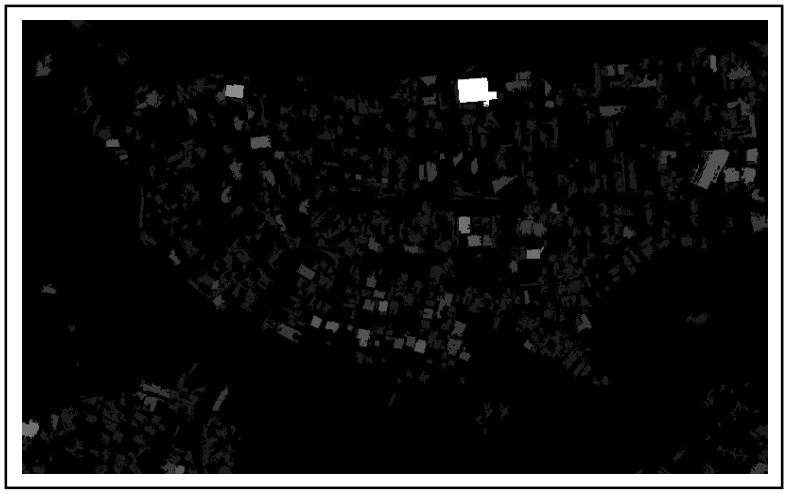

Figure 5.7 Résultat de l'algorithme de Luo Bin.

Ce résultat est ensuite utilisé dans Aphelion avec l'algorithme ***ImgThresholdObj***. Ce dernier prend une image en entrée ainsi que des valeurs de seuil pour déterminer quelles zones seront segmentées et transformées en objets. Puisqu'un masque (valeur 0) fut utilisé, il s'agit de prendre comme valeur basse de seuil 1. L'algorithme génère alors une liste d'objets trouvés ainsi que des attributs standards tels que le nombre de pixels contenus dans l'objet et sa position. À partir de là, il est possible de calculer automatiquement une série d'attributs supplémentaires qui pourraient servir à discriminer les objets. Dans le cas présent, il semblait judicieux de calculer le rectangle englobant pour chaque objet puisque les bâtiments ont généralement une forme rectangulaire. De plus, le niveau de compacité des objets pouvait aussi aider à réduire le nombre de fausses détections de bâtiments. Pour ce faire, l'algorithme ***ObjFilter*** est utilisé avec une valeur de seuil pour l'attribut sélectionné. Le nombre de pixels contenus dans un objet permet aussi d'éliminer tous les objets trop petits pour être réellement des bâtiments. Pour filtrer adéquatement la liste d'objets, de nombreux points doivent être considérés tels que : la forme des bâtiments, leur taille, leur type, leur position, etc. Le meilleur résultat obtenu est présenté à la **Figure 5.8**.

Figure 5.8 Résultat final.

Les objets détectés ont une bordure jaune superposée sur l'image. À première vue, plusieurs bâtiments ne sont pas du tout détectés. La majorité d'entre eux ont des toits bruns. La cause probable est donc que le classificateur par k-centroïde d'une des étapes précédentes les a mis dans la mauvaise classe. La même chose peut être dite des arbres et autres plantes qui sont détectés comme étant des bâtiments. Par contre, les habitations aux toits métalliques bleutés du centre sont presque tous bien détectés.

5.7 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de démontrer l'utilité de la boîte à outils Orfeo pour résoudre des problèmes dans le domaine de l'observation de la Terre. Les algorithmes existants pouvant être utilisés furent brièvement décrits. Ensuite, certaines lacunes d'OTB furent mises en évidence et des alternatives furent proposées. La question de la détection des bâtiments dans les images à haute résolution fut étudiée sommairement et un processus de détection en trois étapes principales fut proposé. Finalement, les résultats de l'application de ce processus furent présentés. Il en ressort principalement que la méthode proposée dépend trop des choix de l'utilisateur pour les classes de départ et les filtres à appliquer sur les objets. Une méthode plus robuste et qui nécessite moins d'interaction avec l'utilisateur devra donc

être envisagée. Les algorithmes de détection de segments de lignes et d'angles droits qui sont disponibles dans la version 3.0 d'OTB semblent tout désignés comme point de départ.

Une fois de plus, il ressort qu'OTB est une bibliothèque d'algorithmes fort utile pour résoudre une grande variété de problèmes en télédétection. Bien que la dernière étape de la détection des bâtiments ait été effectuée en grande partie à l'aide d'autres logiciels qu'OTB, les ajouts constants de nouvelles fonctionnalités permettront bientôt à cette boîte à outils d'offrir les mêmes capacités. Ce chapitre a permis d'explorer différents éléments d'OTB et de démontrer son intérêt pour les problèmes fréquents en télédétection.

CONCLUSION

Le retour sur le projet

La nouvelle vague de satellites à très haute résolution amène à la fois de nouveaux défis pour les chercheurs intéressés par l'observation de la Terre tout en captant un nombre important de détails d'observation jusque là inaccessibles. C'est pourquoi il est nécessaire non seulement d'être à jour au niveau algorithmique, mais aussi du point de vue logiciel. Ainsi, il faut comprendre et adapter ce qui existe déjà afin d'être en mesure d'extraire le maximum d'information contenue dans les images satellitaires. Pour ce faire, il est évidemment nécessaire d'utiliser un logiciel adapté aux besoins spécifiques de l'imagerie satellitaire. Tel que mentionné au cours du document, ce travail s'intègre dans un projet de plus grande envergure visant l'automatisation de certaines classifications d'objets à partir d'images satellitaires afin d'aider les intervenants lors de catastrophes naturelles.

Rappelons donc les étapes parcourues dans ce travail afin de déterminer quel logiciel doit être privilégié pour la suite du projet global. Le premier chapitre est une revue de la littérature concernant l'imagerie satellitaire en général ainsi que des procédés fréquemment utilisés en particulier l'extraction de primitives et la classification. Le second chapitre présente la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » puisque cette dernière pourra bénéficier des retombées de ce projet.

Une fois ces connaissances acquises, les critères d'évaluation des logiciels sont d'abord présentés en détail. Ceci permet de justifier le choix des critères, mais aussi d'expliquer leur importance pour choisir un logiciel qui cadre bien avec les besoins du projet. Ensuite, un jeu de données est sélectionné afin d'être utilisé pour tester l'ensemble des logiciels. À la fin de ce chapitre, les logiciels retenus pour évaluation sont présentés un à un en expliquant l'origine du logiciel ainsi qu'en donnant une courte description. Les logiciels sont classés selon deux catégories principales : les logiciels commerciaux et les logiciels en code source libre.

Le troisième chapitre présente aussi la pondération exacte utilisée pour chaque critère. Les détails des valeurs utilisées sont donnés ainsi que les éléments requis pour qu'un logiciel ait une note en particulier. Ensuite, les résultats de l'évaluation de chaque logiciel sont donnés. Pour chaque logiciel, les résultats obtenus sont présentés sous forme d'un tableau. Les tableaux contiennent aussi les avantages et les désavantages particuliers à chaque logiciel ainsi que le score final obtenu. De plus, des explications sont données afin de justifier les notes octroyées.

Ensuite, un retour sur les résultats généraux ainsi que sur la comparaison des quatre logiciels ayant obtenus les meilleures notes est fait. Ainsi, les différences marquantes entre les SIG et les logiciels de traitement d'images sont mises en évidence. De plus, les points forts et les points faibles récurrents sont analysés en second lieu. Ensuite, OTB, la boîte à outils ayant obtenu le plus haut score, est comparée avec ses concurrents les plus près en termes de score. Finalement, des recommandations sont faites en fonction des différents résultats obtenus ainsi que de l'analyse de ces résultats.

En ce qui concerne ces recommandations, l'étude des résultats fait ressortir qu'OTB devrait être installée sur un serveur accessible par les chercheurs ou bien installée sur plusieurs postes de travail. Afin de bonifier cette boîte à outils et d'étendre les manipulations possibles, il est aussi suggéré d'acquérir une licence du logiciel ENVI. De plus, en faisant abstraction du budget, il est aussi recommandé d'acquérir une licence de Definiens Developer afin d'effectuer des analyses de plus haut niveau lorsque cela devient nécessaire.

Le quatrième chapitre porte sur des améliorations de l'interface graphique d'OTB visant à faciliter son utilisation par des chercheurs n'ayant pas nécessairement des connaissances approfondies de la programmation orientée objet. Ainsi, le système de gestion des paramètres est modifié pour permettre la prise des paramètres dans une interface graphique dynamique. De plus, les fondements de la programmation visuelle sont présentés afin d'en démontrer la pertinence pour OTB.

Le cinquième chapitre détaille la chaîne de traitement nécessaire à la détection des bâtiments dans une image satellitaire. Ceci permet de déterminer quels algorithmes nécessaires sont présents dans OTB et quels algorithmes doivent être ajoutés. Dans le cas d'algorithmes plus complexes, des logiciels ayant déjà ces algorithmes sont suggérés.

Les retombées

Les retombées directes de ce projet touchent en particulier les chercheurs travaillant sur le projet global d'analyse d'images satellitaires. Parmi ces retombées, il y a d'abord une économie possible d'argent, car OTB est disponible gratuitement et cette étude permet d'éviter d'acquérir des licences dispendieuses pour des logiciels qui ne répondent pas correctement aux besoins. De plus, tel que mentionné précédemment, l'utilisation d'OTB par tous les chercheurs favorisera les échanges de données et d'information par l'utilisation d'un système unifié d'analyse et de traitement des images satellitaires. En dernier lieu, puisque la boîte à outils Orfeo est très complète au niveau des algorithmes de traitement et de classification, cela permet de sauver du temps, car les chercheurs ont moins besoin d'implémenter des algorithmes fréquemment utilisés dans ce domaine.

À plus long terme, ce projet aura des retombées positives auprès de nombreuses personnes intervenant lors de catastrophes naturelles. De ce projet découle en effet le bon déroulement d'une multitude d'autres projets allant de la détection des routes endommagées à l'étude des éléments discriminants servant à détecter des bâtiments en passant par la projection de l'écoulement des eaux lors d'inondations. Ainsi, les intervenants profiteront de ces travaux pour diminuer leur temps de réponse et les victimes de catastrophes pourront donc recevoir de l'aide plus adéquatement et rapidement.

Les recherches futures

Une fois qu'un ou plusieurs des logiciels recommandés seront installés et correctement configurés, les différentes parties du projet global pourront être envisagées de manière plus claire. En ce qui concerne la détection des changements subis par des bâtiments lors de catastrophes, ceci fera l'objet d'une thèse de doctorat dont les résultats seront forts

probablement intégrés à OTB. Ce travail sera fondé sur les bases établies au cinquième chapitre de ce mémoire. Cette facette du projet implique de nombreux concepts dont la détection d'objets (bâtiments), la classification, la détection du changement et donc l'utilisation d'une paire d'images ou d'une série d'images. Les algorithmes seront développés en grande partie grâce aux fonctionnalités présentes dans OTB.

ANNEXE I

Valeurs des critères d'évaluation

	10	9	8	7	6	5	
Types de fichiers	Tous les types	x	x	Tous généraux + importation	x	x	x
Traitement	Tous les algorithmes + ajout + modification	x	10 - modifications fonc. existantes	x	8 - ajouts par utilisateur	x	algorith base
Classification	Plusieurs algorithmes + ajout + modification	x	10 - modifications fonc. existantes	x	8 - ajouts par utilisateur	x	algorith base
Extension	Développement fréquent + mise à jour utilisateur	x	x	x	x	Mises à jour fréquentes	x
Prix	Gratuit	x	<200	x	>=200 et <500	x	>=500 <100
Taille des fichiers	Toutes les tailles	x	x	>=2 gigaoctets	x	x	>=1 gigaoc
Multibandes	Manipulation sans contrainte	x	x	x	x	Manipulation limitée	x
Géoréférencement	Utilisation de l'information de géoréférencement	x	x	x	x	Visualisation de l'information	x
Données vectorielles	Ouverture + manipulation + affichage + création	x	x	Ouverture + manipulation + affichage	x	x	Ouvertu affichа un p manipul
Disponibilité	Mac OSX + Windows + 2 Linux/Unix	x	x	Trois plateformes	x	x	Deu platefo
Utilisation	TRÈS FACILE	-	-	-	-	Moyen	-
Installation	TRÈS FACILE	-	-	-	-	Moyen	-

x = valeur non disponible

- = valeur qualitative

ANNEXE II

Code source pour ParseGUI(…)

```
void
CommandLineArgumentParser
::ParseGUI(    std::string programName,
               std::string programDescription,
               CommandLineArgumentParseResult * outResult,
               bool failOnUnknownTrailingParameters )
{
m_StartParsing = false;

// Define main window with program name as title (argv[0])
inputwindow = new Fl_Window(400,m_OptionList.size()*50, programName.c_str());
inputwindow->user_data((void*)(this));

 unsigned int pos = 1;

// For each option, dynamically create an input box
 for(ListOptionType::iterator it = m_OptionList.begin();it!=m_OptionList.end();++it)
   {
          if(it->ValueType != std::string("info"))
          {
                 // Create input box beneath last one
                Fl_Input * tmpInput = new Fl_Input(130,pos*50,200,30,it-
>CommonName.c_str());

                // If ValueType of option is "file", add BrowseButton next to input box
                if(it->ValueType == std::string("file"))
                {
                       Fl_Button * tmpBrowseButton = new
Fl_Button(330,pos*50,30,30,"@+");

                       tmpBrowseButton-
>callback((Fl_Callback*)&CommandLineArgumentParser::cb_BrowseButton,(void*)pos);

                     //Attach BrowseButton to callback function
                       m_ButtonList.push_back(tmpBrowseButton);
                }

                // tooltip value for the inputbox is the description of the option
                tmpInput->tooltip(it->Description.c_str());
```

```
                    // add inputbox to list of options
                     m_InputList.push_back(tmpInput);
                     pos++;
            }
  }

// add return button to accept options
 Fl_Return_Button * cmdOkButton = new Fl_Return_Button(230,pos*50 , 130, 30, "Ok");

// attach OkButton to callback function
cmdOkButton->callback((Fl_Callback*)&CommandLineArgumentParser::cb_OkButton);
cmdOkButton->tooltip(programDescription.c_str());

// Show the created window
 inputwindow->end();
 inputwindow->show();
 Fl::run();

// If OKButton was pressed: start parsing input options
        if(m_StartParsing == true)
        {
                bool tryParse = TryParseGUI(outResult, true,
failOnUnknownTrailingParameters);

                if ( (tryParse == false) )
                {
                PrintUsage(std::cerr);
                itkExceptionMacro(<<"ParseGUI() argument error");
                }
        }
        else
        {
                PrintUsage(std::cerr);
                itkExceptionMacro(<<"ParseGUI() arguments not set");;
        }

// Clean FLTK objects
        for(ListInputType::iterator inIt =m_InputList.begin();inIt!=m_InputList.end();++inIt)
        {
                delete (*inIt);
        }

        for(ListButtonType::iterator cmdIt
=m_ButtonList.begin();cmdIt!=m_ButtonList.end();++cmdIt)
```

```
        {
                delete (*cmdIt);
        }
        delete cmdOkButton;
        delete inputwindow;
}
```

ANNEXE III

Code source pour filtre RGB vers HSV

RGBToHSIFilter.txx

```
#include "RGBToHSIFilter.h"
#include <math.h>
#include <algorithm>
#include "itkImageRegionConstIterator.h"
#include "itkImageRegionIterator.h"

using namespace std;

#define PI 3.141592

namespace otb
{
  /**
   * Constructor
   */
  template <class TInputImage, class TOutputImage>
  RGBToHSIFilter<TInputImage, TOutputImage>
  ::RGBToHSIFilter()
  {
    this->SetNumberOfRequiredInputs(1);
  }

  /** Generate data
   *
   */
  template <class TInputImage, class TOutputImage>
  void
  RGBToHSIFilter<TInputImage, TOutputImage>
  ::GenerateData()
  {
      // retrieve input and output pointers
      InputImagePointerType inputImage   = const_cast<TInputImage *>(this-
>GetInput());
      OutputImagePointerType outputImage = this->GetOutput();

      // get region
      typename InputImageType::RegionType inputRegion = inputImage-
>GetLargestPossibleRegion();

      // initialize output
      outputImage->SetRegions(inputRegion);
      outputImage->SetNumberOfComponentsPerPixel(3);
      outputImage->Allocate();
```

```
	// iterators typedefs
	typedef itk::ImageRegionConstIterator< InputImageType >
	ConstIteratorType;
	typedef itk::ImageRegionIterator< OutputImageType > IteratorType;

	// iterators declaration
	ConstIteratorType inputIt(   inputImage, inputRegion );
	IteratorType      outputIt(  outputImage, inputRegion );

	// temp vars for transformation
	double r; // for normalisation
	double g; // for normalisation
	double b; // for normalisation

	double R;
	double G;
	double B;

	double H; // Hue
	double S; // Saturation
	double I; // Intensity

	// main loop
	for ( inputIt.GoToBegin(), outputIt.GoToBegin();
!inputIt.IsAtEnd();++inputIt, ++outputIt)
	{
		// get RGB values from input image
		R = inputIt.Get()[0];
		G = inputIt.Get()[1];
		B = inputIt.Get()[2];

		// normalize
		r = R/(R+G+B);
		g = G/(R+G+B);
		b = B/(R+G+B);

		// compute I (0 to 1)
		I = (R+G+B)/(3*255);

		// compute S (0 to 1)
		S = 1-3*min(min(r,g),b);

		// no need to compute H is S = 0
		if( S != 0)
		{
			// compute H
			H = acos((0.5*((r-g)+(r-b)))/sqrt(pow(r-g,2)+(r-b)*(g-
b)));
			if(b>g)
			{
				H = 2*PI - H;
			}
		}
		else
		{
```

```
                H = 0;
            }

            // normalize output (0 - 360, 0 - 100, 0 - 255)
            H = H*180/PI;
            S = S*100;
            I = I*255;

            // set output pixel and fill it
            typename OutputImageType::PixelType outPixel;
            outPixel.Reserve(3);

            outPixel[0] = static_cast<typename
OutputImageType::InternalPixelType>(H);
            outPixel[1] = static_cast<typename
OutputImageType::InternalPixelType>(S);
            outPixel[2] = static_cast<typename
OutputImageType::InternalPixelType>(I);

            // assign output pixel to output image
            outputIt.Set(outPixel);
      }
  }

  /** PrintSelf Method
   *
   */
  template <class TInputImage, class TOutputImage>
  void
  RGBToHSIFilter<TInputImage, TOutputImage>
  ::PrintSelf(std::ostream& os, itk::Indent indent) const
  {
    Superclass::PrintSelf(os, indent);

    os << indent << "Converting image from RGB color space to HSI color
space " << std::endl;
  }
}
```

RGBToHSIFilter.h

```
#ifndef __RGBToHSIFilter_h
#define __RGBToHSIFilter_h

#include "itkImageToImageFilter.h"
#include "otbVectorImage.h"

namespace otb
{
  template <class TInputImage, class TOutputImage>
    class ITK_EXPORT RGBToHSIFilter
    : public itk::ImageToImageFilter<TInputImage, TOutputImage>
    {
```

```
    public:
      /** typedef for standard classes. */
      typedef RGBToHSIFilter Self;
      typedef itk::ImageToImageFilter<TInputImage,TOutputImage>
Superclass;
      typedef itk::SmartPointer<Self> Pointer;
      typedef itk::SmartPointer<const Self>  ConstPointer;

      /** typedef to simplify variables definition and declaration. */
      typedef TInputImage InputImageType;
      typedef TOutputImage OutputImageType;

      typedef typename InputImageType::Pointer InputImagePointerType;
      typedef typename OutputImageType::Pointer OutputImagePointerType;

      /** "object factory" management method. */
      itkNewMacro(Self);

      /** Return type information*/
      itkTypeMacro(VectorImageToImagePixelAccessor, ImageToImageFilter);

      /** Internal */

    protected:
      RGBToHSIFilter();
      virtual ~RGBToHSIFilter() {};
      virtual void PrintSelf(std::ostream& os, itk::Indent indent) const;

      /** Main computation method */
      virtual void GenerateData();

    private:
      RGBToHSIFilter(const Self&); //purposely not implemented
      void operator=(const Self&); //purposely not implemented

    };

} // End namespace otb
#ifndef OTB_MANUAL_INSTANTIATION
#include "RGBToHSIFilter.txx"
#endif

#endif
```

ANNEXE IV

Image quick_aceh_shore_avant.tif

BIBLIOGRAPHIE

ADCIS. 2008. « Products home: Aphelion, ActiveX Components, Extension Modules ». In *ADCIS*. En ligne. <http://www.adcis.net/en/Products/index.html>. Consulté le 11 février 2008.

Aizerman, M. , E. Braverman, and L. Rozonoer. 1964. « Theoretical foundations of the potential function method in pattern recognition learning». *Automation and Remote Control*, vol. 25, n° 6, p. 821–837.

Altenkirch, T., C. McBride, et al. 2007. « Generic programming with dependent types ». In *Datatype-Generic Programming International Spring School 2006*. (University of Nottingham, Apr. 24-27 2006), p. 209-257. Berlin (Germany): Springer-Verlag.

Amberg, V., M. Coulon, et al. 2004. « Structure extraction from high resolution SAR data on urban areas ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. (Anchorage, Sept. 20-24 2004), p. 1784-1787. Anchorage (AK): IEEE.

Arivazhagan, S., L. Ganesan, et al. 2006. « Fault segmentation in fabric images using Gabor wavelet transform ». *Machine Vision and Applications*, vol. 16, n° 6, p. 356-363.

Baillard, C. and H. Maitre. 1999. « 3-D reconstruction of urban scenes from aerial stereo imagery: a focusing strategy ». *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 76, n° 3, p. 244-258.

Bandyopadhyay, S. 2005. « Satellite image classification using genetically guided fuzzy clustering with spatial information ». *International Journal of Remote Sensing*, vol. 26, n° 3, p. 579-593.

Barnes, C. F. 2007. « Image-Driven Data Mining for Image Content Segmentation, Classification, and Attribution ». *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 45, n° 9, p. 2964-2978.

Berrar, D.P., W. Dubitzky, M. Granzow. 2003. *A practical Approach to Microarray Data Analysis*, Norwell (WA) : Kluwer. 384 p.

Bin, L., J. F. Aujol, et al. 2007. « Resolution- independent characteristic scale dedicated to satellite images ». *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 16, n° 10, p. 2503-2514.

Bin, Luo. 2007. « Échelle et Résolution en Imagerie de Télédétection ». Thèse de doctorat, Paris, École Nationale Supérieure des Télécommunications.

Bitter, I., R. Van Uitert, et al. 2007. « Comparison of four freely available frameworks for image processing and visualization that use ITK ». IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 13, n° 3, p. 483-493.

Bolstad, Paul. 2005. *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems*, 2e éd. White Bear Lake: Eider Press, 539 p.

Broadwater, J., R. Meth, et al. 2004. « A hybrid algorithm for subpixel detection in hyperspectral imagery ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Anchorage, Sept. 20-24 2004), p.1601-1604. Anchorage (AK): IEEE.

Carpenter, G. A., M. N. Gjaja, et al. 1997. « ART Neural Networks for Remote Sensing: Vegetation Classification from Landsat TM and Terrain Data ». *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 35, n° 2, p. 308-325.

Centre canadien de télédétection. 2005. Glossaire des termes de télédétection: projection cartographique. En ligne. <http://cct.rncan.gc.ca/glossary/index_f.php?id=311>. Consulté le 23 mai 2008.

Centre national d'études spatiales. 2009. « About OTB ». In *Orfeo Toolbox*. En ligne. <http://www.orfeo-toolbox.org/otb/about-otb.html>. Consulté le 5 mars 2009.

Charte internationale "Espace et catastrophes majeures". 2008. Au sujet de la Charte. En ligne. <http://www.ucsusa.org/satellite_database>. Consulté le 25 février 2009.

Chion, Clément. 2005. « Programmation génétique appliquée à l'imagerie hyperspectrale pour l'évaluation d'une variable biophysique au sein d'une grande culture : cas de

l'azote dans un champ de maïs ». Mémoire de maîtrise en génie de la production automatisée, Montréal, École de technologie supérieure, 130p.

Chrisman, Nicholas. 1997. *Exploring geographic information systems*. John Wiley & Sons, Inc. 298 p.

Cirak, F. and J. C. Cummings. 2008. « Generic programming techniques for parallelizing and extending procedural finite element programs ». *Engineering with Computers*, vol. 24, n° 1, p. 1-16.

Clark Labs. 2008. « Product Overview ». In *Clark Labs: IDRISI GIS and Image Processing Software.* En ligne. <http://www.clarklabs.org/products/index.cfm>. Consulté le 8 février 2008.

Claywell, B. C., C. H. Davis, et al. 2006. « Fusion of spectral and spatial information for automated change detection in high resolution satellite imagery ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Denver, July 31 – Aug. 6 2006), p. 2510-2513. Denver (CO): IEEE.

Conselleria d'infraestructures i transport. 2008. « What is gvSIG ». In *gvSIG*. En ligne. <http://www.gvsig.gva.es/index.php?id=que-es-gvsig&L=2>. Consulté le 11 février 2008.

D'Addabbo, A., G. Satalino, et al. 2004. « Three different unsupervised methods for change detection: an application ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Anchorage, Sept. 20-24 2004), p.1980-1983. Anchorage (AK): IEEE.

Definiens. 2009. « Image analysis with Definiens Developer ». In *Image Analysis with Definiens: the No. 1 Enterprise Image Intelligence Company*. En ligne. <http://www.definiens.com/definiens-developer_7_7_8.html>. Consulté le 5 mars 2009.

Diego Ferreira dos Santos, Eduardo Tavares Costa, Marco Antonio Gutierrez. 2007. « itkFlowRun–a Visual Programming Tool for ITK Image Filters », In *Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing* (Belo Horizonte, Oct. 7-10 2007), p.1-2, Belo Horizonte (Brazil): SIBGRAPI.

Duan, J., V. Prinet, et al. 2005. « Building change analysis between GIS data and satellite image ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Seoul, July 25-29 2005), p. 3975-3978. Seoul: IEEE.

Dubois, D., Lepage R., Tanzi T. 2009. « Toward a GUI remote-sensing environment built over OTB ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Cape Town, July 13-17 2009), p. XXX-XXX. Cape Town (South Africa): IEEE.

Elden, Lars. 2007. Matrix *Methods in Data Mining and Pattern Recognition*. Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics. 224p.

ESRI. 2008. « ArcGIS: A complete Integrated System ». In *ESRI: The GIS Software Leader*. En ligne. <http://www.esri.com/software/arcgis/>. Consulté le 8 février 2008.

Fjortoft, R. 2006. « Automated analysis of multiresolution satellite images: Multiresolution methods or prior data fusion ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Denver, July 31 – Aug. 6 2006), p. 1812-1815. Denver (CO): IEEE.

Fu, K. S., D. A. Landgrebe, T. L. Philips. 1969. « Information processing of remotely sensed agricultural data ». *Proceedings of the IEEE*, vol. 57, n° 4, p. 639-653.

Gold, C. M. 1988. « PAN graphs. An aid to GIS analysis ». *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 2, n° 1, p. 29-41.

Gonzalez, Rafael C., Richard E. Woods. 2004. *Digital Image processing*, 2e éd.. Upper Saddle River (N.J.) : Prentice Hall, 793 p.

Gu, Degui. 1998. « Incorporating structural information into interpretation of satellite images of forests ». Thèse de doctorat en géophysique, Seatlle, University of Washington, 140p.

Guienko, G. and Y. Doytsher 2003. « Geographic information system data for supporting feature extraction from high-resolution aerial and satellite images ». *Journal of Surveying Engineering*, vol. 129, n° 4, p. 158-164.

Guo, Man. 1999. « Large imagery handling in relational databases for geospatial information systems ». Mémoire de maîtrise en génie de la géomantique, Calgary, University of Calgary, 127p.

Hinze, R. and A. Loh. 2007. « Generic Programming, Now! ». In *Datatype-Generic Programming International Spring School 2006*. (University of Nottingham, Apr. 24-27 2006), p. 150-208. Berlin (Germany): Springer-Verlag.

Holmer, B., U. Postgard, et al. 2001. « Sky view factors in forest canopies calculated with IDRISI ». *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 68, n° 1-2, p. 33-40.

International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. 2008. « ILWIS ». In *ITC: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation*. En ligne. <http://www.itc.nl/ilwis/>. Consulté le 11 février 2008.

Inglada, J. 2007. « Automatic recognition of man-made objects in high resolution optical remote sensing images by SVM classification of geometric image features ». *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 62, n° 3, p. 236-248.

ISU Geospatial Software Lab. 2008. « MapWindow GIS ». In *MapWindow GIS Desktop Application*. En ligne. <http://www.mapwindow.org/wiki/index.php/Mapwinapp>. Consulté le 20 février 2008.

ITT Visual Information Solutions. 2008. « ENVI Software: Image Processing and Analysis Solutions ». In *ITT Visual Solutions, Image Processing and Data Analysis*. En ligne. <http://www.ittvis.com/ProductServices/ENVI.aspx>. Consulté le 8 février 2008.

Kabbour, B. B., L. Zouhri, et al. 2006. « Assessing groundwater contamination risk using the DASTI/IDRISI GIS method: Coastal system of western Mamora, Morocco». *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 65, n° 4, p. 463-470.

Kaewpijit, S., J. Le Moigne, et al. 2002. « A wavelet-based PCA reduction for hyperspectral imagery ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Toronto, June 24-28 2002), p. 2581-2583. Toronto (ON): IEEE.

Kilpatrick, D. and R. Williams 1995. « Unsupervised classification of Antarctic satellite imagery using Kohonen's self-organising feature map ». In *IEEE International Conference on Neural Networks* (Perth, June 26-28 1995), p. 32-36. Perth (WA): IEEE.

Kohonen, T. 1987. *Self-Organization and Associative Memory*, Second Edition, Springer Series in Information Sciences, Vol. 8, Springer Verlag, Berlin , 312p.

Liu, Zhengjun, Aixia Liu, Changyao Wang et Zheng Niu. 2004. « Evolving neural network using real coded genetic algorithm (GA) for multispectral image classification ». *Future Generation Computer Systems*, vol. 20, n° 7, p. 1119-1129.

Luo, C., Z. Liu, et al. 2006. « Optimized BP neural network classifier based on genetic algorithm for land cover classification using remotely-sensed data ». *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, vol. 22, n° 12, p. 133-137.

Marr, David. 1982. *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information,* New York: Freeman, 397p.

OTB Development Team, « The Orfeo Tool Box Software Guide Updated for OTB-3.0 », Centre National d'Études Spatiales, France, 2009.

PCI Geomatics. 2008. « Remote Sensing ». In *PCI Geomatics: Geo-Imaging Products and Solutions.* En ligne <http://www.pcigeomatics.com/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=4>. Consulté le 8 février 2008.

Quantum GIS project. 2008. « About QGIS ». In *Quantum GIS: Welcome to the Quantum GIS project*. En ligne. <http://www.qgis.org/en/about-qgis.html>. Consulté le 20 février 2008.

Refractions Research. 2008. « uDig: Home ». In *uDig: User-friendly Desktop Internet GIS*. En ligne. <http://udig.refractions.net/>. Consulté le 11 février 2008.

Rughooputh, S. D. D. V., S. Oodit, et al. 2000. « A new tool for handling astronomical images ». *Astrophysics and Space Science*, vol. 273, n° 1-4, p. 245-256.

Shangguan, W., Y. Hao, et al. 2007. « The research of satellite cloud image recognition base on variational method and texture feature analysis ». In *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications* (Harbin, May 23-25 2008), p. 2816-2820. Harbin: IEEE.

Sheng, Z., S. Wen-zhong, et al. 2008. « Remote sensing image fusion using multiscale mapped LS-SVM ». *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 46, n° 5, p. 1313-1322.

SpaceToday.net. 2007. OrbView 3 satellite malfunctions. En ligne. <http://www.spacetoday.net/Summary/3691>. Consulté le 21 mai 2008.

Steele, B.M. 2000. « Combining multiple classifiers: An application using spatial and remotely sensed information for land cover type mapping ». *Remote Sensing of Environment*, vol. 74, p. 545-556.

Stephanidis, C. N., A. P. Cracknell, et al. 1995. « Implementation of self organised neural networks for cloud classification in digital satellite images ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Firenze, July 10-14 1995), p. 455-457. Firenze: IEEE.

Tan, Q., Z. Liu, et al. 2005. « Lake shoreline detection and tracing in SAR images using wavelet transform and ACM method ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Seoul, July 25-29 2005), p. 3703-3706. Seoul: IEEE.

Tison, C., F. Tupin, et al. 2004. « Retrieval of building shapes from shadows in high resolution SAR interferometric images ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Anchorage, Sept. 20-24 2004), p. 1788-1791. Anchorage (AK): IEEE.

Tsegaye, T. D., W. Tadesse, et al. 2001. « Integration of remote sensing and geographic information system technology for monitoring changes in the Northwestern Blue Nile Region of Ethiopia ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Sydney, July 9-13 2001), p. 456-458. Sydney (NSW): IEEE.

Tucker, C. J. 1979. « Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation ». *Remote Sensing of Environment*, vol. 8, n° 2, p. 127-150.

Union of Concerned Scientists. 2008. UCS Satellite Database version 4/07/08. En ligne. <http://www.ucsusa.org/satellite_database>. Consulté le 16 mai 2008.

Unsalan, Cem. 2003. « Multispectral satellite image understanding ». Thèse de doctorat en genie électrique, Columbus, Ohio State University, 235p.

Vladimir N. Vapnik. 1995. *The Nature of Statistical Learning Theory*. New York: Springer. 314 p.

Waldemark, K., T. Lindblad, et al. 2000. « Patterns from the sky satellite image analysis using pulse coupled neural networks for pre-processing, segmentation and edge detection ». *Pattern Recognition Letters*, vol. 21, n° 3, p. 227-237.

Wang, C., C. Luo, et al. 2005. « Integrating genetic algorithm method with neural network for land use classification using SZ-3 CMODIS data ». *Progress in Natural Science*, vol. 15, n° 10, p. 937-942.

Wanxiao, S., V. Heidt, et al. 2003. « Information fusion for rural land-use classification with high-resolution satellite imagery ». *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 41, n° 4, p. 883-890.

Wichmann Volker. 2008. « The philosophy of SAGA ». In *Sourceforge.net: saga-gis*. En ligne. <http://saga-gis.wiki.sourceforge.net/The+Philosophy+of+SAGA>. Consulté le 20 février 2008.

Xiao, Y., S. K. Lim, et al. 2004. « Feature extraction using very high resolution satellite imagery ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Anchorage, Sept. 20-24 2004), p. 2004-2007. Anchorage (AK): IEEE.

Zhao, Y., L. Zhang, et al. 2005. « Texture feature fusion for high resolution satellite image classification ». In *Conference on Computer Graphics, Imaging and Vision: New Trends* (Beijing, July 26-29 2005), p. 19-23. Beijing: IEEE.

Zortea, M., M. De Martino, et al. 2008. « A SVM ensemble approach for spectral-contextual classification of optical high spatial resolution imagery ». In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Barcelona, July 6-11 2008), p. 1489-1492. Barcelona: IEEE.