DÉTECTION AUTOMATIQUE DES ZONES SINISTRÉES À PORT-AU-PRINCE : L'APPROCHE ORIENTÉE OBJET, UNE COMPLÉMENTARITÉ OPÉRATIONNELLE À LA PHOTO-INTERPRÉTATION

Thi Thanh Hien Pham, Philippe Apparicio, Christiane Weber, Dominique Mathon

Inédit / Working paper, nº 2010-7

# **Centre - Urbanisation Culture Société**



www.ucs.inrs.ca

DÉTECTION AUTOMATIQUE DES ZONES SINISTRÉES À PORT-AU-PRINCE : L'APPROCHE ORIENTÉE OBJET, UNE COMPLÉMENTARITÉ OPÉRATIONNELLE À LA PHOTO-INTERPRÉTATION

Thi Thanh Hien Pham, Philippe Apparicio, Christiane Weber, Dominique Mathon

> Institut national de la recherche scientifique Centre - Urbanisation Culture Société Montréal

Thi Thanh Hien Pham, LASER <u>hien.pham@ucs.inrs.ca</u>

Philippe Apparicio, LASER philipe.apparicio@ucs.inrs.ca

Christiane Weber, Le laboratoire Image, Ville, Environnement Université de Louis-Pasteur, <u>http://imaville.u-strasbg.fr</u> <u>christiane.weber@live-cnrs.unistra.fr</u>

Dominique Mathon, LASER dominique\_mathon@ucs.inrs.ca

Centre - Urbanisation Culture Société Institut national de la recherche scientifique 385, rue Sherbrooke Est Montréal (Québec) H2X 1E3

Téléphone : (514) 499-4000 Télécopieur : (514) 499-4065

www.ucs.inrs.ca

## Résumé

Suite à des catastrophes majeures, la cartographie des zones sinistrées est importante pour la planification des secours humanitaires et la reconstruction. Les cartes de dégâts produites par les organismes internationaux, comme l'ONU et la Banque mondiale, sont souvent basées sur la photo-interprétation des images de télédétection mobilisant quelques centaines d'experts sur plusieurs jours, voire semaines. Par conséquent, certains auteurs préconisent le recours à des approches automatiques, notamment orientées objet. Malgré leur relativement bonne précision, ces approches sont critiquées, jugées trop complexes à opérationnaliser dans un temps limité.

L'objectif premier de cet article est de vérifier si la détection orientée objet des dégâts demeure difficile à opérationnaliser rapidement et efficacement, et ce, en ayant comme étude de cas la ville de Port-au-Prince affectée par un séisme en janvier 2010.

Nous procédons à la classification par le logiciel eCognition avec deux jeux de données : 1) les images GeoEye (50 cm) couplées avec les données LiDAR (1 m) et 2) les images World Bank-ImageCAT-RIT (15 cm) couplées avec les données LiDAR. Trois types de dégâts sont classifiés : bâtiments intacts, bâtiments effondrés et débris.

La classification du jeu de données World Bank-ImageCAT-RIT est obtenue dans un temps de traitement relativement court (deux jours) et avec l'exactitude globale assez élevée (près de 70 %). Celle obtenue avec les données GeoEye est peu satisfaisante, les images étant assez sombres et la résolution spatiale n'étant pas suffisamment fine. Nous proposons donc une nouvelle stratégie intégrant l'approche automatique et la photo-interprétation pour la cartographie des zones sinistrées.

## Mots clés :

Télédétection, orienté objet, cartographie des dégâts, séisme, Port-au-Prince

## Abstract

In the aftermath of severe disasters, the assessment of building damage plays an important role in the planning of humanitarian rescue and reconstruction. Damage maps produced by international organisations, such as UN and World Bank, are usually based on visual interpretation of remote sensing images, by mobilizing some hundreds of experts for several days or even weeks. Thus, certain authors call for the use of automated methods, especially object-oriented ones. Despite their relatively good accuracy, these methods are criticized by other authors who claim that they are complicated to operationalize within a short period of time.

The main goal of this paper is to verify if an object-oriented detection of building damage caused by earthquakes can be conducted easily, quickly and precisely. The city of Port-au-Prince, stricken by a huge earthquake in January 2010, is chosen as the study area.

We carry out the classification in eCognition software with two datasets: 1) GeoEye image (50cm) coupled with LiDAR data (1m) and 2) World Bank-ImageCAT-RIT image (15cm) coupled with LiDAR data. Three types of damage are classified from the images: intact buildings, damaged buildings and debris.

The classification of the World Bank-ImageCAT-RIT dataset is obtained within a short processing time (two days) and with an adequate global accuracy (close to 70%). The classification of the first dataset is less satisfying due to the dark colour and coarser resolution of GeoEye. We thus propose a new strategy for mapping building damage whereby automated detection method and visual interpretation are both used.

#### **Key Words:**

Remote sensing, object-oriented, damage mapping, earthquake, Port-au-Prince

# Introduction

Le 12 janvier 2010, un fort tremblement de terre d'une magnitude de 7 sur l'échelle de Richter a secoué la partie sud de la République d'Haïti affectant particulièrement la capitale Port-au-Prince et ses environs. Le tribut à payer est lourd : plus de 200 000 morts, un nombre tout aussi important de blessés et plus d'un million de sans-abris. En outre, selon les premières estimations du gouvernement haïtien (Gouvernement de la République d'Haïti, 2010) les dommages et pertes s'élèvent à 7,8 milliards de dollars américains, soit 100 % du PIB.

Grâce à la Charte internationale *Espaces et catastrophes majeures (Charte Internationale Espaces et catastrophes majeures, 2010)* de nombreuses images satellites et aériennes à très haute résolution ont été rendues disponibles gratuitement sur Internet (notamment GeoEye, World Bank-ImageCAT-RIT, Ikonos, Lidar), et ce, quelques jours après le séisme. Cette manne d'informations géospatiales a joué un rôle crucial dans l'identification de zones sinistrées. En effet, dès le 15 janvier, plusieurs organismes comme UNITAR-UNOSAT<sup>1</sup> et Joint Research Centre (JRC) ont produit des cartes ou des atlas des zones sinistrées (EC-JRC *et al.*, 2010).

Suite à de telles catastrophes, la production simple et rapide de cartes précises des zones sinistrées est évidemment primordiale, surtout pour la planification des secours humanitaires (Kerle, 2010; Voigt et al., 2007). Le tremblement de terre haïtien réactualise le débat relatif aux méthodes les plus efficaces pour la production de ces cartes. La cartographie de l'UNITAR-UNOSAT repose sur de la photo-interprétation mobilisant quelques centaines d'experts et non sur des approches automatiques. Or, récemment, Kerle (2010) a comparé les méthodes manuelles avec des observations de terrain et démontré qu'elles sous-estimaient les dégâts dans le cas du tremblement de terre dans la ville de Yogyakarta (Java) en mai 2006. D'autres auteurs préconisent l'utilisation de méthodes automatiques pour la détection des zones sinistrées puisqu'elles permettent de traiter rapidement une grande zone avec une précision relativement bonne (Al-Khudhairy et al., 2005; Bitelli et al., 2004; Chesnel et al., 2008; Pesaresi et al., 2010), et ce, sans recourir à une multitude d'experts. À l'inverse, certains auteurs comme Voigt et al. (2007) et Al-Khudhairy et al. (2005) critiquent les approches automatiques, en particulier orientées objet, qu'ils jugent trop complexes et longues à mettre en œuvre (notamment la définition des paramètres de segmentation et des règles de classification). Depuis la parution ces deux articles en 2005 et 2007, deux phénomènes importants peuvent limiter la portée de ces critiques. D'une part, durant ces cinq dernières années, l'approche objet s'est largement répandue; d'autre part, les logiciels commerciaux permettant de la mettre en œuvre sont à la fois de plus en plus nombreux, performants, faciles à manipuler et de moins en moins coûteux (eCognition, le module Feature Extraction d'ENVI et Idrisi Taiga).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> United Nations Institute for Traning and Research - Operational Satellite and Applications Program.

L'objectif premier de cet article est de vérifier si l'approche orientée objet pour la détection des dégâts dus à un séisme demeure encore difficile à opérationnaliser rapidement et efficacement. Dans un premier temps, nous décrirons la typologie des dégâts aux bâtiments utilisée habituellement pour repérer et quantifier les zones sinistrées. Puis, nous décrirons et comparerons les principales approches manuelles (notamment celle de UNITAR-UNOSAT), et automatiques (en portant une attention particulière sur l'approche objet) mises en œuvre ces dernières années. À la lumière de cette revue de littérature qui nous permettra de bien identifier les « conditions gagnantes » pour une détection rapide et précise des dégâts, nous proposerons une méthodologie de traitement d'images orienté objet pour le cas haïtien. À la lecture des résultats, nous verrons alors si cette approche est ou non rapide et précise pour la détection des dégâts. Finalement, nous discuterons afin de voir comment il est possible d'intégrer l'approche objet, de façon efficiente, dans un protocole de recherche opérationnelle de détection des dégâts en situation d'urgence.

# **REVUE DE LITTÉRATURE**

## Typologie des dégâts aux bâtiments et son usage en télédétection

Élaborer des cartes des zones sinistrées suite à un séisme nécessite au préalable de recourir à une typologie de la gravité des dégâts aux bâtiments. Bien que certaines études se limitent à identifier deux classes – les bâtiments intacts ou légèrement endommagés *versus* les bâtiments effondrés –, la classification des dégâts aux bâtiments selon cinq degrés de l'Échelle macrosismique européenne 1998 (ESM-98) est aujourd'hui largement admise et utilisée dans les études de télédétection. Brièvement, cette typologie comprend cinq niveaux bien distincts en fonction de la gravité des dégâts (tableau 1 et figure 1) (Grünthal et Levret, 2001). La détection des degrés I et II est quasi impossible à partir d'image satellites ce qui explique que ces deux classes sont habituellement combinées pour former la classe bâtiments *Intacts*. Quant au degré III, selon Yamazaki *et al.* (2004; 2005), qui ont réalisé une comparaison de l'interprétation visuelle d'images et des observations sur le terrain, il est souvent confondu avec le degré IV. Par contre, les degrés IV et V peuvent être détectés et reconnus beaucoup plus facilement avec les données satellitaires. En résumé, on cherche habituellement à détecter trois types de bâtiments : ceux qui sont intacts (degré I et II), ceux partiellement effondrés (degré IV) et finalement, ceux totalement effondrés (degré V).

Degré	Description			
I : Dégâts mineurs	Fissure sur les murs, aucun dégât structural.			
II : Dégâts modérés	Nombreuses fissures sur les murs, dégâts structuraux légers.			
III : Dégâts importants	Fissures importantes, dégâts structuraux modérés			
IV : Effondrés partiellement	Effondrés partiellement, dégâts structuraux importants, défaillance des toits et des planchers pour les bâtiments en maçonnerie et écroulement de quelques poteaux et/ou d'un étage supérieur pour les bâtiments en béton armé.			
V : Effondrés totalement	Effondrés totalement ou presque.			

Tableau 1 : Typologie des dégâts aux bâtiments



Figure adaptée du Conseil de L'Europe (2001 : 15-16).

Figure 1 : Typologie des dégâts aux deux types de bâtiments (Grünthal et Levret, 2001).

Bien que la typologie de l'EMS fasse autorité en la matière, d'autres ont été proposées récemment, notamment celle de Schweier et Markus (2006) qui s'intéressent aux bâtiments effondrés partiellement ou totalement. Ainsi, ces auteurs distinguent les catégories suivantes : effondrement incliné de la structure (*inclined layers*), effondrement symétrique de la structure (d'un ou de plusieurs étages – *pancake*), effondrement irrégulier de la structure créant un amoncellement de débris (*debris heaps*), renversement partiel ou total (*overturn*) et suspension d'un toit ou d'un plancher après la chute des murs du dessous (*overhanging*). Certes très intéressante, la détection des catégories de cette typologie demeure néanmoins relativement difficile puisqu'elle nécessite des informations relatives aux changements de volume et de hauteur et à l'inclinaison des bâtiments. Or, l'extraction de telles informations suppose de disposer, soit d'images obliques de haute résolution (*Pictometry images*), soit de deux images et de données LIDAR avant et après le séisme, ce qui est plus rarement possible.

#### La détection manuelle des dégâts

Suite au séisme de Port-au-Prince, deux organismes ont rapidement produit des cartes des zones sinistrées à partir d'approches manuelles : UNITAR-UNOSAT en collaboration avec la JRC et la Banque mondiale avec la collaboration du réseau GEO-CAN (*Global Earth Observation – Catastrophe Assessment Network*).

Dans le cadre du programme UNOSAT d'UNITAR, plusieurs cartes ont été produites rapidement par photo-interprétation des images GeoEye prises le 13 janvier 2010 (tableau 2). Ainsi, quatre jours après le séisme (le 16 janvier), UNOSAT met en ligne la première carte intitulée : « *Damage Assessment for Major Buildings / Infrastructure in Port-au-Prince, Haiti* »<sup>2</sup>. Un mois après le séisme, le 13 février, une

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> http://unosat-maps.web.cern.ch/unosat-maps/HT/EQ20100114HTI/UNOSAT\_HTI\_EQ2010\_BldDamages\_v1\_LR.pdf

carte plus complète est enfin disponible : « Comprehensive Building Damage Assessment for Port-Au-Prince Commune, Haïti (Version 2) »<sup>3</sup>. Notons que les bâtiments endommagés sont identifiés uniquement sous forme ponctuelle et selon les catégories III à V (UNITAR-UNOSAT *et al.*, 2010).

Parallèlement, la Banque mondiale avec le réseau de bénévoles GEO-CAN et la compagnie ImageCat a également produit des cartes de zones sinistrées. Brièvement, le réseau GEO-CAN a été créé en 2008 suite au tremblement de terre de Sichuan (Chine) et regroupe des experts bénévoles à travers le monde (ingénieurs, scientifiques, décideurs) dont l'objectif premier est de cartographier les zones affectées à partir d'images à très haute résolution. Autrement dit, l'approche de GEO-CAN repose sur une armée de volontaires pour analyser rapidement les images (ImageCat et EERI, 2010: 2). Dans le cas haïtien, plus 500 bénévoles provenant de 23 pays (60 universités, 18 agences gouvernementales et ONG; 53 compagnies privées) ont participé activement à l'analyse des images GeoEye, World Bank-ImageCAT-RIT et des données LIDAR et thermiques). Contrairement à l'UNITAR-UNOSAT, le réseau GEO-CAN numérise les bâtiments endommagés de type IV et V sous forme polygonale (*footprint*). Une telle mobilisation d'experts semble profitable puisque la première carte sous forme polygonale est produite en huit jours pour une zone de 346 km<sup>2</sup>.

D'autres initiatives ont aussi permis de cartographier les dégâts du séisme de Port-au-Prince, notamment celles de G-MOSAIC et ITHACA. G-MOSAIC (*GMES services for Management of Operations, Situation Awareness and Intelligence for regional Crises*) est un projet subventionné par la Commission européenne et l'Agence spatiale européenne pour but de «... *provide the European Union with intelligence data that can be applied to early warning and crisis prevention as well as to crisis management and rapid interventions in hot spots around the world »<sup>4</sup>. Quant à ITHACA (<i>Information Technology for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action*), il est en fait un centre de recherche en informatique créé par l'université polytechnique de Turin et *the Higher Institute on Innovation Territorial Systems* basé aussi à Turin. Le centre se donne comme mission de développer des produits et des services informatiques pour supporter les activités humanitaires. Les cartes des dégâts à Port-au-Prince produites par ces deux organismes sont aussi reportées au tableau 2.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> http://unosat-maps.web.cern.ch/unosat-maps/HT/EQ20100114HTI/UNOSAT\_HTI\_EQ2010\_BldAssessment\_PaP\_v2\_LR.pdf

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Sources : <u>www.gmes-gmosaic.eu/project-overview.html</u> (consulté le 14 novembre 2010).

	Titre de la carte	Date	Image	Méthode
UNOSAT	Damage Assessment for Major Buildings	16 janvier	GeoEye <sup>a</sup>	Manuelle
	Satellite-identified damages in south-eastern part of Port-au-Prince	16 janvier	GeoEye <sup>a</sup>	Manuelle
	Port-au-Prince building damages Summarized by Dominant Landcover	13 février	WorldView-2 <sup>b</sup>	Manuelle
	Comprehensive Building Damage Assessment for Port- Au-Prince Commune	13 février	WorldView-2 <sup>b</sup>	Manuelle
	Intensity of Building Damages in downtown Port-au- Prince	15 février	WorldView-2 <sup>b</sup>	Manuelle
	Intensity of Building Damages Across Port-au-Prince & Carrefour	25 février	WorldView-2 <sup>b</sup>	Manuelle
	Port-au-Prince atlas of building damage assessment	26 février	WorldView-2 <sup>b</sup>	Manuelle
GEOCAN	Damage map – point location of every collapsed building (134 km <sup>2</sup> )	17 janvier	GeoEye <sup>a</sup>	Manuelle
	Damage map – polygon footprint of collapsed or heavily damaged buildings (346 km <sup>2</sup> )	26 janvier	Photo <sup>c</sup>	Manuelle
	Estimate of square footage requiring reconstruction (1025 km <sup>2</sup> )	15 février	Photo <sup>c</sup>	Manuelle
GMOSAIC	Preliminary damage assessment analysis	16 janvier	GeoEye <sup>a</sup>	Manuelle
	Block damage assessment	18 janvier	GeoEye <sup>a</sup>	Manuelle
	Complete damage assessment analysis	18 janvier	GeoEye <sup>a</sup>	Manuelle
	Damage assessment (Low-High density)	18 janvier	GeoEye <sup>a</sup>	Automatique (eCognition)
ITHACA	Damage Assessments as of 13/1/2010	14 janvier	GeoEye <sup>a</sup>	Manuelle

Tableau 2 : Les cartes produites suite au séisme de Port-au-Prince

<sup>a</sup> GeoEye-1 : image prise le 13 janvier 2010 avec une résolution spatiale de 50 cm.

<sup>b</sup> WorldView-2 : images prises le 19 déc. 2009 et le 7-15 janv. 2010 avec une résolution spatiale de 50 cm.

<sup>c</sup> Photo : photographie aérienne du mois de janvier 2010 avec une résolution spatiale de 14 cm.

Sources : UNOSAT http://unosat.web.cern.ch/unosat/asp/prod\_free.asp?id=52

GMOSAIC http://spatial.telespazio.it/gmosaic\_haiti/

ITHACA http://www.ithaca.polito.it/maps.php?country=Haiti

GEO-CAN (ImageCat et EERI, 2010).

Quel est le degré de précision des approches manuelles pour le cas de Port-au-Prince? Quelques éléments de réponse fort intéressants ont récemment été avancés par Spence et Saito (2010) qui ont sélectionné, puis classifié 1273 bâtiments selon les degrés I à V à partir d'images aériennes obliques. Ils construisent ensuite une matrice de confusion pour ces bâtiments classifiés à partir des images obliques (degrés I à V) et selon GEO-CAN (degré I, et uniquement IV et V). Tout d'abord, les résultats avancés par Spence et Saito (2010) démontrent que les proportions de bâtiments dans les catégories IV et V sont relativement similaires : respectivement 16,4% et 9,3% pour la méthode la plus précise (images obliques) contre 15,6% et 8% par GEO-CAN. La correspondance entre les deux méthodes est très bonne pour les bâtiments intacts : 95,5% des bâtiments identifiés comme intacts avec la méthode des images obliques le sont aussi selon GEO-CAN. En outre, l'approche manuelle développée par GEO-CAN sous-estime les bâtiments

fortement endommagés (IV et V) comparativement à l'approche basée sur des images obliques : moins des deux tiers (64%) des bâtiments IV et V identifiés avec les images obliques le sont aussi avec une approche manuelle. Cette sous-estimation des dégâts vient ainsi corroborer les travaux de Kerle (2010) dans le cas du séisme de la Ville de Yogyakarta (Java) en mai 2006.

Plusieurs raisons sont souvent évoquées pour expliquer cette sous-estimation; la principale étant que l'approche manuelle à partir « d'images verticales » ne permet pas d'identifier les bâtiments effondrés de façon symétrique (effondrement d'un ou plusieurs étages – *pancake*). D'ailleurs, le même problème se produit également avec des approches automatiques. Seul le recours à des images obliques ou des données LIDAR avant et après l'évènement permet de repérer ce type d'effondrements (Rehor *et al.*, 2008). À l'inverse, signalons que l'approche manuelle génère aussi des erreurs de commission. Des bâtiments en construction peuvent en effet être identifiés comme endommagés. De même, un bâtiment entouré des débris d'autres bâtiments adjacents effondrés peut être lui considéré comme fortement endommagé.

#### La détection automatique des dégâts

Ces dernières années, plusieurs approches méthodologiques ont été proposées pour la détection automatique des dégâts aux bâtiments suite à un séisme, à un bombardement ou encore un ouragan (Gillespie *et al.*, 2007; Joyce *et al.*, 2009; Tralli *et al.*, 2005). Précisons d'emblée que nous nous focalisons sur les stratégies utilisant des images optiques de très haute résolution combinées ou non avec des données LIDAR. Nous écartons les stratégies basées sur des images radar de type SAR dont les résolutions spatiales sont supérieures à 3 mètres et par conséquent, insuffisantes pour une détection précise des bâtiments abîmés, notamment dans des quartiers densément peuplés (Al-Khudhairy *et al.*, 2005; Bitelli *et al.*, 2004).

Tel qu'illustré par la figure 2, trois stratégies de détection sont habituellement privilégiées. La première (A) utilise une seule image prise après l'événement tandis que les deux autres (B et C) ont recours à deux images (avant et après l'événement). Les stratégies B et C sont donc plus difficiles à mettre en œuvre puisque la disponibilité des images issues d'un même capteur est loin d'être assurée, surtout dans les villes des pays en voie de développement comme Port-au-Prince. De plus, la période entre les deux prises de vue (avant et après l'évènement) doit être relativement courte afin de s'assurer que certains changements observés ne soient pas en réalité des changements d'occupation du sol entre les deux dates. Aussi, le calage des deux images peut rapidement devenir complexe et long à réaliser puisqu'elles peuvent être acquises avec des angles de visée différents (Bitelli *et al.*, 2004; Chesnel *et al.*, 2008; Kouchi et Yamazaki, 2005; Vu *et al.*, 2005). Dans le cas de Port-au-Prince, la stratégie C demeure fort difficile à

mettre en œuvre puisque les images après le séisme sont à des résolutions de 50 cm et 15 cm et la seule image avant l'évènement, qui est disponible sur Google Earth, est acquise par QuickBird (le 4 mars 2008, 60 cm).



Figure 2 : Trois stratégies de détection de zones endommagées après une catastrophe

Quelle que soit la stratégie privilégiée (A, B ou C), la méthode de classification retenue peut être *basée pixel* ou *orientée objet*. Dès l'arrivée des images optiques de très haute résolution, les méthodes *basées pixel* ont été largement utilisées, tel qu'en témoignent les travaux de Bitelli *et al.* (2004) et Kouchi et Yamazaki (2005) suite au séisme de Boumerdès au nord de l'Algérie en 2003. Notons d'ailleurs que d'autres auteurs combinent les méthodes de classification *basées pixel* avec des techniques de rehaussement de structure linéaire et de texture (Adams, 2004, le séisme dans la région de Marmara en Turquie en 2003; Saito et Spence, 2004, le séisme à la ville de Bam en Iran en 2003). Néanmoins, plusieurs travaux ont démontré que les méthodes de classification *basées pixel* sont relativement peu performantes pour détecter les bâtiments effondrés (Bitelli *et al.*, 2004; Kouchi et Yamazaki, 2005)<sup>5</sup>. Pour plusieurs auteurs, il est clair que la seule prise en compte de la valeur spectrale est insuffisante pour

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Dans l'étude de Bitelli *et al.* (2004), les taux d'exactitude des classes Degré IV-V, Degré III et Intact sont respectivement 0,25, 0,10 et 0,96. Dans l'étude de Kouchi et Yamazaki (2005), une seule classe, Débris, est identifiée, dont les taux d'exactitude de producteur et d'utilisateur sont de 0,321 et 0,232.

détecter les bâtiments endommagés, et qu'il faut introduire d'autres éléments comme la forme géométrique, la taille, la texture et des éléments contextuels (Al-Khudhairy *et al.*, 2005; Bitelli *et al.*, 2004). Par conséquent, ils préconisent plutôt l'approche de classification *orientée objet*.

Brièvement, l'approche *orientée objet* comprend deux étapes : la création des objets (ou la segmentation de l'image) et la classification des objets en utilisant des règles basées sur les attributs spectraux, géométriques et contextuels des objets. Elle est donc particulièrement appropriée à la détection des objets du milieu urbain (Al-Khudhairy *et al.*, 2005; Herold *et al.*, 2003).

Une synthèse des travaux portant sur la détection orientée objet des dégâts aux bâtiments est reportée au tableau 3, en prenant soin de regrouper celles utilisant ou non eCognition et d'indiquer le type d'approche utilisée – A, B, C décrites précédemment – et la précision obtenue pour les différents degrés de dégâts selon la typologie EMS-98. Il est à noter que la comparaison de la précision de la détection de différentes études demeure difficile puisqu'elles sont réalisées dans des zones d'études variées et le taux d'exactitude n'est pas reporté de la même manière<sup>6</sup>.

Mentionnons d'emblée que deux études qui arrivent à une précision globale supérieure à 0,8 (Bitelli *et al.*, 2004; Chesnel *et al.*, 2008) sont basées sur l'approche C. Néanmoins, une telle précision s'explique en partie par le fait que l'image avant l'événement est traitée manuellement afin de délimiter le contour des bâtiments. D'autres auteurs obtiennent également une bonne précision avec l'approche B, qui exige toutefois plusieurs étapes de traitements d'image, notamment une correction radiométrique (Al-Khudhairy *et al.*, 2005). Finalement, d'autres études obtiennent des précisions variant de 0,5 et 0,8 selon le nombre de classes (Chesnel *et al.*, 2008; Rezaeian et Gruen, (2007), de la méthode de classification ou encore des techniques de prétraitement (Al-Khudhairy *et al.*, 2005).

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Certains ne mentionnent uniquement l'exactitude globale, d'autres celle de l'utilisateur ou du producteur ou encore aucune des trois.

Auteurs	Données	Lieu et date du désastre	Approche	Exactitude pour les bâtiments selon les degrés EMS-98 (sur 1*)
Approche orientée	bjet avec eCogniti	on		
Al-Khudhairy <i>et al.</i> (2005)	Ikonos	Brest (Macédoine) (août 2001)* Jenin (avril 2002)*	A et B	Degré IV-V : <b>A</b> = 1,0/0,76 <b>B</b> = de 0,88/0,97 à 0,60/0,71
Bitelli et al. (2004)	QuickBird	Boumerdes (mai 2003)	C : classification manuelle de l'image avant l'événement	Degré I : 0,87 Degré III : 0,83 Degrés IV-V : 0,67
Gusella et al. (2005)	QuickBird	Bam (décembre 2003)	С	Degré I : 0,63/0,74 Degrés IV-V : 0,79/0,67
Kouchi et Yamazaki (2005)	QuickBird	Boumerdes (mai 2003)	A	Degrés IV-V : 0,50/0,20
Yano et Yamazaki (2006)	QuickBird	Bam (déc. 2003)	A	Débris : 0.44 (exact. utilisateur)
Approche orientée	objet sans eCogniti	on	-	
Al-Khudhairy <i>et al.</i> (2005)	Ikonos	Brest (Macédoine) (août 2001)* Jenin (avril 2002)*	A : classification par morphologie mathématique	Degré I : 0,78/0,67 Degré IV-V : 0,52/0,83
Chesnel et al. (2008)	QuickBird Panchro- matique	Boumerdes (mai 2003) Bam (décembre 2003)	C : classification manuelle de l'image avant l'événement	Classification 1 (degré I vs IV- V) : 0,80-0,89 Classification 2 (degré I vs III et IV-V) : 0,74-0,83 Classification 3 (degré I vs III, IV et V) : 0,74-0,78
Rehor <i>et al</i> (2008)	LiDAR 50 cm (X,Y) 15 cm (Z)	Zone expérimentale de 15 bâtiments	C : algorithme de la croissance de région et RANSAC	10 types de dégâts selon la typologie proposée par Schweier et Markus (2006). Exact. non disponible
Rezaeian et Gruen (2007)	MNS (modèle numérique de surface) à 1 m	Bam (décembre 2003)	<b>C</b> : classification par les <i>k</i> plus proches voisins	Degré I : 0,60 / 0,93 Degré IV : 0,67 / 0,27 Degré V : 0,87 / 0,90
Vu et al. (2005)	QuickBird	Bam (décembre 2003)	C : segmentation par morpho. math. et classification par k-means	Non disponible

# Tableau 3 : Synthèse des travaux utilisant l'approche orientée objet pour la détection des<br/>bâtiments endommagés

Pour ce qui est de l'approche A, moins complexe à mettre en œuvre, l'exactitude documentée varie grandement d'un travail à l'autre : soit inférieure à 0,5 par certains auteurs (Kouchi et Yamazaki, 2005; Yano et Yamazaki, 2006) ou supérieure à 0,7 par d'autres auteurs (Al-Khudhairy *et al.*, 2005). De tels écarts s'expliquent certainement par le recours à des paramètres différents lors de l'analyse d'images, tant au niveau de la segmentation que de la classification. D'une part, la faible précision obtenue par Yano et Yamazaki (2006) pourrait être due en partie au fait qu'ils utilisent un seul niveau du facteur d'échelle dans la segmentation contrairement à

Bitelli *et al.* (2004) et Al-Khudhairy *et al.* (2005). D'autre part, l'utilisation de multiples attributs pour définir les règles de classification permet certainement à Al-Khudhairy *et al.* (2005) d'obtenir une meilleure précision (tableau 4).

La capacité de détecter des dégâts en se basant uniquement sur la réponse spectrale de l'image après l'événement (approche A) semble limitée. Par contre, l'introduction des données d'altitude pourrait donner plus d'informations sur les objets et améliorer ainsi l'exactitude (Rezaeian et Gruen, 2007; Vu *et al.*, 2005). En effet, les bâtiments endommagés et les débris ont souvent les mêmes caractéristiques spectrales (couleur), mais des hauteurs différentes.

			Seg			
Auteurs	Capteur	Bandes	Facteur d'échelle	Couleur/ Forme	Compact/ Lissage	Classification
Bitelli et al. (2004)	Quickbird	4	1, 30, 60	0,1/0,9	0.9/0.1	Logique floue basée sur les règles <sup>a</sup>
Al-Khudhairy <i>et al.</i> (2005)	Ikonos	4	15, 20, 30	0,7/0,3	0,9/0,1	Logique floue basée sur les règles <sup>b</sup>
Kouchi et Yamazaki (2005)	Quickbird	ND	ND	ND	ND	Le plus proche voisin <sup>c</sup>
Yano et Yamazaki (2006)	Quickbird	4	20	ND	0,5 / 0,5	Le plus proche voisin <sup>a</sup>

Tableau 4 : Détails dans les études utilisant eCognition

<sup>a</sup> Règles non documentées. <sup>b</sup> Écart-type des bandes, ratio de chaque bande spectrale, brillance, superficie, longueur, ratio longueur/largeur et relations entre les objets. <sup>c</sup> Bleu, vert, rouge, proche infrarouge et brillance.

### Objectifs et question de recherche

À la lumière de cette revue de littérature, il convient de rappeler les limites et intérêts de chaque des deux grandes approches en détection des bâtiments sinistrés (manuelle et orientée objet). Bien qu'elle donne des résultats satisfaisants, l'approche manuelle nécessite la mobilisation de plusieurs centaines d'experts. Or, leur niveau d'expertise étant très variable – connaissance de la zone d'étude, habilité à travailler avec des images – peut bien entendu influencer la qualité de la détection d'un expert à l'autre. À cet égard, GEO-CAN recommande d'ailleurs une meilleure formation des experts (ImageCat et EERI, 2010). De plus, les conditions d'acquisition des images, l'ombrage, la densité élevée des bâtiments contribuent à la sous-estimation des zones sinistrées (Kerle, 2010).

L'approche orientée objet a aussi ses limites. Elle nécessite le recours à un expert en traitement d'image orienté objet qui travaille étroitement avec un expert de la zone d'étude afin d'écourter au maximum la période de définition des règles, de sélection des sites d'entrainement et surtout de la validation des résultats. Comme toute nouvelle approche méthodologique, elle se bute aussi

parfois à la résistance de certains experts qui la jugent trop hermétique ou complexe. Autre élément important, l'approche basée sur l'utilisation d'une seule image et non deux images (avant et après l'évènement) semble malgré tout relativement efficace pour une première évaluation des dégâts (Al-Khudhairy *et al.*, 2005). Elle nécessite toutefois de réaliser une segmentation de l'image à plusieurs niveaux du facteur d'échelle et le recours à de multiples règles. En outre, plusieurs études suggèrent que l'utilisation de données d'altitude (modèle numérique de surface) améliore grandement la précision de détection des bâtiments effondrés (IV et V) (Rezaeian et Gruen, 2007; Vu *et al.*, 2005). Or, l'introduction de ces données d'altitude ne semble pas encore avoir été testé avec une approche A en utilisant eCognition.

Par conséquent, nous tenterons de répondre à la question de recherche suivante à partir du cas de Port-au-Prince : est-ce réellement difficile d'opérationnaliser une détection automatique des zones sinistrées par une approche orientée objet appliquée sur une seule image couplée avec des données d'altitude, et ce, avec une bonne précision et dans un temps raisonnable ? Il s'agira alors d'identifier les « conditions gagnantes » pour obtenir une détection rapide et précise des différentes classes d'effondrement, en identifiant notamment les paramètres de segmentation et de classification les plus importants.

# L'ESPACE D'ÉTUDE

Notre zone d'étude se situe dans la commune de Port-au-Prince et s'étend sur 11 km<sup>2</sup> (figure 3). Relativement au tissu urbain, la zone d'étude est assez représentative de l'aire métropolitaine de Port-au-Prince puisqu'elle comprend à la fois des quartiers précaires situés à proximité du littoral ou sur les flancs de collines, une partie du centre historique et des quartiers résidentiels plus récents. En ce sens, l'aire d'étude rend compte à la fois des différentes occupations du sol et des phases de croissance de l'agglomération.



Délimitation administrative de l'Aire métropolitaine de Port-au-Prince

Figure 3 : Espace d'étude et exemple des images utilisées

Si au centre historique (centre-ville) dominent les activités commerciales, on y retrouve également des quartiers résidentiels précaires. Les quartiers du littoral (Cité l'Eternel, Cité Plus, etc.) sont pour leur part essentiellement résidentiels, tout comme ceux situés sur les piémonts du Morne de l'Hôpital. La zone d'étude reflète aussi la diversité du cadre géophysique de la métropole avec une bande côtière constituée d'alluvions et les formations calcaires des piémonts Nord du Morne de l'Hôpital.

Selon les résultats de l'enquête sur les conditions de vie en Haïti réalisée en 2001, un ménage sur cinq de l'Aire métropolitaine de Port-au-Prince n'a pas accès aux infrastructures et aux services de base. De plus, un tiers d'entre eux n'a pas accès à l'eau courante et plus de la moitié vit dans des logements de 1 à 2 pièces (Institut haïtien de statistique et d'informatique, 2001; Mathon, 2005). Les logements des quartiers précaires sont majoritairement faits de blocs de parpaing non enduits et montés souvent avec de matériaux de mauvaise qualité. De plus, l'absence de normes de construction et la prolifération de construction anarchique contribuent à augmenter la vulnérabilité des bâtiments érigés dans les quartiers précaires (Goulet, 2006).

## METHODOLOGIE

## Données

Les données de télédétection utilisées sont des images optiques satellites et aéroportées rendues disponibles gratuitement sur le site de Google<sup>7</sup>. La mise à disposition de ces données est grandement favorisée par la Charte internationale *Espace et catastrophes majeures*.

« 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 » (Chartre internationale "Espace et catastrophes majeures", 2010).

Trois principaux jeux de données sont ainsi disponibles : 1) les images optiques satellites du capteur GeoEye (acquises le 13 janvier 2010), orthorectifiées et fusionnées en trois bandes sous forme de composée colorée vraie couleur à la résolution spatiale de 50 cm; 2) les images aériennes World Bank-ImageCAT-RIT<sup>8</sup> (appelées High Resolution) composées de trois bandes rouge, vert et bleu à la résolution de 15 cm (acquises les 21-22 janvier 2010 par le *Centre for Imaging Science* à Rochester Institute of Technology); 3) les données LiDAR<sup>9</sup> avec une résolution spatiale de 1 mètre (acquises du 21 au 27 janvier 2010 par le *Centre for Imaging Science* à Rochester Institute of Technology). Il est à noter que les données LiDAR ont déjà été transformées en modèle numérique de terrain (MNT) et de surface (MNS). En outre, aucun détail relatif au géoréférencement et à l'orthorectification des images n'est fourni pour les trois jeux de données (à partir d'une méthode polynomiale dans le logiciel PCI) afin de s'assurer qu'ils soient tous correctement calés.

## Description de la méthode orientée objet

L'approche objet sera appliquée à deux ensembles de données : 1) l'image GeoEye couplée aux données LiDAR, puis 2) l'image High Resolution couplée également aux données LiDAR. Nous pourrons ainsi vérifier quel capteur optique est le plus efficace pour détecter les bâtiments endommagés, en prenant compte notamment le temps de traitement.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> <u>www.google.com/relief/haitiearthquake/imagery.html</u> et www.google.com/relief/haitiearthquake/geoeye.html.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Les images sont fournies par la Banque mondiale (World Bank-ImageCAT-RIT Remote sensing mission).

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Ces données sont fournies par la Banque mondiale (World Bank-ImageCAT-RIT Remote sensing mission). www.opentopography.org/index.php/blog/detail/haiti\_lidar\_imagery\_in\_google\_earth/ ou http://waspftp.cis.rit.edu/

Avant de procéder au traitement d'image automatique, nous avons préalablement évalué visuellement la capacité de séparer les différents degrés de dégâts selon la typologie EMS-98. L'image GeoEye étant assez sombre, il est fort probable qu'elle ne permette que la détection des débris et les bâtiments intacts, et non des dégâts des degrés II à IV. L'utilisation de l'image High Resolution, moins sombre et avec une résolution spatiale plus fine, semble plus prometteuse pour distinguer les différents degrés. Par conséquent, nous avons créé deux classes à obtenir avec l'image GeoEye (bâtiments intacts et débris) et trois avec l'image High Resolution : 1) Débris (faible hauteur, texture forte, couleur claire, forme non définie); 2) Bâtiments endommagés – degré IV-V selon l'EMS-98 (toit penché et brisé, présence de débris aux alentours); et 3) Bâtiments Intacts – degré I (hauteur importante, écart de la hauteur des pixels constituant l'objet est faible, texture faible, forme rectangulaire). La démarche de segmentation et de classification est résumée et illustrée dans la figure 4.



a 1 : règles de classification (voir le tableau 6).

Figure 4 : Schéma des classes

Relativement au facteur d'échelle de la **segmentation** qui fait référence à la taille des objets, nous avons choisi deux niveaux pour le traitement de l'image GeoEye et trois pour le traitement de l'image High Resolution (figure 5 et tableau 5).

Paramètres de segmentation	Capteur : GeoEye	Capteur : High Resolution
Bandes*	ρROUGE, ρVERT, ρBLEU,	ρROUGE, ρVERT, ρBLEU,
	MNT, MNS, Hauteur**	MNT, MNS, Hauteur**
Facteur d'échelle	200 et 15	700, 100 et 50
Ratio couleur/forme	0,1 / 0,9	0,1 / 0,9
Ratio compacité/lissage	1/0	1 / 0

Tableau 5 : Paramètre	es utilisés lors de	Ia segmentation
-----------------------	---------------------	-----------------

\* Le poids accordé à chaque bande est le même (1). \*\* La bande de la hauteur est la différence entre les données LiDAR du MNS et celles du MNT.

Pour l'image High Resolution, une segmentation au niveau 700 a été utilisée pour séparer la partie terrestre et la surface maritime. Puis, nous avons segmenté la surface terrestre à au niveau 100. Cette segmentation donne une assez bonne classification pour la classe *Degré I*, mais elle demeure moins performante les classes *Débris* et *Degré IV-V*. Par conséquent, nous avons segmenté de nouveau les deux classes et les objets non classifiés à une échelle encore plus fine (50). Il est à souligner que les valeurs du facteur d'échelle utilisées ont été privilégiées suite à quelques tests empiriques et en se basant sur les valeurs documentées dans les études précédentes (voir aussi le tableau 4).

Les bandes utilisées sont les trois bandes d'images optiques, deux bandes de LiDAR (MNT et MNS) et une bande indiquant la hauteur des objets, soit la différence entre les bandes MNS et MNT (Vu *et al.*, 2009). Le troisième paramètre de la segmentation, le ratio de couleur/forme, fixé 0,1 sur 0,9 pour les deux capteurs – vise à accorder un poids plus important à la forme qu'à la couleur. Un tel choix se justifie aisément : un toit peut comprendre plusieurs éléments de couleurs différentes (systèmes de ventilation, réservoir d'eau, etc.); par conséquent, accorder un poids trop important à l'homogénéité de la couleur risque d'identifier ces éléments présents sur le toit comme des petits objets homogènes. Étant donné que les toits sont des objets de forme compacte (carré ou rectangle la plupart du temps), nous avons fixé le ratio compacité / lissage à 1 sur 0.

Quant à la **classification**, elle repose plusieurs règles construites à partir d'attributs spectraux, géométriques et contextuels (voir tableau 6). Nous avons aussi au préalable construit trois indices reliés à la couleur des objets : couleur du sol [1] (Mathieu et al., 1998), brillance [2], le ratio du vert [3] (équations suivantes).

$$C_{sol} = \frac{\rho ROUGE - \rho VERT}{\rho ROUGE + \rho VERT}$$
[1]

$$B = \rho ROUGE + \rho VERT + \rho BLEU$$
<sup>[2]</sup>

$$RV = \frac{\rho VERT}{\rho ROUGE + \rho VERT + \rho BLEU}$$
[3]

Où *pROUGE*, *pVERT*, *pBLEU* sont respectivement la réflectance des bandes rouge, verte et bleu.

Règle	Facteur d'échelle	Paramètres
Capteu	r GeoEye	
а	200	A ≥ 150 000 pixels, C <sub>sol</sub> < -0,25; HT ≤ 0,14; B ≤ 180
b	200	Différent de a
С	100	Moyenne H ≤ 2,5
d	100	Moyenne H ≥ 2,5
е	100	C > 1,83; C <sub>sol</sub> ≥-0,045; ET > 5,75; Dist <sub>Degl</sub> < 10 m; HT < 0,022; B = [290;500]; L/I < 3,5
f	100	Différent de e
g	100	$C_{sol}$ ≥-0,16; ET > 5,75; B = [110;350]; RV < 0,33; ISR ≥ 0,7; H <sub>ET</sub> ≤ 2
h	100	Différent de <b>g</b>
Capteu	r High Resc	plution
а	700	A ≥ 160 000 pixels; C <sub>sol</sub> < -0,1; HT ≤ 0,12; B ≤ 180
b	700	Différent de a
С	100	Moyenne H ≤ 2,5
d	100	Moyenne H ≥ 2,5
е	100	C < 3,6; ET > 7,8; Dist <sub>Degl</sub> < 10 m; HT < 0,066; B = [285;580]; L/l <sub>am</sub> < 35; L/l < 3,4; IF< 1,9; RV< 0,35
f	100	Différent de e
g	100	A ≥ 187 pixels; C <sub>sol</sub> ≥-0,13; Ta <sub>o2</sub> >0,00024; ET< 8,95; RV < 0,35; B ≥ 72; Moy. Bande bleue > 2,3; H > 2.3; ISR >= 0,55; IF <= 2,3; H <sub>ET</sub> <=3,15
h	100	C < 4; ET > 7,8; HT< 0,066; RV < 0,35; B= [180,620]; L/I <sub>am</sub> < 40; L/I < 4; IF > 1,6
i	100	Différent de <b>g</b> et <b>h</b>
j	50	Mêmes paramètres que <b>e</b> et Dist <sub>DegIV-V</sub> < 200 pixels
k	50	Mêmes paramètres que <b>g</b>
I	50	Mêmes paramètres que h

Tableau 6 : Paramètres utilisés lors de la classification

**Note:** A = Superficie; B= Brillance; C= Compacité;  $C_{sol}$ = Couleur du sol; Dist<sub>Degl</sub>= distance à un bâtiment intact (degré I); Dist<sub>DeglV-V</sub> = distance à un bâtiment endommagé (Degré IV-V); ET = Entropie de la texture; H = Hauteur (MNS - MNT); H<sub>ET</sub> = écart-type de la hauteur; HT = homogénéité de la texture; IF = indice de forme; ISR = indice de similarité à un rectangle; L/I<sub>am</sub> = ratio longueur - largeur (sur l'axe majeur); L/I = ratio longueur - largeur; RV = ratio vert; Ta<sub>o2</sub> = texture angulaire (ordre 2).

(Les mesures de textures sont calculées avec la bande rouge, et ce, dans toutes les directions).

Pour plus d'informations sur les attributs, voir eCognition Developer 8.0 UserGuide (Definiens, 2009).

#### Image GeoEye





#### Image High Resolution



Figure 5 : Exemples de la segmentation

## Validation des classifications

Afin d'évaluer la précision des résultats, nous avons comparé la classification automatique avec des points de validation. La comparaison s'effectue au niveau de 51 points par classe, soit une taille d'échantillon recommandée par Congalton (2009). Les points ont été générés aléatoirement avec l'outil Hawth's Analysis Tool intégré dans ArcGIS<sup>10</sup>. Puis, nous avons affecté ces points à

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> www.spatialecology.com/htools/overview.php (site consulté le 8 juillet 2010).

l'une des trois classes de dégâts – Degré I, Degré IV-V et Débris – en tenant compte de la couleur, de la texture et du contexte autour des points, et ce, sur l'image High Resolution. Cette affectation a été réalisée par deux experts, l'un spécialisé en télédétection urbaine et l'autre, originaire de Port-au-Prince, en architecture.

Notons qu'afin d'accélérer le processus de validation, nous avons privilégié des points de référence et non des polygones, ce que font également la plupart des organismes identifiant les bâtiments endommagés avec une approche manuelle<sup>11</sup> (UNOSAT, GMOSAIC et ITHACA). Pour chaque point de validation, nous avons créé plusieurs zones de tampon (0,15 mètre, 0,50 mètre, 1 mètre, 2 mètres et 5 mètres). La superposition des images classifiées avec les zones de tampon des points de référence nous permettra de calculer différentes matrices de confusion.

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Seul GEO-CAN délimite des polygones autour des bâtiments endommagés à partir d'une approche manuelle.

# RÉSULTATS

Afin de comparer l'efficacité des approches automatique et manuelle, il convient tout d'abord de reporter les temps de traitement des données. Le calage des données utilisées a pris environ 5 heures pour chacun des jeux de données (GeoEye et High Resolution) et les traitements des images dans eCognition ont nécessité respectivement 3 et 10 heures pour les images GeoEye et High Resolution sur un seul ordinateur<sup>12</sup>. Signalons toutefois que la superficie de notre zone d'étude est de 11 km<sup>2</sup> comparativement à 134 km<sup>2</sup> pour la première carte produite en quatre jours par GeoCAN. Traiter la même zone d'étude que GeoCAN aurait par conséquent nécessité le recours à plusieurs ordinateurs ou mieux encore, la version serveur d'eCognition permettant le traitement de jeux de données volumineux.

La classification finale de chaque jeu de données est reportée à la figure 6. D'entrée de jeu, mentionnons que la classification du jeu GeoEye identifie moins de bâtiments intacts et de débris que celle basée sur les images High Resolution.

Les taux d'exactitude de la classification des images GeoEye couplées avec les données LiDAR sont reportés au tableau 7. Pour la classe *Débris*, l'erreur d'omission est assez importante (30% à 50%). Autrement dit, la classification sous-estime la présence des débris causés par le séisme. Par contre, l'erreur de commission de cette classe est nulle. À l'inverse, pour la classe *Degré I*, soit les bâtiments intacts, l'erreur d'omission est nulle tandis que celle de commission s'élève à 10%. Deux problèmes majeurs sont à l'origine des erreurs d'omission pour la classe *Débris* en utilisant ce jeu de données. En effet, les débris sont confondus avec du sol nu, des toits de maisons peu entretenus ou encore, des bâtiments en construction. Or, avec uniquement trois bandes spectrales fusionnées, il demeure difficile de les séparer, et ce, même en ajoutant des indices de couleur et de texture. En outre, sur les flancs de collines, le calage géométrique entre les données de différentes résolutions (LiDAR, 1 mètre et l'image GeoEye, 50 cm) est moins précis, générant ainsi plus d'erreurs de classification.

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> L'ordinateur est équipé de 2 Go de mémoire vive et deux processeurs Intel Xeon CPU 3.2 GHz.



Figure 6 : Résultats des classifications

	Débris		Deg		
	E. producteur	E. utilisateur	E. producteur	E. utilisateur	E. globale
50 cm	0,50	1,00	1,00	0,88	0,89
1 m	0,51	1,00	1,00	0,88	0,89
2 m	0,58	1,00	1,00	0,89	0,91
5 m	0,70	0,99	1,00	0,90	0,92

Concernant la classification du second jeu de données – High Resolution et LiDAR –, les taux d'exactitude démontrent que les erreurs d'omission sont relativement importantes pour les bâtiments effondrés (degrés IV-V), plus faibles pour la classe débris et quasi nulles pour les bâtiments intacts (degré I). De telles erreurs pour la classe IV-V s'expliquent par la difficulté voire l'impossibilité de détecter les bâtiments avec un effondrement incliné ou symétrique de la structure tel qu'illustré à la figure 5 (*inclined layers* ou *pancake*) (Scheiwer et Markus, 2006). Par conséquent, contrairement aux deux autres classes, les erreurs de commission sont assez importantes pour classes des bâtiments intacts. En d'autres termes, certains objets sont classifiés à tort comme des bâtiments intacts. Finalement, la précision de la classification avec les données High Resolution et LiDAR est somme toute relativement bonne (près de 70 %).

Tableau 8 : Les taux d'exactitude à différentes distances autour des points de référence (High Resolution)

	Deg	ré l	Débris		Degré IV-V		
	E. produc.	E. utilisa.	E. produc.	E. utilisa.	E. produc.	E. utilisa.	E. Globale
15 cm	0,97	0,61	0,63	0,84	0,40	0,65	0,67
50 cm	0,98	0,63	0,67	0,87	0,42	0,70	0,69
1 m	0,98	0,62	0,67	0,83	0,40	0,74	0,69
2 m	0,98	0,62	0,67	0,87	0,38	0,67	0,69
5 m	0,98	0,57	0,55	0,86	0,34	0,62	0,63

- Bâtiment avec effondrement sysmétrique de la structure
- **b.** Bâtiment avec un effondrement incliné de la structure



Figure 7 : Types d'effondrement de bâtiments difficilement détectables (Image High Resolution)

Il convient de nuancer les niveaux de précision obtenus, surtout avec les deux jeux de données couplant l'image GeoEye et les données LiDAR. Une proportion non négligeable de points de référence ne sont pas inclus dans les d'objets classifiés avec eCognition, ce qui correspond à une autre forme d'erreur d'omission (tableau 9).

	High Resolution	GeoEye
15 cm	74,69	
50 cm	76,17	40,88
1 m	76,57	41,51
2 m	75,00	41,21
5 m	64,27	36,56

Tableau 9 : Proportion des points de référence inclus dans les objets classifiés avec eCognition

# **DISCUSSION ET CONCLUSION**

Les résultats obtenus dans ce papier démontrent les avantages de l'approche de détection orientée objet des dégâts aux bâtiments, surtout avec le jeu des images High Resolution et LiDAR : un temps de traitement relativement court et un taux d'exactitude global assez élevé (près de 70%). Par contre, ceux obtenus avec les images GeoEye sont peu satisfaisants, les images étant assez sombres et la résolution spatiale n'étant pas suffisamment fine (50 cm contre 15 cm pour High Resolution). Quatre éléments contribuent grandement à l'amélioration de la précision comparativement aux études antérieures : l'utilisation des données optiques de très haute résolution, l'intégration des données LiDAR, l'utilisation de plusieurs règles de classification (Al-Khudhairy *et al.*, 2005; Rezaeian et Gruen, 2007) et l'implication d'un expert en architecture originaire de Port-au-Prince.

Cependant, l'analyse des matrices de confusion a révélé plusieurs erreurs d'omission dont les causes sont multiples. Premièrement, au niveau des données, nous disposons uniquement d'images composées en vraie couleur et non des quatre bandes originales, soit une réduction d'informations. Par conséquent, nous préconisons la mise en ligne à la fois d'images composées en vraie couleur tout à fait adaptée pour l'approche manuelle par photo-interprétation, mais aussi l'ensemble des bandes originales pour l'approche automatique. De plus, l'écart entre la résolution spatiale des données optiques et LiDAR génère parfois un décalage spatial et ainsi des erreurs de classification.

Deuxièmement, plusieurs omissions sont en fait des effondrements symétriques ou inclinés de bâtiments, non détectables avec des images verticales, et ce, tant avec une approche automatique que manuelle (ImageCat et EERI, 2010; Spence et Saito, 2010).

Finalement, la forte densité du bâti dans la ville de Port-au-Prince et la variation importante de la hauteur des bâtiments au sein du même quartier voire du même îlot rendent difficile la détection des dégâts. Ces raisons ont déjà été évoquées par plusieurs auteurs dans d'autres villes (déjà soulignés par Al-Khudhairy *et al.*, 2005; Kerle, 2010; Yamazaki *et al.*, 2004).

L'approche objet nous semble alors tout à fait opérationnelle pour détecter les zones sinistrées suite à un évènement séismique pour les raisons suivantes :

• La précision est acceptable avec des images à très haute résolution couplées à des données d'altitude. Elle pourrait être améliorée en rendant disponibles les bandes optiques originales telles qu'évoquées précédemment;

- Le temps de traitement est tout à fait acceptable : 15 heures pour 11 km<sup>2</sup> avec un seul ordinateur. Or, à l'avenir, l'utilisation d'une version serveur d'eCognition ainsi que la rapidité croissante des ordinateurs ne peut que réduire considérablement le temps de traitement. Les développements actuels en traitements parallèles peuvent s'avérer très intéressants (la fonction *Cluster ou Cloud processing*);
- Ultérieurement, l'approche orientée objet sera plus simple à mettre en œuvre puisque les paramètres de segmentation et les règles de classification sont désormais documentés. Ils pourraient être alors rapidement testés et adaptés afin d'identifier les attributs les plus pertinents pour formuler des règles de classification, et ce, en fonction des images et données utilisées et des caractéristiques de la zone d'étude.

Finalement, loin de nous l'idée de supplanter l'approche manuelle par l'approche automatique. En fait, les deux approches, fort complémentaires, pourraient être utilisées conjointement dans une stratégie de détection des dégâts suite à un séisme (figure 8).



\*: Estimé à partir des dates de production des cartes de l'UNOSAT et GEO-CAN (voir aussi le tableau 2)

Figure 8 : Intégration de la détection orientée objet dans le processus de cartographie des dégâts causés par une catastrophe

Les deux approches pourraient être faites parallèlement : l'approche de photo-interprétation manuelle avec plusieurs centaines d'experts telle que réalisée par GEO-CAN; l'approche automatique par un expert en télédétection orientée objet épaulé idéalement par un spécialiste de la zone d'étude. Les résultats de l'approche automatique seraient par la suite diffusés aux photo-interpréteurs. Cela permettrait d'accélérer l'interprétation des images, mais aussi de valider les résultats de l'approche automatique tout en identifiant ses lacunes. La connaissance de ces lacunes mises à jour par les photo-interpréteurs permettrait sans doute de raffiner les règles de classification et de réaliser une nouvelle identification automatique plus précise des zones affectées par le séisme. Finalement, le partage et l'édition de telles informations durant

l'ensemble du processus de détection des dégâts pourraient être grandement facilités par des outils de cartographie web comme le suggère d'ailleurs Kerle (2010). Une telle mise en commune d'approches et d'expertises diverses pourrait ainsi contribuer à réduire le temps d'identification des zones affectées, soit un enjeu crucial pour la planification des secours et de reconstruction.

# REMERCIEMENTS

Nous remercions les fournisseurs de données GeoEye, High Resolution, LiDAR et Google pour la mise en ligne gratuite des images.

# **Bibliographie**

- Adams, B.J. 2004. «Improved disaster management through post-earthquake building damage assessment using multi-temporal satellite imagery». Dans *ISPRS XX<sup>th</sup> Congress, Commission VII/5* (Istanbul, 12-23 July).
- Al-Khudhairy, D.H.A., I. Caravaggi et S. Giada. 2005. «Structural damage assessments from Ikonos data using change detection, object-oriented segmentation, and classification techniques». *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 71, no 7, p. 825–837.
- Bitelli, G., R. Camassi, L. Gusella et A. Mongnol. 2004. «Image change detection on urban area: the earthquake case». Dans *ISPRS XXth Congress, Commission VII/5* (Istanbul, 12-23 July).
- Chartre internationale "Espace et catastropes majeures" (2010). En ligne: <u>www.disasterscharter.org/web/charter/charter</u>. Consultation le 4 juin 2010.
- Chesnel, A.-L., R. Binet et L. Wald. 2008. «Urban damage assessment using multimodal QuickBird images and ancillary data: the Bam and the Boumerdes earthquakes». Dans 6th International workshop on remote sensing for disaster management applications (Pavia, 11-12 September).
- Congalton, R.G. et K. Green. 2009. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and pratices. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Gouvernement de la République d'Haïti 2010. *Haïti PDNA du Tremblement de terre Evaluation des dommages, des pertes et des besoins généraux sectoriels.* Port-au-Prince, 120 p.
- Institut haïtien de statistique et d'informatique 2001. *Enquête sur les conditions de vie en Haïti 2001.* Port-au-Prince: MEF/IHSI/Fafo/PNUD.
- Definiens. 2009. eCognition Developer 8 User Guide. München: Definiens, 236 p.
- EC-JRC, UNITAR-UNOSAT, W. Bank-GFDRR et CNIGS. 2010. *Building damage assessment report.* 38 p.
- Gillespie, T.W., J. Chu, E. Frankenberg et D. Thomas. 2007. «Assessment and prediction of natural hazards from satellite imagery». *Progress in Physical Geography*, vol. 31, no 5, p. 459-470.
- Goulet, J. 2006. «L'organisation des services urbains : réseaux et stratégies dans les bidonvilles de Portau-Prince ». PhD, Montréal, Université du Québec à Montréal, Études urbaines.
- Grünthal, G. et A. Levret. 2001. *Echelle marcosismique européenne 1998.* Coll. «Cahiers du Centre européen de géodynamique et de séismologie», no 19. Luxembourg: Conseil de l'Europe, 105 p.
- Gusella, L., C.K. Huyck, B.J. Adams, S. Cho et H. Chung. 2005. «Damage assessment with very-high resolution optical Imagery following the December 26, 2003 Bam, Iran earthquake». Dans 3rd International Workshop on Remote Sensing for Post-Disaster REsponse (Chiba, 12-13 September).
- Herold, M., M.E. Gardner et D.A. Roberts. 2003. «Spectral resolution requirements for mapping urban areas». *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, vol. 41, no 9, p. 1907-1919.
- ImageCat et EERI. 2010. «Remote sensing and the GEO-CAN community: Lessons from Haiti and recommendations for the future». Dans *EERI/imageCat Workshop* 4 May 2010), p.16.

- Joyce, K.E., S.E. Belliss, S.V. Samsonov, S.J. McNeill et P.J. Glassey. 2009. «A review of the status of satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters». *Progress in Physical Geography*, vol. 33, no 2, p. 183-207.
- Kerle, N. sous presse. «Satellite-based damage mapping following the 2006 Indonesia earthquake—How accurate was it?». International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.
- Kouchi, K. et F. Yamazaki. 2005. «Damage detection based on object-based segmentation and classification from high-resolution satellite images for the 2003 Boumerdes, Algeria earthquake». Dans 26th Asian Conference on Remote Sensing (Hanoi, 7-11 November), p.6.
- Mathieu, R., M. Pouget, B. Cervelle et R. Escadafal. 1998. «Relationships between satellite-based radiometric indices simulated using laboratory reflectance data and typical soil color of an arid environment». *Remote Sensing of Environment*, vol. 66, p. 17-28.
- Mathon, D. 2005. Pauvreté et stratégies de survie dans les quartiers précaires de l'Aire métropolitaine de Port-au-Prince. Mexique: Commission Économique Pour l'Amérique Latine et les Caraïbes, 60 p.
- Pesaresi, M., T. Kemper, L. Gueguen et P. Soille. 2010. «Automatic information retrieval from meter and sub-meter resolution satellite image data in support to crisis management». Dans *IGARSS* (Honolulu, 25-30 July).
- Rehor, M., H.-P. Bähr, F. Tarsha-Kurdi, T. Landes et P. Grussenmeyer. 2008. «Contribution of two plane detection alogorithms to recognition of intact and damaged buildings in LiDAR dara». *The Photogrammetric Record*, vol. 23, no 124, p. 441-456.
- Rezaeian, M. et A. Gruen. 2007. «Automatic classification of collapsed buildings using object and image space features». Dans *Geomatics solutions for disaster management,* sous la dir. de J. Li, S. Zlatanova et A. Fabbri, p. 135-148. Coll. «Lecture notes in geoinformation and cartography». Berlin Heidelberg New York: Springer.
- Saito, K. et R. Spence. 2004. «Rapid damage mapping using post-earthquake satellite images». Dans IGARSS'04 (Anchorage, 20-24 September).
- Schweier, C. et M. Markus. 2006. «Classification of collapsed building for fast damage and loss assessment». *Bulletin of Earthwake Engineering*, vol. 4, p. 177-192.
- Spence, R. et K. Saito. 2010. Port-au-Prince earthquake damage assessment using Pictometry (Report for ImageCat). Cambridge: Cambridge Architectural Research Ltd, 21 p.
- Tralli, D.M., R.G. Blom, V. Zlotnicki, A. Donnellan et D.L. Evans. 2005. «Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards». *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 59, p. 185-198.
- UNITAR-UNOSAT, EC-JRC et W. Bank. 2010. Atlas of building damage assessment of Port-au-Prince (Version 1.1). 77 p.
- Voigt, S., T. Kemper, T. Riedlinger, R. Kiefl, K. Scholte et H. Mehl. 2007. «Satellite image analysis for disaster and crisis-management support». *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, vol. 45, no 6, p. 1520-1528.
- Vu, T.T., M. Matsuoka et F. Yamazaki. 2005. «Preliminary results in development of an object-based image analysis method for earthquake damage assessment». Dans 3<sup>rd</sup> International Workshop Remote Sensing for Post-Disaster Response (Chiba, 12-13 September).

- Vu, T.T., F. Yamazaki et M. Matsuoka. 2009. «Multi-scale solution for building extraction from LiDAR and image data». International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 11, p. 281-289.
- Yamazaki, F., K. Kouchi, M. Matsuoka, M. Kohiyama et N. Muraoka. 2004. «Damage detection from highresolution satellite images for the 2003 Boumerdes, Algeria earthquake». Dans 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering (Vancouver, 1-6 August).
- Yamazaki, F., Y. Yano et M. Matsuoka. 2005. «Visual damage interpretation of buildings in Bam city using QuickBird images following the 2003 Bam, Iran, Earthquake». *Earthquake Spectra*, vol. 21, no S1, p. 329-336.
- Yano, Y. et F. Yamazaki. 2006. «Building damage detection of the 2003 Bam, Iran earthquake using Quickbird images on object-oriented classification». Dans *Asian Conference of Remote Sensing* (Ulaanbaatar, 9-13 October).